식물성케톤식의 당뇨치유

과학적 근거와 임상 안전성을 바탕으로
식사의 질, 탄수화물 제한, 케톤 대사와
개인별 반응을 함께 읽는 실전 안내서

인쇄 전 교정본 v03 · 2026

식물성케톤식의 당뇨치유

Plant-Based Ketogenic Nutrition and Diabetes

2026 · v03

저작권 및 의료정보 고지

© 2026. All rights reserved.

본서는 당뇨병, 식물성 식사, 탄수화물 제한, 케톤 대사와 관련된 과학적·교육적 정보를 제공하기 위해 작성되었습니다.

본서의 내용은 개인에 대한 진단, 처방 또는 치료 지시를 대신하지 않습니다. 당뇨병 치료제를 복용하거나 인슐린을 사용하는 경우, 식사 구성이나 탄수화물 섭취량을 크게 변경하면 약물 요구량과 혈당 반응이 달라질 수 있으므로 담당 의료진과 상의하면서 진행해야 합니다.

혈당, 케톤, 체중, 지질, 신장기능 및 기타 임상지표는 개인의 상태에 따라 해석해야 합니다. 임의로 약물을 중단하거나 용량을 변경해서는 안 됩니다.

본서는 특정 식사법을 모든 사람에게 동일하게 적용하는 것을 목표로 하지 않습니다. 과학적 근거의 강도, 개인의 선호와 생활환경, 대사반응, 약물, 동반질환 및 장기 지속 가능성을 함께 고려하는 것을 원칙으로 합니다.

연구 결과와 임상 권고는 새로운 근거에 따라 변경될 수 있습니다.

제작본: v03
본문 범위: 제1장–제27장

머리말

당뇨병 식사를 설명할 때 우리는 흔히 하나의 숫자에 집중합니다. 탄수화물 몇 그램, 혈당 몇 mg/dL, HbA1c 몇 퍼센트와 같은 숫자입니다. 그러나 사람의 대사는 하나의 숫자로 설명되지 않습니다.

같은 탄수화물량도 어떤 식품에서 왔는지에 따라 다르게 작용할 수 있고, 같은 케톤 수치도 체중, 근육량, 약물, 수면, 활동량과 식사의 질에 따라 다른 의미를 가질 수 있습니다.

이 책은 식물성 식사와 케톤 대사를 서로 대립하는 두 개의 식사 철학으로 바라보지 않습니다. 대신 최소가공 식물성 식품의 장점과 개인에게 필요한 탄수화물 제한의 정도를 함께 검토합니다.

핵심 질문은 “탄수화물을 얼마나 낮출 것인가” 하나가 아닙니다. 무엇을 먹는가, 어떤 지방과 단백질을 선택하는가, 혈당과 케톤이 실제로 어떻게 반응하는가, 약물과 안전문제를 어떻게 관리하는가, 그리고 그 식사를 장기간 지속할 수 있는가를 함께 묻습니다.

또한 이 책은 근거의 한계를 숨기지 않으려 합니다. 식물성 식사의 임상근거와 저탄수·케톤식의 임상근거는 각각 존재하지만, 두 조건을 정확히 결합한 동일 중재의 직접근거는 아직 제한적입니다. 따라서 직접근거, 연결근거, 기전근거와 안전근거를 구분하여 어디까지 강하게 말할 수 있는지를 지속적으로 확인했습니다.

당뇨병의 개선이나 관해도 하나의 사건으로 끝나지 않습니다. 장기적으로 체중, 혈당, 식사의 질, 신체활동, 수면, 약물과 합병증 위험을 관리하는 과정이 필요합니다.

이 책의 목표는 특정 식단을 믿게 만드는 것이 아닙니다. 독자가 자신의 대사반응을 측정하고, 근거를 읽고, 의료진과 협력하면서 더 안전하고 지속 가능한 선택을 할 수 있도록 판단의 틀을 제공하는 것입니다.

목차

제1장. 혈당이 아니라 대사의 문제다 7

제2장. 당뇨병이 온몸을 병들게 하는 과정 13

제3장. 포도당 대사에서 지방·케톤 대사로 22

제4장. 인슐린이 낮아질 때 몸은 어떻게 변하는가 31

제5장. 식물성 식단과 제2형 당뇨병의 임상연구 40

제6장. 식물성 식단과 혈당·인슐린 50

제7장. 왜 식물이 대사를 바꾸는가 64

제8장. 식물성 식단의 약점 — 식물성이라고 모두 건강한 것은 아니다 73

제9장. 케톤식과 제2형 당뇨병의 임상연구 86

제10장. 케톤식과 혈당·인슐린 99

제11장. 케톤체는 단순한 연료가 아니다 111

제12장. 케톤식의 논쟁과 안전성 123

제13장. 식물식과 케톤식은 정말 서로 반대인가 139

제14장. 식물성 케톤식이라는 제3의 길 153

제15장. 현재 과학은 식물성 케톤식을 어디까지 지지하는가 168

제16장. 무엇을 먹을 것인가 183

제17장. 지방 선택 - 얼마나 먹느냐보다 어떤 지방인가 196

제18장. 식물성 단백질 설계 - 충분히, 나누어서, 신장기능에 맞게 220

제19장. 탄수화물을 얼마나 먹어야 하는가 - 숫자보다 반응을 읽는다 235

제20장. 시작하기 전에 반드시 확인할 것 - 기준선을 알아야 변화가 보인다 248

제21장. 첫 4주의 대사 전환 - 적응을 서두르지 말고 반응을 읽는다 258

제22장. 12주 식물성 케톤 회복 프로그램 - 적응에서 안정화로, 안정화에서 재평가로 269

제23장. 당뇨약을 사용하고 있다면 - 식사가 바뀌면 약물의 의미도 달라진다 282

제24장. 당뇨 관해란 무엇인가 - 혈당이 정상화되어도 끝난 것은 아니다 294

제25장. 다시 당뇨로 돌아가지 않으려면 - 관해를 사건이 아니라 생활 시스템으로 만든다 305

제26장. 우리가 구축한 당뇨 식이 연구 데이터베이스 - 검색결과를 근거로 바꾸는 과정 318

제27장. 근거를 종합하면 무엇을 말할 수 있는가 - 강하게 말할 것과 아직 기다려야 할 것 329

제1장. 혈당이 아니라 대사의 문제다

1. 혈당은 원인인가, 결과인가

혈당이 높다는 사실은 당뇨병 진단의 핵심이다. 그러나 높은 혈당 자체만으로 제2형 당뇨병의 전 과정을 설명할 수는 없다. 2026년 미국당뇨병학회는 제2형 당뇨병을 인슐린 저항성을 배경으로 적절한 베타세포 인슐린 분비가 점진적으로 부족해지는 질환으로 설명한다. 즉 혈당은 중요한 진단지표이지만, 그 뒤에는 인슐린 작용과 분비의 이상이 함께 존재한다.

건강한 상태에서는 식사 후 혈당이 올라가면 췌장의 베타세포가 인슐린을 분비한다. 인슐린은 근육에서 포도당 이용을 돕고, 간에서는 포도당 방출을 억제한다. 지방조직에서는 과도한 지방분해를 막아 혈중 유리지방산의 흐름을 조절한다. 이 세 기관이 서로 맞물릴 때 혈당은 좁은 범위에서 유지된다.

문제는 이 조절이 한 번에 무너지지 않는다는 데 있다. 근육과 간이 인슐린 신호에 둔감해지면 췌장은 같은 혈당을 유지하기 위해 더 많은 인슐린을 분비한다. 초기에는 혈당이 정상으로 보일 수 있지만, 몸은 이미 더 높은 인슐린 농도를 요구하고 있다. 이런 보상 상태가 오래 지속되면 베타세포의 부담이 커지고, 결국 혈당이 정상 범위를 벗어나기 시작한다.

따라서 제2형 당뇨병을 이해할 때는 혈당과 인슐린을 따로 보아서는 안 된다. 혈당이 아직 정상이라도 인슐린이 과도하게 높다면 대사 이상이 진행 중일 수 있다. 반대로 혈당이 높아졌을 때는 그 수치만 낮추는 것과 함께, 왜 인슐린 요구량이 커졌는지를 살펴야 한다.

2. 인슐린은 무엇을 하는가

인슐린은 흔히 ‘혈당을 낮추는 호르몬’으로 소개된다. 틀린 설명은 아니지만 충분하지도 않다. 인슐린은 식사 후 들어온 에너지를 어디에 저장하고 어떻게 사용할지를 조정하는 대사 신호다. 포도당 이용, 글리코겐 합성, 지방 합성, 지방분해 억제, 단백질 대사까지 폭넓게 관여한다.

근육은 식후 포도당을 처리하는 중요한 장소다. 인슐린에 반응하여 포도당 운반과 이용이 증가하면 식후 혈당이 빠르게 안정된다. 그

러나 근육의 인슐린 감수성이 떨어지면 같은 양의 인슐린으로 처리할 수 있는 포도당의 양이 줄어든다. 췌장은 이를 보상하기 위해 인슐린 분비를 늘린다.

간의 역할은 조금 다르다. 공복에는 간이 혈액으로 포도당을 공급해 뇌와 다른 조직의 에너지 요구를 맞춘다. 식후에는 인슐린이 이 포도당 생산을 억제해야 한다. 간이 인슐린에 둔감해지면 식사를 하지 않은 상태에서도 포도당 생산이 충분히 억제되지 않아 공복혈당이 올라갈 수 있다.

지방조직도 단순한 저장창고가 아니다. 인슐린은 지방세포에서 지방분해를 억제한다. 인슐린 저항성이 생기면 유리지방산의 방출이 증가할 수 있고, 이 지방산은 간과 근육으로 이동해 대사 부담을 높인다. 제2형 당뇨병에서 포도당 대사와 지방 대사는 분리된 문제가 아니라 서로를 강화하는 관계에 있다.

3. 인슐린 저항성은 어떻게 시작되는가

인슐린 저항성은 하나의 기관에서만 생기지 않는다. 근육, 간, 지방조직뿐 아니라 뇌와 여러 대사조직에서 인슐린 반응성이 달라질 수 있다. DeFronzo는 제2형 당뇨병의 고전적인 세 축인 근육, 간, 베타세포에 지방세포, 위장관, 알파세포, 신장, 뇌를 더해 ‘불길한 여덟 가지’라는 개념을 제시했다. 이 모델의 핵심은 당뇨가 단일한 결함으로 설명되지 않는다는 점이다.

근육의 인슐린 저항성은 식후 포도당 처리 능력을 낮춘다. 간의 인슐린 저항성은 공복 상태에서 포도당 생산을 충분히 억제하지 못하게 한다. 지방조직의 인슐린 저항성은 지방분해를 촉진해 유리지방산의 흐름을 높인다. 세 기관에서 시작된 변화는 서로 독립적으로 머물지 않고 대사 전체를 압박한다.

이때 중요한 것이 보상성 고인슐린혈증이다. 혈당을 정상으로 유지하기 위해 췌장이 더 많은 인슐린을 분비하면 한동안 혈당검사에서는 이상이 뚜렷하지 않을 수 있다. 그러나 높은 인슐린이 계속 필요하다는 사실은 이미 대사 효율이 떨어졌음을 의미한다. 결국 베타세포가 요구량을 따라가지 못하는 시점에 고혈당이 뚜렷해진다.

4. 베타세포는 왜 지치는가

베타세포 기능 저하는 제2형 당뇨병의 핵심 축이다. 당뇨가 진행할수록 필요한 만큼의 인슐린을 적절한 시간에 분비하는 능력이 감소한다. 특히 식사 후 빠르게 분비되는 초기 인슐린 반응이 약해지면 식후혈당이 크게 오르기 쉽다.

베타세포의 기능 저하는 단순한 '소진'이라는 한 단어로 설명하기 어렵다. 유전적 소인, 염증, 산화스트레스, 높은 포도당 노출, 과도한 지방산과 지질 중간대사산물 등 여러 요인이 관여한다. 최근의 관점에서는 일부 기능저하가 비가역적인 세포 사멸만이 아니라, 대사 환경이 나빠지면서 세포 기능이 억제되거나 정체성을 잃는 과정과도 관련될 수 있다고 본다.

이 지점에서 당뇨 관해 연구가 중요한 단서를 준다. 체중을 크게 줄이고 간과 췌장의 지방이 감소한 일부 제2형 당뇨병 환자에서는 베타세포의 인슐린 분비 기능이 상당 부분 회복될 수 있다. 모든 사람에게 동일하게 나타나는 현상은 아니지만, 제2형 당뇨병의 일부 대사 이상이 고정된 상태가 아니라 변화 가능한 상태임을 보여준다.

5. 간은 공복혈당을 결정하는 중심 기관이다

아침 공복혈당이 높다고 해서 전날 밤에 먹은 탄수화물만 탓할 수는 없다. 밤새 아무것도 먹지 않아도 간은 혈액으로 포도당을 공급한다. 정상 상태에서는 인슐린이 간의 포도당 생산을 적절히 억제하지만, 간 인슐린 저항성이 생기면 이 제동이 약해진다.

간에 지방이 과도하게 쌓이는 현상은 이 과정과 밀접하게 연결된다. Roy Taylor가 제안한 '쌍둥이 순환 가설'은 간 지방 증가와 인슐린 저항성이 서로를 강화하고, 이어 췌장으로 지방 전달이 늘면서 베타세포 기능까지 악화되는 과정을 설명한다. 이후 여러 연구는 체중 감량으로 간 지방이 감소할 때 간 인슐린 감수성과 공복혈당이 빠르게 좋아질 수 있음을 보여주었다.

여기서 중요한 점은 체중계 숫자 하나가 아니다. 같은 체중이라도 어느 기관에 지방이 축적되어 있는지, 개인이 그 지방을 얼마나 견딜 수 있는지가 중요할 수 있다. 피하지방보다 간이나 췌장처럼 원래 많은 지방을 저장하지 않는 기관에 쌓인 '이소성 지방'은 대사기능을 직접 방해할 수 있다.

6. 근육은 가장 큰 포도당 소비처다

근육은 움직일 때만 중요한 기관이 아니다. 식후 포도당을 받아들이는 큰 저장·소비 공간이기도 하다. 근육량이 적거나 근육의 인슐린 감수성이 낮아지면 식후 포도당을 처리할 수 있는 공간이 줄어든다. 이 때문에 운동은 단순한 칼로리 소비를 넘어 인슐린 감수성과 혈당 조절에 영향을 준다.

또한 근육의 에너지 상태는 식사의 대사효과와 연결된다. 지속적으로 에너지 섭취가 소비를 웃돌면 글리코겐 저장공간이 충분하지 않은 상황에서 잉여 에너지는 다른 저장경로로 밀려날 수 있다. 이런 환경은 간 지방 증가와 지방합성을 촉진하는 조건이 될 수 있다.

따라서 당뇨 식사에서 탄수화물의 양을 조절하는 이유도 단순히 '당을 먹지 않기 위해서'가 아니다. 현재의 포도당 처리능력과 저장공간, 인슐린 감수성에 맞추어 외부에서 들어오는 포도당 부담을 조절한다는 의미가 더 크다. 이후 케톤식 장에서는 이 대사전환을 더 자세히 살펴볼 것이다.

7. 지방세포는 대사 신호를 보낸다

체지방은 무조건 나쁜 것이 아니다. 지방세포는 잉여 에너지를 비교적 안전하게 저장하는 역할을 한다. 문제는 저장능력을 넘어섰을 때다. 지방세포가 커지고 기능이 저하되면 유리지방산의 유출이 늘고, 염증성 신호가 증가하며, 지방이 간과 근육 같은 다른 기관으로 이동하기 쉬워진다.

이때 '지방독성'이라는 개념이 등장한다. 이는 지방 자체가 독이라는 뜻이 아니다. 지방산과 특정 지질 중간대사산물이 비정상적인 장소에 과도하게 축적될 때 세포 신호와 미토콘드리아, 인슐린 작용을 방해할 수 있다는 의미다. 따라서 제2형 당뇨병에서는 지방의 양뿐 아니라 저장 위치와 대사 흐름을 함께 보아야 한다.

8. 고인슐린혈증은 무엇을 의미하는가

혈당만 보면 당뇨 전단계의 상당 부분을 놓칠 수 있다. 인슐린 저항성이 커진 초기에는 췌장이 인슐린을 더 많이 분비해 혈당을 정상 범위에 붙잡아 둘 수 있기 때문이다. 이때 공복혈당이나 HbA1c는 크게 높지 않아도 공복 인슐린이나 식후 인슐린이 증가할 수 있다.

다만 인슐린 수치만으로 모든 사람의 질병 상태를 단정해서도 안 된다. 인슐린 분비능력은 개인차가 크고, 검사방법과 측정시점에 따라 값이 달라진다. 따라서 인슐린은 혈당, HbA1c, 체중, 허리둘레, 중성지방, HDL-C, 간지방과 같은 여러 정보를 함께 놓고 해석해야 한다.

이 책에서는 이러한 이유로 혈당 하나만 추적하지 않는다. 가능한 경우 공복 인슐린과 HOMA-IR, 체중, 허리둘레, 지질지표를 함께 본다. 식물성 식단과 케톤식의 연구를 비교할 때도 같은 원칙을 적용한다.

9. 당뇨를 '에너지 과잉과 배분의 문제'로 볼 수 있는가

제2형 당뇨병을 모두 하나의 원인으로 설명하는 것은 위험하다. 유전적 소인, 수면, 활동량, 약물, 호르몬, 연령, 체지방 분포 등 다양한 요인이 관여한다. 그럼에도 많은 사람에서 에너지의 지속적인 과잉과 부적절한 지방 축적은 인슐린 저항성과 베타세포 기능저하를 연결하는 중요한 축으로 작용한다.

Taylor의 쌍둥이 순환 가설은 이 흐름을 간과 췌장을 중심으로 설명한다. 에너지 과잉이 간 지방을 늘리고, 간 인슐린 저항성과 고인슐린혈증을 강화하며, 증가한 지방 운반이 췌장 기능을 방해하는 악순환을 만든다는 것이다. 체중감량과 에너지 균형의 변화로 이 순환을 되돌릴 수 있다는 임상 관찰은 제2형 당뇨병의 '관해 가능성'을 이해하는 중요한 기초가 되었다.

그러나 식사전략은 하나일 필요가 없다. 어떤 연구에서는 전체 에너지 섭취와 체중감량이 핵심이었고, 다른 연구에서는 탄수화물 제한이 혈당과 약물 요구량을 빠르게 낮추는 방법으로 사용되었다. 식물성 식단 연구에서는 식품의 질과 섬유소, 체중, 지방의 질이 중요한 축으로 나타난다. 이 책은 이 서로 다른 경로가 어디에서 만나는지 이후 장에서 단계적으로 살펴본다.

10. 혈당을 낮추는 것과 대사를 회복하는 것은 같은가

혈당을 낮추는 것은 반드시 필요하다. 지속적인 고혈당은 미세혈관과 대혈관 합병증 위험과 관련되므로 방치할 수 없다. 그러나 혈당수치가 좋아졌다는 사실만으로 인슐린 저항성, 간 지방, 체중, 약물 의

존성, 베타세포 기능이 모두 회복되었다고 말할 수는 없다.

따라서 이 책에서 말하는 대사 회복은 더 넓은 개념이다. 혈당과 HbA1c의 개선을 기본으로 하되, 인슐린 요구량, 체중과 체성분, 간과 지질 대사, 혈압, 약물 사용, 지속 가능성을 함께 본다. 최종적으로는 가능한 사람에서 관해에 도달하고, 그 상태를 안전하게 유지하는 것이 중요한 목표가 된다.

제1장의 결론은 간단하다. 당뇨는 혈당계에서 시작해도, 혈당계에서 끝나는 질환은 아니다. 이제 다음 장에서는 높은 혈당과 인슐린 저항성이 혈관, 신장, 신경, 망막, 심혈관계에 어떤 흔적을 남기는지 살펴본다.

제2장. 당뇨병이 온몸을 병들게 하는 과정

1. 높은 혈당은 왜 문제가 되는가

혈당이 높다는 사실만으로 합병증의 모든 과정을 설명할 수는 없다. 그러나 높은 포도당에 오래 노출되는 환경은 분명히 혈관과 신경, 신장, 망막에 부담을 준다. 특히 만성 고혈당은 단백질의 비효소적 당화, 산화스트레스, 단백질키나아제 C 활성, 폴리올 경로와 헥소사민 경로 변화 등을 통해 세포 손상을 증폭시킬 수 있다.[1]

중요한 것은 한 번의 높은 혈당이 아니라 노출의 크기와 시간이다. 혈당이 반복해서 높아지고 그 상태가 오래 지속될수록 작은 혈관의 내피세포와 모세혈관 구조는 지속적인 대사 스트레스를 받는다. UKPDS에서는 새로 진단된 제2형 당뇨병 환자에서 집중적인 혈당 조절이 미세혈관 합병증 위험을 낮췄으며, 이는 장기간의 혈당 노출을 줄이는 일이 실제 임상결과와 연결된다는 근거가 되었다.[2]

다만 혈당을 무조건 가능한 한 낮게 만드는 것이 모든 사람에게 최선이라는 뜻은 아니다. ADVANCE와 이후의 여러 대규모 연구는 혈당조절의 이득과 저혈당 위험, 환자의 연령과 질병기간, 심혈관질환과 신장질환 같은 동반질환을 함께 고려해야 함을 보여주었다. 따라서 합병증 예방은 혈당 한 항목이 아니라 혈압, 지질, 체중, 흡연, 신장기능과 약물까지 함께 관리하는 방식으로 접근해야 한다.[3]

2. 당화와 AGE는 무엇인가

포도당은 에너지원이지만, 농도가 높고 노출시간이 길어지면 단백질과 지질에 비효소적으로 결합할 수 있다. 이 반응이 여러 단계를 거쳐 만들어내는 물질을 최종당화산물, 즉 AGE라고 부른다. AGE는 혈관벽의 단백질 성질을 바꾸고 수용체 신호를 자극하면서 염증과 산화스트레스의 일부를 강화할 수 있다.[4]

[1] Brownlee, M. (2001). Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature, 414*(6865), 813–820. https://doi.org/10.1038/414813a

[2] UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Group. (1998). Intensive blood-glucose control with sulphonylureas or insulin compared with conventional treatment and risk of complications in patients with type 2 diabetes (UKPDS 33). *The Lancet, 352*(9131), 837–853. PMID: 9742976.

[3] ADVANCE Collaborative Group. (2008). Intensive blood glucose control and vascular outcomes in patients with type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine, 358*(24), 2560–2572. https://doi.org/10.1056/NEJMoa0802987

[4] Brownlee, M. (2001). Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature, 414*(6865), 813–820. https://doi.org/10.1038/414813a

AGE의 문제는 단순히 혈액 속에 한때 존재하는 물질이 아니라는 데 있다. 콜라겐처럼 수명이 긴 단백질에 변형이 축적되면 혈관의 탄성이나 기질의 성질에도 영향을 줄 수 있다. 또한 AGE가 RAGE라는 수용체와 결합하면 염증성 신호가 활성화될 수 있어, 고혈당이 혈관 손상으로 이어지는 연결고리 가운데 하나로 연구되어 왔다.[5]

HbA1c도 넓은 의미에서는 당화현상을 이용한 지표다. 적혈구의 헤모글로빈이 포도당에 노출되면서 당화된 비율을 측정하기 때문에, 순간 혈당보다 비교적 긴 기간의 평균적인 혈당 노출을 반영한다. 그렇다고 HbA1c가 AGE 축적이나 혈관 손상을 직접 측정하는 검사는 아니다. 임상에서는 혈당조절 상태를 판단하는 핵심 지표로 사용하되, 합병증 위험은 다른 위험인자와 함께 해석해야 한다.[6]

3. 산화스트레스는 여러 손상 경로를 연결한다

세포는 영양소를 산화하면서 에너지를 만든다. 이 과정에서 활성산소종이 일정량 생성되지만 정상 상태에서는 항산화 체계가 이를 조절한다. 문제는 고혈당과 대사 과부하가 지속될 때다. Brownlee는 미토콘드리아 전자전달계에서의 과도한 초과산화물 생성이 당뇨 미세혈관 손상과 관련된 여러 생화학 경로를 연결할 수 있다는 통합모델을 제시했다.[7]

이 모델에서 산화스트레스는 단독 범인이 아니라 증폭기와 가깝다. 폴리올 경로, AGE 형성, 단백질키나아제 C 활성, 헥소사민 경로가 서로 영향을 주면서 내피세포 기능과 염증반응을 바꿀 수 있다. 따라서 당뇨 합병증을 “혈당이 높아서 혈관이 상한다”는 한 문장으로만 설명하면 중요한 중간과정을 놓치게 된다.[8]

여기서도 한 가지 주의가 필요하다. 이러한 분자경로가 밝혀졌다고 해서 특정 항산화제를 많이 먹으면 합병증을 막을 수 있다는 결론이 자동으로 나오지는 않는다. 임상적으로 확인된 핵심은 혈당, 혈압, 지질, 신장 위험과 생활습관을 함께 관리하는 것이다. 분자기전은 왜 손상이 일어나는지를 설명하지만, 실제 치료전략은 임상시험

[5] Brownlee, M. (2001). Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature, 414*(6865), 813–820. https://doi.org/10.1038/414813a

[6] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 6. Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1).

[7] Brownlee, M. (2001). Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature, 414*(6865), 813–820. https://doi.org/10.1038/414813a

[8] Brownlee, M. (2001). Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature, 414*(6865), 813–820. https://doi.org/10.1038/414813a

에서 확인된 결과를 따라야 한다.[9]

4. 혈관 내피가 손상되면 무엇이 달라지는가

혈관의 안쪽을 덮고 있는 내피세포는 단순한 벽이 아니다. 혈관의 수축과 이완, 혈소판 반응, 염증세포의 이동, 물질 교환을 조절하는 적극적인 기관이다. 당뇨에서는 고혈당, 고혈압, 이상지질혈증, 흡연, 비만과 염증 같은 여러 요인이 내피기능에 동시에 부담을 줄 수 있다.[10]

작은 혈관에서 이런 변화가 오래 지속되면 망막, 신장, 말초신경처럼 미세혈관에 크게 의존하는 조직이 먼저 영향을 받기 쉽다. 반면 큰 동맥에서는 죽상경화성 변화가 진행되면서 심근경색, 뇌졸중, 말초동맥질환의 위험이 높아진다. 미세혈관 합병증과 대혈관 합병증은 서로 다른 모습으로 나타나지만, 위험인자 상당 부분을 공유한다.[11]

따라서 합병증을 장기별로 따로 관리하는 것만으로는 충분하지 않다. 혈당을 안정시키면서 혈압과 LDL 콜레스테롤, 신장기능, 체중, 흡연 여부를 함께 다루는 이유가 여기에 있다. Steno-2 연구는 제2형 당뇨병과 미세알부민뇨가 있는 고위험군에서 다요인 집중관리가 장기적으로 심혈관사건과 사망을 줄일 수 있음을 보여주었다.[12]

5. 망막은 왜 당뇨에 취약한가

망막은 매우 높은 대사활동을 유지하면서 촘촘한 미세혈관에 의존한다. 당뇨병성 망막병증에서는 모세혈관의 투과성 변화, 미세동맥류, 출혈, 허혈과 비정상적인 신생혈관 형성 등이 단계적으로 나타날 수 있다. 초기에는 증상이 없을 수 있기 때문에 시력이 괜찮다는 사실만으로 망막이 안전하다고 판단할 수 없다.[13]

[9] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

[10] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

[11] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

[12] Gaede, P., Lund-Andersen, H., Parving, H. H., & Pedersen, O. (2008). Effect of a multifactorial intervention on mortality in type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine, 358*(6), 580–591. https://doi.org/10.1056/NEJMoa0706245

[13] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes

현재 ADA는 제2형 당뇨병이 진단될 때 초기 안저평가를 시행하고, 이후 망막 상태와 위험도에 따라 정기적으로 추적할 것을 권고한다. 혈당뿐 아니라 혈압과 지질을 적절히 관리하면 망막병증의 발생이나 진행 위험을 줄이는 데 도움이 될 수 있다.[14]

망막병증이 중요한 이유는 눈에만 국한된 문제가 아니기 때문이다. 망막의 미세혈관 변화는 전신의 미세혈관 손상이 존재할 가능성을 생각하게 하는 단서가 될 수 있다. 신장질환이나 신경병증과 함께 나타나는 경우가 있어, 한 합병증이 발견되면 다른 장기의 위험도 함께 점검해야 한다.[15]

6. 신장은 왜 서서히 손상되는가

신장은 하루 종일 많은 양의 혈액을 여과한다. 당뇨에서는 사구체 내부의 압력과 대사환경이 변하면서 알부민이 소변으로 새어나오는 현상이 나타날 수 있고, 시간이 지나면 여과기능 자체가 떨어질 수 있다. 만성콩팥병은 소변 알부민 증가, eGFR 감소 또는 다른 신장 손상 소견이 지속되는 경우 진단한다.[16]

제2형 당뇨병에서는 진단 시점부터 이미 신장 손상이 존재할 수 있다. 그래서 ADA는 모든 제2형 당뇨병 환자에서 소변 알부민-크레아티닌비와 eGFR을 적어도 매년 평가하도록 권고한다. 신장질환이 확인되면 위험도에 따라 더 자주 추적하며, 혈당과 혈압 관리뿐 아니라 신장 보호효과가 확인된 약물의 사용 여부도 검토한다.[17]

신장 합병증에서 특히 중요한 점은 진행이 조용할 수 있다는 사실이다. 상당한 기능저하가 생기기 전까지 뚜렷한 통증이나 증상이 없을 수 있으므로 검사 없이 기다리는 전략은 위험하다. 반대로 초기 단계에서 알부민뇨와 eGFR 변화를 발견하면 치료와 생활관리의 강도를 조절할 수 있다.[18]

—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[14] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[15] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[16] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 11. Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S246–S260. https://doi.org/10.2337/dc26-S011

[17] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 11. Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S246–S260. https://doi.org/10.2337/dc26-S011

[18] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes.

식사 역시 신장기능을 무시하고 일률적으로 설계해서는 안 된다. 단백질, 나트륨, 칼륨과 수분 관리가 개인의 신장단계와 약물에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 식물성 케톤식을 적용하더라도 신장질환이 있는 사람에게는 일반적인 식단표를 그대로 적용하지 않고, eGFR과 알부민뇨, 혈중 칼륨 등을 확인하면서 개별화해야 한다.[19]

7. 신경은 왜 저리고 아픈가

당뇨병성 신경병증은 하나의 질환이 아니라 여러 형태의 신경 손상을 묶어 부르는 말이다. 가장 흔한 형태는 발끝에서 시작해 양쪽으로 올라오는 원위부 대칭성 다발신경병증이다. 통증, 화끈거림, 찌릿함이 나타날 수도 있지만 감각이 둔해지거나 아무 증상이 없는 경우도 있다.[20]

무증상이라는 점은 오히려 위험할 수 있다. ADA는 당뇨병성 말초신경병증의 상당 부분이 증상 없이 존재할 수 있다고 설명하며, 감각 저하를 발견하지 못하면 작은 상처나 압박을 알아채지 못해 발궤양으로 진행할 가능성이 커진다고 경고한다. 그래서 정기적인 발 검사와 감각평가가 중요하다.[21]

자율신경이 손상되면 문제는 더 넓어진다. 위장운동, 심박수 조절, 기립성 혈압, 발한, 방광기능과 성기능 등에 영향을 줄 수 있다. 신경병증의 모든 증상을 혈당 때문이라고 단정해서도 안 되며, 비타민 B12 결핍이나 갑상선질환, 신경압박처럼 치료 가능한 다른 원인을 배제해야 한다.[22]

(2026). 11. Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S246–S260. https://doi.org/10.2337/dc26-S011

[19] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 11. Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S246–S260. https://doi.org/10.2337/dc26-S011

[20] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[21] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[22] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

8. 당뇨발은 작은 상처에서 시작될 수 있다

발궤양은 단순히 피부가 약해서 생기는 문제가 아니다. 감각저하로 상처를 알아채지 못하고, 발 모양의 변형이나 반복되는 압력이 더해지며, 말초동맥질환이 있으면 회복에 필요한 혈류까지 부족해질 수 있다. 감염이 겹치면 입원이나 절단으로 이어질 위험도 커진다.[23]

ADA는 최소한 매년 종합적인 발 평가를 시행하고, 감각소실이나 과거 궤양·절단 병력이 있는 사람은 더 자주 확인할 것을 권고한다. 평소에는 발바닥과 발가락 사이를 매일 살펴보고, 신발 안쪽의 이물질이나 압박부위도 확인하는 습관이 중요하다.[24]

이 장에서 당뇨발을 강조하는 이유는 합병증 관리의 본질을 잘 보여주기 때문이다. 혈당을 낮추는 것만으로 이미 생긴 감각소실과 혈류장애가 즉시 사라지지는 않는다. 대사상태를 개선하는 노력과 함께 발 보호, 혈관평가, 감염관리와 적절한 신발 같은 현실적인 예방 조치가 동시에 필요하다.[25]

9. 심혈관질환은 당뇨에서 가장 큰 위험 가운데 하나다

당뇨병 환자에서 심혈관질환은 죽상경화성 심혈관질환과 심부전을 포함하는 중요한 합병증이다. ADA는 심근경색, 뇌졸중, 말초동맥질환 등을 포함한 죽상경화성 심혈관질환이 당뇨병 환자의 주요 질병 부담과 사망원인이라고 설명한다. 당뇨 자체뿐 아니라 고혈압, 이상지질혈증, 비만과 흡연 같은 위험요인이 함께 모이는 경우가 많다.[26]

이 때문에 심혈관 위험을 혈당 하나로 설명하면 안 된다. UKPDS에서는 집중 혈당조절의 미세혈관 이득이 뚜렷했지만 초기 연구기간의 대혈관 결과는 상대적으로 제한적이었다. 반면 Steno-2에서는 혈당과 혈압, 지질, 레닌-안지오텐신계 차단, 생활습관을 함께 관리

[23] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[24] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[25] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S261–S276. https://doi.org/10.2337/dc26-S012

[26] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

한 다요인 접근이 장기간 심혈관사건과 사망을 낮췄다.[27][28]

21년 추적된 Steno-2 결과는 초기의 집중 다요인 치료가 장기 생존과 합병증에 지속적인 영향을 줄 수 있음을 보여주었다. 이 결과는 "혈당만 좋아지면 된다"는 사고보다 "위험요인을 함께 낮춘다"는 전략이 왜 중요한지를 잘 보여준다.[29]

식물성 케톤식을 논할 때도 같은 원칙을 적용해야 한다. HbA1c가 내려갔다는 이유만으로 심혈관 위험이 자동으로 줄었다고 판단하지 않는다. LDL-C와 중성지방, HDL-C, 혈압, 체중, 신장기능과 흡연을 함께 확인하고, 필요하면 심혈관 보호효과가 입증된 약물치료를 병행해야 한다.[30]

10. 뇌와 인지기능도 당뇨의 영향을 받는다

당뇨와 뇌의 관계는 단순하지 않다. 고혈당, 저혈당, 고혈압, 뇌혈관질환, 신장질환과 염증 등 여러 요인이 인지기능에 영향을 줄 수 있다. 2026년 ADA는 당뇨가 있는 고령자가 당뇨가 없는 고령자보다 인지저하와 치매 위험이 높다고 설명하며, 65세 이상에서는 정기적인 인지기능 선별을 권고한다.[31]

인지기능 저하는 다시 당뇨관리를 어렵게 만든다. 인슐린 용량을 계산하거나 식사를 계획하고, 저혈당을 인식하며, 여러 약을 정확한 시간에 복용하는 일이 복잡해지기 때문이다. 따라서 인지기능 변화가 의심되는 사람에서는 혈당 목표를 지나치게 엄격하게 설정하기보다 저혈당을 피하고 치료계획을 단순화하는 것이 더 중요할 수 있다.[32]

---

[27] UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Group. (1998). Intensive blood-glucose control with sulphonylureas or insulin compared with conventional treatment and risk of complications in patients with type 2 diabetes (UKPDS 33). *The Lancet, 352*(9131), 837–853. PMID: 9742976.

[28] Gaede, P., Lund-Andersen, H., Parving, H. H., & Pedersen, O. (2008). Effect of a multifactorial intervention on mortality in type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine, 358*(6), 580–591. https://doi.org/10.1056/NEJMoa0706245

[29] Gæde, P., Oellgaard, J., Carstensen, B., et al. (2016). Years of life gained by multifactorial intervention in patients with type 2 diabetes mellitus and microalbuminuria: 21 years follow-up on the Steno-2 randomised trial. *Diabetologia, 59*(11), 2298–2307. https://doi.org/10.1007/s00125-016-4065-6

[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 13. Older Adults: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S277–S296.

[32] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 13. Older Adults: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S277–S296.

이 점은 식사치료에서도 중요하다. 복잡한 탄수화물 계산과 다단계 식단규칙을 스스로 관리하기 어려운 사람에게는 이론적으로 완벽한 식단보다 안전하게 지속할 수 있는 단순한 구조가 필요하다. 당뇨치료의 목표는 숫자를 아름답게 만드는 것이 아니라 실제 삶의 기능과 안전을 지키는 데 있다.[33]

11. 합병증을 늦추는 가장 현실적인 전략

당뇨 합병증을 설명하다 보면 모든 장기가 망가지는 것처럼 느껴질 수 있다. 그러나 이 장의 목적은 공포를 주는 데 있지 않다. 오히려 혈당과 혈압, 지질, 신장기능, 흡연과 생활습관을 조기에 관리하면 위험을 의미 있게 낮출 수 있다는 점을 이해하는 데 있다.[34][35]

UKPDS는 제2형 당뇨병에서 장기간의 혈당조절이 미세혈관 합병증을 줄일 수 있음을 보여주었다. ADVANCE에서도 집중 혈당조절은 주요 미세혈관 결과, 특히 신장 관련 결과에 영향을 주었다. 그러나 집중치료의 강도는 모든 사람에게 동일할 수 없으며 저혈당과 치료부담을 고려한 개별화가 필요하다.[36][37]

Steno-2가 남긴 메시지는 더 넓다. 혈당만이 아니라 혈압과 지질, 신장 위험, 생활습관을 동시에 관리했을 때 장기적인 심혈관사건과 사망까지 줄일 수 있었다. 합병증 예방은 하나의 영양소나 하나의 수치가 아니라 위험요인 전체를 낮추는 과정이다.[38][39]

따라서 앞으로 식물성 식단과 케톤식을 평가할 때도 같은 기준을

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 13. Older Adults: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S277–S296.

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

[35] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 11. Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S246–S260. https://doi.org/10.2337/dc26-S011

[36] UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Group. (1998). Intensive blood-glucose control with sulphonylureas or insulin compared with conventional treatment and risk of complications in patients with type 2 diabetes (UKPDS 33). *The Lancet, 352*(9131), 837–853. PMID: 9742976.

[37] ADVANCE Collaborative Group. (2008). Intensive blood glucose control and vascular outcomes in patients with type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine, 358*(24), 2560–2572. https://doi.org/10.1056/NEJMoa0802987

[38] Gaede, P., Lund-Andersen, H., Parving, H. H., & Pedersen, O. (2008). Effect of a multifactorial intervention on mortality in type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine, 358*(6), 580–591. https://doi.org/10.1056/NEJMoa0706245

[39] Gæde, P., Oellgaard, J., Carstensen, B., et al. (2016). Years of life gained by multifactorial intervention in patients with type 2 diabetes mellitus and microalbuminuria: 21 years follow-up on the Steno-2 randomised trial. *Diabetologia, 59*(11), 2298–2307. https://doi.org/10.1007/s00125-016-4065-6

사용한다. HbA1c가 얼마나 내려갔는지만 보지 않고 체중, 혈압, LDL-C, 중성지방, 신장기능, 약물감량, 저혈당과 지속 가능성을 함께 살핀다. 좋은 식사는 혈당을 낮추면서 다른 장기의 위험을 키우지 않아야 하며, 장기적으로 유지할 수 있어야 한다.[40][41]

제2장의 결론은 분명하다. 당뇨 합병증은 혈당에서 출발하지만 혈당만의 문제가 아니다. 미세혈관과 대혈관, 신장과 신경, 눈과 뇌가 서로 연결되어 있기 때문에 치료 역시 통합적이어야 한다. 다음 장에서는 이 통합적 대사관점에서 한 걸음 더 나아가, 인간이 포도당만이 아니라 지방과 케톤체를 어떻게 에너지원으로 사용하는지 살펴본다.[42]

제2장 각주

[40] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

[41] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 11. Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S246–S260. https://doi.org/10.2337/dc26-S011

[42] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S216–S245. https://doi.org/10.2337/dc26-S010

제3장. 포도당 대사에서 지방·케톤 대사로

1. 몸은 한 가지 연료만 쓰지 않는다

우리는 흔히 인체가 포도당을 주된 에너지원으로 사용한다고 배운다. 맞는 말이지만, 이것만으로는 인간의 에너지 대사를 충분히 설명할 수 없다. 식사를 한 직후에는 포도당 이용이 증가하지만, 식사 사이와 야간 공복에서는 간의 글리코겐과 지방산이 더 큰 역할을 한다. 공복이 길어지면 간은 지방산에서 케톤체를 만들어 뇌와 근육을 비롯한 여러 조직에 공급한다. 인간의 대사는 하나의 연료에 고정된 체계가 아니라, 영양상태에 따라 연료의 비중을 바꾸는 적응체계다.[1]

이 전환은 전등 스위치처럼 어느 순간 완전히 바뀌는 현상이 아니다. 포도당 이용이 줄어드는 동안 지방산 산화가 점차 늘고, 간의 케톤 생성도 서서히 증가한다. 따라서 '포도당 대사'와 '케톤 대사'를 서로 배타적인 두 상태로 나누기보다, 어느 연료를 얼마나 많이 사용하는지가 연속적으로 달라진다고 보는 편이 정확하다.[2]

당뇨병을 이해할 때 이 관점은 중요하다. 제2형 당뇨병에서는 혈당이 높은데도 세포 수준에서는 인슐린 신호에 대한 반응이 떨어져 연료 선택과 저장의 조절이 흐트러질 수 있다. 식사치료가 단순히 혈당 숫자를 낮추는 데서 끝나지 않고, 포도당과 지방을 오가는 대사의 유연성을 회복하는 방향으로 논의되는 이유가 여기에 있다.[3]

2. 식사를 하면 포도당은 어디로 가는가

탄수화물을 먹으면 소화된 포도당이 장에서 흡수되어 혈액으로 들어온다. 혈당이 오르면 췌장의 베타세포는 인슐린 분비를 늘리고, 인슐린은 근육과 지방조직의 포도당 이용을 촉진하는 한편 간의 포도당 생산을 억제한다. 동시에 간과 근육에서는 남는 포도당의 일부가 글리코겐으로 저장된다.[4]

[1] Cahill, G. F., Jr. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition, 26*, 1-22. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258

[2] Anton, S. D., Moehl, K., Donahoo, W. T., Marosi, K., Lee, S. A., Mainous, A. G., Leeuwenburgh, C., & Mattson, M. P. (2018). Flipping the metabolic switch: Understanding and applying the health benefits of fasting. *Obesity, 26*(2), 254-268. https://doi.org/10.1002/oby.22065

[3] Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic flexibility in health and disease. *Cell Metabolism, 25*(5), 1027-1036. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.015

[4] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

식후의 인슐린은 단순한 '혈당 저하 호르몬'이 아니다. 에너지가 들어왔다는 신호로 작용해 합성과 저장을 촉진한다. 간에서는 글리코겐 합성이 증가하고, 지방조직에서는 지방분해가 억제된다. 이 때문에 식후에는 혈중 유리지방산 공급과 케톤 생성이 자연스럽게 낮아진다.[5]

이때도 지방을 전혀 사용하지 않는 것은 아니다. 심장과 골격근을 비롯한 여러 조직은 상황에 따라 지방산과 포도당을 함께 이용한다. 핵심은 비율이다. 식후에는 인슐린이 높은 환경 때문에 탄수화물 이용과 저장이 상대적으로 우세해지고, 공복으로 갈수록 그 비율이 달라진다.[6]

3. 글리코겐은 짧은 공복을 이어주는 저장고다

글리코겐은 포도당이 가지처럼 연결된 저장형 탄수화물이다. 간과 골격근에 주로 저장되지만 역할은 서로 다르다. 간 글리코겐은 혈당을 유지하는 데 기여하는 반면, 근육 글리코겐은 주로 그 근육 자체의 수축과 에너지 생산에 사용된다.[7]

식사가 끝나고 혈중 인슐린이 낮아지기 시작하면 간은 저장해 두었던 글리코겐을 분해해 포도당을 혈액으로 내보낸다. 이를 글리코겐분해라고 한다. 덕분에 우리는 몇 시간 동안 아무것도 먹지 않아도 혈당을 일정 범위 안에서 유지할 수 있다.[8]

하지만 글리코겐 저장량은 무한하지 않다. 공복이 길어질수록 간 글리코겐의 기여는 줄고, 젖산과 글리세롤, 일부 아미노산을 이용해 새로운 포도당을 만드는 포도당신생의 비중이 커진다. 이 변화는 뇌의 일부 기능과 적혈구처럼 포도당 의존성이 높은 조직에 필요한 포도당을 계속 공급하기 위한 적응이다.[9]

[5] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[6] Anton, S. D., Moehl, K., Donahoo, W. T., Marosi, K., Lee, S. A., Mainous, A. G., Leeuwenburgh, C., & Mattson, M. P. (2018). Flipping the metabolic switch: Understanding and applying the health benefits of fasting. *Obesity, 26*(2), 254-268. https://doi.org/10.1002/oby.22065

[7] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[8] Cahill, G. F., Jr. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition, 26*, 1-22. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258

[9] Cahill, G. F., Jr. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition, 26*, 1-22. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258

4. 공복이 시작되면 호르몬의 방향이 달라진다

공복이 이어지면 인슐린 농도는 낮아지고, 글루카곤을 비롯한 대항 호르몬의 상대적 영향은 커진다. 특히 인슐린과 글루카곤의 비율이 낮아지는 것은 간의 포도당 생산과 지방산 산화, 케톤 생성이 증가할 수 있는 환경을 만든다.[10]

고전적인 장기 공복 연구에서는 글루카곤이 공복 초기 상승하고 이후에도 식후 상태보다 높은 수준을 유지하는 패턴이 관찰되었다. 그러나 장기 공복의 대사적 적응은 글루카곤 하나로 설명할 수 없다. 인슐린 감소, 지방조직의 지방분해, 간의 지방산 유입, 에너지 요구량 변화가 함께 작용한다.[11]

여기서 중요한 것은 '공복' 자체보다 호르몬과 기질의 변화다. 같은 시간 동안 음식을 먹지 않았더라도 이전 식사의 탄수화물 양, 운동량, 간 글리코겐 상태, 인슐린 감수성에 따라 지방산과 케톤체가 증가하는 속도는 달라질 수 있다. 따라서 개인마다 케톤이 올라오는 시간이 다른 것은 이상한 현상이 아니다.[12]

5. 지방조직은 에너지를 꺼내 쓰기 시작한다

인슐린이 낮아지면 지방조직에서 저장 중성지방을 지방산과 글리세롤로 분해하는 지방분해가 쉬워진다. 이 과정에서 나온 유리지방산은 혈액을 통해 간과 근육 등으로 이동하고, 글리세롤은 간에서 포도당신생의 재료로 이용될 수 있다.[13]

이 변화는 공복 대사의 핵심이다. 포도당 공급이 줄어드는 상황에서 지방조직은 장기간 저장해 둔 에너지를 혈액으로 방출한다. 지방산은 많은 조직에서 직접 연료로 사용되고, 간으로 들어간 지방산의 일부는 케톤체 생산의 재료가 된다.[14]

[10] Marliss, E. B., Aoki, T. T., Unger, R. H., Soeldner, J. S., & Cahill, G. F., Jr. (1970). Glucagon levels and metabolic effects in fasting man. *Journal of Clinical Investigation, 49*(12), 2256-2270. https://doi.org/10.1172/JCI106445

[11] Marliss, E. B., Aoki, T. T., Unger, R. H., Soeldner, J. S., & Cahill, G. F., Jr. (1970). Glucagon levels and metabolic effects in fasting man. *Journal of Clinical Investigation, 49*(12), 2256-2270. https://doi.org/10.1172/JCI106445

[12] Anton, S. D., Moehl, K., Donahoo, W. T., Marosi, K., Lee, S. A., Mainous, A. G., Leeuwenburgh, C., & Mattson, M. P. (2018). Flipping the metabolic switch: Understanding and applying the health benefits of fasting. *Obesity, 26*(2), 254-268. https://doi.org/10.1002/oby.22065

[13] Fukao, T., Lopaschuk, G. D., & Mitchell, G. A. (2004). Pathways and control of ketone body metabolism: On the fringe of lipid biochemistry. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 70*(3), 243-251. https://doi.org/10.1016/j.plefa.2003.11.001

[14] Fukao, T., Lopaschuk, G. D., & Mitchell, G. A. (2004). Pathways and control of ketone body metabolism: On the fringe of lipid biochemistry. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 70*(3), 243-251. https://doi.org/10.1016/

지방분해가 증가한다고 해서 모든 지방산이 곧바로 케톤체가 되는 것은 아니다. 일부는 근육과 심장 등에서 직접 산화되고, 일부는 간에서 다시 중성지방으로 조립되거나 다른 지질 대사에 사용된다. 케톤 생성은 지방산 대사의 여러 갈래 가운데 하나이며, 간 미토콘드리아의 대사환경이 그 방향을 결정한다.[15]

6. β-산화는 지방산을 잘게 잘라 에너지로 바꾸는 과정이다

지방산은 미토콘드리아 안에서 β-산화 과정을 거쳐 두 탄소 단위의 아세틸-CoA로 분해된다. 동시에 NADH와 FADH2가 만들어지고, 이들은 전자전달계에 전자를 제공해 ATP 생산에 기여한다. 지방이 높은 에너지 밀도를 갖는 이유는 이 환원력이 풍부하기 때문이다.[16]

긴 사슬 지방산이 미토콘드리아 안으로 들어가는 과정에는 카르니틴 셔틀이 관여한다. 그중 CPT1은 중요한 조절 지점이며, 말로닐-CoA가 높으면 CPT1이 억제되어 지방산의 미토콘드리아 유입이 감소한다. 반대로 공복과 탄수화물 제한에서는 지방산 산화에 유리한 방향으로 조절이 이동한다.[17]

간에서 β-산화가 활발해지면 아세틸-CoA가 많이 생성된다. 식후라면 상당 부분이 TCA 회로로 들어가지만, 공복에서는 옥살로아세트산이 포도당신생에 사용되는 비중이 커질 수 있다. 이때 남는 아세틸-CoA가 케톤 생성으로 향하면서 간의 케톤체 생산이 증가한다.[18]

7. 간은 지방을 케톤체라는 운반 가능한 연료로 바꾼다

케톤 생성은 주로 간 미토콘드리아에서 일어난다. 여러 분자의 아세틸-CoA가 결합해 HMG-CoA를 거친 뒤 아세토아세테이트가 만

j.plefa.2003.11.001

[15] Fukao, T., Lopaschuk, G. D., & Mitchell, G. A. (2004). Pathways and control of ketone body metabolism: On the fringe of lipid biochemistry. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 70*(3), 243-251. https://doi.org/10.1016/j.plefa.2003.11.001

[16] Fukao, T., Lopaschuk, G. D., & Mitchell, G. A. (2004). Pathways and control of ketone body metabolism: On the fringe of lipid biochemistry. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 70*(3), 243-251. https://doi.org/10.1016/j.plefa.2003.11.001

[17] Fukao, T., Lopaschuk, G. D., & Mitchell, G. A. (2004). Pathways and control of ketone body metabolism: On the fringe of lipid biochemistry. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 70*(3), 243-251. https://doi.org/10.1016/j.plefa.2003.11.001

[18] Fukao, T., Lopaschuk, G. D., & Mitchell, G. A. (2004). Pathways and control of ketone body metabolism: On the fringe of lipid biochemistry. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 70*(3), 243-251. https://doi.org/10.1016/j.plefa.2003.11.001

들어지고, 아세토아세테이트는 β-하이드록시부티레이트로 전환되거나 일부가 아세톤이 된다. 이 경로에서 미토콘드리아 HMG-CoA synthase 2, 즉 HMGCS2는 중요한 조절효소다.[19]

케톤체는 수용성이어서 지방산보다 혈액을 통해 이동하기 쉽다. 간은 지방산을 받아 케톤체로 바꾸고, 이를 다른 장기로 보내는 일종의 연료 가공소처럼 작동한다. 특히 탄수화물 공급이 낮고 인슐린이 낮은 상태에서는 이 기능의 중요성이 커진다.[20]

흥미롭게도 간은 자신이 만든 케톤체를 효율적으로 사용할 수 없다. 케톤체 이용에 필요한 핵심 효소인 SCOT가 간에서는 사실상 발현되지 않기 때문이다. 따라서 간은 케톤체를 생산해 혈액으로 내보내고, 심장과 근육, 신장, 뇌 같은 간 밖의 조직이 이를 받아 산화한다.[21]

8. 케톤체 세 가지는 서로 같은 역할을 하지 않는다

생리적으로 중요한 케톤체는 아세토아세테이트, β-하이드록시부티레이트, 아세톤이다. 이 가운데 β-하이드록시부티레이트는 엄밀한 화학적 의미에서는 케톤기가 없는 하이드록시산이지만, 대사생리에서는 케톤체에 포함해 다룬다. 공복이나 영양적 케토시스에서 혈액으로 가장 많이 증가하는 형태도 대개 β-하이드록시부티레이트다.[22]

아세토아세테이트와 β-하이드록시부티레이트는 서로 전환될 수 있으며, 그 비율은 간 미토콘드리아의 산화환원 상태를 반영한다. 반면 아세톤은 아세토아세테이트의 비효소적 탈탄산으로 만들어지고 상당 부분이 호흡으로 배출된다. 케톤 상태에서 숨에서 특유의 냄새가 날 수 있는 이유가 여기에 있다.[23]

케톤체를 '지방이 타고 남은 찌꺼기'라고 부르는 것은 정확하지 않다. 아세토아세테이트와 β-하이드록시부티레이트는 다른 조직으로

[19] Fukao, T., Lopaschuk, G. D., & Mitchell, G. A. (2004). Pathways and control of ketone body metabolism: On the fringe of lipid biochemistry. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 70*(3), 243-251. https://doi.org/10.1016/j.plefa.2003.11.001

[20] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional roles of ketone bodies in fuel metabolism, signaling, and therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[21] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional roles of ketone bodies in fuel metabolism, signaling, and therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[22] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional roles of ketone bodies in fuel metabolism, signaling, and therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[23] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional roles of ketone bodies in fuel metabolism, signaling, and therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

이동해 다시 아세틸-CoA로 전환되고 TCA 회로에서 산화되어 ATP 생산에 사용된다. 최근에는 β-하이드록시부티레이트가 연료뿐 아니라 세포 신호와 유전자 발현 조절에도 관여할 가능성이 활발히 연구되고 있다.[24]

9. 뇌는 공복이 길어지면 케톤을 적극적으로 사용한다

뇌는 평상시 포도당 의존도가 높은 기관이지만 장기 공복에서는 상황이 달라진다. 1967년 Owen과 동료들은 5 6주 동안 공복 상태에 있던 사람의 뇌 대사를 직접 측정해 β-하이드록시부티레이트와 아세토아세테이트가 뇌의 주요 연료로 사용될 수 있음을 보여주었다. 이 연구는 인간 뇌가 장기 공복에서 케톤체를 적극적으로 이용한다는 고전적 근거가 되었다.[25]

뇌가 케톤을 이용한다는 것은 포도당이 완전히 필요 없어졌다는 뜻이 아니다. 적혈구처럼 미토콘드리아가 없는 세포는 케톤체를 산화할 수 없고, 뇌에서도 일부 포도당 이용은 계속된다. 다만 공복이 길어질수록 뇌의 케톤 이용이 증가하면서 전체 포도당 요구량이 줄어든다.[26]

이 변화는 생존에 매우 중요하다. 뇌가 끝까지 포도당만 요구한다면 간은 더 많은 아미노산을 이용해 포도당을 만들어야 하고, 그만큼 근육 단백질 손실이 커질 수 있다. 케톤체 이용이 늘어남으로써 포도당신생을 위한 아미노산 요구량이 줄고, 장기 공복에서 단백질을 보존하는 데 도움이 된다.[27]

10. 케톤 적응은 단백질을 지키는 전략이기도 하다

공복 초기에는 간의 포도당신생에 아미노산이 상당 부분 사용될 수 있다. 그러나 공복이 길어지고 케톤 농도가 높아지면 뇌가 케톤을 더 많이 이용한다. 그 결과 포도당신생에 필요한 아미노산의 양이 줄어

[24] Newman, J. C., & Verdin, E. (2017). β-Hydroxybutyrate: A signaling metabolite. *Annual Review of Nutrition, 37*, 51-76. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064916

[25] Owen, O. E., Morgan, A. P., Kemp, H. G., Sullivan, J. M., Herrera, M. G., & Cahill, G. F., Jr. (1967). Brain metabolism during fasting. *Journal of Clinical Investigation, 46*(10), 1589-1595. https://doi.org/10.1172/JCI105650

[26] Cahill, G. F., Jr. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition, 26*, 1-22. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258

[27] Cahill, G. F., Jr. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition, 26*, 1-22. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258

들고, 소변으로 배출되는 질소도 감소하는 방향으로 적응한다.[28]

이 과정을 단순히 '근육이 전혀 분해되지 않는다'고 표현하면 과장이다. 장기 공복에서도 단백질 대사는 계속되고, 개인의 체지방량과 건강상태에 따라 위험도 다르다. 핵심은 케톤 이용의 증가가 포도당 요구량을 줄여 단백질 손실의 속도를 완화하는 생리적 적응이라는 점이다.[29]

식물성 케톤식을 논할 때 이 원리를 그대로 장기 단식에 적용해서는 안 된다. 식사로 단백질과 미량영양소를 공급하는 케톤식은 완전 공복과 대사조건이 다르다. 공복 연구는 인간이 연료를 전환하는 기본 생리를 보여주는 자료이며, 실제 식단의 안전성과 효과는 별도의 임상시험으로 평가해야 한다.[30]

11. 케톤체는 연료이면서 신호분자이기도 하다

β-하이드록시부티레이트는 단순히 ATP를 만들기 위한 탄소 연료로만 작용하지 않는다. 세포의 수용체와 효소, 유전자 조절 과정에 영향을 줄 수 있다는 연구가 축적되면서 '신호 대사물질'이라는 개념이 제시되었다. 대표적으로 일부 히스톤 탈아세틸화효소의 조절, 염증 관련 경로, 산화스트레스 반응과의 연관성이 연구되고 있다.[31]

다만 이 분야는 임상적 해석에 주의가 필요하다. 세포와 동물에서 확인된 신호효과가 곧바로 사람의 질병 치료효과를 의미하지는 않는다. β-하이드록시부티레이트의 농도, 노출시간, 조직 종류와 대사상태가 모두 다르기 때문이다. 따라서 이 책에서는 케톤의 신호기능을 흥미로운 기전적 근거로 다루되, 임상효과는 인간 연구와 분리해 평가한다.[32]

이 구분은 매우 중요하다. '케톤이 염증 신호에 영향을 준다'는 생화학적 관찰과 '케톤식이 특정 질환을 치료한다'는 임상 주장은 증거의 단계가 다르다. 우리는 이후 당뇨 임상연구를 검토할 때 HbA1c

[28] Cahill, G. F., Jr. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition, 26*, 1-22. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258

[29] Cahill, G. F., Jr. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition, 26*, 1-22. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258

[30] Anton, S. D., Moehl, K., Donahoo, W. T., Marosi, K., Lee, S. A., Mainous, A. G., Leeuwenburgh, C., & Mattson, M. P. (2018). Flipping the metabolic switch: Understanding and applying the health benefits of fasting. *Obesity, 26*(2), 254-268. https://doi.org/10.1002/oby.22065

[31] Newman, J. C., & Verdin, E. (2017). β-Hydroxybutyrate: A signaling metabolite. *Annual Review of Nutrition, 37*, 51-76. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064916

[32] Newman, J. C., & Verdin, E. (2017). β-Hydroxybutyrate: A signaling metabolite. *Annual Review of Nutrition, 37*, 51-76. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064916

와 약물감량, 체중, 지질, 관해, 이상반응 같은 실제 사람의 결과를 우선한다.[33]

12. 영양적 케토시스와 당뇨성 케톤산증은 같은 상태가 아니다

탄수화물 제한이나 공복에서 나타나는 영양적 케토시스와 당뇨성 케톤산증은 모두 혈중 케톤체가 증가한다는 공통점이 있다. 그러나 대사적 맥락은 크게 다르다. 영양적 케토시스에서는 인슐린 작용이 완전히 소실되지 않아 케톤 생성에 제동이 남아 있지만, 당뇨성 케톤산증에서는 심한 인슐린 결핍과 대항호르몬 증가가 겹치면서 케톤 생성과 산증이 병적으로 진행할 수 있다.[34]

따라서 '케톤이 검출된다'는 사실만으로 위험하다고 판단할 수도 없고, 반대로 모든 케톤 상승을 안전하다고 볼 수도 없다. 혈당, 혈중 β-하이드록시부티레이트, 산-염기 상태, 증상과 약물 사용을 함께 봐야 한다. 특히 제1형 당뇨병이나 SGLT2 억제제를 사용하는 사람에게서는 정상 또는 크게 높지 않은 혈당에서도 케톤산증이 발생할 수 있으므로 별도의 주의가 필요하다.[35]

이 책에서 식물성 케톤식을 다룰 때도 안전성은 독립된 축으로 관리한다. 케톤 생성 자체를 목표로 삼기보다 혈당과 약물, 신장기능, 수분과 전해질, 임상증상을 함께 보면서 개인의 대사반응을 평가해야 한다. '더 높은 케톤이 항상 더 좋다'는 식의 단순한 목표설정은 과학적으로도 적절하지 않다.[36]

13. 대사 유연성은 연료를 바꾸는 능력이다

대사 유연성은 영양상태와 에너지 요구에 따라 포도당과 지방산 같은 연료의 사용 비율을 적절하게 바꾸는 능력을 뜻한다. 식사를 한 뒤에는 탄수화물 산화가 증가하고, 공복이나 운동 중에는 지방산 산

[33] Newman, J. C., & Verdin, E. (2017). β-Hydroxybutyrate: A signaling metabolite. *Annual Review of Nutrition, 37*, 51-76. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064916

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 6. Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1).

[35] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 6. Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1).

[36] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). 6. Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1).

화가 증가하는 것이 정상적인 적응의 한 모습이다.[37]

비만과 인슐린 저항성에서는 이런 전환 능력이 둔화될 수 있다는 연구가 있다. 대표적으로 골격근이 식후와 공복의 기질 변화에 충분히 반응하지 못하는 현상이 '대사적 경직성'으로 설명되어 왔다. 다만 대사 유연성은 하나의 검사수치로 완전히 표현되는 개념이 아니라, 인슐린 감수성, 미토콘드리아 기능, 에너지 균형과 신체활동을 함께 고려해야 하는 생리적 틀이다.[38]

식물성 케톤식의 의미도 여기에서 찾을 수 있다. 목표는 몸을 평생 케톤에 고정하는 것이 아니라, 과도한 포도당 의존과 지속적인 고인슐린 환경을 줄이면서 지방산과 케톤을 사용할 수 있는 대사능력을 회복하는 데 있다. 이후 장에서는 인슐린이 낮아질 때 AMPK와 mTOR, 자가포식, 미토콘드리아 같은 세포 수준의 조절축이 어떻게 달라지는지 살펴본다.[39]

제3장 각주

[37] Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic flexibility in health and disease. *Cell Metabolism, 25*(5), 1027-1036. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.015

[38] Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic flexibility in health and disease. *Cell Metabolism, 25*(5), 1027-1036. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.015

[39] Anton, S. D., Moehl, K., Donahoo, W. T., Marosi, K., Lee, S. A., Mainous, A. G., Leeuwenburgh, C., & Mattson, M. P. (2018). Flipping the metabolic switch: Understanding and applying the health benefits of fasting. *Obesity, 26*(2), 254-268. https://doi.org/10.1002/oby.22065

제4장. 인슐린이 낮아질 때 몸은 어떻게 변하는가

1. 인슐린은 혈당만 낮추는 호르몬이 아니다

인슐린은 혈당을 낮추는 호르몬으로 알려져 있다. 그러나 실제 역할은 더 넓다. 식후에 들어온 에너지를 세포가 사용하고 저장하도록 방향을 정하는 대사 신호에 가깝다. 근육에서는 포도당 이용과 글리코겐 합성을 돕고, 간에서는 포도당 생산을 억제한다. 지방조직에서는 지방분해를 강하게 억제한다.[1]

따라서 인슐린이 낮아진다는 것은 단순히 혈중 호르몬 농도가 떨어지는 사건이 아니다. 저장 중심으로 기울어 있던 대사의 방향이 조금씩 바뀐다는 뜻이다. 식사 사이의 공복이나 운동, 탄수화물 공급 감소처럼 에너지 환경이 달라지면 지방산 동원과 산화가 상대적으로 쉬워진다.[2]

여기서 한 가지는 분명히 해야 한다. 인슐린 자체가 '나쁜 호르몬'인 것은 아니다. 생존과 성장에 반드시 필요하며, 제1형 당뇨병처럼 인슐린 작용이 심하게 부족하면 생명을 위협하는 케톤산증이 생길 수 있다. 중요한 것은 인슐린을 무조건 낮추는 일이 아니라, 필요한 때 적절히 분비되고 필요한 조직이 잘 반응하도록 만드는 것이다.[3]

2. 지방조직의 문이 열리면 저장지방이 움직이기 시작한다

지방조직의 중성지방은 장기간 사용할 수 있는 에너지 저장고다. 식후에는 인슐린이 지방분해를 억제해 저장된 지방산이 혈액으로 과도하게 흘러나오는 것을 막는다. 공복으로 들어가 인슐린의 억제효과가 약해지면, 중성지방은 지방산과 글리세롤로 분해되기 쉬워진다.[4]

이때 혈액으로 나온 지방산은 근육과 심장, 간으로 이동한다. 여러

[1] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[2] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[3] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[4] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

조직은 지방산을 직접 산화해 ATP를 만들고, 간은 일부 지방산을 케톤체 생산에 이용한다. 글리세롤은 간으로 가서 포도당신생의 재료가 될 수 있다. 제3장에서 살펴본 연료 전환이 실제로 시작되는 지점이다.[5]

그러나 지방산이 많이 나온다고 항상 좋은 것은 아니다. 에너지 과잉과 인슐린 저항성이 지속되면 지방산 유입이 간과 근육의 처리능력을 넘어설 수 있다. 이때 이소성 지방과 일부 지질 중간체가 축적되면서 인슐린 신호가 더 약해질 수 있다. 지방 동원은 에너지 소비와 산화능력 안에서 해석해야 한다.[6]

3. 간에서는 지방산 산화와 케톤생성의 비중이 커진다

인슐린 농도가 낮아지고 지방산 공급이 늘면 간은 지방산을 더 많이 받아들인다. 미토콘드리아의 β-산화가 증가하면 아세틸-CoA와 환원력이 만들어지고, 에너지 상태와 옥살로아세트산의 이용 방향에 따라 케톤생성으로 흐르는 탄소의 비중도 커질 수 있다.[7]

하지만 간 대사는 한 방향으로만 움직이지 않는다. 인슐린 저항성이 심한 간에서는 포도당 생산 억제가 충분하지 않은데도 지방합성이 계속되는 '선택적 인슐린 저항성'이 관찰될 수 있다. 그래서 혈중 인슐린이 높다고 간의 모든 인슐린 작용이 강한 것도 아니며, 반대로 인슐린을 낮췄다고 간 대사가 즉시 정상화되는 것도 아니다.[8]

실제 회복에는 에너지 균형과 간지방의 감소가 중요하다. 제2형 당뇨병 관해 연구에서는 상당한 체중감량 뒤 간지방이 빠르게 감소했고, 일부 대상자에서는 정상에 가까운 혈당조절이 회복되었다. 다만 관해 여부는 췌장 베타세포가 기능을 회복할 수 있는 정도에도 영향을 받았다.[9]

[5] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[6] Samuel, V. T., & Shulman, G. I. (2016). The pathogenesis of insulin resistance: Integrating signaling pathways and substrate flux. *Journal of Clinical Investigation, 126*(1), 12-22. https://doi.org/10.1172/JCI77812

[7] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[8] Samuel, V. T., & Shulman, G. I. (2016). The pathogenesis of insulin resistance: Integrating signaling pathways and substrate flux. *Journal of Clinical Investigation, 126*(1), 12-22. https://doi.org/10.1172/JCI77812

[9] Taylor, R., Al-Mrabeh, A., Zhyzhneuskaya, S., Peters, C., Barnes, A. C., Aribisala, B. S., Hollingsworth, K. G., Mathers, J. C., Sattar, N., & Lean, M. E. J. (2018). Remission of human type 2 diabetes requires decrease in liver and pancreas fat content but is dependent upon capacity for β cell recovery. *Cell Metabolism, 28*(4), 547-556.e3. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.07.003

4. AMPK는 세포 안의 에너지 부족을 감지한다

세포는 ATP를 계속 사용한다. ATP 공급이 소비를 따라가지 못하면 AMP와 ADP가 상대적으로 증가한다. AMPK는 이런 변화를 감지하는 대표적인 에너지 센서다. 활성화된 AMPK는 ATP를 만드는 분해경로를 촉진하고, 많은 에너지를 소비하는 합성경로는 억제하는 방향으로 작용한다.[10]

따라서 AMPK를 단순한 '지방 연소 스위치'라고 부르는 것은 충분하지 않다. AMPK는 지방산 산화뿐 아니라 포도당 이용, 단백질과 지질 합성, 세포 성장, 미토콘드리아와 같은 여러 과정에 연결된다. 최근 연구는 AMPK가 ATP·AMP뿐 아니라 포도당과 글리코겐, 지방산 상태와도 연결되는 복합적인 감지체계임을 보여준다.[11]

운동은 AMPK를 이해하기 좋은 예다. 근육 수축으로 ATP 사용이 빠르게 늘면 AMPK 신호가 활성화될 수 있다. 골격근 연구에서는 AMPK가 PGC-1α를 직접 인산화해 산화대사와 미토콘드리아 관련 유전자 프로그램에 연결될 수 있음이 제시되었다.[12]

5. mTORC1은 성장할 수 있는 환경인지 묻는다

AMPK가 에너지 부족을 감지하는 축이라면, mTORC1은 성장과 합성이 가능한 환경인지 판단하는 축에 가깝다. mTORC1은 아미노산, 성장인자, 에너지 상태와 같은 신호를 통합한다. 활성화되면 단백질과 지질, 핵산 합성을 촉진하고 세포 성장에 필요한 물질생산을 지원한다.[13]

mTORC1도 '나쁜 신호'가 아니다. 근육을 만들고 상처를 회복하며 세포가 성장하려면 합성 신호가 필요하다. 문제는 활성과 억제가 적절히 교대하지 못하는 상황이다. 영양이 풍부한 시간에는 합성이 필요하고, 에너지가 부족한 시간에는 보존과 재활용이 필요하다.[14]

[10] Hardie, D. G., Ross, F. A., & Hawley, S. A. (2012). AMPK: A nutrient and energy sensor that maintains energy homeostasis. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 13*, 251-262. https://doi.org/10.1038/nrm3311

[11] Steinberg, G. R., & Hardie, D. G. (2023). New insights into activation and function of the AMPK. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 24*, 255-272. https://doi.org/10.1038/s41580-022-00547-x

[12] Jäger, S., Handschin, C., St-Pierre, J., & Spiegelman, B. M. (2007). AMP-activated protein kinase (AMPK) action in skeletal muscle via direct phosphorylation of PGC-1α. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(29), 12017-12022. https://doi.org/10.1073/pnas.0705070104

[13] Saxton, R. A., & Sabatini, D. M. (2017). mTOR signaling in growth, metabolism, and disease. *Cell, 168*(6), 960-976. https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.02.004

[14] Saxton, R. A., & Sabatini, D. M. (2017). mTOR signaling in growth, metabolism, and disease. *Cell, 168*(6), 960-976. https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.02.004

이 점에서 대사는 항상성의 문제다. 식사와 공복, 활동과 휴식이 반복되면서 합성과 분해의 비율도 달라진다. 건강한 대사는 한쪽 신호를 영구적으로 끄는 것이 아니라, 상황에 맞게 서로 다른 프로그램을 사용할 수 있어야 한다.[15]

6. AMPK와 mTORC1은 서로 반대편에만 서 있지 않는다

에너지가 부족하면 AMPK는 TSC2와 raptor 같은 조절요소를 통해 mTORC1 활성을 낮출 수 있다. 이 작용은 세포가 ATP가 부족한 상황에서 성장과 대규모 합성을 계속하지 않도록 하는 대사적 제동장치로 이해할 수 있다.[16]

그러나 실제 신호망은 단순한 'AMPK 켜짐, mTOR 꺼짐' 구조보다 복잡하다. 조직과 영양상태, 운동, 아미노산 공급, 성장인자에 따라 두 경로의 활성은 다르게 조절될 수 있다. 같은 사람에서도 근육과 간, 지방조직의 반응은 같지 않다.[17]

따라서 식물성 케톤식을 설명하면서 AMPK를 무조건 높이고 mTOR를 무조건 낮춰야 한다고 주장해서는 안 된다. 회복과 근육 유지에는 충분한 단백질과 합성 신호가 필요하다. 반대로 에너지 과잉이 지속될 때는 분해와 재활용에 필요한 시간이 줄어들 수 있다.[18]

7. 자가포식은 세포 안의 재활용 시스템이다

자가포식은 세포질의 단백질이나 세포소기관을 리소좀으로 보내 분해하고 재활용하는 보존된 세포 과정이다. 손상된 구성요소를 제거하고, 영양 스트레스에서 내부 자원을 다시 사용하는 데 관여한다. 이 과정은 기초상태에서도 일어나며 여러 스트레스 상황에서 조절된다.[19]

가장 많이 연구된 형태가 거대자가포식이다. 막 구조가 세포질의

[15] Saxton, R. A., & Sabatini, D. M. (2017). mTOR signaling in growth, metabolism, and disease. *Cell, 168*(6), 960-976. https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.02.004

[16] Hardie, D. G., Ross, F. A., & Hawley, S. A. (2012). AMPK: A nutrient and energy sensor that maintains energy homeostasis. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 13*, 251-262. https://doi.org/10.1038/nrm3311

[17] Steinberg, G. R., & Hardie, D. G. (2023). New insights into activation and function of the AMPK. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 24*, 255-272. https://doi.org/10.1038/s41580-022-00547-x

[18] Saxton, R. A., & Sabatini, D. M. (2017). mTOR signaling in growth, metabolism, and disease. *Cell, 168*(6), 960-976. https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.02.004

[19] Levine, B., & Kroemer, G. (2019). Biological functions of autophagy genes: A disease perspective. *Cell, 176*(1-2), 11-42. https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.09.048

일부를 둘러싸 자가포식소체를 만들고, 이후 리소좀과 융합해 내용물을 분해한다. 분해된 아미노산과 지방산 등은 다시 세포 대사에 이용될 수 있다.[20]

자가포식의 목적을 '노폐물을 청소하는 것' 하나로만 설명하면 부족하다. 단백질 품질관리와 세포소기관 교체, 감염 방어, 대사 적응 등 기능이 넓다. 반대로 자가포식이 많을수록 항상 좋은 것도 아니다. 질환과 조직에 따라 과도하거나 비정상적인 자가포식이 해로울 수도 있다.[21]

8. AMPK·mTOR·ULK1은 자가포식의 입구에서 만난다

영양 상태는 자가포식 시작 단계와 연결된다. mTORC1은 영양이 충분할 때 ULK1 복합체를 억제하는 방향으로 작용한다. 반대로 에너지 스트레스에서는 AMPK가 mTORC1을 억제하고 ULK1을 직접 조절해 자가포식 시작에 유리한 신호를 만들 수 있다.[22]

이 관계는 세포가 왜 굶주림에 적응할 수 있는지를 보여준다. 외부에서 들어오는 영양소가 줄면 합성을 계속하는 대신, 내부 자원을 재배치하고 손상된 구성요소를 처리하는 방향으로 대사 우선순위가 바뀔 수 있다. AMPK와 mTORC1, ULK1은 그 변화를 연결하는 중요한 신호축이다.[23]

다만 이 경로를 사람의 식사시간과 기계적으로 대응시키면 안 된다. '몇 시간 공복이면 자가포식이 시작된다'는 하나의 숫자를 모든 사람에게 적용할 근거는 부족하다. 조직마다 반응이 다르고, 사람에서 자가포식 흐름을 직접 측정하는 일도 쉽지 않다.[24]

[20] Levine, B., & Kroemer, G. (2019). Biological functions of autophagy genes: A disease perspective. *Cell, 176*(1-2), 11-42. https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.09.048

[21] Levine, B., & Kroemer, G. (2019). Biological functions of autophagy genes: A disease perspective. *Cell, 176*(1-2), 11-42. https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.09.048

[22] Kim, J., Kundu, M., Viollet, B., & Guan, K.-L. (2011). AMPK and mTOR regulate autophagy through direct phosphorylation of Ulk1. *Nature Cell Biology, 13*(2), 132-141. https://doi.org/10.1038/ncb2152

[23] Kim, J., Kundu, M., Viollet, B., & Guan, K.-L. (2011). AMPK and mTOR regulate autophagy through direct phosphorylation of Ulk1. *Nature Cell Biology, 13*(2), 132-141. https://doi.org/10.1038/ncb2152

[24] Dethlefsen, M. M., Bertholdt, L., Gudiksen, A., Stankiewicz, T., Bangsbo, J., van Hall, G., Plomgaard, P., & Pilegaard, H. (2018). Training state and skeletal muscle autophagy in response to 36 h of fasting. *Journal of Applied Physiology, 125*(5), 1609-1619. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01146.2017

9. 사람에게서 공복과 자가포식을 측정하는 일은 생각보다 어렵다

세포와 동물 연구에서는 영양 결핍이 자가포식을 유도한다는 근거가 풍부하다. 그러나 사람에서는 조직을 반복해서 채취하기 어렵고, LC3나 p62 같은 한 시점의 표지자만으로 전체 자가포식 흐름을 판단하기 어렵다. 생성과 분해가 동시에 바뀔 수 있기 때문이다.[25]

사람의 골격근을 반복 생검한 연구에서는 36시간 공복이 자가포식 관련 일부 단백질과 신호에 영향을 주었다. 그러나 변화는 훈련 상태에 따라 달랐고, 연구진도 사람 골격근의 자가포식 반응이 단순하거나 일관된 형태는 아니라고 해석했다.[26]

따라서 이 책에서는 '18시간이면 시작', '24시간이면 최고'처럼 자가포식 시간을 단정하지 않는다. 공복과 열량 제한이 자가포식 조절에 관여한다는 기전적 근거는 인정하되, 사람에게서 어느 시간에 어느 장기에서 어느 정도 증가하는지는 아직 불확실한 부분이 많다고 본다.[27]

10. 미토콘드리아는 단순한 발전소가 아니다

미토콘드리아는 탄수화물과 지방산에서 얻은 환원력을 이용해 ATP를 만드는 중심 소기관이다. 동시에 대사 기질 선택과 산화환원 상태, 세포 신호에 깊이 관여한다. 그래서 미토콘드리아의 양만큼이나 기능과 품질관리가 중요하다.[28]

AMPK는 산화대사 적응과 미토콘드리아 관련 유전자 조절에 연결된다. 골격근에서는 PGC-1α가 이 과정의 중요한 전사 공동활성자로 연구되어 왔다. 하지만 사람에서 미토콘드리아 생합성이 하나의 경로만으로 설명되지는 않는다. 운동과 영양상태, 칼슘 신호 등 여러 자극이 함께 작용한다.[29]

[25] Levine, B., & Kroemer, G. (2019). Biological functions of autophagy genes: A disease perspective. *Cell, 176*(1-2), 11-42. https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.09.048

[26] Dethlefsen, M. M., Bertholdt, L., Gudiksen, A., Stankiewicz, T., Bangsbo, J., van Hall, G., Plomgaard, P., & Pilegaard, H. (2018). Training state and skeletal muscle autophagy in response to 36 h of fasting. *Journal of Applied Physiology, 125*(5), 1609-1619. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01146.2017

[27] Shabkhizan, R., Haiaty, S., Moslehian, M. S., Bazmani, A., Sadeghsoltani, F., Saghaei Bagheri, H., Rahbarghazi, R., & Sakhinia, E. (2023). The beneficial and adverse effects of autophagic response to caloric restriction and fasting. *Advances in Nutrition, 14*(5), 1211-1225. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.07.006

[28] Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic flexibility in health and disease. *Cell Metabolism, 25*(5), 1027-1036. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.015

[29] Jäger, S., Handschin, C., St-Pierre, J., & Spiegelman, B. M. (2007). AMP-activated protein kinase (AMPK) action in skeletal muscle via direct phosphorylation of PGC-1α.

손상된 미토콘드리아를 선택적으로 제거하는 과정은 미토파지라고 부른다. 미토파지는 미토콘드리아 품질관리의 한 축이며, 새로운 미토콘드리아 형성과 균형을 이루어야 한다. 단순히 미토콘드리아 수를 늘리는 것보다 오래된 구성요소를 적절히 교체하는 과정도 중요하다.[30]

11. 인슐린 저항성에서는 지방의 '양'뿐 아니라 '위치'가 중요하다

비만이나 제2형 당뇨병에서는 지방조직 밖에 지방이 축적되는 이소성 지방이 중요한 문제로 연구되어 왔다. 특히 간과 골격근의 지질 축적은 인슐린 저항성과 밀접하게 연관된다. 그러나 단순한 중성지방의 양만으로 모든 현상을 설명할 수는 없다.[31]

연구에서는 디아실글리세롤 같은 지질 중간체와 특정 PKC 경로가 인슐린 신호를 방해할 수 있다는 기전이 제시되었다. 간에서는 DAG-PKCε 축, 근육에서는 DAG-PKCθ 축이 대표적으로 연구됐다. 다만 지질의 세포 내 위치와 종류에 따라 결과가 달라질 수 있어 이 기전도 세부적으로 해석해야 한다.[32]

이 때문에 '지방을 먹으면 인슐린 저항성이 생긴다'거나 '탄수화물만 줄이면 지방간이 사라진다'는 식의 설명은 지나치게 단순하다. 총 에너지 과잉, 지방조직의 저장능력, 지방산 유입과 산화, 간의 신생지방합성, 운동량이 함께 작용한다.[33]

12. 대사 회복은 인슐린을 낮추는 것보다 인슐린에 잘 반응하는 몸을 만드는 일이다

제2형 당뇨병의 핵심 문제는 인슐린이 존재하지 않는 것이 아니라, 주요 조직이 인슐린에 충분히 반응하지 못하는 데 있다. 따라서 치료

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104(29), 12017-12022. https://doi.org/10.1073/pnas.0705070104

[30] Levine, B., & Kroemer, G. (2019). Biological functions of autophagy genes: A disease perspective. *Cell, 176*(1-2), 11-42. https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.09.048

[31] Shulman, G. I. (2014). Ectopic fat in insulin resistance, dyslipidemia, and cardiometabolic disease. *New England Journal of Medicine, 371*(12), 1131-1141. https://doi.org/10.1056/NEJMra1011035

[32] Samuel, V. T., & Shulman, G. I. (2016). The pathogenesis of insulin resistance: Integrating signaling pathways and substrate flux. *Journal of Clinical Investigation, 126*(1), 12-22. https://doi.org/10.1172/JCI77812

[33] Samuel, V. T., & Shulman, G. I. (2016). The pathogenesis of insulin resistance: Integrating signaling pathways and substrate flux. *Journal of Clinical Investigation, 126*(1), 12-22. https://doi.org/10.1172/JCI77812

목표를 '인슐린을 최대한 낮추기'로 잡으면 본질을 놓칠 수 있다. 더 중요한 목표는 적은 양의 인슐린에도 필요한 반응이 나타나는 대사 상태다.[34]

운동은 좋은 예다. 골격근은 수축 자체로 포도당 흡수를 증가시킬 수 있고, 장기적인 신체활동은 인슐린 감수성과 산화능력 개선에 기여한다. 체중감량과 에너지 과잉의 해소도 간과 근육의 지질 부담을 낮추는 데 중요하다.[35]

당뇨 관해 연구에서도 핵심 변화는 단순한 혈중 인슐린 저하가 아니었다. 체중감량 뒤 간과 췌장의 지방이 감소했고, 관해에 도달한 사람에서는 베타세포의 초기 인슐린 분비 기능이 회복되는 양상이 관찰됐다. 대사 회복은 여러 장기의 변화가 함께 일어나는 과정이다.[36]

13. 식물성 케톤식은 이 신호망을 어떻게 바라봐야 하는가

식물성 케톤식에서는 탄수화물 공급을 줄여 식후 인슐린 요구를 낮추고, 지방산과 케톤을 사용할 기회를 늘리는 방향을 생각할 수 있다. 동시에 식물성 식품에서 식이섬유와 불포화지방, 미량영양소를 확보해 식사의 질을 높이는 것이 기본 구상이다.[37]

그러나 여기까지는 주로 생리학적 통합이다. 탄수화물 제한이 AMPK와 mTOR, 자가포식, 미토콘드리아에 영향을 줄 수 있다는 기전과 식물성 식품의 대사적 장점을 합쳤다고 해서, 식물성 케톤식의 임상효과가 자동으로 증명되는 것은 아니다. 직접적인 사람 중재 연구가 필요하다.[38]

따라서 이후의 임상 장에서는 기전보다 결과를 우선한다. HbA1c

[34] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[35] Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic flexibility in health and disease. *Cell Metabolism, 25*(5), 1027-1036. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.015

[36] Taylor, R., Al-Mrabeh, A., Zhyzhneuskaya, S., Peters, C., Barnes, A. C., Aribisala, B. S., Hollingsworth, K. G., Mathers, J. C., Sattar, N., & Lean, M. E. J. (2018). Remission of human type 2 diabetes requires decrease in liver and pancreas fat content but is dependent upon capacity for β cell recovery. *Cell Metabolism, 28*(4), 547-556.e3. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.07.003

[37] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[38] Shabkhizan, R., Haiaty, S., Moslehian, M. S., Bazmani, A., Sadeghsoltani, F., Saghaei Bagheri, H., Rahbarghazi, R., & Sakhinia, E. (2023). The beneficial and adverse effects of autophagic response to caloric restriction and fasting. *Advances in Nutrition, 14*(5), 1211-1225. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.07.006

가 실제로 얼마나 변했는지, 약물이 줄었는지, 체중과 지질이 어떻게 바뀌었는지, 이상반응과 지속성은 어땠는지를 살펴본다. 기전은 가능성을 설명하지만, 치료효과의 크기는 임상시험이 결정한다.[39]

제4장의 핵심

인슐린이 낮아지면 저장 중심의 대사에서 지방 동원과 산화가 가능한 방향으로 환경이 바뀐다. 세포 수준에서는 AMPK와 mTORC1, ULK1 같은 신호축이 에너지 상태와 영양 공급을 읽고 합성·분해·자가포식의 우선순위를 조절한다. 그러나 어느 한 신호를 무조건 높이거나 낮추는 것이 목표는 아니다.[40]

제2형 당뇨병에서 중요한 것은 대사의 균형과 유연성이다. 간과 근육의 이소성 지방을 줄이고, 미토콘드리아의 산화능력을 유지하며, 인슐린에 대한 조직의 반응을 회복해야 한다. 다음 장부터는 이러한 생리학적 틀을 실제 식물성 식단의 임상연구와 연결해 살펴본다.[41]

제4장 각주

[39] Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews, 98*(4), 2133-2223. https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017

[40] Hardie, D. G., Ross, F. A., & Hawley, S. A. (2012). AMPK: A nutrient and energy sensor that maintains energy homeostasis. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 13*, 251-262. https://doi.org/10.1038/nrm3311

[41] Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic flexibility in health and disease. *Cell Metabolism, 25*(5), 1027-1036. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.015

제5장. 식물성 식단과 제2형 당뇨병의 임상연구

식물성 식단이라는 말은 하나의 식사를 뜻하지 않는다. 비건, 락토 오보 채식, 저지방 식물식, 통곡·콩·채소 중심의 전식물성 식사까지 범위가 넓다. 따라서 임상연구를 읽을 때는 '식물성'이라는 이름보다 실제로 무엇을 먹게 했는지를 먼저 봐야 한다.[1]

1. 먼저 '식물성 식단'을 하나로 묶지 말아야 한다

임상시험에서 사용된 식물성 식단은 구성과 목표가 크게 달랐다. 어떤 연구는 지방을 매우 낮추고 탄수화물을 충분히 허용했으며, 어떤 연구는 열량을 제한했다. 또 다른 연구는 통곡과 콩류, 채소를 중심으로 하되 에너지 섭취량은 제한하지 않았다. 같은 '비건'이라는 이름 아래에서도 탄수화물, 지방, 식이섬유, 에너지 밀도는 서로 다를 수 있다.[2]

이 차이는 결과 해석에 중요하다. HbA1c가 감소했더라도 그것이 동물성 식품의 배제 때문인지, 체중감량 때문인지, 식이섬유 증가 때문인지 분리하기 어렵다. 비교식이 무엇이었는지도 중요하다. 평소 식사를 유지한 대조군과 비교하면 효과가 크게 보일 수 있고, 적극적인 당뇨 식사교육을 받은 대조군과 비교하면 차이가 작아질 수 있다.[3]

2. 현재 진료지침은 식사패턴을 '개별화'해서 보라고 한다

2026년 미국당뇨병학회 진료표준은 당뇨병 식사에 단 하나의 이상적인 탄수화물·단백질·지방 비율이 있다고 보지 않는다. 식사계획은 현재의 식습관, 선호도, 영양의 질, 총열량과 대사 목표를 함께 고려해 개별화해야 한다. 식물성·채식·비건 식사도 적용 가능한 패턴에 포함되지만, 모든 사람에게 하나의 식사법을 일괄적으로 권하는 방식은 지지되지 않는다.[4]

특히 지침은 비전분 채소, 통과일, 콩류, 견과류와 씨앗류 같은 식품을 강조한다. 반대로 설탕이 든 음료, 정제곡물, 과자류와 초가공

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).
[2] Termannsen et al. (2022).
[3] Termannsen et al. (2022); Yokoyama et al. (2014).
[4] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).

식품은 줄이도록 권한다. 다시 말해 '식물성' 여부만큼 식품의 가공도와 영양밀도가 중요하다.[5]

3. Barnard의 22주 RCT는 초기 임상근거의 중심이었다

2006년 Barnard 연구진은 제2형 당뇨병 성인 99명을 저지방 비건식 또는 당시 ADA 지침에 따른 식사군으로 무작위 배정했다. 22주 후 전체 참가자를 포함한 분석에서 HbA1c는 비건군에서 0.96%p, 대조군에서 0.56%p 감소했다. 약물 변경자를 제외하면 감소폭은 각각 1.23%p와 0.38%p였고, 군간 차이는 통계적으로 유의했다.[6]

약물 감량도 함께 관찰됐다. 비건군에서는 49명 중 21명, 대조군에서는 50명 중 13명이 당뇨약을 줄였다. 그러나 약물 변경은 HbA1c 해석을 어렵게 만든다. 약을 줄인 사람의 혈당이 상대적으로 높게 보일 수 있기 때문이다. 이 연구가 약물 변경자를 제외한 분석을 별도로 제시한 이유도 여기에 있다.[7]

4. 74주 추적은 '초기 효과'와 '장기 지속성'을 구분하게 했다

같은 연구집단을 74주까지 추적한 보고에서는 양 군 모두 체중과 지질이 감소했다. 전체 분석에서 HbA1c 변화는 비건군 -0.34%p, 대조군 -0.14%p로 군간 차이가 유의하지 않았다. 하지만 약물 변경 이전의 마지막 값을 사용한 분석에서는 비건군 -0.40%p, 대조군 0.01%p로 차이가 나타났다.[8]

이 결과는 장기 식이시험의 어려움을 잘 보여준다. 시간이 길어질수록 순응도와 약물 변화, 생활습관 변화가 개입효과에 섞인다. 따라서 단기 HbA1c 효과가 그대로 장기간 유지된다고 단정할 수 없으며, 장기 결과는 중재의 지속 가능성과 함께 해석해야 한다.[9]

[5] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).
[6] Barnard et al. (2006).
[7] Barnard et al. (2006).
[8] Barnard et al. (2009).
[9] Barnard et al. (2009).

5. 체코의 24주 RCT는 인슐린 감수성과 내장지방을 직접 보았다

Kahleova 연구진은 제2형 당뇨병 환자 74명을 열량 제한 채식군과 전통적인 당뇨 식사군으로 무작위 배정했다. 두 식사는 모두 하루 약 500 kcal의 열량 적자를 목표로 했고, 후반 12주에는 유산소운동을 추가했다. 채식군은 대조군보다 체중이 더 많이 감소했고, 고인슐린혈증-등혈당 클램프로 측정한 인슐린 감수성 개선도 더 컸다.[10]

24주 동안 당뇨약을 줄인 비율은 채식군 43%, 대조군 5%였다. 채식군에서는 내장지방과 피하지방 감소도 더 컸다. 이 연구는 식물성 식사의 효과를 HbA1c 하나로만 평가하지 않고, 지방분포와 인슐린 감수성까지 함께 살폈다는 점에서 의미가 있다.[11]

6. 한국인의 현미 중심 비건식 RCT는 아시아 식사환경에서 중요한 자료다

2016년 Lee 연구진은 한국의 제2형 당뇨병 환자를 현미 중심 비건식과 대한당뇨병학회 권고식으로 무작위 배정했다. 12주를 완료한 사람은 비건군 46명, 대조군 47명이었다. HbA1c는 비건군에서 0.5%p, 대조군에서 0.2%p 감소했고, 시간과 군의 상호작용은 유의했다.[12]

순응도가 높은 참가자만 보면 차이는 더 커졌다. HbA1c 감소는 비건군 -0.9%p, 대조군 -0.3%p였다. 다만 비건식의 평균 순응도는 대조식보다 낮았고, 연구진도 모든 환자에게 일률적으로 비건식을 권하는 것은 현실적이지 않다고 지적했다.[13]

7. 순응도는 부차적인 문제가 아니라 치료효과의 일부다

식이중재는 약처럼 동일한 용량을 매일 투여하기 어렵다. 실제 섭취량, 가족 식사, 외식, 직업, 문화가 결과에 개입한다. 어떤 식사가 생리적으로 효과가 있어도 장기간 따르지 못하면 임상효과는 작아진다. 반대로 적극적인 교육과 집단지원이 있으면 순응도가 높아져 결

[10] Kahleova et al. (2011).
[11] Kahleova et al. (2011).
[12] Lee et al. (2016).
[13] Lee et al. (2016).

과도 달라질 수 있다.[14]

한국 RCT에서도 비건군의 순응도는 시간이 지나면서 낮아졌다. 이것은 '효과가 없다'는 뜻이 아니라, 식사패턴의 실행 가능성을 임상 효과와 함께 평가해야 한다는 뜻이다. 앞으로 식물성 케톤식을 설계할 때도 음식구성만큼 교육, 조리의 편의성, 사회적 환경을 고려해야 한다.[15]

8. 2014년 메타분석은 HbA1c 약 0.39%p의 추가 감소를 보고했다

Yokoyama 등의 체계적 문헌고찰과 메타분석은 대조식과 비교한 채식 식이중재 6편, 총 255명을 분석했다. 채식군의 HbA1c는 대조군보다 평균 0.39%p 더 감소했다. 반면 공복혈당은 감소 방향이었지만 통계적으로 유의하지 않았다.[16]

효과의 크기는 약물치료에 비해 크다고 말하기 어렵지만, 식사만으로 얻는 평균적인 차이라는 점에서는 임상적 의미가 있다. 동시에 포함 연구 수가 적고 표본도 작았기 때문에, 이 수치를 모든 식물성 식사의 고정된 효과로 받아들여서는 안 된다.[17]

9. 2022년 메타분석에서는 효과가 더 작게 추정됐다

Termannsen 등의 메타분석은 12주 이상 지속된 비건 RCT 11편, 796명을 포함했다. 과체중 또는 제2형 당뇨병이 있는 사람에서 비건식은 대조식보다 체중을 평균 4.1 kg 더 줄였고, HbA1c는 평균 0.18%p 더 낮췄다. LDL 콜레스테롤과 총콜레스테롤도 감소했지만 혈압, HDL, 중성지방에서는 뚜렷한 차이가 없었다.[18]

이 분석은 HbA1c에 대한 근거 확실성을 중등도로 평가했다. 그러나 저자들은 비건군과 대조군 사이에 에너지 섭취와 다량영양소 조성이 달랐다는 점을 지적했다. 즉 비건이라는 범주만으로 효과의 원인을 설명하기는 어렵다.[19]

[14] Barnard et al. (2009).
[15] Lee et al. (2016).
[16] Yokoyama et al. (2014).
[17] Yokoyama et al. (2014).
[18] Termannsen et al. (2022).
[19] Termannsen et al. (2022).

10. 서로 다른 메타분석이 다른 결론을 내릴 수 있다

모든 종합연구가 같은 결과를 내는 것은 아니다. 2022년에 발표된 또 다른 체계적 고찰은 저지방 비건식과 초저열량 식이를 함께 검토했는데, 포함 연구의 이질성과 비뚤림 위험이 높았고 비건식만의 HbA1c 개선은 통계적으로 뚜렷하지 않았다고 보고했다. 연구를 어떤 기준으로 포함하고 어떤 비교군을 선택했는지에 따라 결론이 달라질 수 있음을 보여준다.[20]

따라서 메타분석이라는 이유만으로 자동적으로 가장 강한 결론을 주는 것은 아니다. 포함된 RCT의 질, 중재의 유사성, 비교식의 강도, 약물조정 방식과 추적기간을 함께 봐야 한다. 이 책에서는 긍정적인 결과뿐 아니라 이러한 불확실성도 같은 무게로 다룬다.[21]

11. '식물성'과 '건강한 식물성'은 다른 개념이다

식물성 식사에는 통곡, 콩류, 채소, 견과류처럼 영양밀도가 높은 식품도 포함되지만, 정제전분과 설탕, 초가공 비건식품도 포함될 수 있다. 따라서 식물성 식단의 임상효과는 단순히 동물성 식품을 제외하는 데서 끝나지 않는다. 어떤 탄수화물을 선택하고, 지방과 단백질을 어떤 식품에서 얻는지가 중요하다.[22]

현재 ADA 지침이 '식품 중심' 접근을 강조하는 이유도 같다. 비전분 채소와 콩류, 견과류, 씨앗류를 늘리고, 정제곡물과 초가공식품을 줄이는 방향이 공통된 원칙이다. 이것은 다음 장에서 다룰 식이섬유, 장내미생물, 지방산 조성의 기전과 연결된다.[23]

12. 체중감량이 전부인가, 식사 자체의 효과도 있는가

식물성 식사 중재에서 체중이 줄면 HbA1c도 좋아지는 경우가 많다. 실제 Barnard의 74주 연구에서도 체중 변화와 HbA1c 변화는 유의하게 연관됐다. 그러나 한국 RCT에서는 에너지 섭취와 허리둘레 변화를 보정한 뒤에도 비건군의 HbA1c 개선 차이가 유지됐다.[24]

이 결과만으로 체중과 독립적인 효과를 확정할 수는 없다. 식이섬

[20] *Investigating the Effectiveness of Very Low-Calorie Diets and Low-Fat Vegan Diets on Weight and Glycemic Markers in Type 2 Diabetes Mellitus* (2022).
[21] Termannsen et al. (2022).
[22] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).
[23] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).
[24] Barnard et al. (2009).

유, 지방의 질, 식품의 에너지 밀도, 장내미생물, 포만감과 실제 섭취량이 서로 연결되어 있기 때문이다. 식사효과와 체중효과는 완전히 분리된 두 축이라기보다 상호작용하는 과정으로 보는 것이 더 타당하다.[25]

13. 2026년에는 새로운 기전·임상 자료도 나오고 있다

2026년 미국당뇨병학회 학술대회 초록에서는 제2형 당뇨병 성인이 16주간 저지방 식물성 식사를 했을 때 체중, 내장지방, 간세포 지방과 HbA1c가 감소하고 인슐린 저항성 및 베타세포 기능 지표가 개선됐다는 결과가 보고됐다. HbA1c는 중재 전후 평균 1.0%p 감소했다.[26]

다만 학술대회 초록은 정식 동료평가 논문의 전체 방법과 데이터를 제공하지 않는다. 따라서 이 결과는 최신 흐름을 보여주는 자료로는 의미가 있지만, 확정적인 근거로 사용해서는 안 된다. 추후 완전한 논문과 비교군, 약물변화, 순응도 자료가 공개되는지 확인해야 한다.[27]

14. 우리 데이터베이스에서는 식물성 연구가 큰 축을 이루고 있다

현재 구축한 `vk_diabete_db.sqlite3`의 엄격 재분류에서는 식물성 식사 관련 후보가 1,098편으로 분류됐고, 이 가운데 내부 우선순위 A군은 739편이었다. 상위 300편을 XML 원문으로 다시 검증했을 때 실제 식물성 중재로 분류된 연구는 148편이었다. 이 숫자는 모두 RCT라는 뜻이 아니라, 책 집필을 위한 임상·기전·종합근거 후보군의 규모를 보여준다.[28]

따라서 본서에서는 데이터베이스의 '편수'를 효과의 크기로 해석하지 않는다. RCT, 메타분석, 코호트, 기전연구를 분리하고, 동일 연구의 후속논문이나 2차 분석으로 인한 중복도 확인한다. 특히 HbA1c 수치는 표와 Results에서 확인된 값만 우선 사용하며, 약물

[25] Lee et al. (2016).

[26] Kahleova (2026), ADA Scientific Sessions abstract 1131-OR. 학술대회 초록으로서 정식 동료평가 원저와 동일한 수준의 근거로 취급하지 않는다.

[27] Kahleova (2026), ADA Scientific Sessions abstract 1131-OR. 학술대회 초록으로서 정식 동료평가 원저와 동일한 수준의 근거로 취급하지 않는다.

[28] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3': strict plant-based eligible=1,098; tier A=739; top-300 XML verification에서 plant_based_intervention=148. 편수는 모두 독립 RCT를 의미하지 않는다.

변경이 있었던 연구는 그 영향을 따로 표시한다.[29]

15. 관찰연구와 임상시험은 서로 다른 질문에 답한다

대규모 코호트에서는 채식이나 건강한 식물성 식사패턴이 제2형 당뇨병 발생 위험이 낮은 것과 연관된다는 결과가 반복해서 보고돼 왔다. 2026년 ADA 진료표준도 식물성 식사패턴과 식품의 질이 당뇨병 예방과 관련된 관찰근거를 소개한다. 그러나 이런 연구는 이미 당뇨병이 있는 사람이 식사를 바꾸면 HbA1c가 얼마나 내려가는가라는 치료 질문에 직접 답하지는 않는다.[30]

예방 연구와 치료 연구를 섞으면 효과를 과장하기 쉽다. 건강한 식물식과 낮은 당뇨병 발생률의 연관성이 있다고 해서, 같은 식사가 모든 제2형 당뇨병 환자의 약물을 줄이거나 관해를 일으킨다고 결론내릴 수는 없다. 이 책에서는 발생 위험, 혈당 개선, 약물 감량, 관해를 서로 다른 결과로 구분한다.[31]

16. 약물 감량은 중요한 결과지만 HbA1c와 함께 읽어야 한다

식이중재에서 약물 감량은 환자에게 체감이 큰 결과다. Barnard의 22주 연구와 Kahleova의 24주 연구에서는 식물성 중재군에서 대조군보다 더 많은 참가자가 당뇨약을 줄였다. 이런 변화는 식사가 혈당 조절 부담을 낮출 가능성을 보여준다.[32]

하지만 약물 감량과 HbA1c는 서로 영향을 준다. 약을 줄였는데도 HbA1c가 유지되거나 낮아졌다면 의미가 크지만, 약을 줄인 결과 HbA1c 감소폭이 작아 보일 수도 있다. 그래서 임상시험에서는 모든 참가자 분석, 약물 변경 전 마지막 값, 약물 변경이 없는 사람 같은 분석을 분리해 제시하기도 한다.[33]

[29] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3': strict plant-based eligible=1,098; tier A=739; top-300 XML verification에서 plant_based_intervention=148. 편수는 모두 독립 RCT를 의미하지 않는다.

[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).

[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).

[32] Barnard et al. (2006).

[33] Barnard et al. (2009).

17. 지금까지의 임상연구가 말할 수 있는 것

첫째, 잘 구성된 채식·비건 식사중재는 제2형 당뇨병에서 HbA1c와 체중, 일부 지질지표를 개선할 수 있다. 둘째, 일부 RCT에서는 당뇨약 감량과 인슐린 감수성 개선도 관찰됐다. 셋째, 효과의 크기는 연구마다 다르며, 비교식과 체중감량, 순응도, 약물조정이 결과에 큰 영향을 준다.[34]

반대로 아직 말할 수 없는 것도 있다. 식물성 식사만으로 모든 사람의 당뇨가 관해된다고 말할 근거는 없다. 비건이라는 이름 자체가 효과를 보장하지도 않는다. 장기 심혈관 사건이나 신장질환 같은 임상종말점을 직접 줄이는지에 대한 식이중재 RCT 근거도 충분하지 않다.[35]

이 때문에 다음 장에서는 HbA1c와 공복혈당, 인슐린, HOMA-IR을 따로 나누어 본다. '식물성 식사가 좋다'는 총론에서 한 단계 더 들어가, 어떤 지표가 실제로 얼마나 변했는지 살펴볼 것이다.[36]

제5장의 핵심

식물성 식사에 대한 임상근거는 존재한다. 특히 저지방 비건식과 채식 식이중재에서 HbA1c, 체중, 인슐린 감수성과 약물사용의 개선이 반복해서 보고됐다. 그러나 효과는 하나의 숫자로 고정할 수 없으며, 식사의 구성과 비교군, 체중변화, 순응도와 약물조정을 함께 해석해야 한다.[37]

식물성 케톤식의 관점에서도 이 구분은 중요하다. 우리는 식물성 연구에서 확인된 장점을 그대로 가져오는 것이 아니라, 어떤 요소가 실제 임상효과와 연결되는지 분해해 봐야 한다. 그래야 이후 케톤식 연구와 결합할 때 근거와 가설을 혼동하지 않을 수 있다.[38]

제5장 참고문헌

1. American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health be-

[34] Termannsen et al. (2022).
[35] Barnard et al. (2009).
[36] Termannsen et al. (2022).
[37] Yokoyama et al. (2014).
[38] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026).

haviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S132.

2. Termannsen, A.-D., Clemmensen, K. K. B., Thomsen, J. M., Nørgaard, O., Díaz, L. J., Torekov, S. S., Quist, J. S., & Færch, K. (2022). Effects of vegan diets on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Obesity Reviews, 23(9), e13462. https://doi.org/10.1111/obr.13462

3. Yokoyama, Y., Barnard, N. D., Levin, S. M., & Watanabe, M. (2014). Vegetarian diets and glycemic control in diabetes: A systematic review and meta-analysis. Cardiovascular Diagnosis and Therapy, 4(5), 373-382. https://doi.org/10.3978/j.issn.2223-3652.2014.10.04

4. Barnard, N. D., Cohen, J., Jenkins, D. J. A., Turner-McGrievy, G., Gloede, L., Jaster, B., Seidl, K., Green, A. A., & Talpers, S. (2006). A low-fat vegan diet improves glycemic control and cardiovascular risk factors in a randomized clinical trial in individuals with type 2 diabetes. Diabetes Care, 29(8), 1777-1783. https://doi.org/10.2337/dc06-0606

5. Barnard, N. D., Cohen, J., Jenkins, D. J. A., Turner-McGrievy, G., Gloede, L., Green, A., & Ferdowsian, H. (2009). A low-fat vegan diet and a conventional diabetes diet in the treatment of type 2 diabetes: A randomized, controlled, 74-wk clinical trial. American Journal of Clinical Nutrition, 89(Suppl.), 1588S-1596S. https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736H

6. Kahleova, H., Matoulek, M., Malinska, H., Oliyarnik, O., Kazdova, L., Neskudla, T., Skoch, A., Hajek, M., Hill, M., Kahle, M., & Pelikanova, T. (2011). Vegetarian diet improves insulin resistance and oxidative stress markers more than conventional diet in subjects with

type 2 diabetes. Diabetic Medicine, 28(5), 549-559. https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2010.03209.x

7. Lee, Y.-M., Kim, S.-A., Lee, I.-K., Kim, J.-G., Park, K.-G., Jeong, J.-Y., Jeon, J.-H., Shin, J.-Y., & Lee, D.-H. (2016). Effect of a brown rice based vegan diet and conventional diabetic diet on glycemic control of patients with type 2 diabetes: A 12-week randomized clinical trial. PLOS ONE, 11(6), e0155918. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155918

8. Yokoyama et al. (2014).

9. Termannsen et al. (2022).

10. Investigating the effectiveness of very low-calorie diets and low-fat vegan diets on weight and glycemic markers in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. (2022). Nutrients. PMCID: PMC9695880.

11. Kahleova, H. (2026). A plant-based diet reduces intramyocellular and hepatocellular lipids and improves beta-cell function in adults with type 2 diabetes: A 16-week clinical trial. Diabetes, 75(Supplement 1), Abstract 1131-OR.

12. 본 연구 프로젝트 `vk_diabete_db.sqlite3`의 2026년 8월 엄격 재분류 및 상위 300편 XML 검증 결과.

제6장. 식물성 식단과 혈당·인슐린

식물성 식사의 효과를 말할 때 가장 자주 등장하는 지표는 HbA1c다. 그러나 HbA1c 하나만으로 대사의 변화를 모두 설명할 수는 없다. 공복혈당은 밤사이 간에서 방출된 포도당의 영향을 크게 받고, 식후혈당은 식사의 탄수화물 양과 흡수 속도에 민감하다. 공복인슐린과 HOMA-IR은 인슐린 저항성의 다른 면을 보여준다. 따라서 식물성 식사를 평가하려면 이 지표들을 서로 구분해 읽어야 한다.[1]

> **용어 | HbA1c**
>
> Glycated hemoglobin, 당화혈색소
>
> 적혈구의 헤모글로빈에 포도당이 결합한 정도를 측정한 지표다. 최근 약 2 3개월의 평균적인 혈당 노출을 반영한다.

1. HbA1c는 하루의 한 순간이 아니라 '누적된 혈당 노출'을 본다

HbA1c는 공복혈당처럼 한 시점의 혈당을 보는 검사가 아니다. 수주에서 수개월 동안 지속된 혈당 노출을 하나의 값으로 압축해 보여준다. 이런 특성 때문에 식이중재의 임상효과를 비교할 때 가장 널리 사용되는 결과지표 가운데 하나다. 2026년 ADA 진료표준은 많은 비임신 성인에서 HbA1c 7% 미만을 일반적인 목표로 제시하지만, 목표는 연령과 동반질환, 저혈당 위험, 기대여명과 치료부담에 따라 개별화해야 한다고 강조한다.[2]

HbA1c가 0.4%포인트 감소했다는 표현은 '0.4% 감소'와 다르다. 예를 들어 8.0%에서 7.6%로 낮아진 것은 0.4%포인트 감소이며, 상대적인 감소율은 약 5%다. 임상논문을 읽을 때 이 두 표현을 섞으면 효과의 크기를 잘못 이해할 수 있다.[3]

> **용어 | %포인트**
>
> Percentage point

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026), *Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises*.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026), *Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises*.

[3] HbA1c의 절대 변화는 임상연구에서 일반적으로 percentage point로 보고되므로 상대 백분율 변화와 구분해 해석한다.

두 백분율 값 사이의 절대 차이다. HbA1c 8.0%에서 7.6%로 변하면 0.4%포인트 감소다.

표 6-1. 식물성 식사 메타분석에서 보고된 HbA1c 효과

연구	포함 연구·대상	비교	HbA1c 평균차	해석
Yokoyama 등, 2014	6편, n=255	채식 vs 대조식	-0.39%p	초기 메타분석, 연구 수가 적음
Termannsen 등, 2022	비 건 RCT 11편, n=796	비건 vs 대조식	-0.18%p	과체중·T2D 혼합 집단
Guest 등, 2024	T2D RCT 7편, n=770	채 식/ 비 건 vs 비채식	-0.40%p	중등도 확실성
Lv 등, 2025	T2D RCT 9편, n=681	채 식/ 비 건 vs 잡식	-0.36%p	12주 초과에서 감소가 뚜렷

출처: Yokoyama 등(2014), Termannsen 등(2022), Guest 등(2024), Lv 등(2025)을 바탕으로 본서에서 정리.

2. 최신 메타분석의 HbA1c 결과는 대체로 같은 방향을 가리킨다

2014년 Yokoyama 등의 메타분석에서는 채식 식이중재가 대조식보다 HbA1c를 평균 0.39%포인트 더 낮췄다. 이후 연구가 더 축적되면서 효과크기는 연구에 따라 달라졌지만, 최근의 제2형 당뇨병 대상 메타분석에서도 대체로 0.3 0.4%포인트 범위의 추가 감소가 보고되고 있다.[4]

2024년 Guest 등의 체계적 문헌고찰은 제2형 당뇨병 성인 RCT 7편, 770명을 분석했다. 메타분석에 포함할 수 있었던 연구에서 채식 또는 비건 식사군은 비채식군보다 HbA1c가 평균 0.40%포인트 더 감소했다. 근거의 확실성은 중등도로 평가됐다. 같은 분석에서 공복혈당과 공복인슐린은 유의한 차이가 확인되지 않았다.[5]

2025년 Lv 등의 메타분석은 RCT 9편, 681명을 포함했고 HbA1c의 평균차를 -0.36%포인트로 추정했다. 반면 공복혈당에는 유의한 개선이 없었다. 이 결과는 식물성 식사가 모든 혈당지표를 같은 정도로 움직이는 것이 아니라는 점을 보여준다.[6]

용어 | 평균차

[4] Yokoyama et al. (2014); Termannsen et al. (2022); Guest et al. (2024); Lv et al. (2025).

[5] Guest et al. (2024).

[6] Lv et al. (2025).

Mean difference, MD

중재군과 대조군의 평균 변화 차이를 합산해 나타낸 효과크기다. 95% 신뢰구간을 함께 봐야 한다.

3. 공복혈당이 HbA1c와 같은 방향으로 움직이지 않을 수 있다

공복혈당은 최소 8시간의 금식 뒤 측정하는 혈당이다. 제2형 당뇨병에서는 밤사이 간의 포도당 생성과 방출이 충분히 억제되지 않을 때 공복혈당이 높아질 수 있다. 따라서 공복혈당은 식사 직후의 탄수화물 흡수뿐 아니라 간의 인슐린 저항성과도 연결된다.[7]

메타분석에서 HbA1c는 감소했는데 공복혈당은 유의하게 변하지 않는 결과가 반복되는 이유도 여기에 있다. HbA1c는 하루 전체의 혈당 노출을 통합하지만, 공복혈당은 특정 시점의 대사상태를 반영한다. 식후혈당이나 낮 동안의 평균혈당이 개선되어도 아침 공복혈당의 변화는 상대적으로 작을 수 있다.[8]

2026년 ADA 기준에서 당뇨병 진단을 위한 공복혈당은 126 mg/dL 이상이며, 공복은 최소 8시간 동안 열량 섭취가 없는 상태로 정의한다. 그러나 치료 중인 사람의 목표혈당은 진단기준과 다르다. 많은 비임신 성인에서 식전 혈당 목표는 80 130 mg/dL로 제시되며 개인에 따라 조정된다.[9]

용어 | 공복혈당

Fasting plasma glucose, FPG

일반적으로 8시간 이상 열량 섭취 없이 측정한 혈장 포도당이다. 진단기준과 치료목표는 서로 다르다.

그림 6-1. HbA1c와 공복·식후혈당이 보여주는 시간축의 차이

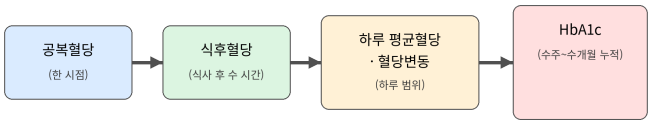
[7] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026), *Diagnosis and Classification of Diabetes*; *Glycemic Goals*.

[8] Guest et al. (2024).

[9] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026), *Diagnosis and Classification of Diabetes*; *Glycemic Goals*.

그림 6-1. HbA1c와 공복·식후혈당이 보여주는 시간축의 차이

시간 범위가 다른 혈당 지표들을 좌→우로 비교



- 공복혈당은 특정 시점의 혈당을 반영한다.
- 식후혈당은 식후 수 시간 범위의 변화를 반영한다.
- 하루 평균혈당·혈당변동은 하루 전체 패턴을 반영한다.
- HbA1c는 수주~수개월의 누적 혈당 노출을 반영한다.

출처: ADA Standards of Care in Diabetes—2026의 혈당평가 원칙을 바탕으로 본서에서 구성.

공복혈당(한 시점) → 식후혈당(식사 후 수 시간) → 하루 평균혈당·혈당변동 → HbA1c(수주 수개월 누적)

출처: ADA Standards of Care in Diabetes—2026의 혈당평가 원칙을 바탕으로 본서에서 구성.

4. 식후혈당은 '무엇을 먹었는가'를 더 직접적으로 반영한다

식후혈당은 탄수화물의 양과 형태, 식이섬유, 위 배출 속도, 인슐린 분비능, 말초 인슐린 감수성에 영향을 받는다. 따라서 같은 HbA1c를 가진 사람도 식후 혈당곡선은 크게 다를 수 있다. ADA는 식전 혈당이 목표에 들어오는데도 HbA1c가 높다면 식후혈당을 별도로 살펴볼 수 있다고 설명한다.[10]

다만 식물성 식사 RCT의 메타분석에서는 HbA1c와 공복혈당이 가장 흔한 결과지표였고, 식후혈당이나 연속혈당측정 지표는 일관되게 보고되지 않았다. 이 때문에 '식물성 식사가 식후혈당을 얼마나 낮춘다'는 하나의 숫자를 현재 근거만으로 제시하기는 어렵다. 앞으로의 연구에서는 식사의 탄수화물 질뿐 아니라 식후 최고치, 혈당변동성, 목표범위시간을 함께 측정할 필요가 있다.[11]

용어 | 식후혈당

Postprandial glucose, PPG

[10] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026), *Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises*.

[11] Guest et al. (2024).

식사 뒤 상승하는 혈당이다. ADA는 필요할 경우 식사 시작 1 2시간 뒤 측정을 권고한다.

5. 공복인슐린은 낮다고 무조건 좋은 것도, 높다고 단독으로 진단되는 것도 아니다

인슐린은 혈당을 낮추는 호르몬이지만, 공복인슐린 수치만으로 인슐린 저항성을 진단하지는 않는다. 같은 인슐린 농도에서도 혈당 수준과 췌장의 분비능, 간의 인슐린 제거율이 다를 수 있기 때문이다. 그래서 임상연구에서는 공복인슐린을 단독으로 보거나, 공복혈당과 함께 HOMA-IR을 계산하거나, 클램프 같은 정밀검사를 사용한다.[12]

2024년 Guest 등의 제2형 당뇨병 메타분석에서는 채식 식사군과 비채식 식사군 사이에 공복인슐린 차이가 확인되지 않았다. 반면 2024년 Termannsen 등의 메타분석에서는 과체중·비만 집단에서 식물성 식사가 공복인슐린을 평균 4.13 μU/mL 낮추고 HOMA-IR을 0.97 낮추는 결과가 나타났다. 두 연구의 대상과 포함시험이 다르기 때문에 결과를 그대로 하나로 합쳐서는 안 된다.[13][14]

용어 | 공복인슐린

Fasting insulin

공복 상태의 혈중 인슐린 농도다. 대사연구에서 유용하지만 단독으로 인슐린 저항성을 확정하는 검사는 아니다.

6. HOMA-IR은 간단하지만 '추정치'라는 한계를 가진다

HOMA-IR은 공복혈당과 공복인슐린을 이용해 인슐린 저항성을 추정하는 지표다. 대규모 임상연구에서 사용하기 쉽다는 장점이 있지만, 직접 인슐린 감수성을 측정하는 검사는 아니다. 췌장 베타세포 기능이 크게 저하된 사람이나 인슐린을 사용하는 사람에서는 해석이 더 복잡해질 수 있다.[15]

2024년 Termannsen 등의 분석은 식물성 식사가 과체중·비만 성인에서 HOMA-IR을 개선할 가능성을 보여줬다. 그러나 제2형 당뇨

[12] Termannsen et al. (2024); Kahleova et al. (2011).
[13] Guest et al. (2024).
[14] Termannsen et al. (2024).
[15] Termannsen et al. (2024); Kahleova et al. (2011).

병만 따로 놓고 보면 자료가 충분하지 않았다. 저자들도 당뇨병 또는 당뇨 고위험군에서 장기간 지속되는 인슐린 감수성 개선을 확인하려면 더 많은 RCT가 필요하다고 결론 내렸다.[16]

> **용어 | HOMA-IR**
>
> Homeostatic Model Assessment for Insulin Resistance
>
> 공복혈당과 공복인슐린을 이용해 인슐린 저항성을 추정하는 지표다. 직접 측정이 아니라 모델 기반 계산값이다.

표 6-2. 혈당·인슐린 지표가 서로 다른 질문에 답하는 방식

지표	주로 반영하는 것	장점	해석상 한계
HbA1c	최근 수개월의 누적 혈당 노출	장기 변화 평가에 유용	빈혈·적혈구 수명 등 영향 가능
공복혈당	밤사이 간 포도당 조절	간단하고 표준화됨	하루 전체 혈당을 대표하지 않음
식후혈당	식사 후 포도당 처리	식사효과에 민감	식사구성·측정시간에 영향
공복인슐린	공복 인슐린 분비·대사 상태	연구에서 측정 용이	단독으로 저항성을 확정할 수 없음
HOMA-IR	공복 상태 인슐린 저항성 추정	비용·실행 부담이 낮음	모델 기반 추정치
클램프	직접적인 인슐린 감수성	정밀한 연구방법	시간·비용·전문인력 필요

출처: ADA(2026), Kahleova 등(2011), Termannsen 등(2024)을 바탕으로 본서에서 정리.

7. 클램프 연구는 혈당 숫자 뒤의 '인슐린 감수성'을 보여준다

Kahleova 등의 24주 RCT는 제2형 당뇨병 환자 74명을 열량 제한 채식군과 전통적 당뇨 식사군으로 배정했다. 이 연구의 특징은 인슐린 감수성을 고인슐린-정상혈당 클램프에 가까운 정밀한 방법으로 평가했다는 점이다. 채식군은 대조군보다 인슐린 감수성이 더 크게 개선됐고, 내장지방 감소와 인슐린 감수성 변화도 서로 연관됐다.[17]

이 결과는 HbA1c가 내려가는 현상을 한 단계 더 깊게 해석하게 한다. 혈당이 낮아지는 이유가 단순히 탄수화물을 덜 먹었기 때문인

[16] Termannsen et al. (2024).
[17] Kahleova et al. (2011).

지, 체중과 내장지방이 줄어 인슐린 작용이 좋아졌기 때문인지 구분할 단서를 제공하기 때문이다. 다만 이 연구는 두 식사 모두 열량을 제한했고 후반 12주에는 운동을 추가했으므로, 모든 효과를 식물성 식품 자체에만 돌릴 수는 없다.[18]

용어 | 인슐린 감수성

Insulin sensitivity

일정량의 인슐린에 대해 근육·간·지방조직이 얼마나 잘 반응하는지를 나타낸다. 높을수록 같은 대사효과에 필요한 인슐린이 적다.

용어 | 클램프

Hyperinsulinemic clamp

인슐린을 일정하게 주입하면서 목표 혈당을 유지하는 데 필요한 포도당 주입량을 측정해 인슐린 감수성을 평가하는 연구방법이다.

8. 한국 현미 비건 RCT는 '탄수화물이 많아도 HbA1c가 낮아질 수 있음'을 보여준다

Lee 등의 12주 한국 RCT에서는 현미 중심 비건식과 대한당뇨병학회 권고식을 비교했다. 비건군의 탄수화물 비율이 낮은 식사가 아니었음에도 HbA1c는 평균 0.5%포인트 감소했고, 대조군은 0.2%포인트 감소했다. 순응도가 높은 사람만 분석하면 감소폭은 각각 0.9%포인트와 0.3%포인트였다.[19]

이 결과는 '탄수화물 비율이 높으면 반드시 혈당이 악화된다'는 단순한 설명으로는 이해하기 어렵다. 현미와 채소, 콩류를 중심으로 식품의 질이 달라졌고 총에너지 섭취와 허리둘레도 변했다. 연구진은 이러한 변화를 보정한 뒤에도 군간 HbA1c 차이가 남았다고 보고했다. 그러나 12주라는 기간과 순응도 차이 때문에 장기효과를 확정할 수는 없다.[20]

[18] Kahleova et al. (2011).
[19] Lee et al. (2016).
[20] Lee et al. (2016).

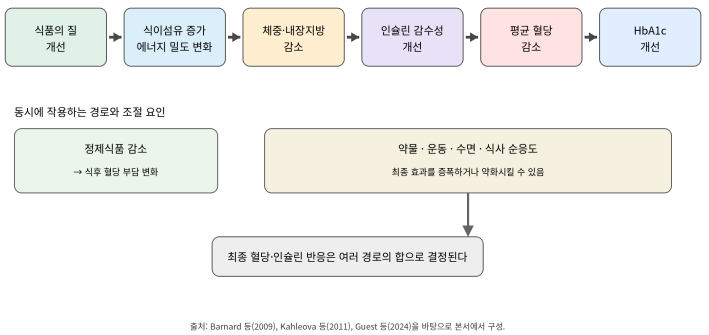
9. 체중감량은 중요한 매개요인이지만 전부는 아니다

74주 Barnard 연구에서 체중변화와 HbA1c 변화는 유의하게 연관됐다. 식물성 식사가 혈당을 개선하는 과정에서 에너지 밀도 감소와 체중감량이 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 그러나 모든 연구에서 체중변화가 HbA1c 효과를 완전히 설명하는 것은 아니다.[21]

2024년 Guest 메타분석에서도 식물성 식사군은 BMI가 평균 0.96 kg/m^2 더 감소했고, HbA1c는 평균 0.40%포인트 더 낮았다. 하지만 메타회귀에서는 개별 식사구성 요소가 HbA1c 효과를 명확히 설명하지 못했다. 즉 체중, 식이섬유, 에너지 섭취, 지방의 질, 순응도와 약물변화가 함께 작용했을 가능성이 크다.[22]

그림 6-2. 식물성 식사가 혈당과 인슐린에 영향을 줄 수 있는 다중 경로

그림 6-2. 식물성 식사가 혈당과 인슐린에 영향을 줄 수 있는 다중 경로



출처: Barnard 등(2009), Kahleova 등(2011), Guest 등(2024)을 바탕으로 본서에서 구성.

식품의 질 개선 → 식이섬유·에너지 밀도 변화 → 체중·내장지방 감소 → 인슐린 감수성 개선 → 평균 혈당 감소 → HbA1c 개선

동시에: 정제식품 감소 → 식후 혈당 부담 변화 / 약물·운동·수면·순응도 → 최종 효과를 증폭 또는 약화

출처: Barnard 등(2009), Kahleova 등(2011), Guest 등(2024)을 바탕으로 본서에서 구성.

[21] Barnard et al. (2009).
[22] Guest et al. (2024).

10. ‘식물성’이라는 이름보다 식사의 질을 먼저 봐야 한다

식물성 식사는 통곡, 콩류, 채소, 견과류와 씨앗류를 중심으로 구성될 수도 있고, 정제곡물과 설탕, 감자튀김, 초가공 간식이 많은 형태가 될 수도 있다. 두 식사는 모두 동물성 식품의 비중이 낮을 수 있지만 대사효과는 같다고 보기 어렵다. 2025년 대규모 관찰연구 메타분석에서도 건강한 식물성 식사 지수는 제2형 당뇨병 위험 감소와 연관됐지만, 건강하지 않은 식물성 식사 지수는 반대 방향의 연관성을 보였다.[23]

이 책에서 식물성 케톤식을 설계할 때도 같은 원칙을 적용한다. 단순히 ‘식물성’이라는 표지에 의존하지 않고, 순탄수화물의 양과 식이섬유, 지방의 질, 단백질 공급원, 가공도와 총에너지를 함께 평가해야 한다. 식물성 식사 연구가 주는 가장 중요한 교훈 가운데 하나는 이름보다 실제 음식 구성이 중요하다는 점이다.[24]

> **용어 | 건강한 식물성 식사 지수**
>
> Healthy plant-based diet index, hPDI
>
> 통곡·채소·과일·콩·견과류 등 건강한 식물식품의 섭취가 높을수록 점수가 올라가는 식사평가 지표다.

11. 우리 데이터베이스에서는 HbA1c 숫자를 다시 검증하고 있다

본 연구 프로젝트의 상위 300편 XML 원문 재검증에서 HbA1c가 본문에 언급된 논문은 286편이었고, 숫자 후보는 163편에서 추출됐다. 이후 JATS/XML의 Results와 Table을 다시 확인하는 3차 검증에서는 286편 가운데 137편의 숫자 후보가 원문 위치에서 지지됐다. 그중 83편은 표, 52편은 결과 본문, 2편은 초록에서 확인됐다.[25]

그러나 ‘숫자가 확인됐다’는 것과 ‘식물성 식사가 HbA1c를 그만큼 낮췄다’는 것은 같은 뜻이 아니다. 확인된 값에는 중재군의 전후 변화, 군간 차이, 메타분석의 통합효과, 기저치 또는 종료값이 섞여 있을 수 있다. 현재 20편은 숫자 충돌이나 맥락의 모호성이 있었고, 149편은 추가 검토가 필요하다. 따라서 본서에서 구체적인 효과크

[23] Nikparast et al. (2025); Murciano et al. (2025).

[24] Nikparast et al. (2025); Murciano et al. (2025).

[25] 본 연구 프로젝트의 상위 300편 XML 재검증 및 HbA1c 숫자 3차 검증 로그. 숫자 확인과 치료효과 분류는 별개의 단계로 관리한다.

기를 사용할 때는 표 또는 Results에서 확인된 값 중 효과유형까지 구분된 자료를 우선 사용한다.[26]

표 6-3. @@CODE0@@ HbA1c 원문 검증 현황

검증 단계	결과
상위 XML 재검증 논문	300편
HbA1c 본문 언급	286편
HbA1c 숫자 후보	163편
3차 원문 위치에서 숫자 지지	137편
표(Table)에서 지지	83편
결과(Results)에서 지지	52편
초록(Abstract)만에서 지지	2편
충돌·모호성 표시	20편
추가 검토 필요	149편

출처: 본 연구 프로젝트 `vk_diabete_db.sqlite3` 및 `vk_verify_top_evidence.py`, `vk_verify_hba1c_numbers.py` 검증 로그.

12. 임상적으로 중요한 것은 '한 지표의 승리'가 아니라 패턴의 일치다

HbA1c가 내려가고 공복인슐린이 낮아지며 체중과 내장지방이 함께 줄었다면, 여러 대사지표가 같은 방향으로 움직였다고 해석할 수 있다. 반대로 HbA1c만 조금 낮아졌는데 약물이 증량됐거나 체중이 크게 변했다면 식사 자체의 효과는 다시 따져봐야 한다. 식이중재에서는 약물조정과 순응도, 체중변화를 결과와 분리해 기록하는 것이 중요하다.[27]

또한 HbA1c 목표를 낮추는 것 자체가 모든 사람에게 동일한 치료목표가 되는 것은 아니다. 저혈당 위험이 높거나 고령, 중증 동반질환이 있는 사람은 더 완화된 목표가 필요할 수 있다. 식물성 식사든 케톤식이든 중요한 것은 특정 숫자를 무리하게 추구하는 것이 아니라, 개인의 안전성과 장기적인 대사 개선을 함께 보는 것이다.[28]

표 6-4. 식물성 식이중재의 혈당·인슐린 결과를 읽는 체크리스트

[26] 본 연구 프로젝트의 상위 300편 XML 재검증 및 HbA1c 숫자 3차 검증 로그. 숫자 확인과 치료효과 분류는 별개의 단계로 관리한다.

[27] Guest et al. (2024).

[28] American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026), *Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises*.

질문	확인해야 할 내용
HbA1c는 얼마나 변했는가	%포인트 변화와 군간 차이를 구분
공복혈당도 같은 방향인가	간 포도당 조절과 측정 변동을 고려
인슐린은 어떻게 변했는가	공복인슐린, HOMA-IR, 클램프를 구분
체중이 얼마나 줄었는가	체중감량이 효과를 매개했는지 확인
약물이 변했는가	감량·증량 시점을 결과와 함께 해석
순응도는 어땠는가	처방식과 실제 섭취의 차이를 확인
연구기간은 충분한가	HbA1c는 단기보다 수개월 평가가 적합
식사의 질은 어떤가	‘식물성’ 명칭보다 실제 식품구성을 확인

출처: ADA(2026), Guest 등(2024), Termannsen 등(2024)을 바탕으로 본서에서 정리.

제6장의 핵심

식물성 식사의 혈당효과는 HbA1c에서 가장 일관되게 관찰된다. 최신 제2형 당뇨병 RCT 메타분석에서는 대조식보다 약 0.36 0.40%포인트의 추가 감소가 보고됐다. 그러나 공복혈당과 공복인슐린은 같은 정도로 일관되게 변하지 않았다. 인슐린 감수성도 측정방법과 대상집단에 따라 결과가 달랐다.[29][30]

따라서 ‘식물성 식사가 혈당을 낮춘다’는 한 문장만으로는 충분하지 않다. 어떤 식사였는지, 체중이 얼마나 변했는지, 약물이 조정됐는지, HbA1c와 인슐린 지표가 같은 방향으로 움직였는지를 함께 봐야 한다. 다음 장에서는 이 변화의 배경이 되는 식이섬유, 장내미생물, 단쇄지방산, 폴리페놀과 미량영양소를 살펴본다.[31]

제6장 참고문헌

1. American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes—2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132–S154.

2. American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes—2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S27–S49.

[29] Guest et al. (2024).
[30] Lv et al. (2025).
[31] Termannsen et al. (2024).

3. Yokoyama, Y., Barnard, N. D., Levin, S. M., & Watanabe, M. (2014). Vegetarian diets and glycemic control in diabetes: A systematic review and meta-analysis. Cardiovascular Diagnosis and Therapy, 4(5), 373–382. https://doi.org/10.3978/j.issn.2223-3652.2014.10.04

4. Termannsen, A.-D., Clemmensen, K. K. B., Thomsen, J. M., Nørgaard, O., Díaz, L. J., Torekov, S. S., Quist, J. S., & Færch, K. (2022). Effects of vegan diets on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Obesity Reviews, 23(9), e13462. https://doi.org/10.1111/obr.13462

5. Guest, N. S., Raj, S., Landry, M. J., Mangels, A. R., Pawlak, R., Senkus, K. E., Handu, D., & Rozga, M. (2024). Vegetarian and vegan dietary patterns to treat adult type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Advances in Nutrition, 15(10), 100294. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100294

6. Lv, M., Mao, J., Wang, S., Zhang, C., Ma, Y., Xu, H., Qian, C., & Guo, L. (2025). Effects of vegetarian or vegan diets on glycemic and cardiometabolic health in type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Nutrition Reviews, 83(8), 1438–1449. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaf011

7. Termannsen, A.-D., Søndergaard, C. S., Færch, K., Andersen, T. H., Raben, A., & Quist, J. S. (2024). Effects of plant-based diets on markers of insulin sensitivity: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. Nutrients, 16(13), 2110. https://doi.org/10.3390/nu16132110

8. Kahleova, H., Matoulek, M., Malinska, H., Oliyarnik, O., Kazdova, L., Neskudla, T., Skoch, A., Hajek, M., Hill, M., Kahle, M., & Pelikanova, T. (2011). Vegetarian diet improves insulin resistance and oxidative stress

markers more than conventional diet in subjects with type 2 diabetes. Diabetic Medicine, 28(5), 549–559. https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2010.03209.x

9. Lee, Y.-M., Kim, S.-A., Lee, I.-K., Kim, J.-G., Park, K.-G., Jeong, J.-Y., Jeon, J.-H., Shin, J.-Y., & Lee, D.-H. (2016). Effect of a brown rice based vegan diet and conventional diabetic diet on glycemic control of patients with type 2 diabetes: A 12-week randomized clinical trial. PLOS ONE, 11(6), e0155918. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155918

10. Barnard, N. D., Cohen, J., Jenkins, D. J. A., Turner-McGrievy, G., Gloede, L., Green, A., & Ferdowsian, H. (2009). A low-fat vegan diet and a conventional diabetes diet in the treatment of type 2 diabetes: A randomized, controlled, 74-wk clinical trial. American Journal of Clinical Nutrition, 89(Suppl.), 1588S–1596S. https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736H

11. Nikparast, A., Mirzaei, P., Tadayoni, Z. S., & Asghari, G. (2025). The association between overall, healthy, and unhealthy plant-based diet index and risk of prediabetes and type 2 diabetes mellitus: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. Nutrition Reviews, 83(2), e157–e177. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuae049

12. Murciano, A., Malavolti, M., Fairweather-Tait, S., Paduano, S., Vinceti, M., & Filippini, T. (2025). Plant-based diets and risk of type 2 diabetes: Systematic review and dose-response meta-analysis. British Journal of Nutrition, 134(4), 277–296. https://doi.org/10.1017/S0007114525104157

13. 본 연구 프로젝트 `vk_diabete_db.sqlite3`, `vk_verify_top_evidence.py`, `vk_verify_hba1c_numbers.py` 검증 결과.

장 도해

제7장. 왜 식물이 대사를 바꾸는가

식물성 식사가 대사에 영향을 주는 이유를 하나의 영양소로 설명할 수는 없다. 식이섬유는 장내미생물의 먹이가 되고, 견과와 씨앗의 지방산은 세포막과 지질대사에 관여한다. 폴리페놀과 미량영양소는 또 다른 경로를 건드린다. 중요한 것은 이들이 각각 따로 존재하지 않는다는 점이다. 실제 음식에서는 여러 성분이 하나의 식품 매트릭스 안에서 동시에 들어온다.[1]

1. 식물성 식품의 강점은 '한 성분'보다 식품 매트릭스에 있다

현대 영양학은 탄수화물·지방·단백질의 비율만 보는 방식에서 식품의 질과 식사패턴을 함께 보는 방향으로 이동하고 있다. ADA 2026 역시 당뇨병 영양치료에서 비전분 채소, 통과일, 콩류, 통곡, 견과와 씨앗을 강조하고, 정제곡물과 초가공식품을 줄이도록 권고한다. 같은 탄수화물이라도 콩과 설탕은 대사효과가 다르기 때문이다.[2]

식물성 식품에는 식이섬유, 무기질, 비타민, 폴리페놀과 불포화지방이 함께 존재한다. 따라서 특정 성분 하나를 보충제로 투여한 연구와 실제 식품을 먹는 연구는 같은 질문에 답하지 않는다. 이 장에서는 기전을 설명하되, 보충제 효과를 곧바로 '식물성 식사 전체의 효과'로 확대하지 않는다.[3]

2. 식이섬유는 하나의 물질이 아니다

식이섬유는 소장에서 완전히 소화·흡수되지 않는 탄수화물의 집합이다. 물에 녹는지, 점성을 만드는지, 장내미생물에 의해 얼마나 발효되는지에 따라 생리작용이 달라진다. β-글루칸과 차전자피처럼 점성이 큰 수용성 섬유는 위 배출과 영양소 확산을 늦출 수 있고, 일부 발효성 섬유와 저항전분은 대장에서 미생물 대사의 기질이 된다.[4]

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[4] Reynolds, A. N., Akerman, A. P., & Mann, J. (2020). Dietary fibre and whole grains in diabetes management: Systematic review and meta-analyses. *PLoS Medicine,

ADA 2026은 당뇨병과 당뇨 고위험군에서 최소 1,000 kcal당 14 g의 식이섬유를 권고한다. 그러나 이 수치는 '많을수록 무조건 좋다'는 뜻이 아니다. 섬유 섭취를 갑자기 크게 늘리면 복부팽만, 가스, 설사나 변비가 생길 수 있으므로 음식과 수분 섭취, 개인의 장 적응을 함께 고려해야 한다.[5]

3. 식이섬유의 혈당효과는 비교적 일관되지만 크기는 연구마다 다르다

제2형 당뇨병 성인을 대상으로 한 29개 RCT, 1,517명의 메타분석에서 수용성 식이섬유 보충은 HbA1c를 평균 0.63%포인트 낮추고 공복혈당, 공복인슐린, HOMA-IR과 식후혈당도 개선했다. 다만 연구 간 이질성이 상당했고, 개별 섬유의 종류와 용량, 연구기간이 서로 달랐다.[6]

당뇨병 관리에서 식이섬유와 통곡을 종합한 Reynolds 등의 체계적 문헌고찰도 높은 섬유 섭취가 혈당과 여러 심혈관 대사지표에 유리한 방향으로 작용한다고 보고했다. 그러나 고섬유 식사의 이점은 섬유 자체뿐 아니라 통곡, 콩류, 채소처럼 섬유를 제공하는 식품의 다른 성분과 함께 나타날 수 있다.[7]

따라서 '섬유 10 g을 더 먹으면 HbA1c가 정확히 얼마 내려간다'는 식으로 단정하기 어렵다. 식품 형태, 섬유의 점성과 발효성, 총에너지 섭취와 체중변화가 함께 영향을 준다.[8]

4. 장내미생물은 식사의 변화를 빠르게 감지한다

대장에는 숙주의 효소로 소화되지 않은 탄수화물을 이용하는 미생물이 존재한다. 식이섬유의 종류가 바뀌면 미생물에게 공급되는 기질도 달라지고, 이 변화는 미생물 군집과 대사산물의 구성에 영향을 줄 수 있다. ADA 2026도 고섬유 식사가 장내미생물 구성과 다양성을

17*(3), e1003053. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003053

[5] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[6] Jovanovski, E., et al. (2020). Effects of soluble fiber supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Nutrition, 40*, 1800–1810. PMID: 33162192.

[7] Reynolds, A. N., Akerman, A. P., & Mann, J. (2020). *PLoS Medicine, 17*(3), e1003053.

[8] Jovanovski, E., et al. (2020). Effects of soluble fiber supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Nutrition, 40*, 1800–1810. PMID: 33162192.

조절할 수 있다고 설명하지만, 장내미생물과 만성질환의 인과관계에는 아직 밝혀야 할 부분이 많다고 명시한다.[9]

제2형 당뇨병 RCT를 분석한 2020년 체계적 문헌고찰에서는 식이섬유 중재가 Bifidobacterium의 상대적 풍부도와 총 단쇄지방산을 증가시키고 HbA1c를 소폭 개선했다. 그러나 공복혈당과 HOMA-IR, 개별 아세트산·프로피온산·부티르산은 유의한 차이가 없었다. 장내미생물 변화와 혈당 개선이 항상 1대1로 연결되는 것은 아니다.[10]

5. 단쇄지방산은 중요한 연결고리지만 '많을수록 좋다'고 말할 수 없다

아세트산, 프로피온산, 부티르산은 장내미생물이 발효성 기질을 이용할 때 생성되는 대표적인 단쇄지방산이다. 이들은 장세포의 에너지원이 되거나 수용체와 신호경로를 통해 장 호르몬, 면역반응과 에너지대사에 영향을 줄 가능성이 있다. 이러한 기전은 식이섬유와 대사건강을 연결하는 유력한 설명 가운데 하나다.[11]

그러나 인간 임상시험을 모은 2022년 메타분석은 직접 투여한 아세트산·프로피온산·부티르산 또는 혼합 SCFA가 혈당과 인슐린을 일관되게 개선한다는 근거를 확인하지 못했다. 식초 섭취는 일부 급성 식후혈당 반응을 낮췄지만, 연구의 이질성과 편향 가능성이 커서 저자들은 근거의 불확실성을 강조했다.[12]

2025년 사람 연구를 정리한 체계적 문헌고찰도 분변 SCFA 농도가 높다는 사실을 곧바로 좋은 대사상태로 해석해서는 안 된다고 지적했다. 분변 농도는 생성량뿐 아니라 장에서 흡수된 양과 이동속도의 영향을 받기 때문이다. 식물성 식사의 효과를 설명할 때 SCFA는 중요한 후보기전이지만, 단일 바이오마커처럼 사용할 단계는 아니

[9] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[10] Ojo, O., et al. (2020). The role of dietary fibre in modulating gut microbiota dysbiosis in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Nutrients, 12*, 3239. PMID: 33113929.

[11] Cherta-Murillo, A., Pugh, J. E., Alaraj-Alshehhi, S., Hajjar, D., Chambers, E. S., & Frost, G. S. (2022). The effects of SCFAs on glycemic control in humans: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(2), 335–361. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac085

[12] Cherta-Murillo, A., Pugh, J. E., Alaraj-Alshehhi, S., Hajjar, D., Chambers, E. S., & Frost, G. S. (2022). The effects of SCFAs on glycemic control in humans: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(2), 335–361. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac085

다.[13]

6. 장벽과 염증은 가능성 있는 경로지만 인간 근거의 강도를 구분해야 한다

부티르산은 대장 상피세포의 중요한 에너지원이며, 실험연구에서는 장 장벽 유지와 면역조절에 관여하는 것으로 알려져 있다. 비만과 제2형 당뇨병에서 장내미생물 변화, 장 투과성, 저등급 염증이 함께 관찰되는 연구도 많다. 그러나 이런 관찰만으로 특정 식품이 장벽을 회복시켜 당뇨를 치료한다고 결론내릴 수는 없다.[14]

임상적으로는 혈당, 체중, 인슐린 감수성 같은 직접 결과를 우선 보고, 장내미생물·SCFA·염증표지자는 그 변화를 설명하는 보조기전으로 다루는 편이 안전하다. 본서에서도 기전적 가능성과 임상적으로 확인된 효과를 구분한다.[15]

7. 폴리페놀은 식물이 만드는 신호성분이지만 효과는 '완만한 평균'으로 봐야 한다

폴리페놀은 식물이 만드는 다양한 페놀성 화합물의 큰 집단이다. 플라보노이드는 그 하위군이며 베리류, 코코아, 차, 콩, 양파, 허브와 여러 채소에 존재한다. 흡수율과 대사경로는 화합물마다 크게 다르고, 장내미생물에 의해 변환된 대사산물이 생리작용에 관여하기도 한다.[16]

28개 RCT의 메타분석에서 플라보노이드 중재는 제2형 당뇨병 환자의 공복혈당, HbA1c, HOMA-IR과 일부 지질지표를 소폭 개선했다. HbA1c의 평균차는 약 -0.26%포인트였다. 그러나 사용된 플라보노이드의 종류와 용량이 다양하므로 '플라보노이드 전체가 동일한 효과를 낸다'고 해석해서는 안 된다.[17]

[13] Ahmad, S., Assaf, M., Thomas, B., et al. (2025). Fecal short-chain fatty acids (SCFAs) and their role in metabolic disorders: A systematic review. *Cureus, 17*(9), e91579. https://doi.org/10.7759/cureus.91579

[14] Xu, et al. (2024). Dietary intervention improves metabolic levels in patients with type 2 diabetes through the gut microbiota: A systematic review and meta-analysis. PMID: 38260058; American Diabetes Association (2026), Section 5.

[15] Xu, et al. (2024). Dietary intervention improves metabolic levels in patients with type 2 diabetes through the gut microbiota: A systematic review and meta-analysis. PMID: 38260058; American Diabetes Association (2026), Section 5.

[16] Efficacy of flavonoids on biomarkers of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. (2021). PMID: 34842001.

[17] Efficacy of flavonoids on biomarkers of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. (2021). PMID: 34842001.

식품으로 먹는 폴리페놀의 장점은 섬유, 미네랄, 지방산과 함께 들어온다는 데 있다. 반대로 고용량 추출물의 효과와 안전성은 일반 식품섭취와 다를 수 있다. 식물성 케톤식에서는 보충제보다 저당질 채소, 허브, 견과·씨앗과 같은 식품을 기본으로 삼는 이유가 여기에 있다.[18]

8. 마그네슘은 포도당 대사에 필요하지만 보충제 효과는 대상에 따라 달라진다

마그네슘은 ATP를 사용하는 수많은 효소반응의 보조인자이며 인슐린 신호와 포도당 대사에도 관여한다. 식품으로는 견과류, 씨앗류, 콩류, 녹색잎채소와 통곡 등에 많이 들어 있다. 관찰연구에서는 마그네슘 섭취가 높은 집단에서 제2형 당뇨병 위험이 낮은 경향이 반복해서 보고됐다.[19]

그러나 보충제 임상시험의 결과는 더 복잡하다. 2025년 23개 RCT, 1,345명을 분석한 메타분석에서는 마그네슘 보충이 공복혈당을 낮췄지만 HbA1c 평균효과는 -0.16%포인트로 작고 통계적 경계에 가까웠다. 2026년 업데이트 메타분석에서는 인슐린과 HOMA-IR의 유의한 개선이 확인되지 않았으며, 기저 인슐린 상태에 따라 반응이 달라질 가능성이 제시됐다.[20]

따라서 식물성 식품에서 마그네슘을 충분히 섭취하는 것과, 모든 당뇨병 환자에게 마그네슘 보충제를 권하는 것은 다른 주장이다. 신장기능이 저하된 사람은 보충제 사용에 특히 주의해야 한다.[21]

[18] Efficacy of flavonoids on biomarkers of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. (2021). PMID: 34842001.

[19] Zhao, B., et al. (2020). Association of magnesium consumption with type 2 diabetes and glucose metabolism: A systematic review and pooled study with trial sequential analysis. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews, 36*, e3243. https://doi.org/10.1002/dmrr.3243

[20] Al Maqrashi, N., Al Busaidi, S., Al-Rasbi, S., Al Alawi, A. M., & Al-Maqbali, J. S. (2025). Effect of magnesium supplements on improving glucose control, blood pressure and lipid profile in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Sultan Qaboos University Medical Journal, 25*(1), 382–394. https://doi.org/10.18295/2075-0528.2848; Oral magnesium supplements and insulin resistance in individuals with diabetes and pre-diabetes: an updated systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. (2026). PMID: 42426860.

[21] Al Maqrashi, N., Al Busaidi, S., Al-Rasbi, S., Al Alawi, A. M., & Al-Maqbali, J. S. (2025). Effect of magnesium supplements on improving glucose control, blood pressure and lipid profile in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Sultan Qaboos University Medical Journal, 25*(1), 382–394. https://doi.org/10.18295/2075-0528.2848; Oral magnesium supplements and insulin resistance in individuals with diabetes and pre-diabetes: an updated systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. (2026). PMID: 42426860.

9. 칼륨은 혈압뿐 아니라 포도당 대사와도 연결되지만 인과관계는 아직 제한적이다

칼륨은 세포막 전위, 신경과 근육 기능, 췌장 베타세포의 전기적 활동에 관여한다. 채소, 콩류, 견과류와 여러 과일은 주요 공급원이다. 7개 전향적 연구를 합친 2022년 메타분석에서는 식이 칼륨 섭취와 당뇨병 위험 사이에 비선형적인 역연관성이 관찰됐다.[22]

하지만 이런 결과는 관찰연구가 중심이므로 칼륨 자체의 효과와 건강한 식사패턴의 효과를 완전히 분리할 수 없다. 또한 만성콩팥병이나 특정 약물을 사용하는 사람에게는 고칼륨혈증 위험이 있으므로, '식물성 식사는 칼륨이 많으니 무조건 많이 먹어야 한다'는 식의 적용은 위험하다.[23]

10. 지방의 '양'만큼 '무엇으로 바꾸는가'가 중요하다

식물성 식사의 지방은 견과, 씨앗, 올리브와 아보카도 등에 포함된 단일불포화지방산(MUFA)과 다중불포화지방산(PUFA)을 중심으로 구성할 수 있다. 이때 중요한 질문은 지방을 추가했느냐가 아니라 무엇을 대신했느냐이다. 같은 열량에서 포화지방을 PUFA로 바꾸는 것과 정제 탄수화물을 포화지방으로 바꾸는 것은 대사효과가 다르다.[24]

102개 무작위 급식시험, 4,220명을 분석한 메타분석에서 탄수화물이나 포화지방 일부를 MUFA 또는 PUFA로 등열량 교체했을 때 HbA1c와 인슐린 관련 지표가 유리하게 변하는 결과가 관찰됐다. 특히 PUFA는 여러 비교에서 가장 일관된 개선과 연관됐다. 다만 2023년 단기 RCT 메타분석에서는 포화지방을 불포화지방으로 바꾼 효과가 인슐린 감수성 자체에서는 뚜렷하지 않아, 지표와 기간에 따라 결과가 다를 수 있음을 보여준다.[25]

[22] D'Elia, L., Masulli, M., Cappuccio, F. P., Zarrella, A. F., Strazzullo, P., & Galletti, F. (2022). Dietary potassium intake and risk of diabetes: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Nutrients, 14*(22), 4785. https://doi.org/10.3390/nu14224785

[23] D'Elia, L., Masulli, M., Cappuccio, F. P., Zarrella, A. F., Strazzullo, P., & Galletti, F. (2022). Dietary potassium intake and risk of diabetes: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Nutrients, 14*(22), 4785. https://doi.org/10.3390/nu14224785

[24] Imamura, F., Micha, R., Wu, J. H. Y., et al. (2016). Effects of saturated fat, polyunsaturated fat, monounsaturated fat, and carbohydrate on glucose-insulin homeostasis: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled feeding trials. *PLoS Medicine, 13*(7), e1002087. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002087; Impact of saturated compared with unsaturated dietary fat on insulin sensitivity, pancreatic β-cell function and glucose tolerance. (2023). PMID: 37500058.

[25] Imamura, F., Micha, R., Wu, J. H. Y., et al. (2016). Effects of saturated fat,

제2형 당뇨병만 대상으로 한 고-MUFA 식사 메타분석에서도 고탄수 식사와 비교해 공복혈당과 중성지방, 체중과 수축기혈압이 유리하게 변했다. 이 결과는 식물성 케톤식에서 지방을 늘릴 경우 포화지방보다 불포화지방 공급원을 우선해야 하는 근거가 된다.[26]

11. 견과와 씨앗은 '지방 덩어리'가 아니라 하나의 식품이다

견과류는 불포화지방뿐 아니라 식이섬유, 단백질, 마그네슘과 다양한 생리활성 성분을 함께 제공한다. 40개 RCT, 2,832명을 분석한 메타분석에서 견과·땅콩 섭취는 공복인슐린과 HOMA-IR을 소폭 개선했지만 HbA1c와 공복혈당은 유의하게 변하지 않았다. 2025년 호두 RCT 메타분석에서도 HOMA-IR은 개선됐지만 HbA1c와 공복혈당은 변하지 않았다.[27]

이런 결과는 특정 식품이 모든 대사지표를 동시에 움직이지 않는다는 점을 다시 보여준다. 견과류의 가치는 혈당 하나뿐 아니라 지방의 질, 포만감, 심혈관 위험인자와 전체 식사구성 속에서 평가해야 한다.[28]

12. 식물의 대사효과는 '여러 작은 경로가 같은 방향으로 겹치는 것'에 가깝다

식이섬유는 식후 포도당의 흡수속도와 장내 발효를 바꾸고, 불포화지방은 지방산 구성을 바꾼다. 마그네슘과 칼륨은 세포의 효소반응

polyunsaturated fat, monounsaturated fat, and carbohydrate on glucose-insulin homeostasis: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled feeding trials. *PLoS Medicine, 13*(7), e1002087. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002087; Impact of saturated compared with unsaturated dietary fat on insulin sensitivity, pancreatic β-cell function and glucose tolerance. (2023). PMID: 37500058.

[26] Qian, F., Korat, A. A., Malik, V., & Hu, F. B. (2016). Metabolic effects of monounsaturated fatty acid-enriched diets compared with carbohydrate or polyunsaturated fatty acid-enriched diets in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care, 39*(8), 1448–1457. https://doi.org/10.2337/dc16-0513

[27] Tindall, A. M., Johnston, E. A., Kris-Etherton, P. M., & Petersen, K. S. (2019). The effect of nuts on markers of glycemic control: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition, 109*(2), 297–314. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy236; Hadi, A., et al. (2025). Impact of walnut consumption on glycemic control and anthropometric indices: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders, 24*, 62. PMID: 39911204.

[28] Tindall, A. M., Johnston, E. A., Kris-Etherton, P. M., & Petersen, K. S. (2019). The effect of nuts on markers of glycemic control: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition, 109*(2), 297–314. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy236; Hadi, A., et al. (2025). Impact of walnut consumption on glycemic control and anthropometric indices: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders, 24*, 62. PMID: 39911204.

과 전기생리에 관여하며, 폴리페놀은 여러 신호경로와 상호작용한다. 개별 효과는 작아도 한 식사패턴 안에서 함께 작용하면 체중, 혈당, 지질과 혈압이 동시에 조금씩 변할 수 있다.[29]

다만 '시너지'라는 말은 임상시험으로 직접 검증된 효과와 구분해야 한다. 많은 연구는 식사 전체를 바꾸기 때문에 어떤 성분이 어느 정도 기여했는지 분리하기 어렵다. 식물성 케톤식의 논리는 이런 불확실성을 인정하면서도, 이미 근거가 비교적 확립된 식품의 질 원칙을 한 식사 안에 배치하는 데 있다.[30]

13. 식물성 케톤식에서는 섬유와 미량영양소를 '탄수화물과 함께 버리지' 않아야 한다

탄수화물을 줄이는 과정에서 통곡과 과일, 콩류를 크게 제한하면 식이섬유와 마그네슘, 칼륨, 폴리페놀 섭취가 함께 줄 수 있다. 따라서 식물성 케톤식은 단순히 탄수화물을 최소화하는 방식이 아니라, 허용되는 탄수화물 범위 안에서 비전분 채소, 견과와 씨앗, 버섯, 해조류와 개인에 따라 소량의 콩류 등 영양밀도가 높은 식품을 우선하는 설계가 필요하다.[31]

특히 SGLT2 억제제를 사용하는 당뇨병 환자에게는 케톤식이 케톤산증 위험과 관련될 수 있어 ADA 2026은 의도적인 케톤식 패턴을 피하도록 권고한다. 이 책의 식사모델 역시 약물상태와 신장기능, 전해질 상태를 확인하지 않은 채 일률적으로 적용해서는 안 된다.[32]

제7장의 핵심

식물성 식품이 대사를 바꾸는 과정에는 식이섬유, 장내미생물, 단쇄지방산, 폴리페놀, 마그네슘과 칼륨, 불포화지방이 함께 관여한다. 그중 식이섬유와 지방의 질은 임상근거가 비교적 탄탄한 편이며, 장내미생물과 SCFA는 중요한 기전이지만 인간에서의 인과관계는 아

[29] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[32] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes—2026, Section 5, recommendation 5.26.

직 불완전하다.[33]

식물성 케톤식의 핵심은 '탄수화물을 줄이는 것'과 '식물의 보호적 성분을 유지하는 것'을 동시에 달성하는 데 있다. 다음 장에서는 이 원칙을 거꾸로 적용해, 식물성 식사라 해도 정제곡물과 설탕, 초가공 식품이 많을 때 어떤 문제가 생기는지 살펴본다.[34]

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

제8장. 식물성 식단의 약점 — 식물성이라고 모두 건강한 것은 아니다

식물성이라는 말은 식품의 출처를 설명할 뿐, 그 식품의 대사적 질까지 보증하지는 않는다. 감자칩도 식물에서 나오고, 설탕과 정제 밀가루도 식물에서 나온다. 반대로 콩과 견과, 비전분 채소처럼 가공이 적고 영양밀도가 높은 식품도 같은 범주 안에 있다. 따라서 당뇨병에서 중요한 질문은 “동물성이냐 식물성이냐”에서 끝나지 않는다. 무엇을 먹었고, 얼마나 가공됐으며, 무엇을 대신했는지를 함께 봐야 한다.[1]

1. ‘식물성’은 하나의 식사패턴이 아니다

식물성 식단은 비건부터 채식, 세미채식, 식물성 식품을 많이 먹는 혼합식까지 매우 넓게 사용된다. 연구에서도 정의가 제각각이어서 서로 다른 식단을 하나로 묶으면 결과가 흐려질 수 있다. 특히 “식물성 식품의 비율”만 높이고 정제곡물과 당류, 초가공식품의 질을 구분하지 않으면 식물성 식사의 장점이 약해질 수 있다.[2]

2024년 전향적 연구 메타분석은 이 차이를 수치로 보여준다. 전체 식물성 식사 지수와 건강한 식물성 식사 지수의 높은 점수는 제2형 당뇨병 위험 감소와 연관됐지만, 건강하지 않은 식물성 식사 지수는 오히려 위험 증가와 연관됐다. 건강한 식물성은 통곡, 채소, 과일, 콩류, 견과처럼 질이 높은 식물성 식품을 더 높게 평가하고, 건강하지 않은 식물성은 정제곡물, 단 음료, 과자류와 같은 식품을 더 높게 평가한다.[3]

표 8-1. 식물성 식사의 ‘양’과 ‘질’을 구분한 당뇨병 위험 근거

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[2] Kent, G., Kehoe, L., Flynn, A., & Walton, J. (2022). Plant-based diets: a review of the definitions and nutritional role in the adult diet. *Proceedings of the Nutrition Society, 81*(1), 62–74. PMID: 35760588.

[3] The Association Between Overall, Healthy, and Unhealthy Plant-Based Diet Index and Risk of Prediabetes and Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Studies. (2024). *Nutrition Reviews*. PMID: 38796844.

구분	높은 점수의 의미	제2형 당뇨병 위험	해석
전체 식물성 지수 (O-PDI)	동물성보다 식물성 비중이 큼	약 14% 낮음	식물성 비중 자체의 평균적 연관
건강한 식물성 지수 (H-PDI)	통곡·채소·과일·콩·견과 중심	약 19% 낮음	식물성 식품의 질이 중요
건강하지 않은 식물성 지수(U-PDI)	정제곡물·당류·가공식품 비중이 큼	약 10% 높음	‘식물성’만으로 건강성을 판단할 수 없음

출처: 16개 전향적 연구, 총 721,012명을 포함한 2024년 체계적 문헌고찰·용량-반응 메타분석.[4]

2. 정제곡물은 식물성 식품이지만 원형 곡물과 같은 방식으로 작동하지 않는다

곡물은 껍질과 배아, 배유가 함께 있을 때 식이섬유와 미량영양소를 제공한다. 정제 과정에서 이 구조가 크게 제거되면 입자 크기와 소화 속도, 섬유 함량이 달라진다. ADA 2026은 당뇨병 식사에서 통곡과 최소가공 탄수화물을 강조하고 정제곡물을 줄이도록 권고한다.[5]

이 차이는 탄수화물의 절대량과 별개다. 같은 탄수화물 40 g이라도 설탕 음료, 흰빵, 콩, 채소에서 들어올 때 식후 반응과 포만감은 같지 않다. 식물성 케톤식이 탄수화물의 양을 낮추면서도 질을 따지는 이유가 여기에 있다.[6]

3. 설탕을 이야기할 때는 ‘형태’와 ‘에너지 맥락’을 함께 봐야 한다

당류를 모두 같은 독성물질처럼 설명하는 것도 정확하지 않다. 2025년 전향적 코호트 메타분석에서는 설탕이 들어 있는 음료가 제2형 당뇨병 위험과 일관된 양의 연관성을 보였지만, 총당과 과당 자체는 동일한 방향으로 일관되게 연결되지 않았다. 연구자들은 당의 종류만큼 식품 공급원과 섭취형태가 중요하다고 결론지었다.[7]

[4]The Association Between Overall, Healthy, and Unhealthy Plant-Based Diet Index and Risk of Prediabetes and Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Studies. (2024). *Nutrition Reviews*. PMID: 38796844.

[5]American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[6]American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[7]Della Corte, K. A., Bosler, T., McClure, C., Buyken, A. E., LeCheminant, J. D., Schwingshackl, L., & Della Corte, D. (2025). Dietary Sugar Intake and Incident Type 2 Diabetes Risk: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective

무작위 급식시험을 모은 분석도 비슷한 메시지를 준다. 과당을 다른 탄수화물과 같은 열량으로 바꿨을 때는 혈당지표가 반드시 악화되지 않았지만, 당을 음료 형태로 추가해 총에너지가 늘어난 조건에서는 불리한 결과가 더 자주 나타났다. 따라서 “과당이 들어 있으니 과일도 설탕 음료와 같다”는 식의 단순화는 근거와 맞지 않는다.[8]

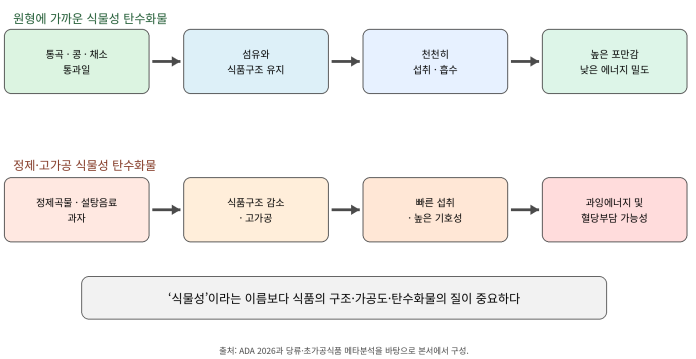
4. 통과일과 과일주스는 같은 식품이 아니다

통과일에는 세포벽과 식이섬유, 씹는 과정이 남아 있다. 주스는 이 구조가 크게 달라지고 같은 양의 당을 더 빠르게 마실 수 있다. 2025년 메타분석에서는 비100% 과일주스가 제2형 당뇨병 위험 증가와 연관됐고, 100% 과일주스는 뚜렷한 예방효과를 보이지 않았다.[9]

반면 2026년 제2형 당뇨병 환자를 대상으로 한 작은 RCT 메타분석에서는 선택된 통과일 또는 과일 기반 제품이 HbA1c와 공복혈당을 소폭 낮췄다. 연구 수가 5편, 245명으로 적기 때문에 과일 전체에 일반화하기에는 제한이 있지만, 적어도 통과일과 설탕 음료를 같은 범주로 묶어서는 안 된다는 점을 뒷받침한다.[10]

그림 8-1. 같은 ‘식물성 탄수화물’이 서로 다른 길로 갈라지는 과정

그림 8-1. 같은 ‘식물성 탄수화물’이 서로 다른 길로 갈라지는 과정



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

Cohort Studies. *Advances in Nutrition, 16*(5), 100413. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2025.100413

[8] Sievenpiper, J. L., et al. (2018). Food sources of fructose-containing sugars and glycaemic control: systematic review and meta-analysis of controlled intervention studies. *BMJ*. PMID: 30463844.

[9] Lee, C.-W., & Myung, S.-K. (2025). Consumption of Fruit Juice and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *American Journal of Medicine*. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2025.05.021

[10] Kuramoto, N., et al. (2026). A meta-analysis of available data of the effects of selected whole and powdered fruits on glycemia in type 2 diabetes. *American Journal of Medicine, 139*(2), 223–231. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2025.08.005

통곡·콩·채소·통과일 → 섬유와 식품구조 유지 → 천천히 섭취·흡수 → 높은 포만감과 낮은 에너지 밀도

정제곡물·설탕 음료·과자 → 식품구조 감소·고가공 → 빠른 섭취·높은 기호성 → 과잉에너지와 혈당부담 가능성

출처: ADA 2026과 당류·초가공식품 메타분석을 바탕으로 본서에서 구성.[11][12][13]

5. 초가공 비건식품은 '비건'이라는 이유로 보호받지 않는다

초가공식품은 여러 공정을 거치고 식품첨가물과 정제된 원료를 사용해 만든 제품군을 뜻한다. 비건 쿠키, 비건 아이스크림, 정제전분 기반 대체육, 당이 많은 식물성 음료도 구성에 따라 이 범주에 들어갈 수 있다. 식물성이라는 라벨과 가공도는 서로 다른 축이다.[14]

2024년 우산형 문헌고찰에서는 초가공식품 섭취가 높을수록 제2형 당뇨병 발생 위험이 증가하는 근거가 중등도 확실성으로 평가됐다. 2025년 용량-반응 메타분석에서도 최고 섭취군은 최저 섭취군보다 제2형 당뇨병 위험이 약 48% 높았다. 다만 이 자료는 주로 관찰연구이므로 초가공식품 한 가지 요소만의 인과효과로 단정해서는 안 된다.[15][16]

또 모든 초가공식품이 동일한 위험을 갖는 것도 아니다. 미국 대규모 코호트에서는 전체 초가공식품 섭취량이 제2형 당뇨병과 양의 연관을 보였지만, 세부 식품군별 연관성은 달랐다. 따라서 NOVA 분류만으로 식품의 영양학적 가치를 완전히 설명할 수 없고, 가공도와 영

[11] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[12] Della Corte, K. A., Bosler, T., McClure, C., Buyken, A. E., LeCheminant, J. D., Schwingshackl, L., & Della Corte, D. (2025). Dietary Sugar Intake and Incident Type 2 Diabetes Risk: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Advances in Nutrition, 16*(5), 100413. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2025.100413

[13] Lane, M. M., et al. (2024). Ultra-processed food consumption and human health: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. PMID: 38363072. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2317877

[14] Lane, M. M., et al. (2024). Ultra-processed food consumption and human health: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. PMID: 38363072. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2317877

[15] Lane, M. M., et al. (2024). Ultra-processed food consumption and human health: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. PMID: 38363072. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2317877

[16] Ultra-Processed Food Intake and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus: A Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Studies. (2025). PMID: 40490026.

양소 질을 함께 봐야 한다.[17]

표 8-2. '식물성인데도' 대사적으로 불리할 수 있는 대표적 경우

식품 또는 패턴	문제가 되는 지점	근거에서 확인되는 방향	실전 판단
설탕 첨가 음료	액상 당·빠른 섭취·낮은 포만감	T2D 위험 증가	물·무가당 음료 우선
정제곡물 중심 식사	섬유와 식품구조 감소	ADA에서 최소화 권고	통곡 또는 저당질 원형식품으로 교체
비건 과자·디저트	정제전분·당·지방·고기호성	UPF 위험 패턴에 포함 가능	'비건' 표시보다 성분표 확인
초가공 대체식품	가공도·나트륨·정제원료 다양	식품군별 결과가 서로 다름	제품별 영양구성 평가
과일주스	씹는 과정·섬유구조 감소	통과일과 동일한 예방효과 없음	필요한 경우 양을 제한

출처: ADA 2026; Della Corte et al. (2025); Lane et al. (2024); Chen et al. (2023).[18192021]

6. 식물성 식단의 단백질은 '부족하다'보다 '설계가 필요하다'가 정확하다

성인 식물성 식단의 영양상태를 종합한 체계적 문헌고찰에서는 비건과 채식인의 평균 단백질 섭취량이 육식군보다 낮았지만, 대체로 권장량 범위 안에 있었다. 따라서 균형 있게 먹는 성인에게 식물성이라는 이유만으로 단백질 결핍이 필연적으로 생긴다고 말할 수는 없다.[22]

[17] Chen, Z., et al. (2023). Ultra-Processed Food Consumption and Risk of Type 2 Diabetes: Three Large Prospective U.S. Cohort Studies. *Diabetes Care*. PMID: 36854188.

[18] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[19] Della Corte, K. A., Bosler, T., McClure, C., Buyken, A. E., LeCheminant, J. D., Schwingshackl, L., & Della Corte, D. (2025). Dietary Sugar Intake and Incident Type 2 Diabetes Risk: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Advances in Nutrition, 16*(5), 100413. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2025.100413

[20] Lane, M. M., et al. (2024). Ultra-processed food consumption and human health: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. PMID: 38363072. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2317877

[21] Chen, Z., et al. (2023). Ultra-Processed Food Consumption and Risk of Type 2 Diabetes: Three Large Prospective U.S. Cohort Studies. *Diabetes Care*. PMID: 36854188.

[22] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

그러나 열량을 크게 줄이거나 탄수화물 공급원까지 동시에 제한하면 이야기가 달라진다. 식물성 케톤식은 곡물과 콩류 일부를 제한할 수 있기 때문에 총단백질과 필수아미노산 공급원이 좁아질 수 있다. 특히 고령자, 체중감량 중인 사람, 근감소 위험이 있는 사람은 두부·템페·콩단백·견과·씨앗 등을 의도적으로 배치해야 한다. ADA 2026도 체중감량을 시행할 때 단백질 부족과 미량영양소 결핍을 정기적으로 점검하도록 권고한다.[23][24]

7. 비타민 B12는 '선택적 관심사항'이 아니라 반드시 계획해야 하는 영양소다

비타민 B12의 자연 식품 공급원은 주로 동물성 식품이다. 강화식품이나 보충제를 사용하지 않는 엄격한 비건 식사에서는 섭취 부족 위험이 높다. 2024년 성인 비건의 기능적 B12 상태를 분석한 체계적 문헌고찰과 메타분석에서는 비건군이 잡식군보다 혈청 B12가 낮고 호모시스테인이 높아 기능적 결핍 위험이 더 큰 것으로 나타났다.[25]

중요한 점은 보충 여부다. 같은 분석에서 B12 보충제를 사용하는 비건은 사용하지 않는 비건보다 B12 관련 모든 주요 바이오마커가 유리했다. 따라서 식물성 케톤식이 엄격한 비건 형태라면 B12는 "식품만으로 충분할 것"이라고 기대하기보다 강화식품 또는 적절한 보충과 검사계획을 미리 세워야 한다.[26]

8. 철분은 섭취량보다 저장상태와 생체이용률을 함께 봐야 한다

식물성 식품에는 비헴철이 존재하지만 흡수율은 식사 구성에 영향을 받는다. 피트산은 흡수를 낮출 수 있고 비타민 C는 비헴철 흡수를 높이는 데 도움을 준다. 채식 성인의 철 상태를 분석한 메타분석에서는

[23] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[24] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[25] Niklewicz, A., Hannibal, L., Warren, M., & Ahmadi, K. R. (2024). A systematic review and meta-analysis of functional vitamin B12 status among adult vegans. *Nutrition Bulletin, 49*(4), 463–479. https://doi.org/10.1111/nbu.12712

[26] Niklewicz, A., Hannibal, L., Warren, M., & Ahmadi, K. R. (2024). A systematic review and meta-analysis of functional vitamin B12 status among adult vegans. *Nutrition Bulletin, 49*(4), 463–479. https://doi.org/10.1111/nbu.12712

혈청 페리틴이 비채식군보다 평균적으로 낮았다.[27]

그렇다고 모든 채식인이 빈혈이라는 뜻은 아니다. 철 저장량, 헤모글로빈, 월경 여부, 출혈, 신장질환, 염증 상태를 함께 봐야 한다. 당뇨병 환자에게 빈혈이나 만성콩팥병이 동반되면 단순한 식사평가만으로 원인을 판단해서는 안 된다.[28]

9. 아연은 피트산이 많은 식사에서 흡수율이 달라질 수 있다

견과, 씨앗, 콩류는 아연을 제공하지만 동시에 피트산을 포함한다. 오래된 메타분석이지만 채식군에서는 평균 아연 섭취와 혈청 아연 농도가 비채식군보다 낮았고, 비건과 여성에서 차이가 더 크게 나타나는 경향이 있었다.[29]

불림, 발아, 발효와 같은 조리법은 피트산을 낮춰 아연의 이용 가능성을 높일 수 있다. 그러나 혈청 아연 하나만으로 개인의 아연 상태를 완벽히 판단할 수도 없다. 2024년 바이오마커 검토에서도 혈청·혈장 아연은 섭취 변화에 반응하지만 개인 수준의 해석에는 한계가 있다고 정리됐다.[30]

10. 요오드는 해조류를 먹는다고 자동으로 해결되지 않는다

비건과 채식 식단은 유제품과 해산물 섭취가 적기 때문에 지역에 따라 요오드 섭취가 낮아질 수 있다. 2023년 체계적 문헌고찰과 메타분석은 현대 비건·채식 성인에서 요오드 부족 위험이 높을 수 있음을 보고했다.[31]

[27] Haider, L. M., Schwingshackl, L., Hoffmann, G., & Ekmekcioglu, C. (2018). The effect of vegetarian diets on iron status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58*(8), 1359–1374. https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1259210

[28] Haider, L. M., Schwingshackl, L., Hoffmann, G., & Ekmekcioglu, C. (2018). The effect of vegetarian diets on iron status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58*(8), 1359–1374. https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1259210

[29] Foster, M., Chu, A., Petocz, P., & Samman, S. (2013). Effect of vegetarian diets on zinc status: a systematic review and meta-analysis of studies in humans. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 93*(10), 2362–2371. https://doi.org/10.1002/jsfa.6179

[30] Methods of Assessment of Zinc Status in Humans: An Updated Review and Meta-analysis. (2024). PMID: 38917458.

[31] Eveleigh, E. R., Coneyworth, L. J., Avery, A., Welham, S. J. M., & others. (2023). Systematic review and meta-analysis of iodine nutrition in modern vegan and vegetarian diets. *British Journal of Nutrition*. PMID: 36912094.

해조류는 요오드가 풍부하지만 종류에 따라 함량 변이가 매우 크다. 따라서 “김이나 미역을 많이 먹으면 된다”는 방식도 안전하지 않다. 요오드는 너무 적어도 문제지만 과도한 섭취 역시 갑상선 기능에 영향을 줄 수 있어, 지역의 요오드 강화소금 사용 여부와 실제 섭취량을 함께 봐야 한다.[32]

11. 오메가-3는 ALA와 EPA·DHA를 구분해야 한다

들깨, 아마씨, 치아씨, 호두에는 알파리놀렌산(ALA)이 들어 있다. ALA는 필수지방산이지만 체내에서 EPA와 DHA로 전환되는 효율은 제한적이다. 성인 식물성 식사 연구의 체계적 문헌고찰에서는 비건과 채식인의 EPA와 DHA 섭취 및 체내 상태가 육식군보다 낮은 경향이 확인됐다.[33]

2025년 체계적 문헌고찰도 채식, 특히 비건 식단에서 EPA와 DHA 농도가 유의하게 낮다고 정리했다. 해조류 유래 DHA·EPA는 동물성 식품을 먹지 않는 사람에게 직접적인 장쇄 오메가-3 공급원이 될 수 있다. 다만 당뇨병 개선을 목적으로 모든 사람에게 고용량 오메가-3를 일률적으로 권할 근거와는 별개의 문제다.[34]

표 8-3. 식물성 식사에서 특히 점검해야 할 영양소

[32] Eveleigh, E. R., Coneyworth, L. J., Avery, A., Welham, S. J. M., & others. (2023). Systematic review and meta-analysis of iodine nutrition in modern vegan and vegetarian diets. *British Journal of Nutrition*. PMID: 36912094.

[33] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[34] Burns-Whitmore, B., et al. (2022). Bioavailability and conversion of plant based sources of omega-3 fatty acids – a scoping review to update supplementation options for vegetarians and vegans. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62*(18), 4982–4997. PMID: 33576691; Vegetarian Diets and Their Effect on n-3 Polyunsaturated Fatty Acids Status in Humans: Systematic Review. (2025). PMID: 40958088.

영양소	식물성 식사에서의 특징	위험이 커질 수 있는 상황	점검·보완 방향
단백질	평균은 대체로 권장량 범위	저열량·저탄수 제한이 겹칠 때	두부·템페·콩단백·견과·씨앗 배치
비타민 B12	자연 공급원이 매우 제한적	엄격 비건·무보충	강화식품/보충제와 B12·MMA 등 평가
철	비헴철 중심, 흡수율 영향 큼	월경·빈혈·CKD·낮은 에너지 섭취	페리틴·CBC와 식사 구성 확인
아연	피트산이 흡수에 영향	콩·곡물 위주, 제한된 식품 다양성	불림·발효·견과·씨앗, 필요 시 검사
요오드	지역·강화식품에 따라 차이 큼	해산물·유제품·요오드화소금 모두 적을 때	섭취원 확인, 과잉 해조류도 피함
EPA·DHA	ALA에서 전환이 제한적	생선·해조유 섭취 없음	ALA 공급원 + 필요 시 해조류 유래 EPA/DHA 고려

출처: Bakaloudi et al. (2021); Niklewicz et al. (2024); Haider et al. (2018); Foster et al. (2013); Eveleigh et al. (2023); Burns-Whitmore et al. (2022); 2025 n-3 PUFA 체계적 문헌고찰.[35][36][37][38][39][40]

12. 식물성 케톤식은 '두 번 제한하는 식사'가 될 수 있다

일반적인 비건 식사는 동물성 식품을 제외한다. 케톤식은 여기에 곡물, 전분식품, 많은 과일과 일부 콩류의 양까지 줄일 수 있다. 두 제한이 겹치면 B12뿐 아니라 단백질, 철, 아연, 요오드, 칼슘, EPA·DHA

[35] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[36] Niklewicz, A., Hannibal, L., Warren, M., & Ahmadi, K. R. (2024). A systematic review and meta-analysis of functional vitamin B12 status among adult vegans. *Nutrition Bulletin, 49*(4), 463–479. https://doi.org/10.1111/nbu.12712

[37] Haider, L. M., Schwingshackl, L., Hoffmann, G., & Ekmekcioglu, C. (2018). The effect of vegetarian diets on iron status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58*(8), 1359–1374. https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1259210

[38] Foster, M., Chu, A., Petocz, P., & Samman, S. (2013). Effect of vegetarian diets on zinc status: a systematic review and meta-analysis of studies in humans. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 93*(10), 2362–2371. https://doi.org/10.1002/jsfa.6179

[39] Eveleigh, E. R., Coneyworth, L. J., Avery, A., Welham, S. J. M., & others. (2023). Systematic review and meta-analysis of iodine nutrition in modern vegan and vegetarian diets. *British Journal of Nutrition*. PMID: 36912094.

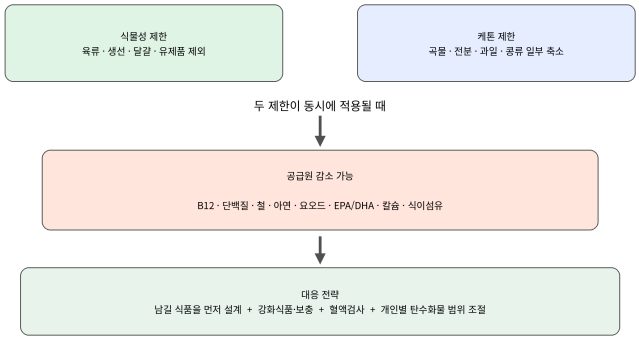
[40] Burns-Whitmore, B., et al. (2022). Bioavailability and conversion of plant based sources of omega-3 fatty acids – a scoping review to update supplementation options for vegetarians and vegans. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62*(18), 4982–4997. PMID: 33576691; Vegetarian Diets and Their Effect on n-3 Polyunsaturated Fatty Acids Status in Humans: Systematic Review. (2025). PMID: 40958088.

와 식이섬유까지 공급원이 좁아질 수 있다.[41]

따라서 식물성 케톤식은 “동물성 식품을 빼고 탄수화물을 더 줄이면 된다”는 방식으로 설계해서는 안 된다. 먼저 남겨야 할 식품을 정해야 한다. 비전분 채소, 두부·템페와 적정량의 콩단백, 견과·씨앗, 올리브·아보카도, 버섯과 해조류, 강화식품을 식사의 뼈대로 만들고, 부족 가능성이 큰 영양소는 검사와 보충계획으로 관리해야 한다.[42][43]

그림 8-2. 식물성 제한과 케톤 제한이 겹칠 때 생길 수 있는 영양 공백

그림 8-2. 식물성 제한과 케톤 제한이 겹칠 때 생길 수 있는 영양 공백



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

식물성 제한: 육류·생선·달걀·유제품 제외

+ 케톤 제한: 곡물·전분·과일·콩류 일부 축소

→ 공급원 감소 가능: B12 · 단백질 · 철 · 아연 · 요오드 · EPA/DHA · 칼슘 · 식이섬유

→ 대응: 남길 식품을 먼저 설계 + 강화식품/보충 + 혈액검사 + 개인별 탄수화물 범위 조절

[41] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[42] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[43] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

출처: 식물성 식사의 영양상태 체계적 문헌고찰과 ADA 2026을 바탕으로 본서에서 구성.[44][45][46]

13. ‘건강한 식물성’의 기준은 라벨이 아니라 식품 구성이다

실전에서는 제품 앞면의 ‘비건’, ‘식물성’, ‘무콜레스테롤’ 표시보다 원재료와 영양성분표를 먼저 봐야 한다. 당류, 정제전분, 나트륨, 포화지방이 많고 식이섬유와 단백질이 적다면 식물성이라는 이유만으로 대사적으로 유리하다고 볼 수 없다.[47][48]

반대로 가공식품을 모두 금지할 필요도 없다. 무가당 두유, 냉동채소, 통조림 콩처럼 편의성을 높이면서 영양밀도를 유지하는 식품도 있다. 중요한 것은 가공 여부 하나가 아니라 가공의 목적, 원재료, 영양구성, 전체 식사에서의 역할이다.[49]

표 8-4. 식물성 케톤식을 설계할 때 사용하는 ‘네 가지 필터’

필터	질문	통과 기준의 예
1. 가공도	원형식품에 얼마나 가까운가	비전분 채소·견과·씨앗·두부 중심
2. 탄수화물 질	정제당·정제전분이 많은가	식이섬유가 남고 당 첨가가 적음
3. 지방·단백질 질	지방과 단백질 공급원이 무엇인가	불포화지방·다양한 식물성 단백질 우선
4. 결핍 방지	B12·철·아연·요오드·오메가-3가 확보되는가	식품계획 + 강화식품/보충 + 검사

출처: ADA 2026과 본 장의 영양상태·식품질 근거를 바탕으로 본

[44] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[45] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[46] Niklewicz, A., Hannibal, L., Warren, M., & Ahmadi, K. R. (2024). A systematic review and meta-analysis of functional vitamin B12 status among adult vegans. *Nutrition Bulletin, 49*(4), 463–479. https://doi.org/10.1111/nbu.12712

[47] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[48] Lane, M. M., et al. (2024). Ultra-processed food consumption and human health: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. PMID: 38363072. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2317877

[49] Chen, Z., et al. (2023). Ultra-Processed Food Consumption and Risk of Type 2 Diabetes: Three Large Prospective U.S. Cohort Studies. *Diabetes Care*. PMID: 36854188.

서에서 구성.[505152]

14. 약점은 식물성 식사의 실패가 아니라 설계의 문제다

식물성 식사의 약점을 인정하는 것은 식물성 식사를 부정하는 일이 아니다. 오히려 어떤 조건에서 장점이 사라지는지를 알아야 장점을 보존할 수 있다. 건강한 식물성 식사는 제2형 당뇨병 위험 감소와 연관되지만, 정제곡물과 당류, 초가공식품이 중심이 되면 같은 방향의 효과를 기대하기 어렵다.[5354]

영양소도 마찬가지다. 충분한 에너지와 다양한 식품을 먹는 성인은 식물성 식사에서도 단백질을 확보할 수 있다. 그러나 B12처럼 별도의 계획이 필요한 영양소가 있고, 철·아연·요오드·EPA/DHA처럼 개인과 식품선택에 따라 부족해질 수 있는 영양소도 있다.[5556]

식물성 케톤식은 이 두 문제를 동시에 해결해야 한다. 혈당과 인슐린 부담을 낮추기 위해 탄수화물의 양을 조절하되, 식물성 식사가 제공하는 섬유와 불포화지방, 미량영양소를 잃지 않아야 한다. 다음 장부터는 이제 다른 축으로 이동해, 케톤식 자체의 임상근거를 같은 엄격함으로 살펴본다.[57]

[50] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

[51] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[52] Niklewicz, A., Hannibal, L., Warren, M., & Ahmadi, K. R. (2024). A systematic review and meta-analysis of functional vitamin B12 status among adult vegans. *Nutrition Bulletin, 49*(4), 463–479. https://doi.org/10.1111/nbu.12712

[53] The Association Between Overall, Healthy, and Unhealthy Plant-Based Diet Index and Risk of Prediabetes and Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Studies. (2024). *Nutrition Reviews*. PMID: 38796844.

[54] Lane, M. M., et al. (2024). Ultra-processed food consumption and human health: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. PMID: 38363072. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2317877

[55] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[56] Niklewicz, A., Hannibal, L., Warren, M., & Ahmadi, K. R. (2024). A systematic review and meta-analysis of functional vitamin B12 status among adult vegans. *Nutrition Bulletin, 49*(4), 463–479. https://doi.org/10.1111/nbu.12712

[57] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89–S131.

제8장의 핵심

식물성이라는 이름만으로 건강성을 판단할 수 없다. 식물성 식품의 질과 가공도, 무엇을 대신했는지가 당뇨병 위험과 대사효과를 크게 바꾼다.[58]

엄격한 식물성 식사에서는 B12가 특히 중요하며, 식물성 케톤식처럼 식품군 제한이 더해질 때는 단백질·철·아연·요오드·EPA/DHA와 식이섬유까지 체계적으로 점검해야 한다. 이 장의 결론은 제한을 늘리라는 것이 아니라, 제한만큼 설계를 정교하게 하라는 것이다.[59][60]

[58] The Association Between Overall, Healthy, and Unhealthy Plant-Based Diet Index and Risk of Prediabetes and Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Studies. (2024). *Nutrition Reviews*. PMID: 38796844.

[59] Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J., & Chourdakis, M. (2021). Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence. *Clinical Nutrition, 40*(5), 3503–3521. PMID: 33341313; Neufingerl, N., & Eilander, A. (2022). Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients, 14*(1), 29. PMID: 35010904.

[60] Niklewicz, A., Hannibal, L., Warren, M., & Ahmadi, K. R. (2024). A systematic review and meta-analysis of functional vitamin B12 status among adult vegans. *Nutrition Bulletin, 49*(4), 463–479. https://doi.org/10.1111/nbu.12712

제9장. 케톤식과 제2형 당뇨병의 임상연구

케톤식이 제2형 당뇨병에 도움이 되는가. 이 질문은 단순해 보이지만 연구를 읽기 시작하면 곧 복잡해진다. 어떤 연구는 하루 탄수화물을 130 g 아래로 낮추기만 해도 저탄수식으로 분류하고, 어떤 연구는 50 g 이하를 요구한다. 또 다른 연구는 혈중 β-하이드록시부티레이트(BHB)를 측정해 실제 영양적 케토시스가 나타났는지 확인한다. 같은 이름 아래 서로 다른 중재가 섞여 있는 셈이다.[1]

따라서 케톤식의 효과를 평가하려면 먼저 식사의 이름보다 실제 중재를 봐야 한다. 탄수화물 제한의 정도, 에너지 제한 여부, 지방의 질, 운동, 약물 조정, 상담 강도, 실제 케톤 측정 여부가 결과에 함께 작용한다. 이 장에서는 이러한 요소를 분리해 RCT, 메타분석, 장기 추적, 실제 진료형 중재의 순서로 살펴본다.[2]

1. 저탄수식과 케톤식은 같은 말이 아니다

저탄수식(low-carbohydrate diet)은 대개 탄수화물 섭취를 일반적인 식사보다 줄인 넓은 범주다. 연구에서는 하루 130 g 미만 또는 총에너지의 26% 미만을 기준으로 쓰는 경우가 많다. 반면 매우 낮은 탄수화물 식사(VLCD)나 케톤식은 흔히 하루 50 g 이하 또는 총에너지의 10% 이하를 기준으로 한다. 그러나 이 기준만으로 실제 케톤생성을 보장할 수는 없다.[3]

영양적 케토시스는 식사 이름이 아니라 대사상태다. 탄수화물 공급이 충분히 낮아지고 지방산 산화와 간의 케톤생성이 증가하면서 혈중 BHB가 상승하는 상태를 말한다. 그러므로 '저탄수' 연구 결과를 곧바로 '케톤식'의 결과로 옮겨 말하면 근거의 경계가 흐려진다.[4]

표 9-1. 임상연구에서 구분해야 할 탄수화물 제한의 범주

[1] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis. *BMJ, 372*, m4743. DOI: 10.1136/bmj.m4743.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1).

[3] Goldenberg et al. (2021); Parry-Strong, A., et al. (2022). Very low carbohydrate (ketogenic) diets in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. PMID: 36064937.

[4] Parry-Strong et al. (2022); Hallberg, S. J., et al. (2018). Effectiveness and Safety of a Novel Care Model for the Management of Type 2 Diabetes at 1 Year. *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.

범주	흔히 쓰이는 연구 기준	실제 케톤 확인	해석할 때의 주의점
저탄수식(LCD)	<130 g/ day 또는 <26% 에너지	대개 필수 아님	케톤식과 동일하지 않음
초저탄수식(VLCD)	흔히 <50 g/day 또는 <10% 에너지	연구마다 다름	케톤생성 가능성은 높지만 개인차 존재
케톤식(KD)	매우 낮은 탄수화물 + 높은 지방 비중	연구에 따라 측정	식사 처방과 실제 대사상태를 구분해야 함
영양적 케토시스	혈중 BHB 상승 등 대사상태로 확인	예	약물·공복·에너지 섭취 등 맥락까지 필요

출처: Goldenberg et al. (2021); Parry-Strong et al. (2022); ADA Standards of Care (2026)을 바탕으로 본서에서 정리.

2. 케톤식 연구에서는 '무엇을 비교했는가'가 중요하다

같은 케톤식이라도 비교식이 무엇이냐에 따라 효과의 크기는 달라진다. 아무런 체계적 식사중재가 없는 대조군과 비교하면 차이가 크게 보일 수 있다. 반대로 에너지 제한, 운동, 상담을 함께 제공하는 적극적 대조식과 비교하면 두 군 모두 좋아져 차이가 작아질 수 있다. 따라서 전후 변화와 군간 차이는 반드시 나누어 읽어야 한다.[5]

또 체중감량이 일어나면 식사 구성과 별개로 HbA1c와 인슐린 저항성이 좋아질 수 있다. 2023년 42개 RCT를 묶은 네트워크 메타분석에서도 HbA1c와 공복혈당의 변화는 평균 체중변화와 관련됐다. 케톤식의 효과를 해석할 때 체중 변화가 매개한 부분과 탄수화물 제한 자체의 효과를 완전히 분리하기 어려운 이유다.[6]

3. 작은 RCT는 '가능성'을 보여줬지만 표본은 작았다

Saslow 등의 2017년 무작위시험은 제2형 당뇨병이 있는 과체중·비만 성인을 매우 낮은 탄수화물 케톤식 생활중재와 전통적인 plate-method 식사중재로 배정했다. 32주 뒤 케톤식군의 HbA1c는 평균 약 0.8%포인트 감소했고, 대조군은 약 0.3%포인트 감소했다. 체중

[5] Choy, K. Y. C., & Louie, J. C. Y. (2023). The effects of the ketogenic diet for the management of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of recent studies. *Diabetes & Metabolic Syndrome, 17*(12), 102905. PMID: 38006799.

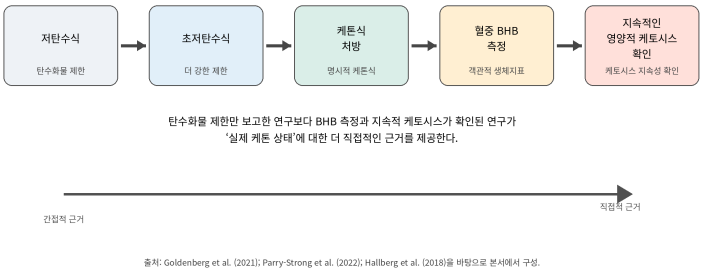
[6] Jing, T., et al. (2023). Effect of Dietary Approaches on Glycemic Control in Patients with Type 2 Diabetes: A Systematic Review with Network Meta-Analysis of Randomized Trials. PMID: 37513574.

과 중성지방도 케톤식군에서 더 크게 감소했다.[7]

이 결과는 분명 흥미롭다. 그러나 분석 가능한 참가자 수가 매우 적었고, 식사만 바꾼 것이 아니라 온라인 교육과 생활습관 지원이 함께 제공됐다. 작은 연구에서 큰 차이가 관찰됐다는 사실은 후속 연구의 필요성을 높이지만, 그 숫자를 모든 제2형 당뇨병 환자에게 그대로 적용할 수 있다는 뜻은 아니다.[8]

그림 9-1. ‘저탄수’에서 ‘확인된 영양적 케토시스’까지의 근거 스펙트럼

그림 9-1. ‘저탄수’에서 ‘확인된 영양적 케토시스’까지의 근거 스펙트럼



출처: Goldenberg et al. (2021); Parry-Strong et al. (2022); Hallberg et al. (2018)을 바탕으로 본서에서 구성.

출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

저탄수식 → 초저탄수식 → 케톤식 처방 → 혈중 BHB 측정 → 지속적인 영양적 케토시스 확인

출처: Goldenberg et al. (2021); Parry-Strong et al. (2022); Hallberg et al. (2018)을 바탕으로 본서에서 구성.

4. 잘 설계된 1년 RCT에서는 HbA1c가 두 식사 모두 좋아졌다

Tay 등의 2015년 RCT는 제2형 당뇨병이 있는 비만 성인 115명을 대상으로 하루 탄수화물 50 g 미만의 저탄수·고불포화지방 식사와 고탄수·저지방 식사를 비교했다. 두 군 모두 에너지 제한을 받았고, 주 3회의 유산소·저항운동도 함께 시행했다. 52주 후 두 군 모두 체중이

[7] Saslow, L. R., et al. (2017). An Online Intervention Comparing a Very Low-Carbohydrate Ketogenic Diet and Lifestyle Recommendations Versus a Plate Method Diet in Overweight Individuals With Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res, 19*(2), e36. DOI: 10.2196/jmir.5806.

[8] Saslow, L. R., et al. (2017). An Online Intervention Comparing a Very Low-Carbohydrate Ketogenic Diet and Lifestyle Recommendations Versus a Plate Method Diet in Overweight Individuals With Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res, 19*(2), e36. DOI: 10.2196/jmir.5806.

약 10 kg 감소했고 HbA1c도 약 1.0%포인트 낮아졌다. HbA1c의 군간 차이는 유의하지 않았다.[9]

그러나 모든 결과가 같았던 것은 아니다. 저탄수군은 당뇨약 점수, 혈당변동성, 중성지방에서 더 큰 개선을 보였고 HDL 콜레스테롤은 더 증가했다. 이 연구는 "케톤식은 무조건 HbA1c를 더 많이 낮춘다"는 단순한 결론보다, 비슷한 평균 HbA1c에서도 약물 요구량이나 혈당 변동, 지질 반응이 다를 수 있음을 보여준다.[10]

5. 2년으로 가면 '우월성'은 더 작아질 수 있다

같은 연구의 2년 추적에서는 115명 가운데 61명이 연구를 완료했다. 저탄수군과 고탄수군 모두 체중과 HbA1c 개선을 유지했지만, HbA1c의 군간 차이는 유의하지 않았다. 저탄수군에서는 중성지방과 HDL, 혈당변동성, 약물 관련 지표의 이점이 일부 유지됐다.[11]

여기서 중요한 것은 '효과가 사라졌다'와 '비교식보다 우월하지 않았다'를 구분하는 일이다. 두 군 모두 기초치보다 좋아졌다면 중재 자체의 효과는 존재할 수 있다. 다만 적극적인 비교중재보다 추가 이득이 얼마나 큰지는 별도의 질문이다. 장기 연구에서는 순응도가 낮아지고 실제 탄수화물 섭취 차이가 줄어드는 문제도 함께 발생한다.[12]

표 9-2. 대표적인 저탄수·케톤 중재 연구의 읽는 법

[9] Tay, J., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 102*(4), 780-790. PMID: 26224300.

[10] Tay, J., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 102*(4), 780-790. PMID: 26224300.

[11] Tay, J., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

[12] Tay, J., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

연구	설계·기간	탄수화물 제한	주요 결과	핵심 한계
Saslow et al., 2017	소규모 RCT, 32주	매우 낮은 탄수화물 케톤식	HbA1c·체중·TG에서 대조군보다 큰 개선	표본이 작고 다요소 생활중재
Tay et al., 2015	RCT, 52주, n=115	<50 g/day, 고불포화지방	양군 HbA1c 약 -1.0%p; LC에서 약물·변동성·TG 우위	에너지 제한과 운동 동시 시행
Tay et al., 2018	같은 코호트 2년	동일	HbA1c 군간 우월성 없음; 일부 지질·약물 지표 이점	완료자 감소, 장기 순응도 문제
Hallberg et al., 2018	비무작위 대조, 1년	영양적 케토시스 목표	HbA1c·체중·약물 사용 큰 개선	무작위가 아니며 원격관리 포함
Athinarayanan et al., 2019	비무작위 대조, 2년	영양적 케토시스 목표	HbA1c·체중·약물 감소 지속	다요소 중재, 선택·잔존 교란 가능

출처: Saslow et al. (2017); Tay et al. (2015, 2018); Hallberg et al. (2018); Athinarayanan et al. (2019).

6. 저탄수 전체를 묶은 메타분석은 6개월 효과를 강하게 보여줬다

Goldenberg 등의 2021년 BMJ 메타분석은 23개 무작위시험, 1,357명을 포함해 저탄수식과 초저탄수식을 평가했다. 6개월 시점에서 저탄수식은 대조식보다 HbA1c를 평균 0.47%포인트 더 낮췄고, 체중과 중성지방, 인슐린 감수성에서도 유리한 결과가 나타났다. HbA1c 6.5% 미만을 기준으로 한 관해도 더 자주 관찰됐다.[13]

하지만 관해의 정의에 약물 중단을 포함하면 효과의 크기는 크게 작아졌다. 또한 12개월에서는 HbA1c 차이가 약 0.23%포인트로 줄었고 통계적 경계에 가까웠다. 연구자들도 단기 효과는 인정하면서 장기 지속성과 순응도, 안전성 자료가 더 필요하다고 결론지었다.[14]

이 메타분석은 매우 중요한 근거지만 ‘케톤식만의 메타분석’은 아니다. 저탄수식의 기준이 하루 130 g 미만 또는 에너지의 26% 미만까지 포함되며, 포함 연구 중 약 절반만 매우 낮은 탄수화물 기준에 해당했다. 따라서 이 결과를 케톤식의 효과라고만 부르는 것은 정확하지 않다.[15]

[13] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.
[14] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.
[15] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.

7. 엄격한 케톤식 기준으로 좁히면 결론은 더 신중해진다

Parry-Strong 등의 2022년 메타분석은 하루 50 g 이하 또는 총에너지의 10% 이하를 엄격한 기준으로 사용하고, 최소 6개월 이상 지속된 RCT만 포함했다. 8개 연구, 606명이 분석에 들어갔다. 12개월 HbA1c는 자료 보고 방식에 따라 결과가 달랐으며, 변화량을 보고한 4개 연구에서는 대조식과 차이가 거의 없었다.[16]

반면 일부 연구에서는 12개월 절대 HbA1c가 대조군보다 약 0.65%포인트 낮았다. 중성지방은 평균 0.28 mmol/L 낮고 HDL은 소폭 높았다. 연구자들은 매우 낮은 탄수화물·케톤식이 HbA1c와 중성지방을 개선할 수 있지만, 다른 전략보다 확실히 우월하다고 말하기에는 근거가 제한적이라고 평가했다.[17]

2023년 Choy와 Louie가 11개 RCT의 19개 보고서를 재분석한 결과도 비슷했다. 케톤식은 대조식보다 중성지방을 더 낮추고 HDL을 더 높였지만, 최대 2년의 범위에서 혈당조절과 체중감량의 추가 이득은 유의하지 않았다. 같은 자료를 어떤 정의와 시점으로 묶느냐에 따라 결론이 달라질 수 있음을 보여준다.[18]

표 9-3. 메타분석이 서로 다른 결론을 내리는 이유

메타분석	포함 기준	핵심 결과	책에서의 해석
Goldenberg et al., 2021	LCD <130 g/day 또는 <26%; VLCD 포함	6개월 HbA1c -0.47%p, 관해 증가; 12개월 효과 감소	저탄수 전체의 단기 효과 근거가 강함
Parry-Strong et al., 2022	≤50 g/day 또는 ≤10%, ≥6개월 RCT	12개월 HbA1c 결과 혼재; TG↓, HDL↑	엄격한 VLC/KD의 장기 우월성은 제한적
Choy & Louie, 2023	KD RCT, 2001-2021	혈당·체중 추가 이득 없음; TG↓, HDL↑	지질효과는 비교적 일관, 혈당 우월성은 불확실
Network meta-analysis, 2023	10개 식사패턴, 42 RCT	KD가 HbA1c 감소에 유망	간접비교와 체중변화 영향 고려 필요

출처: Goldenberg et al. (2021); Parry-Strong et al. (2022); Choy & Louie (2023); Jing et al. (2023).

[16] Parry-Strong et al. (2022), PMID: 36064937.
[17] Parry-Strong et al. (2022), PMID: 36064937.
[18] Choy & Louie (2023), PMID: 38006799.

8. 네트워크 메타분석은 케톤식을 유망하게 평가했지만 '순위'는 확정판이 아니다

2023년 네트워크 메타분석은 42개 RCT, 4,809명을 대상으로 10개의 식사패턴을 비교했다. 케톤식, 저탄수식, 저지방식이 대조식보다 HbA1c를 유의하게 낮췄고, 케톤식은 HbA1c와 공복혈당을 함께 고려한 순위에서 유망한 위치를 차지했다.[19]

다만 네트워크 메타분석은 직접 비교뿐 아니라 서로 다른 연구를 연결한 간접비교를 사용한다. 연구마다 기간, 약물, 체중감량, 식사 정의가 다르면 순위의 불확실성이 커질 수 있다. 실제로 이 분석에서도 평균 체중변화가 HbA1c와 공복혈당 변화와 관련됐으며, 저자들은 장기 고품질 연구가 더 필요하다고 강조했다.[20]

9. 실제 '영양적 케토시스'를 목표로 한 대규모 중재는 약물감량 가능성을 보여줬다

Hallberg 등의 2018년 연구는 제2형 당뇨병 성인 262명을 원격관리와 영양적 케토시스 중재에 참여시키고, 일반진료군 87명과 비교했다. 1년 후 중재군의 HbA1c는 평균 7.6%에서 6.3%로 낮아졌고 체중은 약 13.8 kg 감소했다. 메트포르민을 제외한 당뇨약 사용 비율도 크게 줄었다.[21]

인슐린을 사용하던 참가자의 94%에서 인슐린이 감소하거나 중단됐고, 설포닐우레아는 중재군에서 모두 중단됐다. HOMA-IR, 중성지방, HDL, 염증지표 등도 개선됐다. 그러나 LDL 콜레스테롤은 평균적으로 상승했고 ApoB는 유의하게 변하지 않았다.[22]

이 연구는 실제 임상에서 약물조정을 포함한 케톤식 관리가 어떻게 작동할 수 있는지를 보여준다. 동시에 무작위시험이 아니며, 식사 외에 원격 모니터링·건강코칭·의료진의 적극적 약물조정이 결합된 다요소 중재다. 따라서 결과 전체를 '케톤이라는 한 가지 변수'의 효과로 분리할 수는 없다.[23]

[19] Jing et al. (2023), PMID: 37513574.
[20] Jing et al. (2023), PMID: 37513574.
[21] Hallberg, S. J., et al. (2018). *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.
[22] Hallberg, S. J., et al. (2018). *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.
[23] Hallberg, S. J., et al. (2018). *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.

10. 2년 결과는 지속 가능성을 보여줬지만 여전히 무작위 근거는 아니다

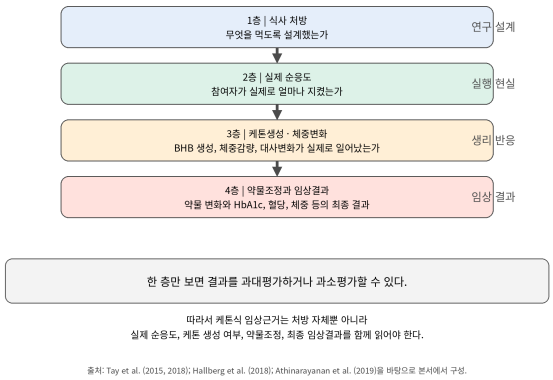
Athinarayanan 등의 2019년 2년 추적에서는 중재군 262명 중 194명이 프로그램에 남았다. HbA1c는 기초치 7.7%에서 2년 6.7%로 낮아졌고, 평균 체중도 약 10% 감소했다. 인슐린 사용은 크게 감소했고 설포닐우레아는 중단 상태가 유지됐다.[24]

연구가 사용한 정의에서 당뇨병 ‘reversal’은 53.5%, remission은 17.6%로 보고됐다. 그러나 이 연구의 remission 정의와 현재 국제합의의 관해 정의는 완전히 같지 않다. 또한 메트포르민을 계속 사용하는 참가자가 많았기 때문에 ‘reversal’과 ‘관해’를 혼용해서는 안 된다.[25]

2년의 추적은 단기시험보다 가치가 크다. 하지만 무작위배정이 없고, 중재 선택 자체가 동기가 높은 참가자를 끌어들였을 가능성이 있으며, 프로그램 제공기관과 관련된 이해상충도 고려해야 한다. 따라서 이 연구는 장기 실행 가능성을 보여주는 중요한 근거이지만 RCT와 같은 인과적 무게로 평가하지 않는다.[26]

그림 9-2. 케톤식 임상근거를 읽는 네 개의 층

그림 9-2. 케톤식 임상근거를 읽는 네 개의 층



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

[24] Athinarayanan, S. J., et al. (2019). Long-Term Effects of a Novel Continuous Remote Care Intervention Including Nutritional Ketosis for the Management of Type 2 Diabetes: A 2-Year Non-randomized Clinical Trial. *Frontiers in Endocrinology, 10*, 348. DOI: 10.3389/fendo.2019.00348.

[25] Athinarayanan, S. J., et al. (2019). Long-Term Effects of a Novel Continuous Remote Care Intervention Including Nutritional Ketosis for the Management of Type 2 Diabetes: A 2-Year Non-randomized Clinical Trial. *Frontiers in Endocrinology, 10*, 348. DOI: 10.3389/fendo.2019.00348.

[26] Athinarayanan, S. J., et al. (2019). Long-Term Effects of a Novel Continuous Remote Care Intervention Including Nutritional Ketosis for the Management of Type 2 Diabetes: A 2-Year Non-randomized Clinical Trial. *Frontiers in Endocrinology, 10*, 348. DOI: 10.3389/fendo.2019.00348.

식사 처방 → 실제 순응도 → 케톤생성·체중변화 → 약물조정과 임상결과

한 층만 보면 결과를 과대평가하거나 과소평가할 수 있다.

출처: Tay et al. (2015, 2018); Hallberg et al. (2018); Athinarayanan et al. (2019)을 바탕으로 본서에서 구성.

11. 약물감량은 케톤식 연구에서 매우 중요한 결과다

제2형 당뇨병 식사 연구에서 HbA1c만 보면 중요한 변화가 가려질 수 있다. 예를 들어 두 식사군의 HbA1c가 비슷해도 한쪽에서 인슐린이나 설포닐우레아를 더 많이 줄였다면 임상적 의미는 다르다. Tay의 RCT와 Hallberg의 비무작위 중재 모두 탄수화물 제한군에서 약물 요구량 감소가 중요한 결과로 나타났다.[27][28]

그러나 약물감량은 안전한 감량과 무계획 중단을 구분해야 한다. 탄수화물을 급격히 낮추면 혈당이 빠르게 변할 수 있어 인슐린과 설포닐우레아 용량을 신속히 조정해야 할 수 있다. 식사중재가 강할수록 의료적 모니터링의 중요성도 커진다.[29]

12. 관해를 말할 때는 정의를 먼저 적어야 한다

현재 국제합의에서는 제2형 당뇨병 관해를 일반적으로 혈당강하제를 사용하지 않은 상태에서 HbA1c가 6.5% 미만으로 최소 3개월 지속되는 상태로 정의한다. 따라서 약물을 계속 사용하면서 HbA1c가 6.5% 미만이 된 경우와, 약물 없이 같은 수치를 유지한 경우를 같은 '관해'로 부르면 안 된다.[30]

Goldenberg 메타분석에서도 이 차이가 결과를 크게 바꿨다. HbA1c만으로 관해를 정의하면 6개월 저탄수군의 관해가 크게 증가했지만, 약물 중단을 조건에 넣으면 효과는 훨씬 작고 불확실해졌다. 이 책은 이후 모든 관해 자료에서 정의와 약물 상태를 함께 표시

[27] Tay, J., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 102*(4), 780-790. PMID: 26224300.

[28] Hallberg, S. J., et al. (2018). *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.

[29] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, nutrition and pharmacologic safety recommendations.

[30] Riddle, M. C., et al. (2021). Consensus Report: Definition and Interpretation of Remission in Type 2 Diabetes. *Diabetes Care, 44*(10), 2438-2444.

한다.[31][32]

13. 순응도는 장기 결과의 일부이지 부차적인 문제가 아니다

매우 낮은 탄수화물 식사는 강력한 처방인 만큼 생활 속에서 유지하기 어려운 사람도 있다. Goldenberg 메타분석에서는 매우 낮은 탄수화물 식사가 덜 제한적인 저탄수식보다 체중감량이 작아 보였지만, 이 차이는 순응도가 높은 연구에서는 사라졌다. 즉 '식사의 생리적 효과'와 '사람이 실제로 그 식사를 유지할 수 있는가'는 분리할 수 없다.[33]

Tay의 2년 RCT에서도 완료율이 낮아졌고, 영양적 케토시스 프로그램에서도 2년 시점에는 일부 참가자만 지속적으로 높은 BHB를 기록했다. 장기 식사전략은 단기 HbA1c 감소만이 아니라 유지가능성, 식품 선택의 질, 사회적 환경, 비용까지 포함해 평가해야 한다.[34][35]

14. 케톤식의 지방 '양'보다 지방 '질'도 함께 봐야 한다

케톤식은 흔히 고지방 식사로 설명되지만 임상시험의 지방 구성은 매우 다양하다. Tay 연구는 총지방이 높아도 포화지방을 에너지의 10% 미만으로 제한하고 불포화지방을 중심으로 설계했다. 따라서 이 연구의 결과를 버터·가공육 중심의 케톤식에 그대로 적용하는 것은 타당하지 않다.[36]

이 차이는 식물성 케톤식의 핵심과도 연결된다. 탄수화물을 줄이더라도 지방 공급원을 견과, 씨앗, 올리브, 아보카도와 같은 불포화지방 중심으로 구성한다면 '탄수화물 제한'과 '지방의 질 개선'을 동

[31] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.

[32] Riddle, M. C., et al. (2021). Consensus Report: Definition and Interpretation of Remission in Type 2 Diabetes. *Diabetes Care, 44*(10), 2438-2444.

[33] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.

[34] Tay, J., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

[35] Athinarayanan, S. J., et al. (2019). Long-Term Effects of a Novel Continuous Remote Care Intervention Including Nutritional Ketosis for the Management of Type 2 Diabetes: A 2-Year Non-randomized Clinical Trial. *Frontiers in Endocrinology, 10*, 348. DOI: 10.3389/fendo.2019.00348.

[36] Tay, J., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 102*(4), 780-790. PMID: 26224300.

시에 설계할 수 있다. 그러나 이 조합 자체에 대한 직접 임상시험은 아직 매우 적다는 사실은 별도로 유지해야 한다.[37]

15. 안전성에서는 SGLT2 억제제를 특별히 다뤄야 한다

영양적 케토시스와 당뇨병성 케톤산증(DKA)은 같은 상태가 아니다. 그러나 SGLT2 억제제를 사용하는 사람에서는 혈당이 매우 높지 않아도 케톤산증이 발생할 수 있으며, 탄수화물 제한이나 공복이 위험을 높이는 상황이 될 수 있다. ADA 2026은 SGLT2 억제제를 사용하면서 DKA 위험이 있는 사람에게 케톤 측정과 위험교육을 제공하고 케톤식 패턴을 피하도록 권고한다.[38]

따라서 케톤식의 임상효과를 설명하는 장에서 약물 안전성을 빼서는 안 된다. 식사를 바꾸기 전에 현재 약물과 신장기능, 인슐린 분비능, 과거 DKA 여부를 확인해야 하며, 특히 SGLT2 억제제를 복용하는 경우에는 의료진과의 사전 조정이 필수적이다.[39]

16. 우리가 구축한 DB에서는 케톤식 근거가 어떻게 보였는가

우리 연구 데이터베이스의 엄격 재분류에서는 케톤식 관련 임상근거 후보 592편이 남았고, 내부 우선순위 A군은 361편이었다. 상위 근거 300편을 XML 원문으로 다시 검증했을 때 실제 케톤식 중재로 분류된 논문은 88편이었다. 이 숫자는 '88개의 독립 RCT'를 뜻하지 않는다. 같은 임상시험의 후속 논문과 2차 분석, 중복 코호트가 포함될 수 있기 때문이다.[40]

이 때문에 책에서는 논문 수를 효과의 크기로 사용하지 않는다. RCT인지, 비무작위 연구인지, 체계적 문헌고찰인지 먼저 구분하고 같은 코호트를 중복 계산하지 않는다. 또한 단순 저탄수식과 실제 케톤식, 케톤체를 측정한 중재를 별도로 표시한다. 이것이 수천 편의

[37] Tay et al. (2015, 2018); 본 연구 프로젝트의 식물성 케톤식 직접근거 재분류 결과.

[38] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026. SGLT2 inhibitor users at risk for ketoacidosis should receive ketone education and are discouraged from ketogenic eating patterns.

[39] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026. SGLT2 inhibitor users at risk for ketoacidosis should receive ketone education and are discouraged from ketogenic eating patterns.

[40] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3' 재분류 및 상위 근거 원문 검증 결과: ketogenic eligible 592편, internal tier A 361편, top-300 XML verification에서 ketogenic intervention 88편. 내부 분류는 공식 GRADE가 아닌 책 제작용 우선순위 체계다.

논문을 모은 뒤 다시 엄격하게 추려야 했던 이유다.[41]

표 9-4. 현재 근거로 말할 수 있는 것과 아직 말하기 어려운 것

질문	현재 근거가 지지하는 방향	근거의 한계
단기 혈당개선이 가능한가	그렇다. 특히 3-6개월에서 HbA1c 개선이 반복 관찰됨	저탄수와 케톤 연구가 혼재
다른 우수한 식사보다 HbA1c가 항상 더 좋은가	아니다	1-2년 RCT·메타분석에서 우월성 불일치
약물감량에 도움이 될 수 있는가	가능성이 높다	약물조정 프로토콜과 연구 설계 차이 큼
중성지방·HDL에 유리한가	비교적 일관된 방향	LDL/ApoB 반응은 개인과 식사구성에 따라 다름
관해를 일으킬 수 있는가	일부 연구에서 관찰됨	정의·약물상태·기간을 반드시 구분해야 함
장기적으로 누구에게나 지속 가능한가	아직 단정하기 어렵다	순응도와 2년 이상 RCT 부족
식물성 케톤식이 더 우월한가	아직 직접 근거 부족	독립적인 직접 RCT가 필요

출처: Goldenberg et al. (2021); Parry-Strong et al. (2022); Choy & Louie (2023); Tay et al. (2018); Athinarayanan et al. (2019); 본 연구 DB.

17. 케톤식의 임상근거는 '효과 있음/없음'의 이분법으로 읽을 수 없다

현재 근거는 케톤식과 매우 낮은 탄수화물 식사가 제2형 당뇨병에서 혈당, 체중, 중성지방, 약물 요구량을 개선할 수 있음을 보여준다. 특히 단기 연구와 적극적인 약물관리 프로그램에서 큰 변화가 관찰된다. 그러나 잘 설계된 적극적 대조식과 1 2년 동안 비교하면 HbA1c 우월성이 줄거나 사라지는 연구도 있다.[42][43][44]

따라서 가장 정확한 결론은 이렇다. 케톤식은 제2형 당뇨병 관리에서 사용할 수 있는 강력한 선택지 중 하나다. 다만 효과의 크기는 식사 순응도, 체중감량, 약물조정, 비교식의 질, 지방의 질, 당뇨병의 기간과 인슐린 사용 여부에 따라 달라진다. 그리고 장기 안전성과 지

[41] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3' 재분류 및 상위 근거 원문 검증 결과: ketogenic eligible 592편, internal tier A 361편, top-300 XML verification에서 ketogenic intervention 88편. 내부 분류는 공식 GRADE가 아닌 책 제작용 우선순위 체계다.

[42] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.

[43] Parry-Strong et al. (2022), PMID: 36064937.

[44] Choy & Louie (2023), PMID: 38006799.

속성은 여전히 더 많은 고품질 연구가 필요하다.[45][46][47]

이제 다음 장에서는 임상시험이라는 큰 틀에서 한 걸음 더 들어간다. HbA1c, 공복혈당, 혈당변동성, 인슐린, 약물감량, 체중과 관해가 실제로 어떤 방향으로 움직였는지 지표별로 분해해 살펴본다.

제9장의 핵심

케톤식은 단기 혈당과 약물 요구량을 크게 개선할 수 있지만, 장기적으로 다른 양질의 식사보다 항상 우월하다고 말할 근거는 아직 부족하다. 저탄수식과 케톤식을 구분하고, 체중감량·약물조정·순응도·지방의 질을 함께 봐야 임상연구를 정확히 읽을 수 있다.[48][49][50]

[45] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1).

[46] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.

[47] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026. SGLT2 inhibitor users at risk for ketoacidosis should receive ketone education and are discouraged from ketogenic eating patterns.

[48] Goldenberg et al. (2021), *BMJ, 372*, m4743.

[49] Parry-Strong et al. (2022), PMID: 36064937.

[50] Choy & Louie (2023), PMID: 38006799.

제10장. 케톤식과 혈당·인슐린

케톤식의 임상효과를 판단할 때 가장 먼저 보는 숫자는 HbA1c다. 그러나 HbA1c 하나만으로는 식후 혈당의 폭, 하루 혈당의 출렁임, 인슐린 요구량, 약물감량을 모두 설명할 수 없다. 같은 HbA1c라도 한 사람은 비교적 안정적인 혈당을 유지할 수 있고, 다른 사람은 고혈당과 저혈당을 반복할 수 있다.[1]

따라서 이 장에서는 평균과 변동을 분리해서 본다. HbA1c와 공복혈당은 장기적인 방향을 보여주고, 연속혈당측정(CGM)은 하루 안의 패턴을 드러낸다. 여기에 공복인슐린, HOMA-IR, 인슐린 사용량, 약물 변화와 체중을 함께 놓아야 탄수화물 제한이 실제 대사관리에서 어떤 의미를 갖는지 더 정확하게 읽을 수 있다.[2]

1. HbA1c는 중요하지만 '전체 혈당' 그 자체는 아니다

HbA1c는 적혈구의 헤모글로빈에 포도당이 결합한 정도를 이용해 최근 약 2 3개월의 평균적인 혈당 노출을 추정하는 지표다. 당뇨병의 진단과 치료평가에서 핵심적인 지표이며, 많은 비임신 성인에서 일반적인 치료목표는 7% 미만이다. 다만 빈혈이나 적혈구 수명 변화처럼 HbA1c와 실제 혈당의 관계를 흐릴 수 있는 상황도 존재한다.[3]

케톤식 연구에서도 HbA1c는 가장 자주 보고되는 결과다. 그러나 HbA1c가 같다는 사실만으로 두 식사의 혈당 패턴이 같다고 볼 수는 없다. 식후 고혈당의 높이와 지속시간, 저혈당의 빈도, 하루 변동폭은 평균값 뒤에 가려질 수 있기 때문이다.[4]

표 10-1. 혈당·인슐린 지표가 각각 답하는 질문

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S132-S180.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Sections 5, 6, and 9, *Standards of Care in Diabetes-2026*.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S27-S49.

[4] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S132-S180.

지표	주로 보여주는 것	장점	해석할 때의 주의점
HbA1c	약 2 3개월 평균 혈당 노출	표준화가 잘 되어 있고 합병증 위험과 연관	혈당변동과 저혈당을 직접 보여주지 않음
공복혈당	야간·간의 포도당 방출과 기초상태	간단하고 반복측정 가능	식후 반응을 놓칠 수 있음
식후혈당	식사 뒤 포도당 처리 능	탄수화물 부하의 영향을 잘 반영	식사량·시간·약물에 민감
CGM/TIR	하루 전체 혈당의 시간적 패턴	평균과 변동을 동시에 볼 수 있음	충분한 착용기간과 자료품질 필요
공복인슐린	기초 인슐린 분비 수준	대사상태의 한 단면을 제공	외인성 인슐린·베타세포 기능에 영향
HOMA-IR	공복혈당·인슐린으로 추정한 저항성	연구에서 비교가 쉬움	직접 측정법이 아니며 중증 당뇨에서 제한
인슐린 투여량	치료에 필요한 외인성 인슐린 요구량	임상적 의미가 큼	의료진의 감량 프로토콜에 영향

출처: ADA Standards of Care (2026); Matthews et al. (1985)을 바탕으로 본서에서 정리.

2. 단기에는 HbA1c가 더 빨리 내려갈 수 있다

저탄수식과 초저탄수식을 함께 분석한 Goldenberg 등의 메타분석에서는 6개월 시점 HbA1c가 대조식보다 평균 0.47%포인트 더 낮았다. 효과의 방향은 비교적 분명했고 근거의 확실성도 높게 평가됐다. 그러나 12개월에는 군간 차이가 약 0.23%포인트로 줄었으며 신뢰구간의 상한이 0에 닿았다.[5]

이 결과는 두 가지를 동시에 말한다. 탄수화물 제한은 단기간 혈당을 낮추는 강한 도구가 될 수 있지만, 시간이 지나면서 비교식과의 차이는 줄어들 수 있다. 장기 결과에서는 체중 변화와 순응도, 약물조정, 실제 탄수화물 섭취량이 처음의 처방보다 더 중요해질 수 있다.[6]

3. 기초 HbA1c가 높을수록 ‘내려갈 여지’도 크다

중재효과는 시작점에 영향을 받는다. Tay 등의 24주 RCT에서 전체 참가자의 공복혈당은 두 식사 모두 감소했지만, 기초 HbA1c가

[5] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of published and unpublished randomized trial data. *BMJ, 372*, m4743. https://doi.org/10.1136/bmj.m4743

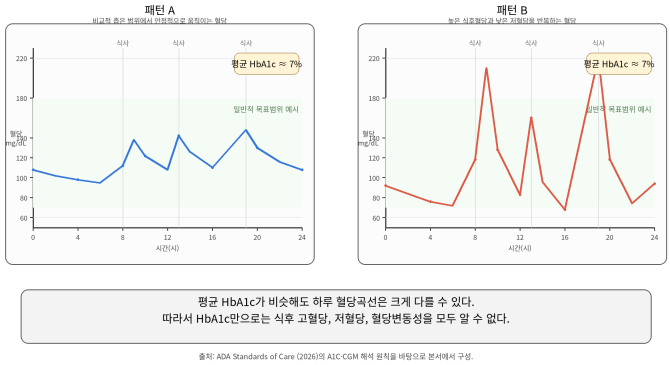
[6] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of published and unpublished randomized trial data. *BMJ, 372*, m4743. https://doi.org/10.1136/bmj.m4743

7.8%를 넘었던 하위집단에서는 매우 낮은 탄수화물군의 HbA1c 감소가 더 컸다. 낮은 시작값을 가진 사람과 높은 시작값을 가진 사람을 섞으면 평균효과가 달라질 수 있다는 뜻이다.[7]

따라서 연구의 HbA1c 감소폭을 읽을 때는 기초 HbA1c를 함께 봐야 한다. 9%에서 7%로 내려가는 변화와 7.1%에서 6.8%로 내려가는 변화는 같은 방식으로 비교할 수 없다. 약물을 얼마나 사용했는지도 반드시 함께 확인해야 한다.[8]

그림 10-1. 같은 HbA1c 안에 서로 다른 하루 혈당이 숨어 있을 수 있다

그림 10-1. 같은 HbA1c 안에 서로 다른 하루 혈당이 숨어 있을 수 있다



출

처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

패턴 A: 비교적 좁은 범위에서 안정적으로 움직이는 혈당 → 평균 HbA1c 7% 부근

패턴 B: 높은 식후혈당과 낮은 저혈당을 반복하는 혈당 → 평균은 비슷해도 변동성은 큼

출처: ADA Standards of Care (2026)의 A1C·CGM 해석 원칙을 바탕으로 본서에서 구성.

[7] Tay, J., Luscombe-Marsh, N. D., Thompson, C. H., et al. (2014). A very low-carbohydrate, low-saturated fat diet for type 2 diabetes management: a randomized trial. *Diabetes Care, 37*(11), 2909-2918. PMID: 25071075.

[8] Goldenberg et al. (2021); Tay et al. (2014, 2015).

4. 공복혈당은 HbA1c와 같은 속도로 움직이지 않을 수 있다

공복혈당은 밤사이 간에서 방출되는 포도당과 기초 인슐린 작용의 영향을 크게 받는다. 반면 HbA1c는 하루 전체의 포도당 노출을 누적해서 반영한다. 그래서 식후혈당이 크게 개선되어도 공복혈당의 변화가 상대적으로 작을 수 있고, 그 반대도 가능하다.[9]

Tay의 52주 연구에서는 저탄수군과 고탄수군 모두 HbA1c가 약 1.0%포인트 감소했다. 공복혈당도 두 군에서 낮아졌지만 군간 우월성은 없었다. 이 결과는 "탄수화물을 줄이면 공복혈당이 반드시 비교식보다 더 많이 낮아진다"는 식의 단순한 결론을 지지하지 않는다.[10]

5. 식후혈당에서는 탄수화물의 양이 더 직접적으로 드러난다

식후혈당은 한 끼에 들어온 소화 가능한 탄수화물의 양과 흡수속도에 민감하게 반응한다. 탄수화물 섭취를 크게 낮추면 식후 포도당 유입 자체가 줄기 때문에 식후 피크를 낮추는 방향으로 작용할 가능성이 높다. 그러나 단백질과 지방, 위배출 속도, 운동, 약물과 인슐린 투여시점도 식후곡선을 바꾼다.[11]

ADA 2026은 많은 비임신 성인에서 식전 혈당 80 130 mg/dL, 식후 최고 혈당 180 mg/dL 미만을 일반적인 목표로 제시한다. 이 값은 모든 사람에게 고정된 처방이 아니라 치료의 위험과 동반질환을 고려해 개별화해야 한다. 식후혈당만 낮추려다 저혈당을 늘려서는 안 된다.[12]

[9] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026.

[10] Tay, J., Luscombe-Marsh, N. D., Thompson, C. H., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 102*(4), 780-790. https://doi.org/10.3945/ajcn.115.112581

[11] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026, recommendations 5.27-5.28.

[12] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026, Table 6.3.

6. CGM은 '평균'이 놓치는 혈당변동을 보여준다

연속혈당측정은 하루 동안의 혈당을 시간축으로 보여준다. 평균혈당뿐 아니라 목표범위 내 시간(TIR), 목표범위 초과시간(TAR), 목표범위 미만시간(TBR), 변동계수(CV)를 함께 볼 수 있다. ADA 2026은 많은 성인에서 TIR 70 180 mg/dL를 70%보다 높게 유지하고, CV는 36% 이하를 하나의 임상적 목표로 제시한다.[13]

이 지표는 케톤식 연구를 읽을 때 특히 유용하다. 평균 HbA1c가 비슷해도 식후 피크와 하루 변동이 줄었다면 환자가 경험하는 혈당 환경은 달라질 수 있다. 반대로 평균이 좋아졌더라도 저혈당 시간이 늘었다면 치료를 성공으로만 평가해서는 안 된다.[14]

표 10-2. ADA 2026의 주요 CGM 지표와 일반적 목표

지표	범위·의미	많은 성인에서의 일반적 목표
TIR	70 180 mg/dL에 머문 시간	>70%
TAR level 1+2	180 mg/dL 초과 시간	<25%
TAR level 2	250 mg/dL 초과 시간	<5%
TBR level 1+2	70 mg/dL 미만 시간	<4%
TBR level 2	54 mg/dL 미만 시간	<1%
CV	혈당 변동계수	≤36%
자료품질	패턴 평가용 CGM 착용	약 14일, 자료활성 ≥70%

출처: American Diabetes Association Professional Practice Committee (2026), Section 6.

7. Tay 연구가 보여준 중요한 차이는 '혈당변동성'이었다

Tay 등의 52주 RCT에서 두 군의 평균 HbA1c 감소는 거의 같았다. 그러나 연속혈당측정으로 평가한 CONGA-1은 저탄수군에서 약 0.5 mmol/L 감소한 반면 고탄수군에서는 변화가 작았고, 군간 차이는 유의했다. 저탄수군은 당뇨약 점수도 더 크게 줄었다.[15]

2년 추적에서도 이 패턴의 일부가 남았다. 완료자 수가 줄었고 HbA1c의 군간 우월성은 없었지만, 저탄수군에서는 1시간과 4시간

[13] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026, Table 6.2.

[14] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026, Table 6.2.

[15] Tay, J., Luscombe-Marsh, N. D., Thompson, C. H., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 102*(4), 780-790. https://doi.org/10.3945/ajcn.115.112581

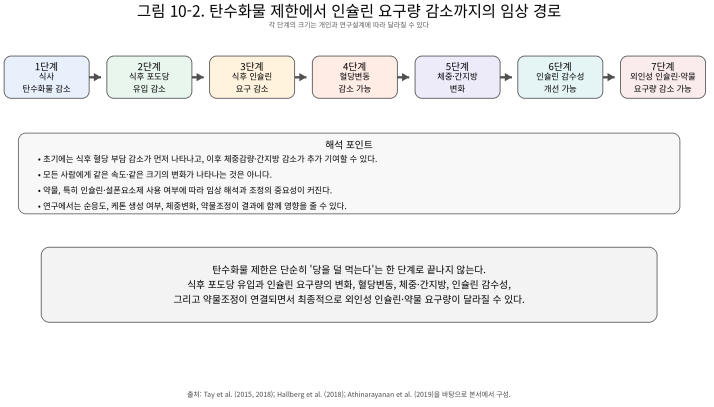
CONGA가 더 크게 감소하고 약물점수도 더 낮아졌다. 평균 혈당과 변동성, 약물부담을 함께 봐야 하는 이유를 잘 보여주는 연구다.[16]

8. 공복인슐린과 HOMA-IR은 무엇을 말해주는가

인슐린 저항성이 커지면 같은 혈당을 유지하기 위해 더 많은 인슐린이 필요할 수 있다. 공복인슐린은 이러한 보상성 고인슐린 상태를 일부 반영할 수 있고, HOMA-IR은 공복혈당과 공복인슐린을 이용해 인슐린 저항성을 추정한다. 다만 외인성 인슐린을 사용하는 사람이나 베타세포 기능이 많이 떨어진 사람에서는 해석이 복잡해진다.[17]

영양적 케토시스를 포함한 Hallberg 등의 1년 비무작위 중재에서는 HbA1c와 체중뿐 아니라 공복 인슐린과 HOMA-IR도 개선됐다. 2년 추적에서도 공복혈당과 공복인슐린의 감소가 유지됐다. 그러나 이 프로그램은 식사만 바꾼 시험이 아니라 원격 모니터링, 건강코칭, 약물조정을 포함한 다요소 진료모델이었다.[18]

그림 10-2. 탄수화물 제한에서 인슐린 요구량 감소까지의 임상 경로



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

식사 탄수화물 감소 → 식후 포도당 유입 감소 → 식후 인슐린 요구 감소 → 혈당변동 감소 가능 → 체중·간지방 변화 → 인슐린 감수

[16] Tay, J., Thompson, C. H., Luscombe-Marsh, N. D., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

[17] Matthews, D. R., Hosker, J. P., Rudenski, A. S., et al. (1985). Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia, 28*, 412-419.

[18] Hallberg, S. J., McKenzie, A. L., Williams, P. T., et al. (2018). Effectiveness and Safety of a Novel Care Model for the Management of Type 2 Diabetes at 1 Year: An Open-Label, Non-Randomized, Controlled Study. *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.

성 개선 가능 → 외인성 인슐린·약물 요구량 감소 가능

출처: Tay et al. (2015, 2018); Hallberg et al. (2018); Athinarayanan et al. (2019)을 바탕으로 본서에서 구성. 각 단계의 크기는 개인과 연구설계에 따라 달라진다.

9. 인슐린 사용량 감소는 HbA1c와 별개의 임상결과다

HbA1c가 같더라도 필요한 인슐린 양이 크게 줄었다면 임상적으로 다른 상태다. Hallberg 등의 1년 연구에서는 기초에 인슐린을 사용하던 참가자 가운데 대부분이 용량을 줄이거나 중단했고, 설포닐우레아는 중재군에서 중단됐다. 2년 추적에서는 인슐린 사용이 기초보다 62% 감소했고 설포닐우레아 사용은 100% 감소한 상태가 보고됐다.[19][20]

이 결과는 탄수화물 제한이 약물부담을 줄일 가능성을 보여준다. 동시에 약물감량 자체가 연구결과에 영향을 준다는 점도 중요하다. 약을 줄였는데 HbA1c가 유지됐다면 의미가 크지만, 약을 유지한 채 HbA1c만 낮아진 경우와는 해석이 다르다.[21]

10. 오래된 RCT에서도 약물감량 신호는 반복해서 나타났다

Westman 등의 24주 RCT는 하루 탄수화물 20 g 미만의 케톤식과 저혈당지수·열량제한 식사를 비교했다. 두 군 모두 HbA1c와 공복혈당, 공복인슐린, 체중이 좋아졌지만 케톤식군의 HbA1c 감소와 체중감량이 더 컸다. 당뇨약을 줄이거나 중단한 비율도 케톤식군에서 95.2%, 비교군에서 62%였다.[22]

이 연구는 방향성을 보여주지만 완료율이 약 58%였고, 참가자는 동기가 높은 자원자였다. 따라서 약물감량 비율을 일반 진료환경의

[19] Hallberg, S. J., McKenzie, A. L., Williams, P. T., et al. (2018). Effectiveness and Safety of a Novel Care Model for the Management of Type 2 Diabetes at 1 Year: An Open-Label, Non-Randomized, Controlled Study. *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.

[20] Athinarayanan, S. J., Adams, R. N., Hallberg, S. J., et al. (2019). Long-Term Effects of a Novel Continuous Remote Care Intervention Including Nutritional Ketosis for the Management of Type 2 Diabetes: A 2-Year Non-randomized Clinical Trial. *Frontiers in Endocrinology, 10*, 348. https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00348

[21] Goldenberg et al. (2021); Hallberg et al. (2018); Riddle et al. (2021).

[22] Westman, E. C., Yancy, W. S. Jr., Mavropoulos, J. C., Marquart, M., & McDuffie, J. R. (2008). The effect of a low-carbohydrate, ketogenic diet versus a low-glycemic index diet on glycemic control in type 2 diabetes mellitus. *Nutrition & Metabolism, 5*, 36. PMID: 19099589.

모든 환자에게 그대로 적용해서는 안 된다. 강한 생활중재 연구일수록 선택된 참가자와 순응도의 영향을 함께 봐야 한다.[23]

표 10-3. 대표 연구에서 혈당·약물 지표가 어떻게 달라졌는가

연구	기간·설계	HbA1c	혈당변동·인슐린	약물 변화
Westman et al., 2008	24주 RCT	LCKD -1.5%p vs LGI -0.5%p	양군 공복혈당·인슐린 개선	감량/중단 95.2% vs 62%
Tay et al., 2015	52주 RCT	양군 약 -1.0%p	LC에서 CONGA-1 더 크게 감소	LC의 약물점수 더 크게 감소
Tay et al., 2018	2년 RCT	군간 차이 없음	LC에서 일부 GV 지표 우위	LC의 약물점수 감소 유지
Hallberg et al., 2018	1년 비무작위	7.6%→6.3%	공복인슐린·HOMA-IR 개선	인슐린·설포닐우레아 크게 감소
Athinarayanan et al., 2019	2년 비무작위	7.7%→6.7%	공복혈당·공복인슐린 감소 지속	비메트포르민 약물·인슐린 크게 감소

출처: Westman et al. (2008); Tay et al. (2015, 2018); Hallberg et al. (2018); Athinarayanan et al. (2019).

11. 체중감량은 혈당개선의 중요한 매개변수다

탄수화물 제한 연구에서 체중이 줄면 인슐린 저항성과 간의 포도당 생산, 혈당이 함께 좋아질 수 있다. 그래서 HbA1c 감소를 전부 '케톤체의 직접효과'라고 설명해서는 안 된다. 열량섭취 감소와 체중감량이 얼마만큼 기여했는지 분리하기 어려운 연구가 많다.[24]

Tay의 연구는 이 문제를 잘 보여준다. 52주에 두 군 모두 약 10 kg을 감량했고 HbA1c도 비슷하게 약 1%포인트 감소했다. 탄수화물 구성은 크게 달랐지만 체중감량이 비슷했기 때문에 평균 HbA1c의 군간 차이가 작아졌을 가능성을 고려해야 한다.[25]

[23] Westman, E. C., Yancy, W. S. Jr., Mavropoulos, J. C., Marquart, M., & McDuffie, J. R. (2008). The effect of a low-carbohydrate, ketogenic diet versus a low-glycemic index diet on glycemic control in type 2 diabetes mellitus. *Nutrition & Metabolism, 5*, 36. PMID: 19099589.

[24] Goldenberg et al. (2021); Tay et al. (2015); Jing, T., et al. (2023). Effect of Dietary Approaches on Glycemic Control in Patients with Type 2 Diabetes: A Systematic Review with Network Meta-Analysis of Randomized Trials. PMID: 37513574.

[25] Tay, J., Luscombe-Marsh, N. D., Thompson, C. H., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 102*(4), 780-790. https://doi.org/10.3945/ajcn.115.112581

12. 약물감량을 포함하지 않은 '관해'는 과대해석될 수 있다

관해를 논할 때는 혈당수치와 약물상태를 함께 기록해야 한다. 국제합의에서는 일반적으로 혈당강하제를 사용하지 않은 상태에서 HbA1c가 6.5% 미만으로 최소 3개월 지속되는 것을 제2형 당뇨병 관해로 정의한다. 약물을 계속 복용하면서 HbA1c가 6.5% 아래로 내려간 상태는 좋은 조절이지만 같은 의미의 관해는 아니다.[26]

Goldenberg 메타분석에서 이 차이는 매우 크게 나타났다. 6개월에 HbA1c 6.5% 미만만 기준으로 하면 저탄수군의 관해가 대조군보다 32명/100명 더 많았지만, 약물 중단까지 포함하면 차이는 5명/100명으로 작아지고 통계적으로 불확실해졌다. 관해 숫자를 읽기 전에 정의를 먼저 확인해야 하는 이유다.[27]

13. HbA1c가 좋아지면서 약물이 줄었다면 더 강한 신호다

임상적으로는 한 지표보다 지표의 조합이 중요하다. HbA1c가 낮아지고, 혈당변동이 줄며, 인슐린이나 설포닐우레아 요구량도 감소하고, 체중과 중성지방이 함께 좋아진다면 대사개선의 신호는 더 일관된다. 반대로 HbA1c는 좋아졌지만 저혈당이 늘거나 약물이 더 필요해졌다면 같은 방식으로 평가할 수 없다.[28]

따라서 이 책에서는 이후 식사중재를 평가할 때 'HbA1c 단독'보다 복합적인 임상맥락을 우선한다. 평균혈당, 변동성, 약물, 체중, 인슐린, 안전성을 한 줄에 놓고 보는 방식이다. 이것이 단순한 식단 경쟁보다 실제 당뇨관리에서 더 유용하다.[29]

[26] Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus Report: Definition and Interpretation of Remission in Type 2 Diabetes. *Diabetes Care, 44*(10), 2438-2444.

[27] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of published and unpublished randomized trial data. *BMJ, 372*, m4743. https://doi.org/10.1136/bmj.m4743

[28] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Sections 6 and 9, *Standards of Care in Diabetes-2026*.

[29] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Sections 6 and 9, *Standards of Care in Diabetes-2026*.

14. 인슐린과 설포닐우레아를 쓰는 사람은 저혈당을 먼저 막아야 한다

탄수화물 섭취를 빠르게 줄이면 식후 필요한 인슐린 양도 빠르게 달라질 수 있다. 인슐린이나 설포닐우레아처럼 저혈당을 일으킬 수 있는 약물을 그대로 유지하면 혈당이 지나치게 낮아질 위험이 있다. ADA 2026도 치료를 변경할 때 저혈당 위험이 높은 약물의 필요량과 용량을 다시 평가하도록 권고한다.[30]

저혈당은 단순한 불편이 아니다. 70 mg/dL 미만은 임상적으로 중요한 저혈당 범위이며, 54 mg/dL 미만은 더 심한 저혈당으로 분류된다. 식사중재의 강도가 커질수록 약물의 선제적 조정과 자가혈당 또는 CGM 모니터링이 중요해진다.[31]

15. SGLT2 억제제에서는 '혈당이 높지 않은 DKA'까지 생각해야 한다

SGLT2 억제제를 사용하는 사람에서는 매우 낮은 탄수화물 식사와 장시간 공복이 케톤산증 위험요인이 될 수 있다. 이때 혈당이 200 mg/dL보다 낮더라도 DKA가 발생할 수 있어, 혈당만 보고 안전하다고 판단하면 위험하다. ADA 2026은 DKA 위험이 있는 SGLT2 억제제 사용자에게 케톤 측정과 위험교육을 제공하고 케톤식 패턴을 피하도록 권고한다.[32]

따라서 식물성 케톤식을 실제로 적용할 때는 현재 사용하는 약물을 먼저 확인해야 한다. 특히 SGLT2 억제제, 인슐린, 설포닐우레아는 식사변화와 직접 연결되는 안전성 문제를 가진다. 식사의 효과를 높이는 것보다 저혈당과 케톤산증을 예방하는 것이 우선이다.[33]

[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Pharmacologic Approaches to Glycemic Treatment: Standards of Care in Diabetes-2026, recommendation 9.17.

[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026, hypoglycemia classification.

[32] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026, recommendation 5.26; Pharmacologic Approaches to Glycemic Treatment, SGLT inhibition and risk of ketosis.

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026, recommendation 5.26; Pharmacologic Approaches to Glycemic Treatment, SGLT inhibition and risk of ketosis.

16. ‘케톤이 높을수록 혈당이 더 좋다’고 단정할 수는 없다

영양적 케토시스를 확인하기 위해 BHB를 측정하는 것은 중재의 실제 이행 여부를 파악하는 데 도움이 된다. 그러나 혈중 케톤 수치가 높을수록 HbA1c가 반드시 더 크게 떨어진다는 단순한 용량-반응 관계는 충분히 확립되지 않았다. 혈당개선은 탄수화물 제한, 에너지섭취, 체중변화, 운동과 약물조정이 함께 만든 결과일 수 있다.[34]

이 구분은 다음 장에서 더 중요해진다. BHB는 연료이면서 신호분자로도 작용하지만, 생리적 기전과 임상효과의 크기는 같은 질문이 아니다. 기전이 그럴듯하다는 사실만으로 임상효과를 확정하지 않는 것이 이 책의 원칙이다.[35]

17. 우리 DB의 HbA1c 숫자도 ‘위치 확인’과 ‘효과 판정’을 분리했다

우리 연구 DB에서는 상위 근거 300편을 다시 원문으로 검증했고, 그 가운데 286편에서 HbA1c 관련 문구를 확인했다. 숫자 후보는 163편이었으며, 표·결과·초록의 실제 위치에서 수치가 지지된 후보는 137편이었다. 이 중 83편은 표, 52편은 결과 본문, 2편은 초록에서 수치가 확인됐다.[36]

하지만 숫자가 존재한다는 것과 그 숫자가 치료효과라는 것은 다른 문제다. 기초치인지 종료치인지, 중재군 내부 변화인지, 군간 차이인지, 메타분석의 통합효과인지 다시 분류해야 한다. 따라서 본서의 최종 임상표에서는 원문 위치가 확인된 숫자 가운데 효과유형까지 구분된 값만 우선 사용한다.[37]

표 10-4. 케톤식 혈당연구를 해석하는 순서

[34] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[35] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[36] 본 연구 프로젝트 ‘vk_diabete_db.sqlite3‘의 HbA1c 원문 재검증 결과: 상위 300편 중 HbA1c 문구 286편, 숫자후보 163편, 원문 위치에서 지지된 수치 137편(표 83, 결과 52, 초록 2). 효과유형은 별도 검증 대상이다.

[37] 본 연구 프로젝트 ‘vk_diabete_db.sqlite3‘의 HbA1c 원문 재검증 결과: 상위 300편 중 HbA1c 문구 286편, 숫자후보 163편, 원문 위치에서 지지된 수치 137편(표 83, 결과 52, 초록 2). 효과유형은 별도 검증 대상이다.

순서	먼저 확인할 질문	이유
1	실제 중재가 저탄수인가, 케톤식인가	식사 정의가 다르면 근거를 섞을 수 없음
2	기초 HbA1c와 약물상태는 어떤가	시작점과 약물이 감소폭에 영향
3	전후 변화인가, 군간 차이인가	중재 자체의 변화와 추가효과를 구분
4	HbA1c 외 CGM·공복혈당은 어떤가	평균과 변동을 함께 평가
5	인슐린·약물은 줄었는가	같은 HbA1c라도 치료부담이 다를 수 있음
6	체중은 얼마나 변했는가	혈당개선의 매개효과를 고려
7	저혈당·DKA 등 안전성은 어떤가	효과보다 먼저 확인해야 할 임상조건
8	장기 순응도는 유지되는가	단기 효과와 지속 가능성을 구분

출처: ADA (2026); Goldenberg et al. (2021); Tay et al. (2015, 2018); Hallberg et al. (2018); 본 연구 DB를 바탕으로 본서에서 구성.

18. 이 장의 결론: 평균혈당을 낮추는 것보다 '대사부담'을 함께 줄여야 한다

현재 근거는 탄수화물 제한이 특히 단기간 HbA1c와 혈당을 개선할 수 있음을 지지한다. 일부 연구에서는 혈당변동과 약물요구량, 인슐린 사용량도 함께 감소했다. 그러나 장기 RCT에서는 HbA1c의 추가 우월성이 줄어드는 경우가 많고, 비무작위 케톤중재의 큰 효과는 다요소 진료모델이라는 맥락에서 읽어야 한다.[38]

따라서 케톤식의 성공을 한 숫자로 정의하지 않는다. HbA1c와 혈당변동, 약물부담, 저혈당, 지속 가능성을 함께 본다. 다음 장에서는 케톤체의 연료·신호 기능을 살펴본다.[39]

[38] Goldenberg et al. (2021); Tay et al. (2015, 2018); Hallberg et al. (2018); ADA (2026).
[39] Puchalska & Crawford (2017); ADA (2026).

제11장. 케톤체는 단순한 연료가 아니다

케톤체는 오랫동안 포도당이 부족할 때 사용하는 '비상 연료'로 설명돼 왔다. 이 설명은 틀리지 않지만 충분하지도 않다. 특히 β-하이드록시부티레이트(BHB)는 미토콘드리아에서 산화되어 ATP를 만드는 연료인 동시에, 세포막 수용체와 염증경로, 크로마틴과 단백질 변형에 영향을 주는 신호대사물질로 연구되고 있다.[1]

그러나 여기서 한 가지 원칙을 먼저 세워야 한다. BHB가 세포나 동물에서 특정 신호경로를 바꾼다는 사실과, 케톤식이 사람의 당뇨병을 더 잘 치료한다는 주장은 같은 문장이 아니다. 기전은 임상효과를 설명하는 단서지만, 임상적 우월성을 대신 증명해 주지는 않는다.[2]

1. 세 가지 케톤체는 같은 역할을 하지 않는다

간에서 만들어지는 주요 케톤체는 아세토아세테이트(AcAc), β-하이드록시부티레이트(BHB), 아세톤이다. 이 가운데 혈액에서 가장 많이 측정되는 것은 BHB이며, AcAc와 BHB는 조직에서 에너지원으로 이용된다. 아세톤은 주로 호흡과 소변으로 배출되기 때문에 에너지 대사에서 차지하는 역할이 상대적으로 작다.[3]

BHB와 AcAc는 서로 전환될 수 있지만 완전히 같은 분자는 아니다. BHB가 AcAc로 산화될 때 NADH와 NAD+의 비율에 영향을 주고, 신호경로에서도 BHB와 AcAc가 같은 효과를 보이지 않는 경우가 있다. 따라서 '케톤체'라는 한 단어로 모든 작용을 묶기보다 어떤 케톤체를 말하는지 구분하는 것이 정확하다.[4]

표 11-1. 세 케톤체의 대사적·신호적 특징

[1] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[2] Newman, J. C., & Verdin, E. (2014). Ketone bodies as signaling metabolites. *Trends in Endocrinology & Metabolism, 25*(1), 42-52. PMID: 24140022; Puchalska & Crawford (2017).

[3] Puchalska & Crawford (2017); Newman & Verdin (2014).

[4] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

케톤체	주된 특징	에너지 이용	신호 기능을 해석할 때의 주의점
β-하이드록시부티레이트(BHB)	혈중에서 가장 많이 측정	AcAc로 산화된 뒤 TCA 회로로 진입	HCAR2, NLRP3, 크로마틴 변형 등 다양한 연구가 있으나 사람 임상효과와 동일시할 수 없음
아세토아세테이트(AcAc)	간의 1차 케톤생성 산물	SCOT 경로를 거쳐 acetyl-CoA 생성	BHB와 일부 신호작용이 다를 수 있음
아세톤	AcAc의 자발적 탈탄산 산물	에너지 기여가 작음	호흡 아세톤은 케토시스 추적에 이용될 수 있으나 혈중 BHB와 완전히 같은 지표는 아님

출처: Puchalska & Crawford (2017); Newman & Verdin (2014)을 바탕으로 본서에서 정리.

2. BHB는 미토콘드리아 안에서 다시 acetyl-CoA가 된다

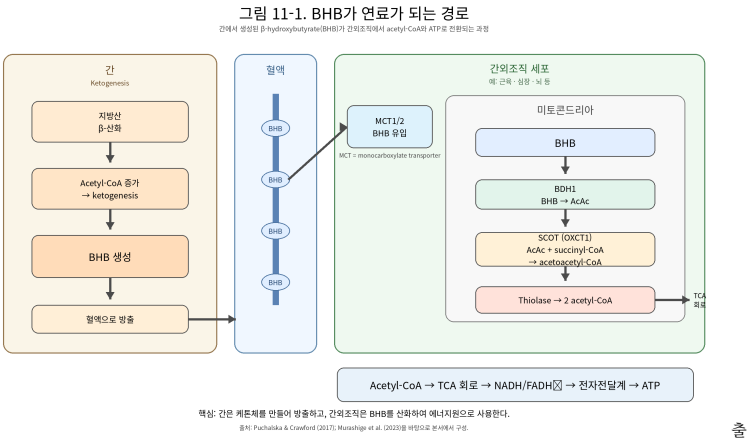
간에서 만들어진 BHB는 혈액을 따라 근육과 심장, 뇌 같은 간외조직으로 이동한다. 세포 안으로 들어온 BHB는 미토콘드리아의 BDH1에 의해 AcAc로 산화되고, 이어 SCOT가 AcAc를 acetoacetyl-CoA로 전환한다. 마지막으로 thiolase가 이를 두 분자의 acetyl-CoA로 나누면 TCA 회로와 전자전달계를 거쳐 ATP가 만들어진다.[5]

흥미롭게도 간은 케톤체를 만들지만 스스로는 케톤체를 주요 연료로 사용하지 않는다. 간에는 SCOT 활성이 사실상 없기 때문이다. 이렇게 생산기관과 소비기관을 분리한 구조는 공복기에 간이 지방산에서 만든 에너지를 수용성 형태로 다른 장기에 전달하도록 한다.[6]

[5] Murashige, D., et al. (2023). Ketones and the Heart: Metabolic Principles and Therapeutic Implications. *Circulation Research*. PMID: 36996176; Puchalska & Crawford (2017).

[6] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

그림 11-1. BHB가 연료가 되는 경로



처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

간의 지방산 β-산화 → ketogenesis → BHB가 혈액으로 이동 → MCT를 통해 간외조직으로 유입 → BDH1이 BHB를 AcAc로 전환 → SCOT → acetoacetyl-CoA → thiolase → acetyl-CoA → TCA 회로 → 전자전달계 → ATP

출처: Puchalska & Crawford (2017); Murashige et al. (2023)을 바탕으로 본서에서 구성.

3. 케톤은 '산소당 ATP가 무조건 더 많은 연료'인가

케톤체가 지방산보다 산소 소비량 대비 ATP 생산에서 유리할 수 있다는 'thrifty substrate' 가설은 심장대사 연구에서 오랫동안 논의돼 왔다. 일부 생화학적 계산과 심부전 연구는 지방산 대신 케톤산화가 증가할 때 산소 이용 효율이 좋아질 가능성을 제시한다.[7]

하지만 이 문장을 모든 상황에 적용해서는 안 된다. 고농도 BHB를 공급한 분리 생쥐 심장 연구에서는 케톤 산화가 크게 늘었지만 심장 일이 증가하지 않은 채 산소 소비가 늘어 오히려 효율이 낮아졌다. 즉 '케톤은 언제나 가장 효율적인 연료'라는 표현은 현재 근거보다 강하다.[8]

[7] Lopaschuk, G. D., & Dyck, J. R. B. (2023). Ketones and the cardiovascular system. *Nature Cardiovascular Research*. PMID: 39196044; Murphy, T. R., et al. (2023). Ketones and the Heart. PMID: 36996176.

[8] Ho, K. L., et al. (2020). Ketones can become the major fuel source for the heart but do not increase cardiac efficiency. *Cardiovascular Research*. PMID: 32402081.

4. 연료의 가치와 신호의 가치는 구분해서 보아야 한다

한 분자가 ATP를 만드는 연료로 사용되면서 동시에 신호분자로 작용하는 것은 이상한 일이 아니다. 포도당과 지방산도 대사산물의 농도를 통해 유전자 발현과 효소활성을 바꾼다. BHB 역시 세포의 에너지상태와 영양상태를 전달하는 하나의 대사 신호로 볼 수 있다.[9]

이때 중요한 것은 농도와 시간이다. 밤사이 공복에서 나타나는 낮은 BHB, 며칠간의 금식이나 케톤식에서 나타나는 영양적 케토시스, 케톤에스터를 마신 뒤의 급격한 고케톤혈증은 같은 생리상태가 아니다. 같은 BHB라도 어떤 조직이 얼마나 오랫동안 노출되는지에 따라 효과는 달라질 수 있다.[10]

5. HCAR2는 BHB를 세포 밖에서 읽는 수용체다

BHB는 hydroxycarboxylic acid receptor 2(HCAR2, 과거 GPR109A)에 결합할 수 있다. HCAR2는 지방세포와 면역세포를 포함한 여러 조직에서 발현되며, Gi/o 단백질 또는 β-arrestin 경로를 통해 세포 반응을 조절한다. 니아신도 이 수용체의 잘 알려진 작용제다.[11]

HCAR2의 활성은 지방세포의 지방분해와 면역반응을 조절할 수 있어 BHB의 '피드백 신호'로 해석되기도 한다. 다만 수용체가 존재하고 결합이 일어난다는 사실만으로 장기적인 당뇨 임상효과를 예측할 수는 없다. HCAR2 신호가 조직과 상황에 따라 다른 효과를 낼 수 있기 때문이다.[12]

6. BHB와 NLRP3 염증소체의 연결

2015년 Youm 등의 연구는 BHB가 NLRP3 inflammasome의 활성화를 억제할 수 있다고 보고하면서 큰 관심을 받았다. 연구에서 BHB는 urate crystal, ATP, 지방독성 자극에 의해 유도된 NLRP3 활성과 IL-1β 분비를 억제했지만, 다른 종류의 inflammasome을

[9] Newman & Verdin (2014); Puchalska & Crawford (2017).

[10] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[11] Offermanns, S. (2017). Hydroxy-Carboxylic Acid Receptor Actions in Metabolism. *Trends in Endocrinology & Metabolism, 28*(3), 227-236. PMID: 28087125.

[12] Offermanns (2017); Shen, H., et al. (2023). Biased allosteric activation of ketone body receptor HCAR2 suppresses inflammation. *Molecular Cell*. PMID: 37597514.

모두 억제한 것은 아니었다.[13]

NLRP3는 비만과 제2형 당뇨병의 만성 저등급 염증을 설명하는 여러 경로 가운데 하나다. 따라서 BHB-NLRP3 연결은 대사질환 연구에서 중요한 기전적 가설을 제공한다. 그러나 이 핵심 연구는 세포와 동물모델을 중심으로 수행됐으며, 케톤식이 사람의 당뇨 합병증을 NLRP3 억제를 통해 줄인다는 임상적 인과관계가 확립된 것은 아니다.[14]

7. NLRP3 억제기전도 처음 생각보다 단순하지 않다

후속 연구는 BHB의 NLRP3 억제가 조건에 따라 달라질 수 있음을 보여준다. 2025년 연구에서는 BHB와 관련 단쇄카복실산의 NLRP3 억제효과가 배양액의 산성화와 연관되고, FFAR3 신호가 일부 기여할 가능성이 제시됐다. 이는 초기의 단일경로 설명을 더 복잡하게 만든다.[15]

이런 결과는 과학적 수정과정의 좋은 예다. 중요한 초기 발견이 있었다고 해서 이후의 모든 연구가 같은 기전을 그대로 확인하는 것은 아니다. 본서에서는 NLRP3 억제를 '가능한 항염 기전'으로 설명하지만, 이미 확정된 사람의 치료기전처럼 표현하지 않는다.[16]

표 11-2. BHB의 주요 신호경로와 현재 근거 수준

경로	제안된 작용	핵심 근거	임상 해석
HCAR2	GPCR 신호, 지방분해·면역조절	수용체·세포·동물 연구	사람 장기 임상효과는 별도 검증 필요
NLRP3	inflammasome 활성 억제, IL-1β 감소	세포·동물 연구가 중심	항염 가능성은 있으나 당뇨 임상결과와 직접 연결은 제한적
HDAC	일부 class I HDAC 억제 가능성	Shimazu 2013 및 후속 연구	농도·세포종에 따른 재현성 논쟁 존재
Kbhb	lysine β-hydroxybutyrylation 증가	세포·생쥐 간의 크로마틴 연구	생리적 의미와 사람 질환효과는 연구 중
에너지·redox	NAD+/NADH, TCA, ETC에 영향	대사생화학·장기 연구	조직과 기질환경에 따라 효과가 달라짐

[13] Youm, Y.-H., Nguyen, K. Y., Grant, R. W., et al. (2015). The ketone metabolite β-hydroxybutyrate blocks NLRP3 inflammasome-mediated inflammatory disease. *Nature Medicine, 21*(3), 263-269. https://doi.org/10.1038/nm.3804

[14] Youm, Y.-H., Nguyen, K. Y., Grant, R. W., et al. (2015). The ketone metabolite β-hydroxybutyrate blocks NLRP3 inflammasome-mediated inflammatory disease. *Nature Medicine, 21*(3), 263-269. https://doi.org/10.1038/nm.3804

[15] Acidosis Licenses the NLRP3 Inflammasome-Inhibiting Effects of Beta-Hydroxybutyrate and Short-Chain Carboxylic Acids. (2025). PMID: 40654769.

[16] Acidosis Licenses the NLRP3 Inflammasome-Inhibiting Effects of Beta-Hydroxybutyrate and Short-Chain Carboxylic Acids. (2025). PMID: 40654769.

출처: Shimazu et al. (2013); Youm et al. (2015); Xie et al. (2016); Offermanns (2017); Chriett et al. (2019); Puchalska & Crawford (2017).

8. BHB는 HDAC를 억제해 유전자 발현을 바꿀 수 있는가

Shimazu 등의 2013년 연구는 BHB가 class I histone deacetylase(HDAC)를 억제하고, 생쥐 조직에서 histone acetylation과 FOXO3A·MT2 같은 산화스트레스 방어 관련 유전자 발현을 증가시켰다고 보고했다. 이 연구는 BHB가 연료를 넘어 크로마틴 수준의 신호대사물질일 수 있다는 개념을 널리 알렸다.[17]

하지만 후속 연구에서는 같은 정도의 HDAC 억제가 항상 재현되지 않았다. Chriett 등의 연구는 butyrate와 비교했을 때 BHB의 HDAC 억제와 전사효과가 훨씬 약하거나 일부 세포에서 뚜렷하지 않았다고 보고했다. 따라서 BHB를 '강력한 천연 HDAC 억제제'라고 일반화하는 것은 적절하지 않다.[18]

9. β-hydroxybutyrylation은 또 다른 크로마틴 언어다

BHB는 HDAC를 억제하는 것과 별개로 단백질의 lysine 잔기에 β-hydroxybutyryl 기를 붙이는 변형과 연결된다. Xie 등의 연구는 장시간 금식한 생쥐 간에서 histone lysine β-hydroxybutyrylation(Kbhb)이 크게 증가하고, 특히 H3K9bhb가 금식반응 유전자와 연관됨을 보고했다.[19]

이 발견은 영양상태가 크로마틴 표지에 직접 연결될 수 있음을 보여준다. 다만 특정 histone 표지가 증가했다는 사실과 건강효과가 발생한다는 것은 다른 문제다. Kbhb가 어떤 유전자를 어떤 방향으

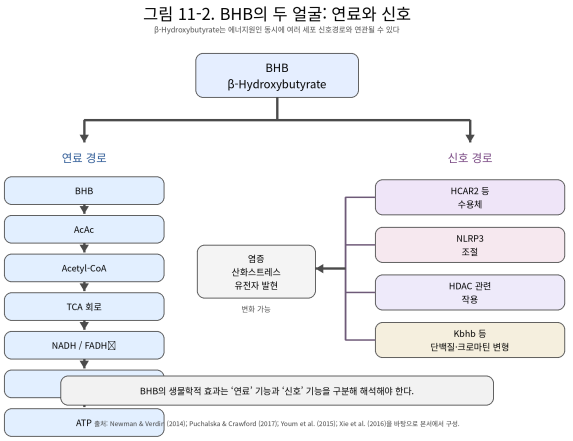
[17] Shimazu, T., Hirschey, M. D., Newman, J., et al. (2013). Suppression of oxidative stress by β-hydroxybutyrate, an endogenous histone deacetylase inhibitor. *Science, 339*(6116), 211-214. https://doi.org/10.1126/science.1227166

[18] Chriett, S., et al. (2019). Prominent action of butyrate over β-hydroxybutyrate as histone deacetylase inhibitor, transcriptional modulator and anti-inflammatory molecule. *Scientific Reports*. PMID: 30679586; RNA sequencing reveals niche gene expression effects of beta-hydroxybutyrate in primary myotubes. (2021). PMID: 34407998.

[19] Xie, Z., Zhang, D., Chung, D., et al. (2016). Metabolic Regulation of Gene Expression by Histone Lysine β-Hydroxybutyrylation. *Molecular Cell, 62*(2), 194-206. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2016.03.036

로 조절하고 그것이 사람의 대사질환에 어떤 순효과를 주는지는 아직 활발히 연구되는 단계다.[20]

그림 11-2. BHB의 두 얼굴: 연료와 신호



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

연료 경로: BHB → AcAc → acetyl-CoA → TCA 회로 → NADH/FADH2 → 전자전달계 → ATP

신호 경로: BHB → HCAR2 등 수용체 / NLRP3 조절 / HDAC 관련 작용 / Kbhb 같은 단백질·크로마틴 변형 → 염증·산화스트레스·유전자 발현 변화 가능

출처: Newman & Verdin (2014); Puchalska & Crawford (2017); Youm et al. (2015); Xie et al. (2016)을 바탕으로 본서에서 구성.

10. 산화스트레스 감소는 매력적이지만 사람 근거가 더 필요하다

Shimazu 연구에서 BHB는 FOXO3A와 metallothionein 2 발현을 증가시키고 생쥐의 산화스트레스 저항성을 높였다. 이후 신경·심혈관·내피세포 모델에서도 BHB가 ROS 생성과 항산화경로에 영향을 줄 수 있다는 결과가 축적됐다.[21]

[20] Xie, Z., Zhang, D., Chung, D., et al. (2016). Metabolic Regulation of Gene Expression by Histone Lysine β-Hydroxybutyrylation. *Molecular Cell, 62*(2), 194-206. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2016.03.036

[21] Shimazu, T., Hirschey, M. D., Newman, J., et al. (2013). Suppression of oxidative stress by β-hydroxybutyrate, an endogenous histone deacetylase inhibitor. *Science, 339*(6116), 211-214. https://doi.org/10.1126/science.1227166

그러나 세포에서 ROS가 줄었다는 결과를 곧바로 '케톤식은 항산화식이다'라는 결론으로 바꾸면 안 된다. 사람의 산화스트레스는 혈당, 지방산, 운동, 체중감량, 미량영양소, 염증과 약물에 모두 영향을 받는다. 식사 전체의 임상효과에서 BHB만의 독립적 기여도를 분리한 장기시험은 많지 않다.[22]

11. 뇌는 공복이 길어질수록 케톤 이용을 늘린다

뇌는 평소 포도당을 많이 이용하지만 장기간 공복에서는 BHB와 AcAc의 이용을 크게 늘릴 수 있다. 혈액-뇌 장벽의 monocarboxylate transporter를 통해 들어온 케톤체는 뉴런과 교세포의 미토콘드리아에서 산화된다. 이 전환은 장기 금식에서 포도당 요구량과 단백질 분해를 줄이는 데 중요한 역할을 한다.[23]

그러나 '뇌는 케톤을 더 좋아한다'는 식의 표현은 지나치게 단순하다. 뇌는 케톤을 이용하면서도 포도당을 완전히 포기하지 않으며, 특정 생합성경로와 세포기능에는 포도당이 계속 필요하다. 핵심은 어느 한 연료의 우월성이 아니라 이용 가능한 연료를 바꾸는 대사 유연성이다.[24]

12. 케톤은 식욕을 낮출 수 있는가

케톤식 중 체중이 감소해도 예상보다 허기가 크게 증가하지 않는 현상은 오래전부터 관찰됐다. Stubbs 등의 소규모 교차시험에서는 건강한 성인이 케톤에스터를 마신 뒤 혈중 BHB가 약 3.3 mmol/L까지 증가했고, dextrose 대조군과 비교해 ghrelin과 주관적 배고픔이 감소했다.[25]

그러나 사람 연구는 일관되지 않는다. 비만 대상 연구에서는 높은 BHB가 낮은 ghrelin과 연관된 결과가 있었지만, 2023년 전당뇨병 환자 18명을 대상으로 한 무작위 교차시험에서는 급성 케토시스가

[22] Shimazu et al. (2013); Arima, Y. (2023). The Impact of Ketone Body Metabolism on Mitochondrial Function and Cardiovascular Diseases. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis, 30*(12), 1751-1758. PMID: 37766574.

[23] Morris, A. A. M. (2005). Cerebral ketone body metabolism. *Journal of Inherited Metabolic Disease*; Achanta, L. B., & Rae, C. D. (2017). β-Hydroxybutyrate in the Brain: One Molecule, Multiple Mechanisms. PMID: 27826689.

[24] Morris, A. A. M. (2005). Cerebral ketone body metabolism. *Journal of Inherited Metabolic Disease*; Achanta, L. B., & Rae, C. D. (2017). β-Hydroxybutyrate in the Brain: One Molecule, Multiple Mechanisms. PMID: 27826689.

[25] Stubbs, B. J., Cox, P. J., Evans, R. D., et al. (2018). A Ketone Ester Drink Lowers Human Ghrelin and Appetite. *Obesity, 26*(2), 269-273. https://doi.org/10.1002/oby.22051

ghrelin, PYY, 주관적 배고픔을 유의하게 바꾸지 않았다. 식욕효과는 사람의 대사상태와 비교음료, 케톤 농도에 따라 달라질 수 있다.[26]

13. 식욕 억제와 체중감량을 같은 것으로 보면 안 된다

식욕이 일시적으로 줄어도 장기적인 에너지 섭취와 체중감량으로 이어질지는 별도 문제다. CARBFUNC 연구에서는 저탄수·고지방식이 3개월 BHB를 더 높이고 ghrelin 상승을 일부 억제했지만, 주관적 배고픔의 군간 차이는 뚜렷하지 않았다. 12개월에는 세 식사군의 체중감량도 비슷한 범위였다.[27]

따라서 케톤체가 식욕조절에 관여할 가능성은 있지만, '케톤이 오르면 저절로 적게 먹는다'고 단정할 수 없다. 단백질, 식이섬유, 음식의 에너지밀도와 기호성, 수면과 스트레스도 실제 섭취량을 크게 바꾼다.[28]

14. 외인성 케톤은 '케톤식 자체'와 다른 실험도구다

케톤에스터나 케톤염은 탄수화물을 크게 줄이지 않고도 혈중 BHB를 빠르게 올릴 수 있다. 이런 연구는 BHB 자체의 효과를 식사 변화와 어느 정도 분리해서 볼 수 있다는 장점이 있다. 반면 외인성 케톤으로 만든 급성 고케톤혈증은 식사 케토시스의 호르몬·지방산·에너지대사 환경과 동일하지 않다.[29]

따라서 케톤에스터 시험에서 혈당이 내려갔다고 해서 케톤식의 장기 임상효과가 자동으로 증명되는 것은 아니다. 반대로 케톤에스터가 효과가 없었다고 해서 케톤식 전체가 무효라는 뜻도 아니다. 두 연구는 서로 다른 질문에 답한다.[30]

[26] Sumithran, P., et al. (2013). Ketosis and appetite-mediating nutrients and hormones after weight loss. PMID: 23632752; Nymo, S., et al. (2020). Association Between Ketosis and Changes in Appetite Markers with Weight Loss Following a Very Low-Energy Diet. PMID: 33230962; Effect of d-β-Hydroxybutyrate-(R)-1,3 Butanediol on Appetite Regulation in People with Prediabetes. (2023). PMID: 36565045.

[27] Relationship between Ketones, Ghrelin, and Appetite on Isocaloric Diets with Varying Carbohydrate Quality and Amount: Results from the CARBFUNC Randomized Controlled Trial. (2023). PMID: 36894239.

[28] Relationship between Ketones, Ghrelin, and Appetite on Isocaloric Diets with Varying Carbohydrate Quality and Amount: Results from the CARBFUNC Randomized Controlled Trial. (2023). PMID: 36894239.

[29] Puchalska & Crawford (2017); Stubbs et al. (2018); Myette-Côté, É., et al. (2023). The effect of acute and 14-day exogenous ketone supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes: two randomized controlled trials. PMID: 37991451.

[30] Puchalska & Crawford (2017); Stubbs et al. (2018); Myette-Côté, É., et al. (2023). The effect of acute and 14-day exogenous ketone supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes: two randomized controlled trials. PMID: 37991451.

15. 사람의 제2형 당뇨병에서 외인성 BHB는 어떤 결과를 보였는가

최근 연구는 흥미롭지만 결과가 한 방향은 아니다. 2024년 제2형 당뇨병 환자 10명을 대상으로 한 이중맹검 교차시험에서는 식사 전에 ketone monoester를 투여했을 때 식후 혈당이 낮아졌고, 내인성 포도당 생성과 포도당 출현 속도의 변화가 관찰됐다.[31]

반면 다른 무작위 교차시험에서는 급성 케톤에스터가 공복 상태의 혈당을 낮추지 않았고, 14일간 하루 세 번 투여해도 fructosamine으로 본 단기 혈당조절이 개선되지 않았다. 2025년 별도의 교차연구에서는 식전 ketone monoester와 ketone salt가 혼합식 후 혈당 iAUC를 각각 36%와 22% 낮췄다는 결과가 보고됐다.[32]

이 차이는 BHB 효과가 '언제, 무엇과 함께 투여하느냐'에 따라 달라질 수 있음을 보여준다. 공복혈당, 식후혈당, 장기 HbA1c는 서로 다른 결과변수다. 한 가지 급성시험을 이용해 장기 당뇨치료 효과를 과장해서는 안 된다.[33]

표 11-3. 외인성 케톤의 사람 연구를 식사 케톤식과 구분해 읽는 법

질문	외인성 케톤 연구	케톤식 연구
BHB를 어떻게 올리는가	ketone ester·salt를 직접 섭취	탄수화물 제한과 지방산 산화를 통해 내인성 생성
시간축	수시간 수주가 많음	수주 수년 가능
지방산·인슐린 환경	급성 BHB 상승과 함께 NEFA·인슐린이 변할 수 있음	체중·식사구성·호르몬 적응이 함께 변함
답하기 좋은 질문	BHB 자체의 급성 혈당·식욕·혈역학 효과	식사패턴의 지속가능성·HbA1c·체중·약물 변화
직접 비교의 한계	식사 케토시스와 생리환경이 다름	BHB 외에 여러 영양요인이 동시에 변함

출처: Stubbs et al. (2018); Myette-Côté et al. (2023); 2024·2025 제2형 당뇨병 ketone monoester 교차시험을 바탕으로 본서에서 정리.

[31] A ketone monoester drink reduces postprandial blood glucose concentrations in adults with type 2 diabetes: a randomised controlled trial. (2024). PMID: 38483543.

[32] Myette-Côté et al. (2023), PMID: 37991451; Ketone supplementation dose-dependently lowers postprandial blood glucose, lipid and ghrelin levels in individuals with type 2 diabetes: a randomised crossover study. (2025). PMID: 41315088.

[33] Myette-Côté et al. (2023), PMID: 37991451; Ketone supplementation dose-dependently lowers postprandial blood glucose, lipid and ghrelin levels in individuals with type 2 diabetes: a randomised crossover study. (2025). PMID: 41315088.

16. ‘BHB가 높다’는 사실 자체가 항상 좋은 것은 아니다

BHB는 상황을 읽어야 하는 대사물질이다. 영양적 케토시스에서의 완만한 상승, 외인성 케톤 투여 후의 일시적 상승, 인슐린 결핍성 DKA에서의 병적 상승은 의미가 전혀 다르다. 특히 DKA에서는 케톤생성과 함께 산증, 탈수와 전해질 이상이 진행되므로 생리적 케토시스와 구분해야 한다.[34]

또한 관찰연구에서 높은 BHB가 언제나 대사적으로 유리한 표지인 것도 아니다. 최근 리뷰들은 비만·당뇨·심장질환에서 BHB 상승이 적응적 연료전환일 수도 있고, 질병의 대사스트레스를 반영하는 표지일 수도 있다고 정리한다. 농도 하나만으로 ‘좋은 케톤’과 ‘나쁜 케톤’을 판단할 수 없다.[35]

17. BHB의 기전은 식물성 케톤식 설계에 무엇을 더해주는가

식물성 케톤식에서 BHB의 의미는 ‘케톤 수치를 최대한 높이는 것’이 아니다. 탄수화물 제한으로 식후 포도당 부담을 줄이고, 불포화지방과 식물성 단백질, 식이섬유를 충분히 공급하면서 필요한 범위의 케토시스를 형성하는 것이 더 중요하다. BHB는 그 과정에서 나타나는 연료전환의 지표이자 잠재적 신호대사물질이다.[36]

이 관점은 케톤식의 목표를 숫자 경쟁에서 벗어나게 한다. 혈중 BHB가 0.8 mmol/L인지 2.0 mmol/L인지보다 HbA1c, 식후혈당, 약물요구량, 체중, 지질, 근육량과 안전성이 어떻게 변하는지를 함께 보아야 한다. 기전은 임상지표를 보완하지만 대체하지 않는다.[37]

표 11-4. BHB 연구에서 과대해석을 피하기 위한 다섯 가지 질문

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1); Puchalska & Crawford (2017).

[35] Circulating β-Hydroxybutyrate in Glycemic Progression and Diabetic Cardiomyopathy: Adaptive Signal or Maladaptive Substrate? (2026). PMID: 42449988.

[36] Puchalska & Crawford (2017); American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5 and 6.

[37] Puchalska & Crawford (2017); American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5 and 6.

순서	질문	이유
1	세포·동물 연구인가, 사람 연구인가	기전근거와 임상근거를 구분하기 위해
2	내인성 케토시스인가, 외인성 케톤 투여인가	생리적 환경이 서로 다르기 때문에
3	BHB 농도와 노출시간은 얼마인가	급성 고농도와 장기 저농도의 효과가 다를 수 있음
4	혈당·체중·약물 같은 임상결과가 실제로 좋아졌는가	분자표지 변화가 곧 치료효과는 아니기 때문에
5	반대 결과나 재현성 문제는 없는가	HDAC·NLRP3·심장 효율 등 일부 기전에 논쟁이 존재

출처: Puchalska & Crawford (2017); Chriett et al. (2019); Ho et al. (2020); Myette-Côté et al. (2023); 최근 외인성 케톤 임상시험을 바탕으로 본서에서 구성.

18. 이 장의 결론: 케톤체는 '연료이면서 신호'다

현재 근거는 BHB가 단순한 에너지 운반체를 넘어선다는 점을 분명히 보여준다. BHB는 미토콘드리아에서 산화되고, 수용체를 자극하며, 염증소체와 크로마틴 변형에 영향을 줄 수 있다. 식욕과 식후혈당에도 영향을 줄 가능성이 사람 연구에서 관찰되고 있다.[38][39]

그러나 신호경로의 존재는 임상적 우월성을 자동으로 의미하지 않는다. 일부 HDAC 효과는 재현성 논쟁이 있고, NLRP3 억제의 조건도 계속 수정되고 있으며, 외인성 케톤의 혈당효과도 연구마다 다르다. 따라서 BHB는 '만능 치료물질'이 아니라 대사상태를 연결하는 중요한 매개체로 보는 것이 가장 정확하다.[40][41][42]

다음 장에서는 시선을 안전성으로 옮긴다. 케톤식이 LDL-C, 중성지방, 신장기능, 요산, 전해질, 저혈당과 DKA에 어떤 영향을 줄 수 있는지 근거의 크기와 한계를 함께 살펴본다.[43]

[38] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metabolism, 25*(2), 262-284. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022

[39] A ketone monoester drink reduces postprandial blood glucose concentrations in adults with type 2 diabetes: a randomised controlled trial. (2024). PMID: 38483543.

[40] Acidosis Licenses the NLRP3 Inflammasome-Inhibiting Effects of Beta-Hydroxybutyrate and Short-Chain Carboxylic Acids. (2025). PMID: 40654769.

[41] Chriett, S., et al. (2019). Prominent action of butyrate over β-hydroxybutyrate as histone deacetylase inhibitor, transcriptional modulator and anti-inflammatory molecule. *Scientific Reports*. PMID: 30679586; RNA sequencing reveals niche gene expression effects of beta-hydroxybutyrate in primary myotubes. (2021). PMID: 34407998.

[42] Myette-Côté et al. (2023), PMID: 37991451; Ketone supplementation dose-dependently lowers postprandial blood glucose, lipid and ghrelin levels in individuals with type 2 diabetes: a randomised crossover study. (2025). PMID: 41315088.

[43] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5, 6, 10 and 11.

제12장. 케톤식의 논쟁과 안전성

케톤식의 안전성을 한 문장으로 판정하기는 어렵다. 중성지방과 혈당은 좋아질 수 있지만 LDL-C가 오를 수 있고, 체중과 약물요구량이 줄어도 변비나 탈수 같은 부작용이 생길 수 있다. 특히 제2형 당뇨병에서는 식사 자체보다 약물과의 상호작용이 더 중요한 위험요인이 되기도 한다.[1]

따라서 질문은 “케톤식은 안전한가?”가 아니라 “누가, 어떤 구성으로, 얼마나 오래, 어떤 지표를 보면서 시행하는가?”가 되어야 한다. 이 장에서는 효과와 위험을 함께 보며, 식물성 케톤식이 안전성을 높이기 위해 어떤 원칙을 가져야 하는지도 정리한다.[2]

1. 안전성은 한 가지 검사로 결정되지 않는다

케톤식의 안전성을 평가할 때는 혈당만 보면 안 된다. 지질, 혈압, 신장기능, 요산, 전해질, 위장관 증상, 체중과 근육량, 약물사용을 함께 봐야 한다. 어떤 사람에게는 혈당개선이 크지만 LDL-C가 크게 오를 수 있고, 다른 사람에게는 지질 변화가 거의 없으면서 소화기 증상이 더 문제가 될 수 있다.[3]

또 단기와 장기를 나눠야 한다. 8 12주의 효과가 1 2년 뒤에도 그대로 유지된다는 보장은 없다. 저탄수·초저탄수 식사의 여러 메타분석에서 HbA1c와 체중의 우위가 6개월에는 비교적 뚜렷하지만 12개월 이후에는 작아지는 이유 가운데 하나가 순응도의 저하다.[4]

표 12-1. 케톤식 안전성을 볼 때 함께 확인해야 할 영역

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5, 6, 9 and 16. Diabetes Care, 49(Suppl. 1).

[2] Choy, K. Y. C., & Louie, J. C. Y. (2023). The effects of the ketogenic diet for the management of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of recent studies. *Diabetes & Metabolic Syndrome, 17*(12), 102905. PMID: 38006799.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5, 10 and 11; Schopf, C., et al. (2026). Adverse events and tolerability of ketogenic diets - a systematic literature analysis. *BMC Nutrition, 12*(1), 44. PMID: 41715236.

[4] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. *BMJ, 372*, m4743. PMID: 33441384.

영역	기대할 수 있는 변화	주의할 변화	해석의 핵심
혈당	HbA1c· 식 후 혈 당 감소	저혈당	약물사용 여부에 따라 위험이 크게 달라짐
지질	중 성 지 방 감 소, HDL-C 증가	LDL-C·ApoB 증 가 가능	지방의 질과 개인 반응을 함께 봐야 함
신장	많은 연구에서 단기 eGFR 변화 크지 않음	탈 수, 결 석, 기 존 CKD	정상 신장과 CKD를 같은 집단으로 보면 안 됨
요산	평균적으로 큰 변화가 없다는 RCT 메타분석도 있음	일부에서 초기 상승·통풍 위험 우려	개인 병력과 수분상태 중요
전해질	적응 후 안정 가능	초기 나트륨·수분 손실	이뇨제·혈압약 사용 시 더 주의
위장관	식욕 감소 가능	변비·오심·복통	식이섬유와 수분, 식품구성 중요
지속성	일부 장기 유지 가능	엄격할수록 이탈 가능	실제 섭취량과 순응도를 확인해야 함

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Goldenberg et al. (2021); Tay et al. (2018); Schopf et al. (2026)을 바탕으로 본서에서 정리.

2. 중성지방과 HDL-C는 비교적 일관된 장점이다

케톤식과 초저탄수식에서 가장 반복적으로 관찰되는 지질 변화는 중성지방 감소와 HDL-C 증가다. 2024년 제2형 당뇨병 환자의 VLCKD 임상시험 29개를 분석한 메타분석에서는 중성지방이 평균 약 18 mg/dL 감소하고 HDL-C는 약 3.9 mg/dL 증가했다.[5]

2026년 성인 RCT 62개를 포함한 메타회귀에서도 중성지방은 약 20 mg/dL 감소하고 HDL-C는 약 3.6 mg/dL 증가했다. 이 패턴은 탄수화물 제한으로 간의 VLDL 생산과 중성지방 운반이 줄고 체중과 인슐린 저항성이 개선되는 현상과 연결될 수 있다. 그러나 이 변화만으로 심혈관 위험이 전체적으로 낮아졌다고 결론내릴 수는 없다.[6]

[5] Impact of very low carbohydrate ketogenic diets on cardiovascular risk factors among patients with type 2 diabetes; GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of clinical trials. (2024). PMID: 39030553.

[6] The Impact of the Ketogenic Diet on the Lipid Profile in Adults: A Comprehensive Review and Meta-Regression Analysis of Randomized Controlled Trials. (2026). PMID: 41621647; Ketogenic diet-induced changes in adult lipid metabolism: a comprehensive systematic review and meta-regression of randomized controlled trials. (2026). PMID: 42056882.

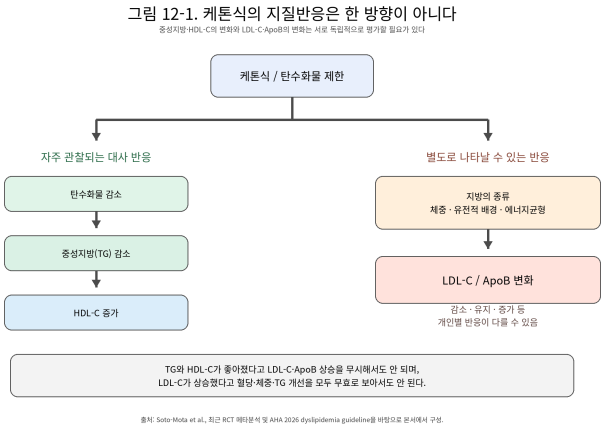
3. 가장 큰 논쟁은 LDL-C다

케톤식의 지질 논쟁에서 핵심은 LDL-C다. 제2형 당뇨병 환자만 모은 일부 메타분석에서는 대조식과 비교해 LDL-C 차이가 유의하지 않았지만, 성인 전체를 넓게 분석한 최근 RCT 메타분석에서는 평균 LDL-C가 약 8 mg/dL 증가했다.[7][8]

이 차이는 연구대상과 식사구성에서 나온다. 비만·당뇨군에서는 체중감량과 중성지방 개선이 LDL-C 상승을 일부 상쇄할 수 있지만, 정상체중 성인에서는 LDL-C와 ApoB가 더 크게 상승한 연구들이 있다. 2023년 정상체중 성인 메타분석에서는 LDL-C가 약 1.08 mmol/L, ApoB가 약 0.35 g/L 증가했다.[9]

따라서 “케톤식은 LDL을 올리지 않는다”와 “케톤식은 반드시 LDL을 올린다”는 문장은 모두 지나치게 단정적이다. 평균효과보다 중요한 것은 개인의 반응이다. 시작 전과 시작 후의 LDL-C, non-HDL-C, 필요하면 ApoB를 비교하는 것이 더 정확하다.[10]

그림 12-1. 케톤식의 지질반응은 한 방향이 아니다



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

[7] Impact of very low carbohydrate ketogenic diets on cardiovascular risk factors among patients with type 2 diabetes; GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of clinical trials. (2024). PMID: 39030553.

[8] The Impact of the Ketogenic Diet on the Lipid Profile in Adults: A Comprehensive Review and Meta-Regression Analysis of Randomized Controlled Trials. (2026). PMID: 41621647; Ketogenic diet-induced changes in adult lipid metabolism: a comprehensive systematic review and meta-regression of randomized controlled trials. (2026). PMID: 42056882.

[9] Effects of very low-carbohydrate ketogenic diets on lipid profiles in normal-weight adults: a meta-analysis. (2023). PMID: 36931263.

[10] Impact of the ketogenic diet as a dietary approach on cardiovascular disease risk factors: a meta-analysis of randomized clinical trials. (2024). PMID: 39097343; American Heart Association/American College of Cardiology. (2026). Guideline on the Management of Dyslipidemia.

탄수화물 감소 → 중성지방 감소 → HDL-C 증가라는 경로는 비교적 자주 관찰된다. 그러나 동시에 **지방의 종류·체중·유전적 배경·에너지균형 → LDL-C/ApoB 변화**가 따로 나타날 수 있다. 따라서 TG와 HDL-C가 좋아졌다고 LDL-C와 ApoB의 상승을 무시해서도 안 되고, LDL-C가 올랐다고 혈당·체중·중성지방 개선을 모두 무효로 보아서도 안 된다.

출처: Soto-Mota et al. 및 최근 RCT 메타분석, AHA 2026 dyslipidemia guideline을 바탕으로 본서에서 구성.

4. ApoB는 왜 따로 보는가

LDL-C는 LDL 입자 안에 들어 있는 콜레스테롤의 양을 나타내고, ApoB는 동맥경화를 일으킬 수 있는 ApoB 함유 입자의 수를 더 직접적으로 반영한다. 당뇨병이나 고중성지방혈증에서는 LDL-C와 입자 수가 서로 어긋나는 경우가 있어 ApoB가 추가 정보를 줄 수 있다.[11]

2026년 AHA 이상지질혈증 가이드라인도 당뇨병, 중성지방 상승, 낮은 LDL-C 상태 등에서 ApoB 측정이 잔여 위험을 평가하는 데 도움이 될 수 있다고 설명한다. 케톤식에서 LDL-C가 많이 오르거나 TG와 LDL-C가 서로 다른 방향으로 움직일 때 ApoB를 함께 보는 이유가 여기에 있다.[12]

5. 지방의 양보다 지방의 질이 중요하다

케톤식의 안전성은 '지방을 많이 먹는다'는 사실보다 어떤 지방을 먹는가에 크게 좌우된다. ADA 2026은 당뇨병 환자에게 포화지방이 많은 식품을 제한하고, 식물성 기름과 견과·씨앗처럼 불포화지방이 많은 식품으로 대체할 것을 권고한다.[13]

Tay 등의 2년 RCT는 이 원칙을 잘 보여준다. 저탄수군은 에너지의 58%를 지방에서 섭취했지만 포화지방은 10% 미만으로 제한하고 불포화지방을 중심으로 구성했다. 2년 뒤 LDL-C는 대조군과 유

[11] American Heart Association/American College of Cardiology. (2026). Guideline on the Management of Dyslipidemia: Top Things to Know. ApoB measurement is useful in selected adults including those with diabetes or elevated triglycerides.

[12] American Heart Association/American College of Cardiology. (2026). Guideline on the Management of Dyslipidemia: Top Things to Know. ApoB measurement is useful in selected adults including those with diabetes or elevated triglycerides.

[13] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

의한 차이가 없었고, 중성지방과 HDL-C, 혈당변동성과 약물요구량은 저탄수군에서 더 유리했다.[14]

식물성 케톤식은 이 지점을 적극적으로 활용할 수 있다. 올리브유, 견과류, 씨앗류, 아보카도, 두부와 같은 식품을 중심으로 지방과 단백질을 설계하면 포화지방 과다를 피하면서 케토시스를 유지할 수 있다. 다만 코코넛오일처럼 식물성이지만 포화지방이 높은 식품은 '식물성'이라는 이유만으로 무제한 사용할 수 없다.[15]

6. 신장은 케톤식을 견딜 수 있는가

정상 또는 비교적 보존된 신장기능을 가진 제2형 당뇨병 환자에서 저탄수식이 eGFR이나 크레아티닌을 뚜렷하게 악화시킨다는 근거는 현재까지 강하지 않다. 12개 대조시험, 942명을 분석한 메타분석에서는 eGFR, 크레아티닌 청소율, 알부민뇨, 혈청 크레아티닌의 유의한 차이가 없었다.[16]

Tay의 2년 RCT에서도 저탄수·고불포화지방군과 고탄수 저지방군 사이에 eGFR과 알부민뇨 변화의 차이가 없었다. 그러나 이 결과를 진행된 만성콩팥병 환자에게 그대로 적용할 수는 없다. 임상시험은 대개 신장기능이 심하게 저하된 사람을 제외하고 시작한다.[17]

따라서 CKD가 있으면 단백질 섭취량, 칼륨과 인, 혈압약과 이뇨제, 탈수 위험을 함께 고려해야 한다. '케톤식은 신장에 안전하다'는 표현보다 '정상 또는 안정된 신장기능에서 단기·중기 연구상 뚜렷한 악화가 일관되게 확인되지는 않았다'고 쓰는 편이 정확하다.[18]

[14] Tay, J., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

[15] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

[16] Oyabu, C., et al. (2018). Effect of low-carbohydrate diet on markers of renal function in patients with type 2 diabetes: A meta-analysis. PMID: 29904998; Tay et al. (2018).

[17] Tay, J., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

[18] Oyabu, C., et al. (2018). Effect of low-carbohydrate diet on markers of renal function in patients with type 2 diabetes: A meta-analysis. PMID: 29904998; Tay et al. (2018).

7. 신장결석은 별도의 문제다

신장기능 수치가 안정적이라는 것과 결석 위험이 없다는 것은 같은 말이 아니다. 케톤식 관련 결석을 분석한 2021년 메타분석에서는 평균 약 3.7년 추적에서 전체 결석 발생률이 5.9%였고, 성인 하위군의 추정치는 7.9%였다.[19]

하지만 이 연구의 대부분은 난치성 간질을 치료하기 위한 전통적 케톤식 연구였고, 현대의 제2형 당뇨병용 식사와 동일하지 않다. 따라서 이 수치를 당뇨병 환자에게 그대로 적용해서는 안 된다. 다만 장기간 매우 엄격한 케톤식을 시행할 때 결석 병력, 수분상태, 요산과 소변환경을 무시해서는 안 된다는 경고로는 의미가 있다.[20]

8. 요산은 초기와 장기를 나눠 봐야 한다

케토시스 초기에는 케톤체와 요산이 신장에서 배설경로를 경쟁하면서 혈중 요산이 일시적으로 오를 수 있다는 생리학적 설명이 오래전부터 제시되어 왔다. 그러나 성인 RCT만 모은 2023년 메타분석에서는 케톤식이 혈청 요산을 대조식보다 유의하게 증가시키지 않았다.[21]

한편 2026년 미국 NHANES 당뇨병 성인을 분석한 횡단면 연구에서는 'ketogenic diet ratio'가 높은 사람에서 통풍 유병률이 더 높았다. 그러나 횡단면 연구는 식사가 통풍을 일으켰는지, 통풍이 있는 사람이 식사를 바꾸었는지 인과를 판단할 수 없다. 이 결과는 경고 신호이지 원인 증명이 아니다.[22]

통풍이나 반복적 요산결석 병력이 있다면 평균 연구결과보다 개인 병력이 더 중요하다. 식물성 케톤식에서는 고기 중심 케톤식보다 퓨린과 포화지방 구성은 달라질 수 있지만, 케토시스 자체와 탈수의 영

[19] Acharya, P., et al. (2021). Incidence and Characteristics of Kidney Stones in Patients on Ketogenic Diet: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diseases, 9*(2), 39. PMID: 34070285.

[20] Acharya, P., et al. (2021). Incidence and Characteristics of Kidney Stones in Patients on Ketogenic Diet: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diseases, 9*(2), 39. PMID: 34070285.

[21] Gohari, S., et al. (2023). The effect of DASH and ketogenic diets intervention on serum uric acid concentration: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Scientific Reports*. PMID: 37380733.

[22] Zheng, L., et al. (2026). Association between ketogenic diet and gout among U.S. adults with diabetes. *International Journal of Surgery*. PMID: 41556160. Cross-sectional observational evidence; causality cannot be inferred.

향은 여전히 관찰해야 한다.[23][24]

9. 초기에 어지럽고 힘이 빠지는 이유

케톤식을 시작한 뒤 며칠 동안 두통, 피로, 어지럼, 근육경련, 집중력 저하를 경험하는 사람이 있다. 흔히 'keto flu'라고 부르지만 공식적인 질병명은 아니다. 2025년 범위문헌고찰은 이런 초기 증상이 여러 집단에서 반복 보고되지만 발생률과 기전 연구는 매우 이질적이라고 정리했다.[25]

탄수화물 제한으로 인슐린 농도가 떨어지면 신장의 나트륨 재흡수가 줄고 수분배출이 늘 수 있다. 동시에 식사량이 줄면 나트륨·칼륨·마그네슘 섭취도 감소할 수 있다. 그러나 전해질 보충이 모든 사람에게 필요하다는 고품질 임상시험 근거는 아직 충분하지 않다.[26]

따라서 혈압약이나 이뇨제를 사용하는 사람은 특히 주의해야 한다. 체액량과 혈압이 빠르게 떨어지면 기존 약물용량이 과해질 수 있기 때문이다. 이런 경우는 식사보다 약물 조정이 안전성의 핵심이 된다.[27]

10. 변비는 가장 흔한 부작용 가운데 하나다

2026년 케톤식 부작용 체계적 분석에서는 적어도 하나의 부작용이 보고된 참여자가 전체의 43%였고, 위장관 부작용이 가장 흔했다. 개별 증상 가운데 변비가 24%로 가장 많이 보고됐다. 더 엄격한 형태의 케톤식일수록 부작용 빈도와 중증도가 높아지는 경향도 관찰됐다.[28]

다만 이 분석은 간질·신경질환·비만 등 여러 질환과 다양한 케톤식 형태를 섞은 결과다. 제2형 당뇨병 성인의 발생률로 그대로 해석할

[23] Gohari, S., et al. (2023). The effect of DASH and ketogenic diets intervention on serum uric acid concentration: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Scientific Reports*. PMID: 37380733.

[24] Zheng, L., et al. (2026). Association between ketogenic diet and gout among U.S. adults with diabetes. *International Journal of Surgery*. PMID: 41556160. Cross-sectional observational evidence; causality cannot be inferred.

[25] Symptoms during initiation of a ketogenic diet: a scoping review of occurrence rates, mechanisms and relief strategies. (2025). PMID: 40206956.

[26] Symptoms during initiation of a ketogenic diet: a scoping review of occurrence rates, mechanisms and relief strategies. (2025). PMID: 40206956.

[27] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5, 6, 9 and 16. Diabetes Care, 49(Suppl. 1).

[28] Schopf, C., Assmann, M., Wolke, N., et al. (2026). Adverse events and tolerability of ketogenic diets - a systematic literature analysis. *BMC Nutrition, 12*(1), 44. PMID: 41715236.

수는 없다. 그렇더라도 채소와 씨앗류를 지나치게 줄인 '고기·치즈 중심 케톤식'에서 식이섬유 부족이 생기기 쉽다는 점은 실무적으로 중요하다.[29]

식물성 케톤식은 비전분 채소, 아마씨·치아씨, 견과류, 아보카도, 제한된 양의 콩류를 활용해 순탄수화물을 관리하면서도 식이섬유를 확보할 수 있다. 이것은 혈당만이 아니라 장기 지속성의 문제이기도 하다.[30]

11. 미량영양소 부족은 식품선택이 단조로울 때 커진다

탄수화물을 줄이면서 곡물·과일·콩류까지 지나치게 제한하면 칼륨, 마그네슘, 칼슘과 일부 수용성 비타민 섭취가 부족해질 수 있다. 12주 케톤식 연구에서는 여러 미네랄과 수용성 비타민 섭취량이 권장량에 미치지 못했지만, 대부분의 혈중 농도는 단기간에는 정상범위에 있었다.[31]

혈액검사가 정상이라고 섭취가 충분하다는 뜻은 아니다. 몸은 일정 기간 혈중 농도를 유지하기 위해 저장량과 배설을 조절할 수 있다. 따라서 장기 식사에서는 보충제보다 먼저 식품의 다양성을 점검해야 한다.[32]

식물성 케톤식에서는 비타민 B12를 별도로 관리해야 하고, 철·아연·요오드·칼슘·오메가-3도 식품선택에 따라 부족할 수 있다. 이 문제는 제8장에서 다룬 식물성 식사의 영양설계와 그대로 연결된다.[33]

[29] Schopf, C., Assmann, M., Wolke, N., et al. (2026). Adverse events and tolerability of ketogenic diets - a systematic literature analysis. *BMC Nutrition, 12*(1), 44. PMID: 41715236.

[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

[31] Assessment of micronutrients in a 12-wk ketogenic diet in obese adults. (2019). PMID: 31445313; Cervenka, M. C., et al. (2021). International Recommendations for the Management of Adults Treated With Ketogenic Diet Therapies. PMID: 34840865.

[32] Assessment of micronutrients in a 12-wk ketogenic diet in obese adults. (2019). PMID: 31445313; Cervenka, M. C., et al. (2021). International Recommendations for the Management of Adults Treated With Ketogenic Diet Therapies. PMID: 34840865.

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

12. 저혈당은 케톤식 자체보다 약물과의 조합에서 중요하다

탄수화물을 크게 줄이면 식후 포도당 상승이 빠르게 줄어들 수 있다. 인슐린이나 설포닐우레아처럼 저혈당을 일으킬 수 있는 약물을 그대로 유지하면 식사변화보다 약물효과가 더 커져 저혈당이 발생할 수 있다.[34]

따라서 약물을 사용하는 당뇨병 환자에게 케톤식은 '식단만 바꾸는 프로그램'이 아니다. 시작 전 약물 종류를 확인하고, 혈당을 더 자주 측정하며, 필요하면 의료진이 약물용량을 조정해야 한다. 특히 인슐린을 임의로 중단하는 것은 위험하다.[35]

이 점은 케톤식의 장점과도 연결된다. 일부 임상시험에서 약물요구량이 줄었다는 결과는 좋은 신호지만, 그 변화가 안전하려면 계획된 감량이 필요하다. 약물감량은 결과지표이지 스스로 약을 끊으라는 지시가 아니다.[36]

13. SGLT2 억제제와 케톤식은 특별히 조심해야 한다

SGLT2 억제제는 심부전과 신장보호에 큰 장점이 있는 약물이지만 케톤산증 위험을 높일 수 있다. ADA 2026은 SGLT 억제제를 사용하는 사람 가운데 DKA 위험이 있는 경우 케톤 측정법을 교육하고, 케톤식 식사패턴을 피하도록 권고한다.[37]

제2형 당뇨병에서 SGLT2 억제제 관련 DKA의 절대 발생률은 낮지만 0은 아니다. ADA 2026은 약 0.6 4.9건/1,000인년의 발생률을 제시하며, 위험요인으로 매우 낮은 탄수화물 섭취, 장기간 금식, 탈수, 과음과 인슐린 부족을 들고 있다.[38]

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5, 6, 9 and 16. Diabetes Care, 49(Suppl. 1).

[35] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5, 6, 9 and 16. Diabetes Care, 49(Suppl. 1).

[36] Tay, J., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

[37] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5 recommendation 5.26 and Section 9 SGLT inhibition and risk of ketosis. DKA incidence in T2D treated with SGLT inhibitors estimated at 0.6-4.9 events/1,000 person-years.

[38] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5 recommendation 5.26 and Section 9 SGLT inhibition and risk of ketosis. DKA incidence in T2D treated with SGLT inhibitors estimated at 0.6-4.9 events/1,000 person-years.

이 위험은 혈당이 아주 높지 않아도 생길 수 있다는 점 때문에 더 중요하다. SGLT2 억제제 관련 DKA의 일부는 혈당 200 mg/dL 미만에서도 발생한다. 즉 “혈당이 높지 않으니 DKA가 아니다”라고 판단하면 진단이 늦어질 수 있다.[39]

표 12-2. 영양적 케토시스와 당뇨병성 케톤산증은 다르다

항목	영양적 케토시스	당뇨병성 케톤산증(DKA)
주된 상황	탄수화물 제한·공복·운동 적응	절대적 또는 심한 상대적 인슐린 부족, 질병·약물 등
BHB	보통 완만한 상승	ADA 진단 기준에서 ≥3.0 mmol/L가 중요한 기준
산-염기	대개 정상 pH 유지	pH <7.3 또는 bicarbonate <18 mmol/L
혈당	정상 경도 상승 가능	≥200 mg/dL 또는 당뇨병 병력; euglycemic DKA 가능
임상상태	대개 안정	탈수, 오심·구토, 복통, 빠른 호흡, 의식변화 가능
대응	식사와 대사상태 모니터링	응급의료 평가와 수액·인슐린·전해질 치료 필요

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026, Sections 6, 9, 16.

14. DKA와 영양적 케토시스를 숫자 하나로 구분하면 안 된다

BHB가 올라갔다는 사실만으로 DKA라고 진단하지 않는다. ADA 2026의 DKA 기준은 당뇨병 또는 고혈당, 유의한 케톤혈증, 대사성 산증을 함께 본다. 반대로 BHB가 매우 높지 않더라도 증상과 산-염기 이상이 있으면 임상상황을 평가해야 한다.[40]

특히 오심·구토, 복통, 심한 갈증과 탈수, 깊고 빠른 호흡, 의식변화가 나타나면 단순한 ‘케토 적응’으로 넘겨서는 안 된다. SGLT2 억제제를 사용하거나 인슐린 분비가 부족한 사람에서는 혈당이 예상보다 낮아도 DKA가 가능하다.[41]

[39] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises; Diabetes Care in the Hospital: Standards of Care in Diabetes-2026. DKA criteria include diabetes/hyperglycemia, β-hydroxybutyrate ≥3.0 mmol/L or urine ketones, and metabolic acidosis.

[40] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises; Diabetes Care in the Hospital: Standards of Care in Diabetes-2026. DKA criteria include diabetes/hyperglycemia, β-hydroxybutyrate ≥3.0 mmol/L or urine ketones, and metabolic acidosis.

[41] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026).

15. 장기 지속성은 안전성의 일부다

아무리 생화학적으로 좋은 식사도 유지할 수 없다면 장기 치료전략이 되기 어렵다. Goldenberg 메타분석에서는 저탄수식의 6개월 효과가 12개월에 감소했고, 매우 낮은 탄수화물식에서 순응도가 낮은 연구일수록 체중효과도 작았다.[42]

Tay의 2년 RCT에서는 115명 가운데 61명이 연구를 완료했다. 이것은 저탄수식만의 문제가 아니라 장기 식사시험 전반의 어려움을 보여준다. 지속성은 의지의 문제라기보다 음식선택의 폭, 사회적 식사, 비용, 조리부담, 부작용과 만족도의 영향을 받는다.[43]

따라서 식물성 케톤식은 가능한 한 '엄격함'보다 '지속 가능한 대사효과'를 목표로 해야 한다. 케톤 수치를 높이기 위해 식품의 다양성과 삶의 질을 지나치게 희생하면 장기적으로는 오히려 실패할 수 있다.[44]

16. 엄격할수록 항상 더 좋은 것은 아니다

탄수화물을 더 낮추면 케톤은 더 잘 올라갈 수 있다. 그러나 임상효과가 탄수화물 제한 강도와 직선적으로 비례하는 것은 아니다. 2021년 메타분석에서는 VLCD가 덜 제한적인 LCD보다 체중감량에서 항상 우월하지 않았고, 이 차이는 순응도로 설명되는 부분이 컸다.[45]

따라서 치료목표가 HbA1c 개선과 약물감량이라면 가장 낮은 탄수화물 수준보다 '개인이 유지하면서 목표를 달성할 수 있는 수준'을 찾는 것이 합리적이다. 일부 사람은 영양적 케토시스가 필요할 수 있지만, 다른 사람은 중등도 저탄수만으로 충분한 대사개선을 얻을 수 있다.[46]

Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises; Diabetes Care in the Hospital: Standards of Care in Diabetes-2026. DKA criteria include diabetes/hyperglycemia, β-hydroxybutyrate ≥3.0 mmol/L or urine ketones, and metabolic acidosis.

[42] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. *BMJ, 372*, m4743. PMID: 33441384.

[43] Tay, J., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: A 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(4), 858-871. PMID: 29178536.

[44] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. *BMJ, 372*, m4743. PMID: 33441384.

[45] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. *BMJ, 372*, m4743. PMID: 33441384.

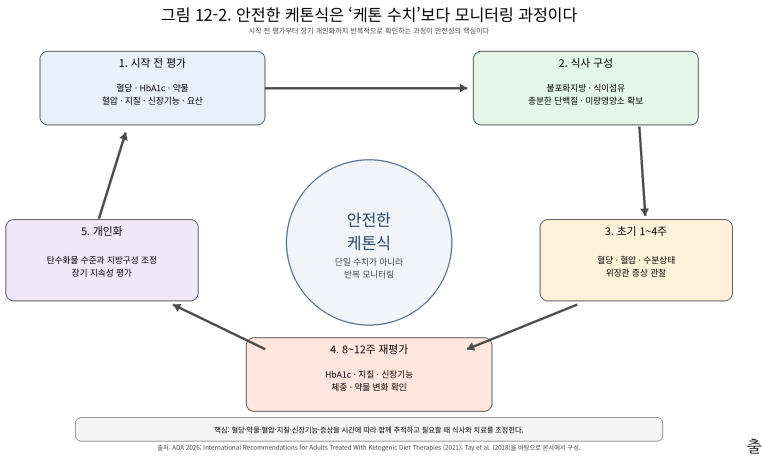
[46] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. *BMJ, 372*, m4743. PMID: 33441384.

17. 식물성 케톤식의 안전성 원칙

식물성 케톤식은 케톤식의 장점을 취하면서 위험요인을 줄이는 방향으로 설계되어야 한다. 첫째, 지방은 포화지방보다 불포화지방을 중심으로 구성한다. 둘째, 비전분 채소와 씨앗류를 이용해 식이섬유를 확보한다. 셋째, 식물성 단백질을 충분히 공급하되 신장기능에 맞게 조절한다.[47]

넷째, B12와 철·아연·요오드·칼슘·오메가-3를 점검한다. 다섯째, LDL-C와 ApoB가 크게 오르는 사람에게는 지방의 종류와 총에너지, 체중변화, 가족력과 기존 심혈관 위험을 다시 평가한다. 마지막으로 약물을 사용하는 사람은 혈당개선 속도에 맞춰 의료진과 약물계획을 조정해야 한다.[48][49]

그림 12-2. 안전한 케톤식은 '케톤 수치'보다 모니터링 과정이다



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

시작 전 평가 → 혈당·HbA1c·약물·혈압·지질·신장기능·요산 확인 → **식사 구성** → 불포화지방·식이섬유·충분한 단백질·미량영양소 확보 → **초기 1 4주** → 혈당·혈압·수분상태·위장관 증상 관찰 → **8 12주 재평가** → HbA1c·지질·신장기능·체중·약물 변화 확인 → **개인화**

[47] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

[48] American Heart Association/American College of Cardiology. (2026). Guideline on the Management of Dyslipidemia: Top Things to Know. ApoB measurement is useful in selected adults including those with diabetes or elevated triglycerides.

[49] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5 recommendation 5.26 and Section 9 SGLT inhibition and risk of ketosis. DKA incidence in T2D treated with SGLT inhibitors estimated at 0.6-4.9 events/1,000 person-years.

→ 탄수화물 수준과 지방구성을 조정하고 장기 지속성을 평가.

출처: ADA 2026; International Recommendations for Adults Treated With Ketogenic Diet Therapies (2021); Tay et al. (2018)을 바탕으로 본서에서 구성.

18. 어떤 사람은 더 주의해야 하는가

제1형 당뇨병, 인슐린 결핍이 심한 제2형 당뇨병, 과거 DKA 병력이 있는 사람, SGLT2 억제제를 사용하는 사람은 일반적인 제2형 당뇨병 환자보다 케톤산증 위험을 더 세심하게 평가해야 한다. 임신과 수유, 급성 중증질환, 반복적 구토나 탈수 상태에서도 엄격한 케톤식은 신중해야 한다.[50][51]

진행된 CKD, 반복적 신장결석, 통풍, 심한 이상지질혈증, 섭식장애 병력이 있는 경우에도 개별 평가가 필요하다. 이는 '절대 금지 목록'이라기보다 현재 질환과 식사변화가 충돌할 수 있는 지점을 먼저 확인하라는 의미다.[52][53]

19. 실제 모니터링은 무엇을 보면 되는가

초기에는 혈당과 증상 변화가 가장 빠르다. 약물을 사용하는 사람은 저혈당 여부를 확인하고, 혈압약이나 이뇨제를 쓰는 사람은 어지럼과 혈압변화를 함께 본다. 체중이 급격히 줄 때는 수분손실과 실제 지방감소를 구분해야 한다.[54]

8 12주 정도가 지나면 HbA1c, 공복혈당, 지질, 신장기능을 다시 확인하는 것이 합리적이다. LDL-C가 크게 오르면 non-HDL-C와 ApoB, 가족력과 전체 심혈관 위험을 함께 평가할 수 있다. 장기적

[50] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5 recommendation 5.26 and Section 9 SGLT inhibition and risk of ketosis. DKA incidence in T2D treated with SGLT inhibitors estimated at 0.6-4.9 events/1,000 person-years.

[51] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises; Diabetes Care in the Hospital: Standards of Care in Diabetes-2026. DKA criteria include diabetes/hyperglycemia, β-hydroxybutyrate ≥3.0 mmol/L or urine ketones, and metabolic acidosis.

[52] Acharya, P., et al. (2021). Incidence and Characteristics of Kidney Stones in Patients on Ketogenic Diet: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diseases, 9*(2), 39. PMID: 34070285.

[53] Zheng, L., et al. (2026). Association between ketogenic diet and gout among U.S. adults with diabetes. *International Journal of Surgery*. PMID: 41556160. Cross-sectional observational evidence; causality cannot be inferred.

[54] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Sections 5, 6, 9 and 16. Diabetes Care, 49(Suppl. 1).

으로는 미량영양소, 근육량, 식이섬유 섭취와 지속가능성도 중요하다.[55][56]

표 12-3. 식물성 케톤식의 단계별 모니터링 틀

시점	우선 확인	이유
시작 전	HbA1c, 혈당, 약물, 혈압, 지질, eGFR/크레아티닌, 요산, 체중	기준값 확보와 위험군 확인
첫 1 2주	자가혈당, 저혈당, 어지럼, 수분상태, 위장관 증상	가장 빠른 적응과 약물효과 변화 확인
4주 전후	체중, 혈압, 식사순응도, 변비, 섬유·단백질 섭취	지나친 제한과 탈수 교정
8 12주	HbA1c, TG, HDL-C, LDL-C, non-HDL-C, 신장기능	대사효과와 지질반응 평가
필요 시	ApoB, B12, 철상태, 전해질, 케톤	개인 위험과 식사구성에 따라 선택
장기	근육량, 삶의 질, 재발, 약물 요구량, 지속성	숫자보다 실제 치료성과 유지 가능성 평가

출처: ADA 2026; AHA 2026 dyslipidemia guideline; Cervenka et al. (2021)을 바탕으로 본서에서 구성.

20. 안전성 연구에서 놓치기 쉬운 함정

첫째, ‘케톤식’이라는 이름 아래 식사구성이 매우 다르다. 포화지방이 많은 동물성 케톤식과 올리브유·견과류 중심의 저탄수식은 같은 지방비율이라도 지질반응이 달라질 수 있다. 둘째, 체중감량을 동반한 케톤식과 체중유지 케톤식을 같은 연구로 묶으면 효과의 원인을 구분하기 어렵다.[57][58]

셋째, 많은 연구가 수개월이고 심혈관 사건이나 말기신장질환 같은 ‘하드 엔드포인트’를 보기에는 짧다. 최근 메타분석에서 LDL-C 상승이 확인돼도 그것이 수십 년의 심혈관 사건에 어떤 영향을 주는

[55] American Heart Association/American College of Cardiology. (2026). Guideline on the Management of Dyslipidemia: Top Things to Know. ApoB measurement is useful in selected adults including those with diabetes or elevated triglycerides.

[56] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

[57] The Impact of the Ketogenic Diet on the Lipid Profile in Adults: A Comprehensive Review and Meta-Regression Analysis of Randomized Controlled Trials. (2026). PMID: 41621647; Ketogenic diet-induced changes in adult lipid metabolism: a comprehensive systematic review and meta-regression of randomized controlled trials. (2026). PMID: 42056882.

[58] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

지는 직접 시험되지 않았다. 반대로 TG와 혈당이 좋아졌다고 장기 사건이 반드시 줄어든다는 증거도 아직 없다.[59]

넷째, 부작용 보고가 표준화되지 않은 연구가 많다. 2026년 부작용 체계적 분석에서도 연구별 기록방법의 차이가 큰 제한점으로 지적됐다. 안전성을 평가하려면 효과지표만큼 부작용을 체계적으로 기록하는 연구가 필요하다.[60]

21. 이 장의 결론: 안전한 케톤식은 '구성'과 '관찰'로 결정된다

현재 근거를 종합하면 케톤식은 제2형 당뇨병에서 중성지방, HDL-C, 혈당과 약물요구량을 개선할 수 있다. 그러나 LDL-C 반응은 연구와 개인에 따라 다르며, 최근 성인 RCT 메타분석에서는 평균적인 LDL-C 상승이 관찰됐다. ApoB는 LDL-C와 함께 개인의 죽상경화성 지질위험을 평가하기 위해 별도로 확인할 수 있다. 변비·탈수·초기 적응증상, 결석과 미량영양소 부족 가능성도 존재한다.[61][62][63]

특히 SGLT2 억제제를 사용하는 사람에게 매우 낮은 탄수화물 식사는 별도의 안전문제다. ADA 2026은 이 상황에서 케톤식 패턴을 피하도록 권고한다. 저혈당 위험 약물을 사용하는 사람도 식사변화와 약물조정을 동시에 고려해야 한다.[64]

따라서 본서가 제안하는 식물성 케톤식의 목표는 '더 많은 지방'이나 '더 높은 케톤'이 아니다. 불포화지방과 식이섬유를 중심으로 식사의 질을 높이고, 필요한 만큼 탄수화물을 제한하며, 혈당·지질·신장

[59] The Impact of the Ketogenic Diet on the Lipid Profile in Adults: A Comprehensive Review and Meta-Regression Analysis of Randomized Controlled Trials. (2026). PMID: 41621647; Ketogenic diet-induced changes in adult lipid metabolism: a comprehensive systematic review and meta-regression of randomized controlled trials. (2026). PMID: 42056882.

[60] Schopf, C., Assmann, M., Wolke, N., et al. (2026). Adverse events and tolerability of ketogenic diets - a systematic literature analysis. *BMC Nutrition, 12*(1), 44. PMID: 41715236.

[61] Impact of very low carbohydrate ketogenic diets on cardiovascular risk factors among patients with type 2 diabetes; GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of clinical trials. (2024). PMID: 39030553.

[62] The Impact of the Ketogenic Diet on the Lipid Profile in Adults: A Comprehensive Review and Meta-Regression Analysis of Randomized Controlled Trials. (2026). PMID: 41621647; Ketogenic diet-induced changes in adult lipid metabolism: a comprehensive systematic review and meta-regression of randomized controlled trials. (2026). PMID: 42056882.

[63] Schopf, C., Assmann, M., Wolke, N., et al. (2026). Adverse events and tolerability of ketogenic diets - a systematic literature analysis. *BMC Nutrition, 12*(1), 44. PMID: 41715236.

[64] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5 recommendation 5.26 and Section 9 SGLT inhibition and risk of ketosis. DKA incidence in T2D treated with SGLT inhibitors estimated at 0.6-4.9 events/1,000 person-years.

기능·약물상태를 관찰하면서 개인에게 맞는 범위를 찾는 것이다.[65]

다음 장부터는 식물성과 케톤이라는 두 축을 한 자리에서 비교한다. 서로 반대처럼 보이는 두 식사패턴이 실제로 어떤 대사지표에서 만나고, 어디에서 충돌하는지를 살펴본다.[66]

[65] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1). Recommendations 5.29-5.31 and fat section.

[66] Choy, K. Y. C., & Louie, J. C. Y. (2023). The effects of the ketogenic diet for the management of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of recent studies. *Diabetes & Metabolic Syndrome, 17*(12), 102905. PMID: 38006799.

제13장. 식물식과 케톤식은 정말 서로 반대인가

식물성 식사와 케톤식은 식탁만 보면 정반대로 보인다. 전통적인 저지방 식물식은 탄수화물 비중이 높고 지방을 낮추는 경우가 많다. 반대로 케톤식은 탄수화물을 크게 줄이고 지방을 주요 에너지원으로 사용한다. 그런데 임상연구를 한 단계 더 깊이 들여다보면, 두 접근은 서로 다른 길을 통해 비슷한 대사목표에 도달하기도 한다.[1]

따라서 이 장의 질문은 어느 쪽이 '정답'인가가 아니다. 무엇이 다르고, 무엇이 같으며, 어떤 지표에서는 한쪽이 유리하고 다른 지표에서는 반대가 되는지를 살펴보는 것이 목적이다. 이 구분이 되어야 다음 장에서 식물성과 케톤의 장점을 어떻게 한 식사 안에서 결합할 것인지 논리적으로 이야기할 수 있다.[2]

1. 가장 먼저 구분해야 할 것은 탄수화물의 '양'과 '질'이다

식물성 식사는 흔히 고탄수 식사로 이해되지만, 식물성이라는 말은 탄수화물의 양을 규정하지 않는다. 채소·견과·씨앗·두부·아보카도 중심의 식사는 식물성이면서도 탄수화물을 낮게 구성할 수 있다. 반대로 흰쌀, 흰빵, 설탕, 주스와 초가공 비건식품 중심의 식사도 기술적으로는 식물성일 수 있다.[3]

케톤식도 마찬가지다. 탄수화물을 매우 낮게 제한한다는 공통점은 있지만 지방과 단백질의 공급원은 크게 다를 수 있다. 버터·가공육·치즈 중심의 케톤식과 올리브유·견과·씨앗·두부·비전분 채소 중심의 케톤식은 같은 탄수화물 비율을 가질 수 있어도 영양학적으로 동일한 식사는 아니다.[4]

이 때문에 당뇨병 영양치료에서는 다량영양소 비율 하나만으로 식사를 평가하지 않는다. ADA 2026도 탄수화물 섭취를 줄이는 방법을 일부 성인에게 고려할 수 있다고 하면서, 동시에 최소가공·고섬유 탄수화물, 비전분 채소, 콩류, 견과와 씨앗, 식물성 단백질을 강조한

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[4] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

다. 양과 질을 동시에 보라는 뜻이다.[5]

표 13-1. 전형적인 저지방 식물식과 케톤식의 차이

항목	저지방 식물식의 전형	케톤식의 전형	실제 임상에서 확인할 점
탄수화물	높거나 중간	매우 낮음	양보다 정제도와 식이섬유를 함께 봄
지방	낮음	높음	포화지방과 불포화지방의 비율이 중요
단백질	콩·곡물·견과 중심	식사모델에 따라 동물성 비중이 높을 수 있음	식물성 단백질로도 구성 가능
식이섬유	대체로 높음	구성에 따라 낮아질 수 있음	비전분 채소·씨앗·견과 확보 필요
식후혈당	식품의 질과 양에 따라 달라짐	대체로 낮아짐	CGM·식후혈당으로 개인 반응 확인
케톤생성	일반적으로 낮음	증가	케톤수치 자체가 임상효과와 동일하지 않음
LDL-C	저지방 식물식에서 감소 경향	일부에서 증가 가능	ApoB·non-HDL-C까지 함께 평가
중성지방	체중감량 시 감소 가능	비교적 일관되게 감소	전체 심혈관 위험을 함께 판단

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Hall et al. (2021); Gardner et al. (2022)을 바탕으로 본서에서 정리.

2. ‘고탄수 대 저탄수’라는 구도만으로는 설명이 부족하다

식사연구에서 가장 흔한 오류 가운데 하나는 탄수화물 비율만 보고 결과를 해석하는 것이다. 고탄수 식사라도 통곡물·콩·채소 중심인지, 정제곡물과 당류 중심인지에 따라 혈당과 포만감은 달라질 수 있다. 저탄수 식사도 같은 이유로 지방과 단백질의 질에 따라 LDL-C, 식이섬유, 미량영양소 결과가 달라진다.[6]

이 문제를 잘 보여주는 것이 Keto-Med 연구다. 이 연구에서 well-formulated ketogenic diet와 Mediterranean-plus diet는 모두 비전분 채소를 포함하고 첨가당과 정제곡물을 피했다. 두 식사는 탄수화물 양에서는 달랐지만 ‘가공도가 낮은 음식’이라는 중요한 공통

[5] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[6] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

점을 공유했다.[7]

12주 후 HbA1c는 두 식사 사이에 유의한 차이가 없었다. 케톤식에서는 중성지방이 더 크게 감소했지만 LDL-C는 더 높았고, 식이섬유와 일부 영양소 섭취는 더 낮았다. 연구가 보여준 것은 '케톤이 실패했다'거나 '지중해식이 이겼다'는 단순한 결론이 아니라, 서로 다른 장점과 비용이 동시에 존재한다는 사실이다.[8]

3. 두 식사를 직접 맞붙인 연구는 무엇을 보여주는가

NIH의 Hall 연구는 최소가공 저지방 식물식과 최소가공 동물성 케톤식을 입원환경에서 직접 비교했다. 20명의 성인은 각 식사를 2주씩 무제한 섭취했다. 저지방 식물식은 지방 약 10%, 탄수화물 약 75%였고, 케톤식은 지방 약 76%, 탄수화물 약 10%였다.[9]

예상과 달리 참가자들은 저지방 식물식 기간에 하루 평균 약 689 kcal를 덜 섭취했다. 반면 케톤식은 식후 포도당과 인슐린 노출을 더 낮추는 방향을 보였다. 두 식사가 서로 다른 기전을 통해 에너지섭취와 혈당반응에 영향을 줄 수 있음을 보여주는 결과다.[10]

그러나 이 연구는 제2형 당뇨병 치료시험이 아니고 각 식사기간도 2주에 불과했다. 따라서 장기 HbA1c, 약물감량, 관해를 비교하는 근거로 사용할 수는 없다. 직접비교라는 장점은 크지만, 적용범위 역시 분명히 제한된다.[11]

표 13-2. 식물식과 저탄수·케톤 접근을 비교할 때 참고할 핵심 임상연구

[7] Gardner, C. D., Landry, M. J., Perelman, D., et al. (2022). Effect of a ketogenic diet versus Mediterranean diet on glycated hemoglobin in individuals with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: The interventional Keto-Med randomized crossover trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(3), 640-652. PMID: 35641199.

[8] Gardner et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial.

[9] Hall, K. D., Guo, J., Courville, A. B., et al. (2021). Effect of a plant-based, low-fat diet versus an animal-based, ketogenic diet on ad libitum energy intake. *Nature Medicine, 27*, 344-353. PMID: 33479499.

[10] Hall et al. (2021). Nature Medicine, 27, 344-353.

[11] Hall et al. (2021). Nature Medicine, 27, 344-353.

연구	대상·기간	비교	핵심 결과	해석의 한계
Hall et al., 2021	성인 20명, 입원 교차 4주	저지방 식물식 vs 동물성 케톤식	식물식에서 자발적 에너지섭취 더 낮음, 케톤식에서 당·인슐린 노출 낮은 방향	T2D 치료시험 아님, 기간 짧음
Gardner et al., 2022	전당뇨·T2D 40명, 교차 각 12주	WFKD vs Mediterranean-plus	HbA1c 차이 없음, KD에서 TG 더 감소·LDL-C 더 증가	두 식사 모두 고품질 식품 사용
Jenkins et al., 2022	T2D 164명, 3개월	저탄수 비건 vs 중등도 탄수 채식	두 군 모두 체중·HbA1c 크게 개선, 군간 대사차 대부분 작음	두 군 모두 에너지 제한
Barnard et al., 2006/2009	T2D 99명, 22 74주	저지방 비건 vs 기존 당뇨식	약물 변경 보정 시 HbA1c·LDL 개선 우세	케톤식과 직접 비교 아님
Goldenberg et al., 2021	RCT 메타분석	LCD/VLCD vs 비교식	6개월 관해·HbA1c·TG·체중 이점, 12개월 차이 감소	저탄수 정의와 순응도 이질적

출처: Hall et al. (2021); Gardner et al. (2022); Jenkins et al. (2022); Barnard et al. (2006, 2009); Goldenberg et al. (2021).

4. 저탄수 비건식은 두 세계가 완전히 분리되어 있지 않음을 보여준다

식물성과 저탄수는 이론적으로 양립할 수 있다. Jenkins 등의 무작위시험은 제2형 당뇨병 164명에게 저탄수 비건식과 중등도 탄수 채식을 비교했다. 저탄수 비건식은 식물성 단백질과 카놀라유 등 식물성 지방을 강조했다.[12]

3개월 뒤 두 군 모두 체중이 약 5 6 kg 감소했고 HbA1c도 약 0.9 1.0%p 낮아졌다. 체중과 HbA1c의 군간 차이는 유의하지 않았으며, 두 식사 모두 에너지를 제한했다. 중요한 점은 ‘저탄수=동물성’이라는 전제가 임상적으로 필수 조건이 아니라는 것이다.[13]

[12] Jenkins, D. J. A., Jones, P. J. H., Abdullah, M. M. H., et al. (2022). Low-carbohydrate vegan diets in diabetes for weight loss and sustainability: a randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(5), 1240-1250. PMID: 36156115.

[13] Jenkins et al. (2022). Low-carbohydrate vegan RCT.

다만 이 식사는 영양적 케토시스를 목표로 한 전형적인 케톤식과는 다르다. 따라서 이 연구를 식물성 케톤식의 직접 임상근거라고 부를 수는 없다. 하지만 식물성 단백질과 불포화지방을 사용하면서 탄수화물을 낮추는 중간지대가 실제로 가능하다는 근거는 된다.[14]

5. HbA1c만 놓고 보면 두 접근 모두 개선될 수 있다

저지방 비건식 RCT에서는 HbA1c 개선이 반복적으로 보고됐다. Barnard 연구에서는 약물변경 전 값을 기준으로 저지방 비건군의 HbA1c 감소가 비교식보다 컸고, 한국의 현미 기반 비건식 RCT에서도 12주 HbA1c 감소가 기존 당뇨식보다 더 컸다.[15][16]

반대로 저탄수·케톤식 메타분석에서도 6개월 HbA1c와 관해 가능성의 이점이 관찰됐다. 그러나 12개월로 가면 군간 차이가 작아지는 경향이 반복된다. 순응도와 체중변화가 이 결과의 중요한 매개요인이다.[17]

따라서 HbA1c 개선이라는 결과만 놓고 두 식사 중 하나가 독점적인 기전을 가진다고 말하기 어렵다. 서로 다른 영양구성이 체중, 에너지섭취, 식후혈당, 간·근육의 인슐린 감수성에 각각 영향을 주면서 최종 HbA1c로 수렴할 수 있다.[18][19]

6. 체중감량은 두 접근이 만나는 가장 강력한 공통분모다

여러 식사패턴을 비교한 네트워크 메타분석에서는 HbA1c와 공복혈당 감소가 평균 체중변화와 밀접하게 연결됐다. 식사이름보다 실제로 에너지균형과 체중이 얼마나 변했는지가 혈당결과의 상당 부분을 설명할 수 있다는 뜻이다.[20]

[14] Jenkins et al. (2022). Low-carbohydrate vegan RCT.

[15] Barnard, N. D., Cohen, J., Jenkins, D. J. A., et al. (2006). A low-fat vegan diet improves glycemic control and cardiovascular risk factors in a randomized clinical trial in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Care, 29*(8), 1777-1783. PMID: 16873779; Barnard, N. D., et al. (2009). A low-fat vegan diet and a conventional diabetes diet in the treatment of type 2 diabetes: a randomized, controlled, 74-wk clinical trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 89*(5), 1588S-1596S. PMID: 19339401.

[16] Lee, Y. M., Kim, S. A., Lee, I. K., et al. (2016). Effect of a brown rice based vegan diet and conventional diabetic diet on glycemic control of patients with type 2 diabetes: a 12-week randomized clinical trial. *PLoS ONE, 11*(6), e0155918. PMID: 27253526.

[17] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of published and unpublished randomized trial data. *BMJ, 372*, m4743. PMID: 33441384.

[18] Goldenberg et al. (2021). BMJ, 372, m4743.

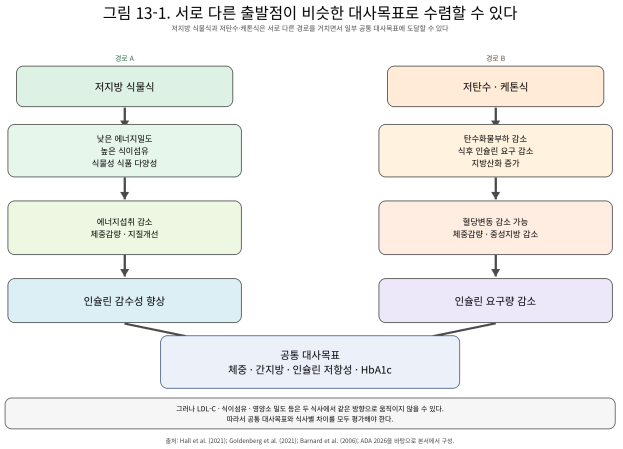
[19] Effect of Dietary Approaches on Glycemic Control in Patients with Type 2 Diabetes: A Systematic Review with Network Meta-Analysis of Randomized Trials. (2023). PMID: 37513574.

[20] Dietary approaches network meta-analysis (2023). PMID: 37513574.

저지방 식물식은 낮은 에너지밀도와 높은 식이섬유를 통해 자발적 에너지섭취를 줄일 수 있다. 케톤식은 식욕 감소, 단백질과 지방의 포만감, 식품선택 제한을 통해 에너지섭취가 감소할 수 있다. 출발점은 다르지만 결과적으로 에너지적자가 생기면 간지방과 내장지방이 줄고 인슐린 감수성이 개선될 수 있다.[21][22]

그렇다고 모든 효과를 체중으로만 설명해서도 안 된다. 식후혈당, 혈당변동성, 중성지방처럼 탄수화물 양의 직접적인 영향을 받는 지표도 있고, LDL-C와 식이섬유처럼 식품구성의 질에 더 민감한 지표도 있다. 공통분모와 고유효과를 동시에 봐야 한다.[23][24]

그림 13-1. 서로 다른 출발점이 비슷한 대사목표로 수렴할 수 있다



처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

저지방 식물식 → 낮은 에너지밀도·높은 식이섬유·식물성 식품 다양성 → 에너지섭취 감소·체중감량·지질개선 → 인슐린 감수성 향상

저탄수·케톤식 → 탄수화물부하 감소·식후 인슐린 요구 감소·지방산화 증가 → 혈당변동 감소·체중감량·중성지방 감소 → 인슐린 요구량 감소

두 경로는 **체중·간지방·인슐린 저항성·HbA1c**라는 공통 목표에서 만날 수 있다. 그러나 LDL-C, 식이섬유, 영양소 밀도는 같은 방향으로 움직이지 않을 수 있다.

[21] Hall et al. (2021). Nature Medicine, 27, 344-353.

[22] Tay, J., Thompson, C. H., Luscombe-Marsh, N. D., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: a 2-year randomized clinical trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism*; Hallberg, S. J., et al. (2018). *Diabetes Therapy, 9*, 583-612. PMID: 29417495.

[23] Gardner et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial.

[24] Dietary approaches network meta-analysis (2023). PMID: 37513574.

출처: Hall et al. (2021); Goldenberg et al. (2021); Barnard et al. (2006); ADA 2026을 바탕으로 본서에서 구성.

7. 식후혈당과 혈당변동성에서는 저탄수의 효과가 더 직접적이다

탄수화물을 줄이면 한 끼에서 흡수되는 포도당의 양이 감소하므로 식후혈당 상승폭이 낮아지는 것은 생리학적으로 직접적인 효과다. 실제 저탄수 RCT에서는 평균 HbA1c가 비슷하더라도 혈당변동성과 약물요구량이 더 낮아진 결과가 보고됐다.[25]

이 장점은 인슐린이나 설포닐우레아를 사용하는 사람에게는 동시에 안전성 문제를 만든다. 식후혈당이 빠르게 낮아지는 만큼 기존 약물용량이 과해질 수 있기 때문이다. 따라서 저탄수의 빠른 혈당효과를 치료효과로 활용하려면 약물조정과 모니터링이 함께 가야 한다.[26]

식물성 식사에서도 정제탄수화물을 줄이고 통곡물·콩·채소처럼 식이섬유가 많은 식품을 선택하면 식후혈당을 완화할 수 있다. 다만 탄수화물 총량이 높으면 개인에 따라 식후 최고혈당이 여전히 높을 수 있으므로 CGM이나 식후 측정을 통해 반응을 확인하는 것이 유용하다.[27]

8. LDL-C에서는 두 접근의 방향이 갈릴 수 있다

저지방 비건식은 LDL-C를 낮추는 방향의 결과가 비교적 일관되게 보고되어 왔다. Barnard의 제2형 당뇨병 RCT에서도 지질약 변경 전 분석에서 LDL-C 감소가 비교식보다 컸다.[28]

반면 케톤식은 중성지방을 낮추고 HDL-C를 높이는 장점이 있지만 일부 사람에서는 LDL-C와 ApoB가 상승한다. Keto-Med에서도 케톤식 기간의 LDL-C가 Mediterranean-plus보다 높았다. 따라서 한쪽은 '혈당', 다른 쪽은 '콜레스테롤'이라는 단순한 대결이 아니라 지표별 trade-off를 평가해야 한다.[29]

[25] Tay et al. (2018); Hallberg et al. (2018).

[26] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[27] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[28] Barnard et al. (2006, 2009).

[29] Gardner et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial.

식물성 케톤식의 논리는 바로 이 지점에서 출발한다. 탄수화물 제한의 장점을 유지하면서 포화지방을 줄이고, 올리브유·견과·씨앗·아보카도와 같은 불포화지방을 중심으로 지방원을 구성하면 LDL-C 상승 위험을 낮출 가능성이 있다. 그러나 이 가능성은 직접 장기 RCT로 검증되어야 한다.[30]

9. 중성지방과 HDL-C에서는 케톤식의 장점이 뚜렷하다

탄수화물 제한 연구에서 가장 반복적으로 나타나는 변화는 중성지방 감소와 HDL-C 증가다. 이는 특히 인슐린 저항성이 크고 고중성지방혈증을 가진 사람에서 임상적으로 의미가 있을 수 있다.[31]

식물성 저지방 식사에서도 체중이 줄고 정제탄수화물이 감소하면 중성지방이 개선될 수 있다. 그러나 매우 높은 탄수화물 섭취가 개인의 간 VLDL 합성과 중성지방을 높이는 경우도 있어, 식물성이라는 이유만으로 높은 탄수화물 비율이 모든 사람에게 최적이라고 볼 수는 없다.[32]

따라서 중성지방이 높고 HDL-C가 낮은 인슐린 저항성 패턴에서는 탄수화물의 양을 더 적극적으로 낮추는 접근이 합리적일 수 있다. 이때도 식품의 질과 전체 에너지균형을 함께 관리해야 한다.[33][34]

10. 식이섬유와 장내미생물에서는 식물식이 구조적으로 유리하다

통곡물, 콩류, 과일, 채소가 풍부한 식물성 식사는 다양한 발효성 식이섬유를 공급하기 쉽다. 이는 장내미생물 다양성과 단쇄지방산 생성에 유리한 환경을 만들 수 있다. ADA도 당뇨병 환자에게 최소 14 g/1,000 kcal의 식이섬유를 권고한다.[35]

전통적인 케톤식은 과일·통곡물·콩류를 제한하기 때문에 식이섬유와 일부 미량영양소 섭취가 낮아질 수 있다. Keto-Med에서도 케

[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[31] Goldenberg et al. (2021). BMJ, 372, m4743.

[32] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[34] Goldenberg et al. (2021). BMJ, 372, m4743.

[35] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

톤식 기간에 식이섬유와 일부 영양소 섭취가 더 낮았다.[36]

하지만 이것 역시 케톤식의 필연적 결과라기보다 식품선택의 문제일 수 있다. 비전분 채소, 아마씨, 치아씨, 견과류, 아보카도, 제한된 양의 저순탄수 콩류를 활용하면 케토시스와 식이섬유를 어느 정도 함께 확보할 수 있다. 실제로 어느 수준까지 가능한지는 다음 장에서 구체적으로 설계한다.[37]

11. 단백질의 공급원도 결과를 바꾼다

저탄수 식사는 단백질과 지방의 비율이 자연스럽게 올라가기 쉽다. 이때 동물성 단백질과 가공육 비중이 높아지는 식사와 콩·두부·템페·견과·씨앗 중심의 식사는 심혈관 위험과 미량영양소 구성이 다를 수 있다.[38]

ADA 2026은 당뇨병 환자에게 식물성 단백질 공급원을 더 많이 포함하도록 권고한다. 즉 탄수화물을 줄이더라도 단백질을 반드시 동물성 식품으로 채울 이유는 없다.[39]

Jenkins의 저탄수 비건시험은 이 가능성을 실제 임상에서 보여준다. 식물성 단백질과 식물성 지방을 중심으로 탄수화물을 낮춰도 체중과 HbA1c가 의미 있게 개선됐다. 다만 이 식사가 엄격한 영양적 케토시스에 도달한 것은 아니므로 다음 단계의 연구가 필요하다.[40]

12. '식물성이냐 케톤이냐'보다 '가공식품을 얼마나 제거했는가'가 중요하다

서로 다른 식사패턴이 좋은 결과를 보인 연구에는 공통점이 있다. 첨가당, 정제곡물, 당음료, 초가공식품을 줄이고 실제 식품의 비중을 높였다는 점이다. ADA 2026도 특정 다량영양소 비율보다 이런 식품기반 원칙을 우선한다.[41]

Keto-Med 연구에서 두 식사가 모두 HbA1c를 개선한 이유도 이

[36] Gardner et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial.
[37] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.
[38] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.
[39] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.
[40] Jenkins et al. (2022). Low-carbohydrate vegan RCT.
[41] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

공통점을 빼고 해석하기 어렵다. 두 식사 모두 비전분 채소를 포함했고 첨가당과 정제곡물을 제거했다. 차이보다 공통점이 임상효과의 상당 부분을 만들었을 가능성이 있다.[42]

이 사실은 식물성 케톤식의 핵심 원칙을 결정한다. 케톤을 만들기 위해 초가공 저탄수 제품을 늘리는 것도, 식물성을 지키기 위해 정제곡물과 당류를 많이 먹는 것도 목적에서 벗어난다. 최소가공 식품이 공통 토대가 되어야 한다.[43]

표 13-3. 지표별로 보면 어느 한쪽이 항상 우월하지 않다

지표	식물성 저지방 접근	저탄수·케톤 접근	통합 시 핵심
HbA1c	개선 근거 있음	단기 개선 근거 있음	체중·순응도·약물변경을 함께 해석
식후혈당	탄수화물 질·식이섬유에 영향	총탄수 감소로 직접 감소	개인 CGM 반응에 맞춰 탄수 조절
인슐린 요구	체중·감수성 개선을 통해 감소 가능	빠르게 감소할 수 있음	약물조정 안전성 필요
체중	낮은 에너지밀도·섬유로 감소 가능	포만감·식품제한으로 감소 가능	지속 가능한 에너지 적자
중성지방	체중·정제탄수 감소 시 개선	비교적 강한 감소	탄수화물 수준 개인화
LDL-C/ApoB	감소 경향	일부에서 상승 가능	불포화지방 중심, 추적검사
식이섬유	확보하기 쉬움	설계하지 않으면 부족	저순탄수 고섬유 식품 적극 활용
지속성	개인에 따라 높거나 낮음	엄격할수록 이탈 가능	가장 낮은 탄수보다 유지 가능한 수준

출처: ADA 2026; Gardner et al. (2022); Hall et al. (2021); Goldenberg et al. (2021); Barnard et al. (2006).

13. 대사적으로 '반대'라기보다 서로 다른 레버를 당긴다

식물성 저지방 식사는 에너지밀도, 식이섬유, 식품부피, 지방의 질이라는 레버를 강하게 당긴다. 반면 케톤식은 탄수화물부하, 식후 인슐린 요구, 지방산화와 케톤생성이라는 레버를 강하게 당긴다. 두 접근이 서로 다른 생리경로를 강조하는 것은 사실이다.[44][45]

하지만 제2형 당뇨병이라는 최종 상태는 한 경로만으로 생기지 않는다. 과도한 에너지저장, 간지방과 내장지방, 인슐린 저항성, 베타

[42] Gardner et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial.
[43] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.
[44] Hall et al. (2021). Nature Medicine, 27, 344-353.
[45] Goldenberg et al. (2021). BMJ, 372, m4743.

세포 부담, 낮은 신체활동, 수면과 약물 등 여러 요소가 겹친다. 그러므로 한 가지 영양 레버만이 모든 사람에게 유일한 해답일 가능성은 낮다.[46]

이런 관점에서 두 식사의 공통 목표는 '특정 영양소를 이기는 것'이 아니라 대사부담을 낮추는 것이다. 방법이 다를 뿐, 혈당과 인슐린 요구량을 낮추고 체중과 간지방을 줄이며 장기적으로 합병증 위험을 낮추려는 목적은 같다.[47][48]

14. 개인의 대사표현형에 따라 출발점이 달라질 수 있다

식후혈당이 매우 높고 중성지방이 높으며 탄수화물에 대한 혈당반응이 큰 사람은 탄수화물 제한의 즉각적인 이점을 더 크게 느낄 수 있다. 반대로 LDL-C와 ApoB가 높거나 식이섬유 섭취가 매우 낮고 포화지방 섭취가 많은 사람은 식물성·불포화지방 중심의 재구성이 더 시급할 수 있다.[49][50]

중요한 것은 이 구분이 진단명이 아니라 치료설계의 출발점이라는 것이다. 같은 제2형 당뇨병이라도 약물, 체중, 신장기능, 지질, 식습관과 생활환경이 다르다. ADA가 하나의 이상적인 다량영양소 비율을 제시하지 않는 이유도 여기에 있다.[51]

따라서 식물성 케톤식도 고정된 탄수화물 숫자를 모든 사람에게 적용해서는 안 된다. 대사목표를 달성할 수 있는 최소한의 제한과, 장기적으로 유지할 수 있는 식품구성을 함께 찾아야 한다.[52]

15. 우리 데이터베이스가 보여주는 가장 중요한 공백

우리 `vk_diabete_db.sqlite3`의 엄격한 2차 분류에서는 식물성 중재와 케톤 중재에 대한 임상근거는 각각 상당량 확인됐다. 그러나 '식물성'과 '영양적 케토시스'를 하나의 동일 중재로 명확히 확인한 직접

[46] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[47] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[48] Dietary approaches network meta-analysis (2023). PMID: 37513574.

[49] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[50] Gardner et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial.

[51] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

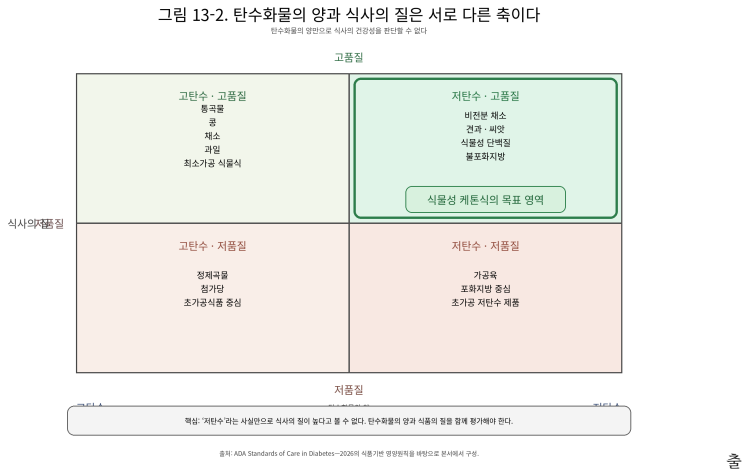
[52] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

후보는 매우 제한적이었다.[53]

상위 300편의 원문 재검증에서도 식물성+케톤을 동일 중재로 분류한 후보는 1편뿐이었고, 32편은 두 개념을 함께 언급했을 뿐 동일한 식사중재가 아니었다. 이 결과는 식물성 케톤식의 임상효과를 이미 확립된 사실처럼 표현해서는 안 된다는 중요한 경계선이다.[54]

따라서 이 책의 통합논리는 '식물식 연구 + 케톤식 연구 = 식물성 케톤식이 더 우월하다'는 단순한 덧셈이 아니다. 각각의 근거에서 확인된 장점과 위험을 분해한 뒤, 직접 검증이 필요한 새로운 식사모델의 가설을 만드는 과정이다.[55]

그림 13-2. 탄수화물의 양과 식사의 질은 서로 다른 축이다



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

식사를 한 줄로 **고탄수** ↔ **저탄수**만 놓으면 중요한 정보가 사라진다. 두 번째 축인 **저품질** ↔ **고품질**을 함께 놓아야 한다.

- 고탄수·저품질: 정제곡물, 첨가당, 초가공식품 중심
- 고탄수·고품질: 통곡물, 콩, 채소, 과일 중심의 최소가공 식물식
- 저탄수·저품질: 가공육, 포화지방, 초가공 저탄수 제품 중심
- 저탄수·고품질: 비전분 채소, 견과·씨앗, 식물성 단백질, 불포화지방 중심

[53] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3'의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과. 식물성 중재와 케톤 중재는 각각 상당량 확인되었으나 동일 중재의 plant-ketogenic 후보는 매우 제한적이었음.

[54] 본 연구 프로젝트 vk_diabete_db.sqlite3의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과.

[55] 본 연구 프로젝트 vk_diabete_db.sqlite3의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과.

식물성 케톤식이 목표로 하는 위치는 **저탄수이면서 고품질인 영역**이다.

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026의 식품기반 영양원칙을 바탕으로 본서에서 구성.

16. 두 접근이 공유하는 핵심은 생각보다 많다

첫째, 정제탄수화물과 첨가당을 줄인다. 둘째, 초가공식품을 줄인다. 셋째, 체중과 내장지방을 줄이는 방향을 추구한다. 넷째, 혈당과 인슐린 부담을 낮춘다. 다섯째, 지속 가능한 식사구조가 필요하다.[56]

여기에 식물성 케톤식은 한 가지 원칙을 더한다. 탄수화물을 낮추더라도 식물성 식품의 다양성과 식이섬유를 포기하지 않고, 지방을 늘리더라도 포화지방보다 불포화지방을 우선한다. 즉 '저탄수'와 '식물성'을 서로 양보시키는 것이 아니라 양쪽의 약점을 보완하는 설계다.[57]

이 설계가 실제로 기존 케톤식이나 고탄수 식물식보다 더 좋은 임상결과를 만드는지는 아직 확정되지 않았다. 그래서 다음 장은 '증명된 치료법'의 선언이 아니라, 현재 근거를 바탕으로 식물성 케톤식을 어떻게 정의하고 어떤 원칙으로 구성할 것인가를 제안하는 장이 된다.[58]

표 13-4. 식물성과 케톤이 만나는 공통 원칙

[56] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[57] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[58] 본 연구 프로젝트 vk_diabete_db.sqlite3의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과.

공통 원칙	식물성 접근에서의 의미	케톤 접근에서의 의미	식물성 케톤식의 적용
최소가공	통곡물·콩·채소 중심	초가공 저탄수 제품 회피	실제 식품을 기본으로 함
첨가당 제한	건강한 식물식의 핵심	케토시스 유지에 필수	원칙적으로 최소화
정제곡물 제한	식사 질 향상	탄수화물 제한에 기여	고섬유 저순탄수 식품으로 대체
식물성 단백질	콩·두부·견과 활용	동물성 단백질 의존 감소	두부·템페·씨앗 중심
불포화지방	심혈관 위험관리	고지방 식사의 질 개선	올리브유·견과·씨앗 우선
식이섬유	장·대사 건강	전통적 KD의 약점 보완	비전분 채소·씨앗 적극 사용
개인화	문화·선호·영양상태 반영	탄수 수준·약물 조정	혈당·지질·약물에 따라 조절

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Gardner et al. (2022); Jenkins et al. (2022)을 바탕으로 본서에서 정리.

17. 결론: 대립보다 통합이 더 생산적인 질문이다

식물식과 케톤식은 다량영양소 비율만 보면 정반대다. 그러나 임상적으로는 체중감량, 정제식품 감소, 혈당개선, 인슐린 부담 완화라는 공통목표를 가진다. 동시에 식후혈당, 중성지방, LDL-C, 식이섬유처럼 서로 다른 강점과 약점도 분명하다.[59][60]

따라서 어느 한 식사가 모든 사람에게 우월하다는 결론보다, 어떤 기전을 어떤 환자에게 활용할 것인지가 더 중요하다. 대사치료의 핵심은 이념적으로 한 식사에 충성하는 것이 아니라, 목표와 위험을 측정하면서 가장 적합한 식사구조를 만드는 데 있다.[61]

다음 장에서는 이 논리를 한 단계 더 나아간다. **식물성 케톤식이라는 제3의 길**을 정의하고, 탄수화물의 양과 질, 지방의 질, 단백질, 식이섬유, 미량영양소와 케톤상태를 하나의 식사모델 안에서 어떻게 설계할 것인지 구체적으로 제안한다.[62]

[59] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[60] Gardner et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial.

[61] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5.

[62] 본 연구 프로젝트 vk_diabete_db.sqlite3의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과.

제14장. 식물성 케톤식이라는 제3의 길

식물성 케톤식은 두 식사법을 기계적으로 절반씩 섞는 방식이 아니다. 식물성 식사의 장점과 케톤식의 장점을 각각 분해한 뒤, 제2형 당뇨병에서 필요한 대사목표에 맞게 다시 조립하는 접근이다. 따라서 이 책에서 말하는 식물성 케톤식은 하나의 고정 메뉴가 아니라 **검증 가능한 영양모델**이다.[1]

이 모델의 출발점은 단순하다. 탄수화물은 대사반응에 맞게 낮추되, 식품의 질은 오히려 높인다. 지방은 식물성 불포화지방을 중심으로 구성하고, 단백질은 두부·템페·콩·견과·씨앗 등에서 확보한다. 여기에 식이섬유와 미량영양소를 충분히 채우고, 혈당·케톤·체중·지질·약물상태를 함께 관찰한다. 중요한 것은 '얼마나 엄격하게 제한했는가'보다 **대사목표를 안전하게 달성했는가**이다.[2]

1. 먼저 정의해야 한다: 식물성 케톤식은 무엇인가

이 책에서 식물성 케톤식은 **식물성 식품을 주된 공급원으로 하면서, 탄수화물 제한을 통해 영양적 케토시스를 유도하거나 그에 가까운 대사상태를 목표로 하는 최소가공 식사모델**로 정의한다. 다만 이 정의는 현재 국제학회가 공식적으로 채택한 표준명칭이 아니라, 기존 식물성 식사와 케톤식 연구를 연결하기 위해 본서가 제안하는 작업정의다.[3][4]

여기서 '식물성'은 단순히 동물성 식품이 없다는 뜻이 아니다. 비전분 채소, 견과, 씨앗, 두부, 템페, 올리브, 아보카도, 식물성 기름처럼 영양밀도가 높은 식품을 중심에 둔다는 의미다. 반대로 설탕, 정제곡물, 초가공 비건 간식이 많다면 식물성이라는 이름만으로 이 모델에 들어오지 않는다.[5]

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[4] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[5] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

‘케톤’도 마찬가지다. 탄수화물을 낮췄다는 이유만으로 자동으로 케톤식이 되는 것은 아니다. 연구에서는 대개 하루 탄수화물 20 50 g 수준을 케톤식의 범위로 사용하지만, 실제 케톤생성 역치는 개인마다 다르다. 혈중 β-hydroxybutyrate(BHB) 0.5 mmol/L 이상을 영양적 케토시스의 실무적 기준으로 사용하는 경우가 많다.[6][7]

표 14-1. 본서에서 제안하는 식물성 케톤식의 작업정의

구성요소	제안 원칙	단순한 저탄수식과의 차이	확인지표
탄수화물	개인의 혈당·케톤 반응에 맞게 제한	고정 숫자보다 실제 대사반응 중시	식 후 혈 당, CGM, BHB
식품의 질	최소가공·고영양밀도 식품 중심	초가공 저탄수 제품을 기본식으로 사용하지 않음	식품기록, 섬유소 섭취
지방	불포화지방 중심	포화지방 위주의 전통적 고지방식과 구분	LDL-C, ApoB, TG
단백질	식물성 단백질을 주축으로 충분히 공급	동물성 단백질 의존을 낮춤	체중, 근육량, 신장 기능
식이섬유	비전분 채소·씨앗·견과 등으로 적극 확보	케톤식의 흔한 섬유 부족을 보완	배변, 섬유 섭취량
안전성	약물·신장·지질·영양상태를 함께 모니터링	케톤수치만 목표로 하지 않음	혈당, 약물, eGFR, 지질

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Poff et al. (2020); Gardner et al. (2022)을 바탕으로 본서에서 제안.

2. 탄수화물은 ‘최저’가 아니라 ‘최적’ 수준을 찾는다

케톤식 연구에서는 흔히 하루 20 50 g의 탄수화물이 사용된다. ADA 2026도 well-formulated ketogenic eating pattern의 한 예로 하루 총 탄수화물 20 50 g을 언급한다. 그러나 같은 양을 먹어도 체격, 운동량, 인슐린 저항성, 간의 글리코겐 상태에 따라 BHB 반응은 달라질 수 있다.[8][9]

[6] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[7] Ketogenic diet in clinical populations-a narrative review. (2024). *Frontiers in Nutrition*. Ketogenic diets are commonly described as <50 g carbohydrate/day, with physiologic ketosis generally beginning around blood BHB >=0.5 mmol/L.

[8] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[9] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports

따라서 식물성 케톤식에서 중요한 질문은 “탄수화물을 몇 g까지 낮출 것인가”가 아니다. 먼저 혈당과 약물 요구량이 어떻게 변하는지 본다. 영양적 케토시스를 실제 목표로 삼는다면 혈중 BHB도 확인한다. 필요 이상으로 탄수화물을 낮추어 채소·식이섬유·식품 다양성까지 희생할 이유는 없다.[10][11]

이 원칙은 유지 가능성과도 연결된다. 저탄수식의 혈당개선 효과는 단기에는 비교적 분명하지만 장기 연구에서는 군간 차이가 줄어드는 경우가 많다. 가장 낮은 탄수화물 수준이 반드시 가장 오래 지속되는 수준은 아니다. 개인이 유지할 수 있는 범위 안에서 목표를 달성하는 것이 더 중요하다.[12]

3. 탄수화물의 질은 줄인 뒤에도 남는다

탄수화물을 제한한다고 해서 탄수화물의 질이 중요하지 않아지는 것은 아니다. 오히려 먹을 수 있는 양이 줄어들수록 어떤 탄수화물을 선택하느냐가 더 중요해진다. 비전분 채소와 제한된 양의 저순탄수 식품은 식이섬유, 칼륨, 마그네슘, 엽산과 다양한 파이토케미컬의 공급원이 된다.[13]

ADA 2026은 당뇨병 식사에서 최소가공·영양밀도·고식이섬유 탄수화물을 강조하며, 최소 14 g/1,000 kcal의 식이섬유 섭취를 권고한다. 식물성 케톤식은 이 원칙을 포기하지 않는다. ‘케톤을 만들기 위해 채소를 줄이는 식사’가 아니라, 케톤상태를 유지하면서 채소와 고섬유 식품을 최대한 살리는 방향으로 설계해야 한다.[14]

정제곡물과 첨가당은 우선순위가 가장 낮다. 케톤식에서는 탄수화물 제한 때문에 자연스럽게 줄어들지만, 식물성 식사에서도 같은 원칙이 필요하다. 두 접근이 만나는 첫 번째 공통분모가 바로 이 지

Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[10] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[11] Ketogenic diet in clinical populations-a narrative review. (2024). *Frontiers in Nutrition*. Ketogenic diets are commonly described as <50 g carbohydrate/day, with physiologic ketosis generally beginning around blood BHB >=0.5 mmol/L.

[12] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[13] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[14] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

점이다.[15]

4. 지방은 양보다 공급원이 중요하다

케톤식은 탄수화물이 줄어든 만큼 지방의 비중이 올라간다. 그래서 지방의 질이 전체 식사의 장기 안전성을 좌우한다. 버터, 가공육, 고지방 유제품 중심의 식사와 올리브유, 견과, 씨앗, 아보카도 중심의 식사는 지방 비율이 같아도 LDL-C와 ApoB에 미치는 영향이 다를 수 있다.[16][17]

식물성 케톤식은 포화지방을 높이는 방식으로 케톤을 만들지 않는다. 지방의 중심을 단일불포화지방과 다중불포화지방으로 옮기고, 실제 혈중 지질반응을 추적한다. LDL-C나 ApoB가 뚜렷하게 상승한다면 케톤수치가 잘 나온다는 이유만으로 같은 식사를 유지해서는 안 된다.[18]

Keto-Med 연구가 보여준 것도 이 균형이다. 케톤식은 중성지방을 더 낮추었지만 LDL-C는 더 높았고, 지중해식 저탄수 접근은 일부 식품 다양성과 식이섬유에서 유리했다. 식물성 케톤식은 바로 이 trade-off를 줄이는 방향으로 설계되어야 한다.[19]

[15] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

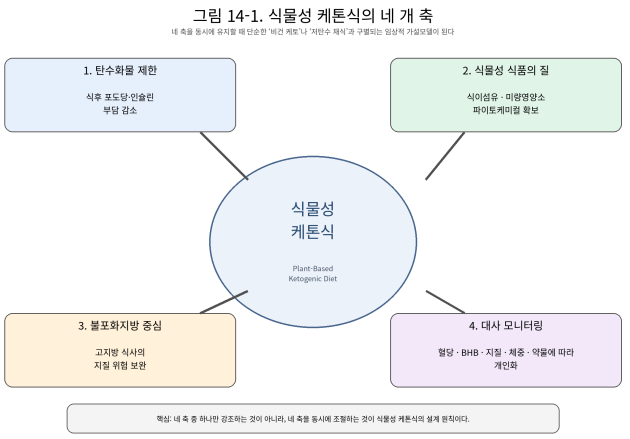
[16] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[17] Gardner, C. D., Landry, M. J., Perelman, D., et al. (2022). Effect of a ketogenic diet versus Mediterranean diet on glycated hemoglobin in individuals with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: The interventional Keto-Med randomized crossover trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(3), 640-652. PMID: 35641199.

[18] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[19] Gardner, C. D., Landry, M. J., Perelman, D., et al. (2022). Effect of a ketogenic diet versus Mediterranean diet on glycated hemoglobin in individuals with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: The interventional Keto-Med randomized crossover trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(3), 640-652. PMID: 35641199.

그림 14-1. 식물성 케톤식의 네 개 축



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

탄수화물 제한 → 식후 포도당·인슐린 부담 감소

식물성 식품의 질 → 식이섬유·미량영양소·파이토케미컬 확보

불포화지방 중심 → 고지방 식사의 지질 위험 보완

대사 모니터링 → 혈당·BHB·지질·체중·약물에 따라 개인화

네 축이 동시에 유지될 때 식물성 케톤식은 단순한 '비건 케토'나 '저탄수 채식'과 구별되는 하나의 임상적 가설모델이 된다.

출처: ADA 2026; Gardner et al. (2022); Jenkins et al. (2022)을 바탕으로 본서에서 구성.

5. 단백질은 부족하지 않게, 지나치지도 않게

식물성 케톤식에서 단백질은 특히 신경 써야 한다. 탄수화물 식품이 줄어들면서 콩류와 곡물의 섭취도 감소할 수 있기 때문이다. 동시에 체중감량 과정에서는 근육량을 보존해야 하므로 단백질 부족을 방치할 수 없다.[20]

두부, 템페, 대두단백, 견과, 씨앗, 제한된 양의 콩류는 핵심 공급원이 될 수 있다. 필요량은 나이, 신체활동, 체중감량 정도, 신장기능에 따라 달라져야 한다. ADA도 체중감량 중 단백질과 미량영양소 부족을 정기적으로 평가하도록 권고한다.[21]

[20] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[21] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes:

케톤생성을 위해 단백질을 지나치게 낮출 이유도 없다. 반대로 고단백 식사가 모든 사람에게 필요한 것도 아니다. 특히 신장질환이 있는 경우에는 단백질 목표를 별도로 설정해야 하며, 일반적인 케톤식 처방을 그대로 적용해서는 안 된다.[22]

6. 식이섬유는 선택사항이 아니라 구조적 조건이다

전통적인 케톤식에서 가장 자주 지적되는 문제 가운데 하나가 식이섬유 부족이다. 채소·과일·콩·곡물을 크게 제한하면 자연스럽게 섭취량이 낮아질 수 있다. 변비와 장내미생물 변화도 이와 연결될 수 있다.[23]

식물성 케톤식에서는 식이섬유를 별도의 목표로 관리한다. 잎채소, 십자화과 채소, 버섯, 해조류, 아마씨, 치아씨, 견과류, 아보카도는 순탄수화물을 크게 올리지 않으면서 식이섬유를 늘릴 수 있는 식품들이다. 일부 콩류도 개인의 탄수화물 허용범위 안에서 제한적으로 사용할 수 있다.[24]

다만 식이섬유 숫자 하나만으로 장 건강을 모두 설명할 수는 없다. 식품의 다양성과 수분, 전해질, 전체 섭취량도 함께 보아야 한다. 식이섬유를 늘리면서 수분이 부족하면 오히려 불편감이 커질 수 있다.[25]

표 14-2. 식물성 케톤식의 주요 식품군과 역할

Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[22] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[23] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[24] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[25] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

식품군	대표식품	대사적 역할	주의점
비전분 채소	잎채소, 브로콜리, 양배추, 버섯	식이섬유·칼륨·마그네슘·부피 제공	소스·당 첨가 주의
대두식품	두부, 템페, 무가당 두유	단백질 중심축	가공제품의 당·전분 확인
견과·씨앗	호두, 아몬드, 아마씨, 치아씨	불포화지방·단백질·섬유	에너지밀도 높음
식물성 지방	올리브유, 아보카도, 카놀라유	MUFA·PUFA 공급	총에너지 과다 주의
제한적 콩류	렌틸, 병아리콩 등	섬유·단백질·미네랄	개인별 순탄수 반응 확인
해조류	김, 미역 등	미네랄·식품 다양성	요오드 과잉·나트륨 확인
발효식품	템페, 무가당 발효채소	식품 다양성	염분과 첨가당 확인

출처: ADA 2026의 식품기반 원칙과 식물성 저탄수 임상연구를 바탕으로 본서에서 구성.

7. ‘순탄수화물’은 편리하지만 절대적인 숫자는 아니다

식물성 케톤식을 실천할 때 순탄수화물(net carbohydrate)이라는 개념을 자주 사용한다. 일반적으로 총 탄수화물에서 식이섬유를 빼 계산하지만, 식품표시 체계와 당알코올 종류에 따라 실제 흡수량은 달라질 수 있다. 따라서 포장지의 ‘net carb’ 표시만으로 혈당반응을 예측하는 것은 위험하다.[26]

가장 확실한 방법은 실제 반응을 보는 것이다. 식후혈당이나 CGM을 통해 특정 식품이 개인에게 어떤 영향을 주는지 확인한다. 케토시스를 목표로 한다면 BHB도 함께 본다. 숫자 계산과 생체반응이 일치하지 않을 때는 생체반응을 우선해야 한다.[27]

이 원칙은 식물성 식품에도 그대로 적용된다. 같은 콩류나 견과라도 가공형태, 조리법, 양에 따라 혈당반응이 달라질 수 있다. 개인화는 계산표가 아니라 측정에서 완성된다.[28]

[26] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[27] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[28] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

8. 케톤은 '목표'가 아니라 하나의 상태지표다

혈중 BHB 0.5 mmol/L 이상은 영양적 케토시스를 정의할 때 널리 사용되는 실무적 기준이다. 그러나 BHB가 높을수록 당뇨병 치료효과가 선형적으로 커진다는 근거는 없다. 케톤수치는 대사상태를 보여주는 한 지표이지 치료성공의 단독 기준이 아니다.[29][30]

예를 들어 HbA1c와 약물요구량이 개선되고 체중과 중성지방이 좋아지더라도 BHB가 매일 같은 수준으로 유지되지 않을 수 있다. 반대로 BHB가 잘 나오더라도 LDL-C, ApoB, 신장기능이나 영양상태가 악화되면 식사 전체를 다시 평가해야 한다.[31]

따라서 식물성 케톤식은 '높은 케톤 만들기'가 목적이 아니다. 필요한 사람에게 영양적 케토시스를 하나의 도구로 사용하되, 임상결과를 더 높은 우선순위에 둔다.[32]

9. 케톤 측정은 혈중 BHB가 가장 직접적이다

케토시스를 확인하는 방법에는 혈중 BHB, 소변 아세토아세테이트, 호흡 아세톤 측정이 있다. 임상적으로는 혈중 BHB가 현재의 순환 케톤상태를 비교적 직접적으로 반영한다. 초기 적응기에는 소변 케톤도 도움이 될 수 있지만 장기 적응 후에는 배설량과 혈중 이용률의 변화 때문에 해석이 어려울 수 있다.[33]

측정 빈도는 목적에 따라 달라진다. 치료 초기에는 식사와 BHB 반응의 관계를 파악하기 위해 자주 측정할 수 있지만, 안정기에 매일 측정할 필요가 있는지는 개인마다 다르다. 오히려 HbA1c, CGM, 체중, 약물, 지질과 같은 임상지표가 장기적으로 더 중요하다.[34]

특히 SGLT2 억제제를 사용하는 사람에게 케톤측정은 일반적인

[29] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[30] Ketogenic diet in clinical populations-a narrative review. (2024). *Frontiers in Nutrition*. Ketogenic diets are commonly described as <50 g carbohydrate/day, with physiologic ketosis generally beginning around blood BHB >=0.5 mmol/L.

[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[32] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[33] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

‘케토시스 확인’과 의미가 다르다. 이 경우에는 DKA 위험과 연결되므로 의료진의 지시에 따라 해석해야 한다.[35]

10. 식물성 케톤식은 ‘무칼로리 제한’이라는 교리가 아니다

일부 케톤식은 자유섭취(ad libitum)를 강조한다. 식욕이 감소하면서 자연스럽게 에너지섭취가 줄어드는 사람이 있기 때문이다. 그러나 체중감량이 필요한 제2형 당뇨병에서는 에너지균형을 무시할 수 없다.[36]

식물성 식사의 낮은 에너지밀도와 케톤식의 포만감은 서로 다른 방식으로 섭취량을 줄일 수 있다. 두 특성을 결합하면 별도의 강한 칼로리 계산 없이도 에너지적자가 생길 가능성이 있다. 하지만 견과, 씨앗, 오일은 매우 에너지밀도가 높으므로 ‘식물성이니까 많이 먹어도 된다’는 접근은 맞지 않는다.[37]

따라서 체중과 허리둘레가 줄지 않고 혈당도 개선되지 않는다면 총에너지 섭취를 다시 평가해야 한다. 식사구성의 철학보다 실제 결과가 우선이다.[38]

11. 약물은 식사보다 더 빠르게 위험을 만든다

탄수화물을 갑자기 크게 줄이면 혈당은 며칠 안에도 변할 수 있다. 인슐린이나 설포닐우레아를 사용하는 사람에서는 기존 용량이 과해져 저혈당 위험이 높아질 수 있다. 그래서 저탄수식은 약물조정과 분리해서 처방할 수 없다.[39]

SGLT2 억제제는 더 특별한 주의가 필요하다. ADA 2026은 DKA 위험이 있는 SGLT2 억제제 사용자에게 케톤식 패턴을 피하도록 권

[35] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[36] Hall, K. D., Guo, J., Courville, A. B., et al. (2021). Effect of a plant-based, low-fat diet versus an animal-based, ketogenic diet on ad libitum energy intake. *Nature Medicine, 27*, 344-353. PMID: 33479499.

[37] Hall, K. D., Guo, J., Courville, A. B., et al. (2021). Effect of a plant-based, low-fat diet versus an animal-based, ketogenic diet on ad libitum energy intake. *Nature Medicine, 27*, 344-353. PMID: 33479499.

[38] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[39] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

고한다. 정상 또는 비교적 낮은 혈당에서도 유글리세믹 DKA가 발생할 수 있기 때문이다.[40]

이 점은 식물성 케톤식을 '자가실험'으로만 접근해서는 안 되는 이유다. 약물을 쓰고 있다면 식사변화를 시작하기 전부터 조정계획이 있어야 한다. 치료효과가 빠르게 나타나는 것이 오히려 안전관리의 필요성을 높일 수 있다.[41]

표 14-3. 시작 전과 진행 중에 확인할 주요 지표

영역	시작 전	초기 2 4주	8 12주 이후
혈당	HbA1c, 공복·식후 혈당, 필요 시 CGM	저혈당·식후반응 집중 확인	HbA1c, TIR, 변동성 평가
케톤	필요 시 기준 BHB	케토시스 목표 시 BHB 확인	필요에 따라 간헐 측정
약물	인슐린·설포닐우레아·SGLT2 확인	용량조정 필요성 반복 평가	감량·중단 여부 의료진 판단
체성분	체중, 허리둘레, 가능하면 근육량	급격한 수분감소 구분	지방감소·근육보존 확인
지질	LDL-C, HDL-C, TG, 가능하면 ApoB	고위험군은 조기 재검 고려	지질반응에 따라 지방원 수정
신장·전해질	eGFR, 크레아티닌, 전해질	탈수·저혈압·증상 확인	필요 시 반복검사
영양상태	B12, 철·비타민 D 등 필요 시	식품구성 점검	장기 섭취에서 결핍 위험 재평가

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026을 중심으로 본서에서 구성.

12. 저탄수 비건 RCT는 가능성을 보여주지만 직접 케톤 근거는 아니다

Jenkins 등의 제2형 당뇨병 RCT는 식물성 단백질과 식물성 지방을 중심으로 탄수화물을 낮추는 식사가 실제로 가능함을 보여줬다. 164명의 참가자에서 저탄수 비건식과 중등도 탄수 채식 모두 3개월 동안 체중과 HbA1c를 크게 낮췄다.[42]

[40] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[41] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[42] Jenkins, D. J. A., Jones, P. J. H., Abdullah, M. M. H., et al. (2022). Low-carbohydrate vegan diets in diabetes for weight loss and sustainability: a randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(5), 1240-1250. PMID: 36156115.

이 결과는 중요한 다리 역할을 한다. '탄수화물을 줄이면 동물성 식품을 늘려야 한다'는 전제가 필수가 아님을 보여주기 때문이다. 이전의 Eco-Atkins 연구에서도 저탄수 비건식은 체중과 일부 지질지표에서 유리한 결과를 보였다.[43]

그러나 두 연구 모두 혈중 BHB를 기준으로 지속적인 영양적 케토시스를 확인한 전형적 케톤식 임상시험은 아니다. 따라서 이 근거는 식물성 케톤식의 **직접 효과**가 아니라, 식물성과 저탄수의 결합 가능성을 지지하는 **간접 근거**로 사용해야 한다.[44][45]

13. 장기 안전성에서는 '식물성'이라는 방향이 중요할 수 있다

저탄수식의 장기결과를 볼 때 단순한 탄수화물 비율보다 지방과 단백질의 공급원이 중요하다는 관찰연구가 있다. 대규모 미국 코호트에서는 동물성 지방·단백질 중심의 저탄수 점수가 높은 경우와 식물성 공급원 중심의 저탄수 점수가 높은 경우가 장기 사망위험에서 다른 방향을 보였다.[46]

이런 관찰연구는 무작위시험이 아니므로 인과관계를 확정할 수 없다. 그럼에도 "탄수화물을 줄인 뒤 무엇으로 대체했는가"가 장기 건강에 중요하다는 가설을 강하게 지지한다. 식물성 케톤식은 바로 이 대체의 질을 설계의 중심에 둔다.[47]

2025년 발표된 대규모 전향 코호트 연구도 저탄수식의 질을 세분화해 제2형 당뇨병 위험을 분석하면서, 건강한 식물성 지방·단백질과 정제 탄수화물의 차이를 강조했다. 장기 예후를 논할 때는 '저탄수'라는 하나의 이름보다 구성의 질을 함께 봐야 한다.[48]

[43] Jenkins, D. J. A., Wong, J. M. W., Kendall, C. W. C., et al. (2014). Effect of a 6-month vegan low-carbohydrate ('Eco-Atkins') diet on cardiovascular risk factors and body weight in hyperlipidaemic adults: a randomised controlled trial. *BMJ Open, 4*, e003505. PMID: 24500611.

[44] Jenkins, D. J. A., Jones, P. J. H., Abdullah, M. M. H., et al. (2022). Low-carbohydrate vegan diets in diabetes for weight loss and sustainability: a randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(5), 1240-1250. PMID: 36156115.

[45] Jenkins, D. J. A., Wong, J. M. W., Kendall, C. W. C., et al. (2014). Effect of a 6-month vegan low-carbohydrate ('Eco-Atkins') diet on cardiovascular risk factors and body weight in hyperlipidaemic adults: a randomised controlled trial. *BMJ Open, 4*, e003505. PMID: 24500611.

[46] Fung, T. T., van Dam, R. M., Hankinson, S. E., Stampfer, M., Willett, W. C., & Hu, F. B. (2010). Low-carbohydrate diets and all-cause and cause-specific mortality: two cohort studies. *Annals of Internal Medicine, 153*(5), 289-298. PMID: 20820038.

[47] Fung, T. T., van Dam, R. M., Hankinson, S. E., Stampfer, M., Willett, W. C., & Hu, F. B. (2010). Low-carbohydrate diets and all-cause and cause-specific mortality: two cohort studies. *Annals of Internal Medicine, 153*(5), 289-298. PMID: 20820038.

[48] Low-Carbohydrate Diets of Varying Macronutrient Quality and Risk of Type 2 Diabetes in Three U.S. Prospective Cohort Studies. (2025). *Diabetes Care*. PMID:

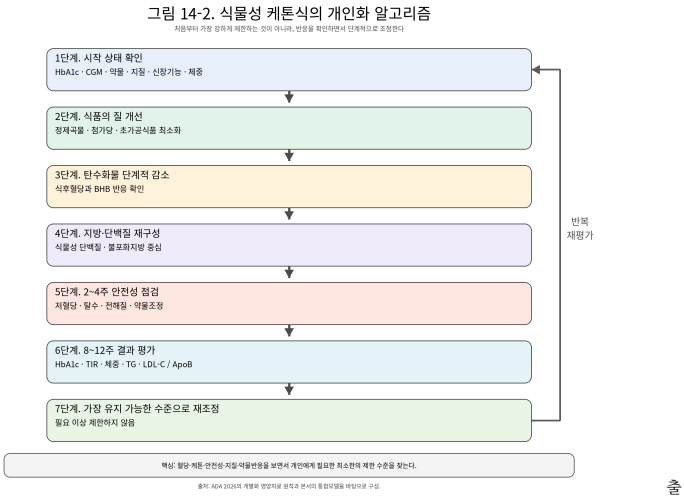
14. 식물성 케톤식은 모두에게 같은 식사가 아니다

대사반응은 사람마다 다르다. 한 사람은 하루 50 g의 탄수화물에서도 BHB가 충분히 올라가지만, 다른 사람은 더 낮춰야 할 수 있다. 같은 식사에서도 활동량과 수면, 스트레스, 약물, 월경주기나 질병상태에 따라 혈당과 케톤은 달라질 수 있다.[49]

따라서 이 모델은 고정 메뉴판이 아니라 조절 알고리즘에 가깝다. 혈당이 높고 중성지방이 높은 사람은 탄수화물 제한을 더 강하게 시작할 수 있다. LDL-C와 ApoB가 빠르게 상승하는 사람은 포화지방과 총지방을 재조정하고, 필요하면 탄수화물 범위를 조금 넓히는 것도 고려할 수 있다.[50]

신장질환, 임신·수유, 섭식장애 위험, 소아·청소년, SGLT2 억제제 사용 등에서는 일반 성인의 식물성 케톤식 원칙을 그대로 적용해서는 안 된다. 이런 경우에는 의료진의 개별 판단이 우선한다.[51]

그림 14-2. 식물성 케톤식의 개인화 알고리즘



처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

1단계: 시작 상태 확인 → HbA1c·CGM·약물·지질·신장기능·체

41026687.

[49] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[50] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[51] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

중

2단계: 식품의 질 개선 → 정제곡물·첨가당·초가공식품 최소화

3단계: 탄수화물 단계적 감소 → 식후혈당과 BHB 반응 확인

4단계: 지방·단백질 재구성 → 식물성 단백질·불포화지방 중심

5단계: 2 4주 안전성 점검 → 저혈당·탈수·전해질·약물조정

6단계: 8 12주 결과 평가 → HbA1c·TIR·체중·TG·LDL-C/ApoB

7단계: 가장 유지 가능한 수준으로 재조정 → 필요 이상 제한하지 않음

출처: ADA 2026의 개별화 영양치료 원칙과 본서의 통합모델을 바탕으로 구성.

15. '완벽한 케토시스'보다 대사 유연성을 목표로 한다

식물성 케톤식의 장기목표를 매일 동일한 BHB 수치 유지로 잡을 필요는 없다. 더 중요한 것은 탄수화물과 지방을 상황에 따라 효율적으로 사용하는 대사 유연성을 회복하는 것이다. 식후혈당이 과도하게 오르지 않고, 공복에서는 지방산화가 원활하며, 체중과 지질이 안정적으로 관리되는 상태가 더 큰 목표다.[52]

이 관점에서는 유지기 식사가 초기 치료기와 같을 필요가 없다. 초기에는 혈당과 약물 감소를 위해 탄수화물을 더 낮출 수 있고, 목표가 안정되면 고품질 탄수화물을 소량 다시 늘려 반응을 확인할 수 있다. 중요한 것은 다시 정제탄수화물 중심으로 돌아가는 것이 아니라, 개인의 대사허용범위를 찾는 것이다.[53]

따라서 식물성 케톤식은 평생 '엄격한 케톤수치'를 지켜야 하는 종교적 규칙이 아니다. 대사를 회복한 뒤 지속 가능한 범위를 탐색하는 과정까지 포함한다.[54]

[52] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259. PMID: 32692060.

[53] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[54] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

16. 이 모델에서 절대로 양보하지 않는 네 가지

첫째는 식품의 질이다. 정제곡물, 첨가당, 초가공 저탄수 제품을 중심으로 한 식사는 이 모델의 목적과 맞지 않는다. 둘째는 지방의 질이다. 케톤생성을 이유로 포화지방을 무제한 늘리지 않는다.[55]

셋째는 영양충족이다. B12, 철, 아연, 요오드, 칼슘, 오메가-3, 단백질과 식이섬유를 장기적으로 점검한다. 넷째는 안전성이다. 약물, 저혈당, DKA 위험, 지질상승과 신장상태를 무시하지 않는다.[56]

반대로 탄수화물 g 수치, BHB 목표값, 식사횟수와 지방 비율은 개인에 따라 조정할 수 있다. 변할 수 있는 것과 변하면 안 되는 것을 구분해야 식사모델이 지속성을 가진다.[57]

표 14-4. 고정해야 할 원칙과 개인화할 변수

고정 원칙	이유	개인화 변수	조정 근거
최소가공·고품질 식품	식사의 질과 영양밀도 확보	탄수화물 g/일	혈당·BHB·지속성
불포화지방 중심	LDL-C/ApoB 위험 완화	총지방 비율	포만감·체중·지질
충분한 식물성 단백질	근육·포만감·영양충족	단백질 양	나이·활동·신장기능
식이섬유 확보	장기 대사·장 건강	콩류·과일 허용량	순탄수·CGM 반응
약물·안전성 모니터링	저혈당·DKA 예방	케톤 측정 빈도	초기·안정기·약물상태
장기 재평가	효과와 위험의 균형	유지기 탄수 범위	HbA1c·TIR· 지 질 · 체중

출처: ADA 2026; Poff et al. (2020); Jenkins et al. (2022); Gardner et al. (2022)을 바탕으로 본서에서 정리.

17. 현재 근거가 허용하는 말과 허용하지 않는 말

현재 근거로 말할 수 있는 것은 세 가지다. 첫째, 식물성 식사패턴은 제2형 당뇨병의 혈당과 체중, 심혈관 위험요인 개선에 유용할 수 있다. 둘째, 저탄수·케톤식은 특히 단기 혈당과 중성지방, 약물요구량

[55] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[56] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[57] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

을 낮추는 데 도움이 될 수 있다. 셋째, 식물성 단백질과 식물성 지방을 중심으로 탄수화물을 낮추는 식사 역시 임상적으로 가능하다.[58][59]

그러나 아직 말할 수 없는 것도 분명하다. 식물성 케톤식이 기존 케톤식보다 더 우월하다거나, 고탄수 식물식보다 더 높은 관해율을 만든다고 단정할 직접 RCT는 부족하다. 우리 데이터베이스의 엄격한 원문검증에서도 plant-ketogenic 동일중재 후보는 극히 제한적이었다.[60]

따라서 이 장의 목적은 결론을 미리 선언하는 것이 아니다. **측정 가능하고 검증 가능한 하나의 모델을 명확히 정의하는 것**이다. 그래야 다음 연구에서 무엇을 비교하고 어떤 지표를 측정해야 하는지 분명해진다.[61]

18. 결론: 제3의 길은 타협이 아니라 재설계다

식물성 케톤식은 식물식과 케톤식을 적당히 섞는 타협안이 아니다. 탄수화물 제한의 빠른 혈당효과를 활용하면서, 고지방 식사의 질을 식물성 불포화지방으로 바꾸고, 식이섬유와 미량영양소를 적극적으로 지키는 재설계다.[62]

이 모델에서는 케톤수치가 잘 나오는 것만으로 성공이라고 하지 않는다. HbA1c, 식후혈당, 약물요구량, 체중, 중성지방이 좋아지는지 본다. 동시에 LDL-C와 ApoB, 신장기능, 영양상태가 악화되지 않는지도 확인한다. 한 지표를 얻기 위해 다른 위험을 키우지 않는 것이 핵심이다.[63]

다음 장에서는 식물성·케톤 직접근거와 실제 plant-ketogenic 동일중재 연구를 구분해, 이 모델의 근거 경계를 그을 것이다.[64]

---

[58] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5.

[59] Jenkins et al. (2022). Low-carbohydrate vegan randomized controlled trial. PMID: 36156115.

[60] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3'의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과.

[61] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3'의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과.

[62] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5.

[63] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). *Standards of Care in Diabetes-2026*, Section 5.

[64] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3'의 2차 엄격 분류 및 상위 300편 원문 재검증 결과.

제15장. 현재 과학은 식물성 케톤식을 어디까지 지지하는가

식물성 케톤식의 가능성을 말하려면 먼저 근거의 층위를 나눠야 한다. 식물성 식사에 대한 임상근거가 많고 케톤식에 대한 근거도 많다는 사실만으로, 두 접근을 결합한 식사가 자동으로 입증되는 것은 아니다. 서로 다른 두 근거축 사이에는 반드시 직접 검증이라는 다리가 필요하다.[1]

이 장의 목적은 그 다리의 길이를 정확히 재는 데 있다. 우리 연구 데이터베이스가 확보한 식물성·케톤·저탄수 근거를 다시 분류하고, 2026년 새로 발표된 식물성 저탄수·식물성 케톤 리뷰까지 반영한다. 무엇을 말할 수 있는지보다, 어디까지 말할 수 있는지를 먼저 정하는 것이 이 책의 과학적 출발점이다.[2][3]

1. 근거를 섞지 말고 층위로 나눈다

한 식사법을 평가할 때 가장 강한 근거는 그 식사 자체를 직접 시행한 무작위시험이다. 그다음은 여러 시험을 묶은 체계적 문헌고찰과 메타분석이며, 관찰연구와 기전연구는 임상적 해석을 보완한다. 서로 다른 식사법의 연구를 합쳐 새로운 식사모델을 제안할 때는 이 층위를 더 엄격하게 구분해야 한다.[4]

이 책에서는 근거를 네 층으로 나눈다. 첫째는 식물성 식사와 제2형 당뇨병의 직접 임상근거다. 둘째는 저탄수·케톤식의 직접 근거다. 셋째는 식물성과 저탄수를 한 중재에서 결합했지만 케토시스가 확인되지 않은 연결 근거다. 마지막은 식물성과 케톤을 동일한 중재로 적용하고 실제 케토시스까지 확인한 직접 통합근거다.[5]

이 구분을 하지 않으면 제목이나 초록에 `plant`, `vegan`, `low carbohydrate`, `ketogenic`이 함께 등장하는 것만으로 직접근거처럼 보일 수 있다. 그러나 한 논문에서 두 식사법을 비교했는지, 서론

[1] Guyatt, G. H., et al. (2008). GRADE: An emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ, 336*, 924-926.

[2] 본서 연구 DB 스냅샷. '/home/z440/vkbook/db/vk_diabete_db.sqlite3', 2026-08-24 검증 결과.

[3] Mazzola, G., Rondanelli, M., Cabrini, C., & Perna, S. (2026). Metabolic, adherence, and sustainability outcomes of plant-based low-carbohydrate and ketogenic diets: A systematic review of clinical evidence. *Nutrition, 148*, 113222. doi:10.1016/j.nut.2026.113222.

[4] Guyatt et al. (2008); Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions, current methodological principles.

[5] 본서 'vk_refine_book_evidence.py' 및 'vk_verify_top_evidence.py'의 연구분류 원칙.

에서만 함께 언급했는지, 실제 한 중재에 결합했는지는 전혀 다른 문제다.[6]

표 15-1. 식물성 케톤식 근거를 읽는 네 단계

근거층	무엇을 직접 검증하는가	현재 활용	주의점
1단계	식물성 식사 × 제2형 당뇨병	HbA1c·체중·지질·약물효과 평가	고탄수 식물식과 구별 필요
2단계	저탄수·케톤식 × 제2형 당뇨병	혈당·체중·약물·케토시스 평가	LCD와 진짜 KD 구별 필요
3단계	식물성 + 저탄수 동일중재	결합 가능성 평가	케토시스가 확인되지 않을 수 있음
4단계	식물성 + 케톤 동일중재	식물성 케톤식 자체의 효과 평가	아직 수와 장기자료가 제한적

출처: 본서 연구 DB의 단계별 검증 체계와 Mazzola et al. (2026)을 바탕으로 구성.

2. 우리 데이터베이스는 얼마나 큰가

현재 `vk_diabete_db.sqlite3`에는 7,951편의 논문 레코드가 들어 있다. 이 가운데 6,709편은 XML 전체원문을 확보해 구조화된 임상결과 추출에 사용했고, PDF 원문은 3,015편을 확보했다. 단순한 서지목록이 아니라 초록, 원문, 결과표, 임상수치까지 단계적으로 내려가는 구조다.[7]

구조화 추출이 끝난 6,709편에서는 표본수 후보가 3,594편, 연구기간 후보가 3,967편에서 확인됐다. HbA1c 관련 문장은 1,564편에서 검출됐고, 숫자 후보는 642편이었다. 약물감량 관련 표현은 83편, 관해 관련 표현은 185편에서 잡혔다.[8]

이 숫자는 그대로 임상근거의 숫자가 아니다. 자동추출 단계에서는 서론, 고찰, 참고문헌이나 다른 연구의 인용도 섞일 수 있다. 그래서 이후 단계에서 제목·초록·중재문·결과문·표의 위치를 다시 확인하고, 실제 중재인지 여부를 별도로 검증했다.[9]

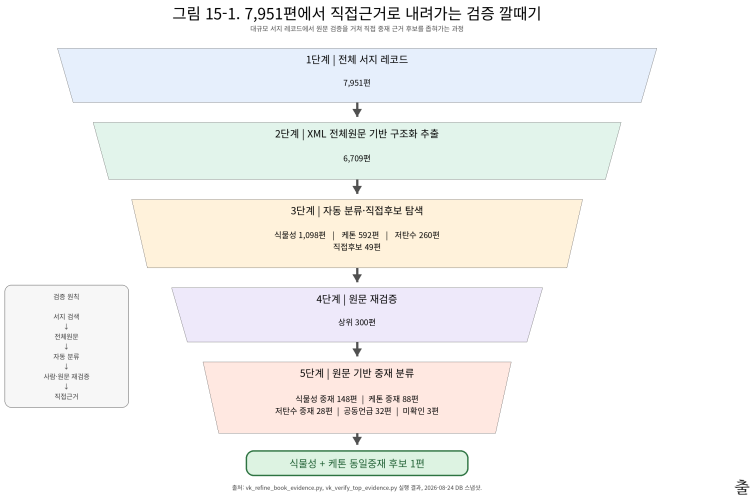
[6] 본서의 XML 중재문 기반 2차 검증 절차. 키워드 공동출현과 실제 중재를 분리함.

[7] 본서 DB 수집 결과: papers=7,951; XML full text=6,709; PDF total=3,015. 2026-08-24.

[8] ‘vk_extract_results.py‘ 최종 결과: clinical extractions=6,709; sample_n=3,594; duration=3,967; HbA1c_text=1,564; HbA1c_numeric_candidates=642; medication_reduction=83; remission=185.

[9] 본서 ‘vk_refine_book_evidence.py‘의 title+abstract+intervention-text 재분류 방식.

그림 15-1. 7,951편에서 직접근거로 내려가는 검증 깔때기



처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

7,951편 서지 레코드

↓

6,709편 XML 전체원문 기반 구조화 추출

↓

식물성 1,098 / 케톤 592 / 저탄수 260 / 직접후보 49편

↓

상위 300편 원문 재검증

↓

식물성 중재 148 / 케톤 중재 88 / 저탄수 중재 28 / 공동언급 32 / 미확인 3

↓

식물성+케톤 동일중재 후보 1편

출처: `vk_refine_book_evidence.py`, `vk_verify_top_evidence.py` 실행 결과, 2026-08-24 DB 스냅샷.

3. 식물성 식사의 직접근거는 이미 상당하다

엄격한 재분류에서 식물성 식사 후보는 1,098편이었고, 그중 내부 우선순위 A군은 739편이었다. 상위 300편을 원문으로 다시 확인했을 때도 148편이 실제 식물성 중재로 분류됐다. 따라서 식물성 식사

와 당뇨병을 연결하는 임상문헌 자체는 부족하다고 보기 어렵다.[10]

최근 메타분석도 같은 방향을 보인다. 2024년 체계적 문헌고찰에서는 채식·비건 식사가 비채식 대조식보다 HbA1c를 평균 약 0.40% 포인트 낮춘 것으로 평가됐다. 2025년 9개 RCT, 681명을 묶은 메타분석에서도 HbA1c는 평균 0.36%포인트 감소했고 BMI와 LDL-C도 유리한 방향을 보였다.[11][12]

그러나 공복혈당과 공복인슐린은 일관되게 유의하지 않았다. 식물성 식사의 효과를 고 표현하면 근거보다 강한 문장이 된다. 현재 가장 안정적으로 말할 수 있는 것은 HbA1c와 체중, 일부 심혈관 위험지표에서 의미 있는 개선이 나타난다는 정도다.[13]

2024년 발표된 전식물성 식사와 운동을 결합한 24주 RCT에서는 표준진료보다 HbA1c가 더 크게 감소했고, 약물감량과 일부 관해도 관찰됐다. 다만 이 연구는 식사만의 단독효과가 아니라 운동, 식사지원, 교육을 포함한 집중 생활습관 중재라는 점을 함께 봐야 한다.[14]

4. 케톤식의 직접근거도 많지만 정의가 더 까다롭다

우리 DB의 엄격한 재분류에서 케톤식 후보는 592편, A군은 361편이었다. 상위 300편 원문 재검증에서는 88편이 케톤식 중재로 확인됐다. 제2형 당뇨병에서 케톤식과 매우 낮은 탄수화물 식사는 이미 독립된 연구축을 형성하고 있다.[15]

문제는 `ketogenic`이라는 이름이 연구마다 같은 뜻이 아니라는 점이다. 어떤 연구는 탄수화물을 50 g 이하로 제한하고 BHB를 측정하지만, 어떤 연구는 단지 탄수화물 비율이 낮다는 이유로 케톤식 범주에 포함된다. 케토시스를 확인하지 않은 연구까지 모두 합치면 케톤 자체의 효과와 탄수화물 제한 효과를 분리하기 어렵다.[16]

[10] 엄격 재분류 결과: plant_based eligible=1,098, tier_A=739; 상위 300편 원문검증 중 plant_based_intervention=148.

[11] Vegetarian and Vegan Dietary Patterns to Treat Adult Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. (2024). PMID: 39415400. HbA1c MD -0.40% (95% CI -0.59 to -0.21).

[12] Lv, M., et al. (2025). Effects of Vegetarian or Vegan Diets on Glycemic and Cardiometabolic Health in Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Nutrition Reviews, 83*(8), 1438-1449. PMID: 40037300. HbA1c WMD -0.36%.

[13] PMID: 39415400; PMID: 40037300. 두 메타분석에서 공복혈당·공복인슐린 효과는 일관되지 않음.

[14] A whole-food, plant-based intensive lifestyle intervention improves glycaemic control and reduces medications in individuals with type 2 diabetes: a randomised controlled trial. *Diabetologia* (2024). PMID: 39305340.

[15] 엄격 재분류 결과: ketogenic eligible=592, tier_A=361; 상위 300편 원문검증 중 ketogenic_intervention=88.

[16] Poff, A. M., Koutnik, A. P., & Egan, B. (2020). Nutritional ketosis with ketogenic diets or exogenous ketones: Features, convergence, and divergence. *Current Sports Medicine Reports, 19*(7), 251-259.

2022년 매우 낮은 탄수화물·케톤식 RCT 메타분석에서는 12개월 HbA1c의 대조식 대비 우월성이 분석방법에 따라 일관되지 않았다. 중성지방은 더 낮고 HDL-C는 다소 높았지만, 장기적인 혈당 우위는 제한적이었다. 2023년 메타분석도 2년 이내의 RCT를 종합했을 때 혈당과 체중에서 대조식보다 추가 이득이 뚜렷하지 않다고 평가했다.[17][18]

반면 단기 연구와 실제진료형 중재에서는 HbA1c, 체중, 약물요구량이 크게 감소하는 결과가 자주 보고된다. 따라서 도 틀리고, 도 틀리다. 효과의 크기는 기간, 순응도, 체중감량, 약물 조정, 실제 케토시스 여부에 따라 달라진다.[19]

5. 저탄수식은 케톤식과 따로 봐야 한다

엄격한 분류에서 저탄수식은 260편, A군은 159편이었다. 상위 300편 검증에서도 28편이 저탄수 중재로 확인됐다. 이 연구군을 케톤식과 섞지 않은 이유는 모든 저탄수 식사가 영양적 케토시스를 만들지는 않기 때문이다.[20]

최근 RCT와 메타분석은 저탄수식이 단기 HbA1c와 체중, 중성지방에 유리할 수 있음을 반복해서 보여준다. 그러나 탄수화물 범위가 10% 미만부터 40% 가까이까지 넓고, 지방과 단백질의 공급원도 서로 다르다. 따라서 를 곧바로 라고 부르는 것은 과학적으로 정확하지 않다.[21]

이 구분은 식물성 케톤식을 설계할 때 특히 중요하다. 식물성 저탄수 식사가 가능하다는 사실은 이미 임상시험으로 확인됐지만, 그것만으로 영양적 케토시스까지 입증되는 것은 아니다. 결합 가능성과 케톤상태의 직접 검증은 서로 다른 질문이다.[22]

[17] Very low carbohydrate (ketogenic) diets in type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. (2022). PMID: 36064937.

[18] Choy, K. Y. C., & Louie, J. C. Y. (2023). The effects of the ketogenic diet for the management of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of recent studies. *Diabetes & Metabolic Syndrome, 17*(12), 102905. PMID: 38006799.

[19] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. *BMJ, 372*, m4743; Hallberg, S. J., et al. (2018). *Diabetes Therapy, 9*, 583-612.

[20] 엄격 재분류 결과: low_carbohydrate eligible=260, tier_A=159; 상위 300편에서 lowcarb_intervention=28.

[21] Gram-Kampmann, E. M., et al. (2022). Effects of a 6-month, low-carbohydrate diet on glycaemic control, body composition, and cardiovascular risk factors in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Obesity and Metabolism, 24*, 693-703. PMID: 34984805.

[22] Jenkins, D. J. A., et al. (2022). Low-carbohydrate vegan diets in diabetes for weight loss and sustainability: a randomized controlled trial. PMID: 36156115.

6. 처음에는 49편이 '직접근거'처럼 보였다

제목, 초록, 실제 중재문을 이용해 자동분류를 강화했을 때 `plant_keto_direct` 후보는 49편까지 줄었다. 처음의 광범위한 검색보다 훨씬 엄격했지만, 여전히 이 숫자를 그대로 직접 식물성 케톤 임상시험의 수라고 부를 수는 없었다.[23]

왜 이런 차이가 생겼을까. 한 논문에서 비건식과 케톤식을 서로 다른 비교군으로 다룰 수 있고, 서론에서 두 식사를 함께 소개할 수도 있다. 또 저탄수 비건식을 `ketogenic`이라는 배경설명과 함께 언급해도 실제 중재에서는 케톤을 측정하지 않을 수 있다.[24]

그래서 상위 300편 전체원문을 다시 읽고 실제 식사중재를 분류했다. 결과는 식물성 중재 148편, 케톤 중재 88편, 저탄수 중재 28편이었다. 식물성과 케톤이 한 논문 안에서 공동언급된 경우는 32편이었지만, 동일한 식사중재로 확인된 후보는 1편뿐이었다.[25]

표 15-2. 상위 300편 원문 재검증 결과

최종 분류	편수	의미
식물성 중재	148	실제 plant-based/vegan/vegetarian 중재
케톤식 중재	88	실제 ketogenic intervention
저탄수 중재	28	탄수화물 제한 중재이나 케톤식과 별도 분류
식물성·케톤 공동언급	32	같은 논문에서 언급되지만 동일중재 아님
식사중재 미확인	3	원문만으로 분류 확정 어려움
식물성+케톤 동일중재	1	직접 통합중재 후보

출처: `vk_verify_top_evidence.py`의 300편 원문 재검증 결과.

7. '한 편'이라는 숫자는 무엇을 뜻하는가

이 한 편은 는 절대적 선언이 아니다. 우리 DB의 상위 300편을 특정 기준으로 검증했을 때 동일중재로 확인된 수가

[23] 'vk_refine_book_evidence.py' 결과: plant_keto_direct eligible=49, tier_A=40.

[24] 본서의 공동언급 오류 분석 및 intervention-text audit.

[25] 'vk_verify_top_evidence.py': plant_based_intervention=148; ketogenic_intervention=88; lowcarb_intervention=28; plant_and_keto_co_mentioned=32; diet_not_confirmed=3; plant_ketogenic_same_intervention=1.

한 편이었다는 뜻이다. 검색식, 데이터베이스, 출판시점이 달라지면 숫자는 변할 수 있다.[26]

실제로 2026년 8월 『Nutrition』에는 식물성 저탄수·식물성 케톤식 임상근거를 묶은 새로운 체계적 문헌고찰이 발표됐다. 이 리뷰는 7개 RCT, 총 976명을 포함했고, 식물성 저탄수와 식물성 케톤 접근에서 체중, 지질, 혈당의 개선을 보고했다.[27]

그러나 이 리뷰 역시 중요한 제한을 명시한다. 포함 연구의 탄수화물 정의가 넓고, PB-LCD와 PB-KD가 함께 묶여 있으며, 자유생활 연구에서 케토시스의 생화학적 확인이 일관되지 않았다. 따라서 이 리뷰는 통합근거가 형성되고 있음을 보여주지만, 2

RCT 는 뜻은 아니다.[28]

또 이 리뷰의 대상은 제2형 당뇨병만이 아니라 과체중, 비만, 인슐린 저항성 등 다양한 대사질환을 포함한다. 당뇨병 관해, 약물중단, 장기 심혈관 사건을 식물성 케톤식 자체의 효과로 확정하려면 더 좁고 긴 연구가 필요하다.[29]

8. 연결고리가 되는 세 종류의 연구가 있다

첫 번째 연결고리는 저탄수 비건식이다. Jenkins 등의 164명 RCT에서는 저탄수 비건식과 중등도 탄수 채식 모두 3개월 동안 체중과 HbA1c를 크게 낮췄다. 이는 식물성 단백질과 지방을 주축으로 탄수화물을 줄이는 식사가 실제 임상에서 가능하다는 직접근거다.[30]

하지만 이 연구는 지속적인 혈중 BHB를 기준으로 영양적 케토시스를 확인한 전형적인 케톤식 시험은 아니다. 따라서 + 의 직접근거로는 강하지만 + 의 직접근거로 사용할 때는 한 단계 낮춰야 한다.[31]

두 번째는 Keto-Med 시험이다. 이 연구는 잘 구성된 케톤식과 지중해식 식사를 같은 참가자에게 순차적으로 비교했다. 두 식사 모두 HbA1c를 개선했으며 군간 HbA1c 차이는 크지 않았지만, 케톤식은

[26] 본서 데이터베이스의 검증범위에 대한 해석. 숫자는 검색범위와 시점에 따라 갱신될 수 있음.

[27] Mazzola et al. (2026). Seven RCTs, n=976, duration 4-52 weeks.

[28] Mazzola et al. (2026). PB-LCD/PB-KD definitions varied; biochemical verification of ketosis was inconsistently applied, especially in free-living trials.

[29] Mazzola et al. (2026). 대상은 overweight, obesity, insulin resistance, metabolic disorders and type 2 diabetes를 포함.

[30] Jenkins et al. (2022), PMID: 36156115. 저탄수 비건군 HbA1c -0.99%, 체중 -5.9 kg; 대조 채식군도 유사한 개선.

[31] Jenkins et al. (2022). 지속적 BHB 확인을 주요 기준으로 한 전형적 ketogenic trial은 아님.

중성지방을 더 낮추고 LDL-C를 더 높였다.[32]

Keto-Med는 식품의 질을 최대한 맞춘 상태에서 탄수화물 제한의 효과를 비교한 중요한 연구다. 그러나 케톤식과 식물성 식사를 한 식사로 합친 연구가 아니라 서로 비교한 시험이다. 그래서 식물성 케톤식의 설계원칙에는 도움을 주지만 직접 통합효과를 증명하지는 않는다.[33]

세 번째는 Hall의 입원 대사시험이다. 최소가공 저지방 식물식과 동물성 케톤식을 20명의 성인에게 각각 2주씩 제공했을 때, 식물식에서는 자유섭취 에너지가 하루 약 689 kcal 적었다. 반면 케톤식에서는 식후 포도당과 인슐린 노출이 더 낮았다.[34]

이 연구는 서로 다른 식사전략이 서로 다른 생리적 장점을 가질 수 있음을 잘 보여준다. 하지만 제2형 당뇨병 치료시험이 아니며, 식물성 케톤식 자체를 시험한 것도 아니다. 기전적 비교와 치료효과의 직접검증을 혼동해서는 안 된다.[35]

표 15-3. 식물성과 저탄수·케톤을 연결하는 대표 연구의 위치

연구	식물성	저탄수/케톤	동일중재인가	식물성 케톤식 근거로서의 위치
Jenkins et al. 저탄수 비건 RCT	예	저탄수	예	강한 연결근거, 케토시스 직접 확인 부족
Gardner et al. Keto-Med	지중해식이 식물성 우세	케톤군 별도	아니오	비교근거
Hall et al. 대사병동 시험	저지방 식물군	동물성 케톤군	아니오	기전적 비교근거
Mazzola et al. 2026 리뷰	PB-LCD/ PB-KD 포함	예	여러 연구 종합	최신 통합 리뷰, 정의 이질성 존재

출처: Jenkins et al. (2022); Gardner et al. (2022); Hall et al. (2021); Mazzola et al. (2026).

[32] Gardner, C. D., et al. (2022). Keto-Med randomized crossover trial. *American Journal of Clinical Nutrition, 116*(3), 640-652. PMID: 35641199.

[33] Gardner et al. (2022). 두 식사단계의 비교시험이지 plant-based ketogenic 동일중재시험은 아님.

[34] Hall, K. D., et al. (2021). Effect of a plant-based, low-fat diet versus an animal-based, ketogenic diet on ad libitum energy intake. *Nature Medicine, 27*, 344-353. PMID: 33479499.

[35] Hall et al. (2021). 20명 입원 성인의 단기 대사시험으로 제2형 당뇨병 치료 RCT는 아님.

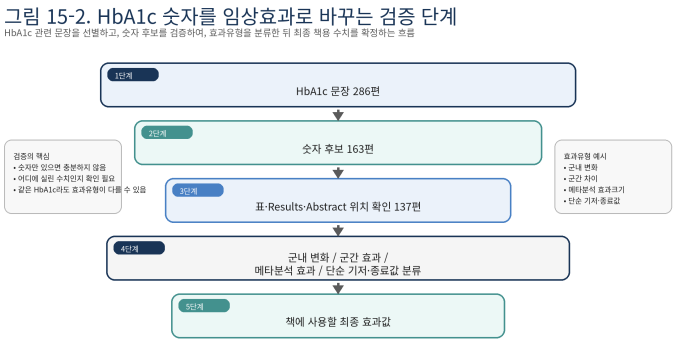
9. HbA1c 숫자는 한 번 더 검증해야 했다

상위 근거군에서 HbA1c가 언급된 논문은 286편이었다. 그중 숫자 후보는 163편이었지만, 표와 Results 문맥을 다시 확인하자 137편만 숫자 근거가 확인됐다. 표에서 직접 확인된 경우가 83편, Results 본문은 52편, 초록만 확인된 경우는 2편이었다.[36]

이 과정에서 20편은 서로 다른 HbA1c 숫자가 충돌하거나 문맥이 모호했다. 149편은 추가 검토가 필요했다. 숫자가 있다고 해서 그 값이 반드시 중재군의 변화량이라는 뜻은 아니기 때문이다.[37]

예를 들어 한 논문에는 기저치, 종료치, 군내 변화, 군간 차이, 보정효과, 하위집단 값이 동시에 존재할 수 있다. 메타분석이라면 개별 시험 효과와 pooled effect가 함께 나온다. 그래서 출판용 표에서는 를 먼저 확정해야 한다.[38]

그림 15-2. HbA1c 숫자를 임상효과로 바꾸는 검증 단계



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

HbA1c 문장 286편

→ 숫자 후보 163편

→ 표·Results·Abstract 위치 확인 137편

→ 군내 변화 / 군간 효과 / 메타분석 효과 / 단순 기저·종료값 분류

[36] 'vk_verify_hba1c_numbers.py': candidates=286; confirmed=137; table=83; results=52; abstract=2.

[37] 동일 스크립트 결과: conflicts=20; needs_review=149.

[38] 본서의 다음 단계 HbA1c effect-type classification 원칙: within-group, between-group, pooled meta-analysis, baseline/end values 구분.

→ **책에 사용할 최종 효과값**

출처: `vk_verify_hba1c_numbers.py` 결과와 본서의 최종 효과유형 검증 원칙.

10. 약물감량과 관해는 더 조심해서 읽는다

우리 evidence pack에는 약물감량 관련 검증논문 36편, 관해 관련 논문 52편이 포함돼 있다. 그러나 와 는 같은 결과가 아니다. 연구마다 약물조정 규칙과 관해 정의가 다르기 때문이다.[39]

관해는 국제 합의에 따라 일반적으로 혈당강하제를 중단한 상태에서 HbA1c가 6.5% 미만으로 최소 3개월 지속되는지를 기준으로 해석하는 것이 안전하다. 약물감량이나 정상혈당 도달만으로 관해라고 부르면 연구 간 비교가 무너진다.[40]

식물성 생활습관 RCT와 저탄수·케톤 중재 모두 일부 연구에서 약물감량 또는 관해를 보고한다. 그러나 두 접근을 결합한 식물성 케톤식 자체의 관해율은 아직 독립적으로 확정할 수 없다. 현재는 보다 라는 표현이 더 정확하다.[41]

11. 지금 과학적으로 말할 수 있는 것

첫째, 잘 구성된 식물성 식사패턴은 제2형 당뇨병에서 HbA1c와 체중을 개선할 수 있다. 최근 RCT 메타분석의 효과크기는 HbA1c 약 0.36 0.40%포인트 수준이며, 일부 집중 생활습관 중재에서는 더 큰 감소가 보고됐다.[42]

둘째, 저탄수·케톤식은 특히 단기에서 혈당, 체중, 중성지방과 약물요구량을 줄일 수 있다. 그러나 12개월 이상에서는 대조식과의 차이가 작아지는 연구가 많고, 장기우월성은 아직 일관되지 않다.[43]

셋째, 식물성 식품을 주축으로 탄수화물을 낮추는 식사는 실제로 시행 가능하다. 저탄수 비건 RCT와 2026년 체계적 문헌고찰은 이 결합의 임상적 실현 가능성을 지지한다.[44]

[39] 'book_evidence_pack.xlsx': Medication=36; Remission=52.

[40] Riddle, M. C., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. *Diabetes Care, 44*(10), 2438-2444.

[41] 본서 DB의 medication/remission candidate audit와 직접 plant-keto 근거공백을 종합한 해석.

[42] PMID: 39415400; PMID: 40037300; PMID: 39305340.

[43] PMID: 36064937; PMID: 38006799; Goldenberg et al. (2021).

[44] Jenkins et al. (2022); Mazzola et al. (2026).

넷째, 지방과 단백질의 공급원은 중요하다. 탄수화물을 줄인 뒤 포화지방과 동물성 단백질로 채우는 방식과 불포화 식물성 지방·단백질로 채우는 방식은 같은 라는 이름으로 묶어서는 안 된다.[45]

12. 아직 말해서는 안 되는 것

현재 근거만으로 고 결론 내릴 수 없다. 직접 비교 RCT가 충분하지 않기 때문이다. 같은 이유로 는 주장도 아직 검증되지 않았다.[46]

는 표현도 사용할 수 없다. 관해는 가능하지만 재발할 수 있으며, 직접 통합중재의 장기관해 자료는 부족하다. 책 제목의 는 대사 회복이라는 넓은 서술적 개념으로 사용하되, 임상 결과에서는 반드시 관해·개선·약물감량을 구분해야 한다.[47]

심근경색, 뇌졸중, 신부전, 사망과 같은 장기 임상사건 감소도 아직 식물성 케톤식 자체에서 증명되지 않았다. HbA1c와 체중이 좋아졌다고 해서 장기 심혈관 안전성이 자동으로 보장되는 것은 아니다.[48]

또 LDL-C나 ApoB가 크게 상승하는 사람에게 고 말할 수도 없다. 반대로 LDL-C 하나만으로 식사 전체를 평가해서도 안 된다. 혈당, 약물, 체중, 중성지방, ApoB, 혈압, 신장기능을 함께 보는 다차원 평가가 필요하다.[49]

표 15-4. 현재 근거로 가능한 주장과 불가능한 주장

[45] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 5; Gardner et al. (2022).

[46] 현재 직접 head-to-head plant-ketogenic vs conventional ketogenic 또는 high-carbohydrate whole-food plant-based 장기 RCT가 충분하지 않음.

[47] Riddle et al. (2021). Remission is distinct from cure and requires ongoing observation.

[48] 본서 DB와 Mazzola et al. (2026)의 장기 사건자료 공백.

[49] ADA Standards of Care in Diabetes-2026; ketogenic safety literature reviewed in Chapter 12.

구분	현재 말할 수 있는 수준	아직 말하면 안 되는 수준
식물성 식사	T2D에서 HbA1c·체중 개선 가능	모든 사람의 관해 보장
케톤식	단기 혈당·체중·TG·약물 감소 가능	장기적으로 모든 식사보다 우월
식물성 저탄수	임상적으로 실행 가능, 대사 지표 개선 가능	자동으로 영양적 케토시스 달성
식물성 케톤	직접근거가 형성되기 시작함	표준치료로 확립됐다고 선언
관해	일부 식이·생활습관 중재에서 가능	완치와 동일시하지 않음
안전성	지질·신장·약물·영양 모니터링 가능	장기 심혈관 안전성 확정

출처: ADA 2026; Riddle et al. (2021); Gardner et al. (2022); Mazzola et al. (2026); 본서 DB 검증결과.

13. 기전적 타당성은 임상증명의 대체물이 아니다

식물성 케톤식은 기전적으로 매력적인 조합이다. 탄수화물 제한은 식후 포도당과 인슐린 요구량을 줄이고 지방산화와 케톤생성을 높일 수 있다. 동시에 식물성 식품은 식이섬유, 불포화지방, 폴리페놀과 다양한 미량영양소를 제공한다.[50]

두 기전이 서로 보완할 가능성은 충분하다. 그러나 A+B가 자동으로 C를 만들지는 않는다. 영양소 간 상호작용, 식사 순응도, LDL-C 반응, 단백질과 미량영양소 충족 문제가 실제 사람에서 결과를 바꿀 수 있다.[51]

따라서 기전은 를 설명한다. 임상시험은 를 답한다. 이 두 문장을 구분하는 것이 식물성 케톤식 연구의 가장 중요한 태도다.[52]

14. 2026년 새 리뷰가 우리 결론을 어떻게 바꾸는가

우리 DB의 상위 300편 검증만 놓고 보면 직접 식물성+케톤 동일중재 근거는 거의 비어 있었다. 그러나 2026년 Mazzola 등의 리뷰는 식물성 저탄수와 식물성 케톤 임상시험을 하나의 연구영역으로 정리해, 이 분야가 더 이상 개념적 제안에만 머물지 않음을 보여준다.[53]

[50] ADA 2026; Poff et al. (2020); Chapters 7 and 11의 기전근거.
[51] Gardner et al. (2022); Mazzola et al. (2026). 지질·영양·순응도 이질성.
[52] GRADE 및 임상역학의 직접성 원칙에 따른 본서 해석.
[53] Mazzola et al. (2026), *Nutrition, 148*, 113222.

이 변화는 중요하다. 이제 보다는 가 더 정확하다. 다만 리뷰에 포함된 7개 RCT의 정의와 대상이 이질적이고, 엄격한 케토시스 검증이 모든 연구에서 이루어진 것은 아니다.[54]

따라서 이 책의 결론도 한 단계 조정한다. 식물성 케톤식은 **생물학적 개연성만 있는 가설**을 넘어섰다. 그러나 제2형 당뇨병의 독립된 표준치료로 확립됐다고 부르기에는 아직 직접 RCT, 장기추적, 관해와 심혈관 안전성 자료가 부족하다.[55]

15. 다음 연구는 무엇을 비교해야 하는가

가장 필요한 연구는 세 군을 직접 비교하는 RCT다. 하나는 전식물성 고품질 식사, 하나는 잘 구성된 일반 케톤식, 마지막 하나는 식물성 케톤식이다. 세 군의 열량과 상담강도를 가능한 한 맞춰야 탄수화물량과 식품공급원의 효과를 분리할 수 있다.[56]

대상자는 약물을 사용하는 제2형 당뇨병 성인으로 하고, 최소 12개월 이상 추적하는 것이 바람직하다. 1차 결과는 HbA1c와 약물부담으로 두고, CGM의 TIR, 체중, 내장지방, 공복인슐린, HOMA-IR, ApoB, eGFR, 삶의 질과 순응도를 함께 측정해야 한다.[57]

식물성 케톤군에서는 BHB를 반복 측정해 실제 케토시스 노출량을 기록해야 한다. 그래야 단지 과 를 구별할 수 있다.[58]

관해를 평가한다면 국제 합의기준을 사용하고, 약물감량 프로토콜을 사전에 공개해야 한다. SGLT2 억제제 사용자는 DKA 위험관리 계획을 별도로 두어야 하며, LDL-C와 ApoB 상승에 대한 중재기준도 연구계획에 포함해야 한다.[59]

표 15-5. 식물성 케톤식의 결정적 RCT 설계 제안

[54] Mazzola et al. (2026). Heterogeneous definitions, limited long-term follow-up and inconsistent biochemical ketosis verification.

[55] 본서 DB 검증결과와 Mazzola et al. (2026)을 함께 반영한 2026-08-25 시점의 결론.

[56] 본서가 제안하는 향후 3-arm RCT 설계.

[57] ADA 2026의 당뇨병 평가항목과 본서 evidence gap에 기반한 제안.

[58] Poff et al. (2020); Mazzola et al. (2026). 케토시스의 객관적 확인 필요.

[59] Riddle et al. (2021); ADA 2026. SGLT2 억제제와 ketogenic pattern 관련 DKA 위험관리 포함.

항목	제안
연구군	전식물성 식사 vs 일반 케톤식 vs 식물성 케톤식
기간	최소 12개월, 가능하면 24개월 연장
1차 결과	HbA1c, 당뇨약 부담 또는 약물점수
주요 2차 결과	CGM TIR, 체중, 허리둘레, 내장지방, 공복 인슐린, HOMA-IR
안전성	LDL-C, ApoB, TG, eGFR, 요산, 전해질, 이상반응
케토시스 확인	혈중 BHB 반복측정과 노출시간 기록
관해	HbA1c <6.5%, 혈당강하제 없이 최소 3개월
순응도	식사기록, 바이오마커, 중도탈락, 삶의 질

출처: Riddle et al. (2021), ADA 2026 및 본서가 확인한 현재 근거공백을 바탕으로 제안.

16. 이 책에서 사용할 네 가지 표현

앞으로 이 책은 근거의 강도에 따라 표현을 구분한다. **확립됨**은 여러 임상시험과 메타분석에서 반복된 사실에 사용한다. **지지됨**은 직접 임상근거가 있으나 장기자료나 일관성이 충분하지 않을 때 사용한다.[60]

가능성이 있음은 기전적 근거와 간접 임상근거가 있지만 직접시험이 부족할 때 사용한다. **아직 모름**은 연구가 없거나 결과가 충돌해 방향을 정할 수 없을 때 사용한다. 이 네 단계를 지키면 책의 제목이 강하더라도 본문의 과학성은 유지할 수 있다.[61]

식물성 식사의 HbA1c 개선은 에 가깝다. 저탄수·케톤식의 단기 혈당·체중 개선은 으로 볼 수 있다. 식물성 케톤식이 일반 케톤식보다 장기 심혈관 위험을 낮춘다는 가설은 에 속한다. 식물성 케톤식의 장기 관해율과 심혈관 사건 감소는 아직 에 가깝다.[62]

17. 현재의 결론: 가능성은 충분하지만 과장은 금물이다

현재 과학은 식물성 케톤식의 두 구성요소를 각각 상당히 지지한다. 식물성 식사는 HbA1c, 체중과 일부 심혈관 위험지표를 개선할 수 있고, 저탄수·케톤식은 혈당부하와 약물요구량을 줄이는 강력한 단

[60] GRADE의 certainty 개념을 독자용 표현으로 단순화한 본서의 서술규칙.
[61] 본서의 과학적 문장 강도 규칙.
[62] 본서 DB, 최근 메타분석, Mazzola et al. (2026)을 종합한 증거수준 분류.

기 도구가 될 수 있다.[63]

두 접근을 결합한 식물성 저탄수 연구도 존재하고, 2026년에는 식물성 저탄수·케톤 임상시험을 묶은 체계적 문헌고찰까지 등장했다. 따라서 식물성 케톤식은 더 이상 단순한 아이디어만은 아니다.[64]

하지만 과 사이에는 여전히 거리가 있다. 제2형 당뇨병만을 대상으로 한 충분한 수의 직접 RCT, 지속적인 BHB 확인, 장기관해, 심혈관·신장 안전성, 영양충족과 순응도 자료가 더 필요하다.[65]

그래서 이 책은 식물성 케톤식을 정답으로 제시하지 않는다. 검증할 가치가 충분한 대사치료 모델로 제안하고, 현재 근거가 허용하는 범위 안에서 실제 적용원칙을 설명한다. 다음 장부터는 바로 그 원칙을 식품과 영양구성의 수준으로 내려가 구체화한다.[66]

제15장 참고문헌 및 각주 출처

[63] PMID: 39415400; PMID: 40037300; PMID: 36064937; PMID: 38006799.
[64] Jenkins et al. (2022); Mazzola et al. (2026).
[65] Mazzola et al. (2026); 본서 top-300 direct intervention audit.
[66] 본서 제14-15장의 통합결론.

제16장. 무엇을 먹을 것인가

식물성 케톤식의 실제는 식품 목록에서 시작하지만, 목표는 '허용식품'을 외우는 데 있지 않다. 같은 식물성 식품이라도 탄수화물 밀도와 식이섬유, 단백질, 지방의 질이 다르며, 조리법과 섭취량에 따라 혈당 반응도 달라진다. 따라서 무엇을 먹을 것인가는 식품 이름보다 **대사목표에 맞는 조합**을 묻는 질문이어야 한다.[1]

이 장에서는 식품을 네 축으로 본다. 첫째, 탄수화물 부담이 낮고 부피가 큰 비전분 채소를 식사의 바닥에 둔다. 둘째, 두부·템페·에다마메와 같은 식물성 단백질을 충분히 확보한다. 셋째, 견과·씨앗·아보카도·올리브처럼 불포화지방이 많은 식품으로 지방의 질을 높인다. 마지막으로 식이섬유와 미량영양소가 부족해지지 않도록 식품의 종류를 넓힌다.[2]

1. '먹어도 되는가'보다 '무슨 역할을 하는가'를 묻는다

당뇨병 영양치료의 최근 방향은 단일 영양소보다 실제 식품과 식사 패턴을 강조한다. ADA 2026도 비전분 채소, 콩류, 견과와 씨앗, 최소가공 식품을 중심으로 하되 개인의 혈당·체중·지질·약물상태에 맞춘 식사계획을 권고한다. 일부 성인에서는 혈당 개선을 위해 탄수화물 섭취를 줄이는 접근도 고려할 수 있다.[3]

식물성 케톤식은 이 원칙을 더 좁은 탄수화물 범위 안에서 적용한다. 그래서 식품을 '좋다/나쁘다'로만 분류하지 않는다. 채소는 부피와 섬유를 담당하고, 두부와 콩 식품은 단백질을 담당한다. 견과·씨앗·아보카도는 지방과 에너지를 보충하며, 해조류와 다양한 채소는 미량영양소의 폭을 넓힌다.[4]

하루 식사는 이 역할들이 겹치도록 구성하는 편이 좋다. 예를 들어 두부는 단백질이면서 지방을 제공하고, 치아씨드는 지방·단백질·식이섬유를 동시에 공급한다. 한 식품에 모든 기능을 기대하기보다 여러 식품의 장점을 한 끼 안에서 조합하는 것이 실제적인 설계다.[5]

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

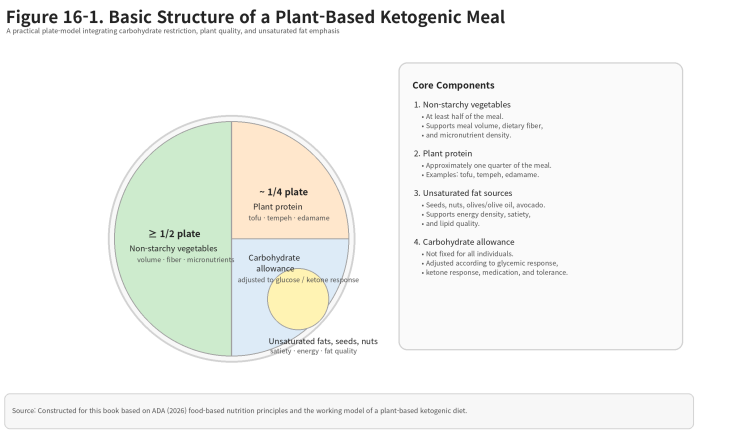
[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendations 5.13-5.15, 5.24, 5.29-5.31.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Medical Nutrition Therapy and Recommendations 5.13-5.15.

[4] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.; USDA Agricultural Research Service. FoodData Central.

[5] USDA Agricultural Research Service. FoodData Central. Food composition

그림 16-1. 식물성 케톤식 한 끼의 기본 구조



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

비전분 채소 1/2 이상 → 부피·식이섬유·미량영양소

식물성 단백질 1/4 전후 → 두부·템페·에다마메 등

불포화지방·씨앗·견과 → 에너지·포만감·지방의 질

탄수화물 여유분 → 개인의 혈당과 케톤 반응에 맞춰 조절

출처: ADA (2026)의 식품 중심 영양원칙과 본서의 식물성 케톤식 작업모델을 바탕으로 구성.

2. 비전분 채소가 식사의 바닥이 된다

탄수화물을 줄인다고 채소까지 줄이면 식물성 케톤식의 장점이 크게 약해진다. 비전분 채소는 에너지 밀도가 낮고 수분과 식이섬유가 많아, 제한된 탄수화물 범위에서도 식사의 부피를 확보하기 좋다. ADA는 당뇨병 식사에서 특히 비전분 채소를 강조하고, 최소가공·고섬유 탄수화물 공급원을 선택하도록 권고한다.[6]

USDA 식품성분 자료를 100 g 기준으로 보면 생시금치는 탄수화물 3.63 g, 식이섬유 2.20 g이며 브로콜리는 각각 6.64 g과 2.60 g이다. 흰양송이버섯은 탄수화물 3.26 g, 식이섬유 1.0 g 정도다. 이 수치는 조리와 품종에 따라 달라지지만, 비전분 채소가 같은 무게의 곡

records for tofu, chia, almonds, avocado, and vegetables.

[6] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendations 5.14 and 5.24.

류나 전분채소보다 탄수화물 밀도가 낮다는 점을 보여준다.[7][8][9]

채소의 목표는 탄수화물을 '0'으로 만드는 것이 아니다. 오히려 제한된 탄수화물 예산 안에서 섬유, 칼륨, 마그네슘, 엽산, 카로티노이드와 다양한 식물성 화합물을 얻는 데 있다. 따라서 잎채소, 십자화과, 버섯, 오이류와 같은 저전분 채소를 여러 종류 섞는 편이 한 가지 채소를 반복하는 것보다 낫다.[10]

표 16-1. 대표 저전분 식품의 100 g당 대략적 영양구성

식품	총탄수화물(g)	식이섬유(g)	단백질(g)	지방(g)	실용적 특징
시금치, 생	3.63	2.20	2.86	0.39	엽채류, 마그네슘·칼륨 공급
브로콜리, 생	6.64	2.60	2.82	0.37	십자화과, 부피와 섬유 확보
양송이버섯, 생	3.26	1.00	3.09	0.34	낮은 에너지 밀도, 감칠맛
다시마류(켈프), 생	9.57	1.30	1.68	0.56	미네랄 공급, 섭취량은 작게
에다마메, 조리	8.91	5.20	11.90	5.20	채소와 단백질의 중간 역할

출처: USDA FoodData Central 기반 자료. 조리법·품종·수분량에 따라 값은 달라질 수 있다.

3. 십자화과 채소는 '저탄수' 이상의 가치가 있다

브로콜리, 콜리플라워, 배추, 양배추, 케일 같은 십자화과 채소는 식물성 케톤식에서 활용도가 높다. 전분 함량이 상대적으로 낮아 탄수화물 조절이 쉽고, 식이섬유와 여러 비타민·미네랄을 함께 공급한다. 특히 곡류나 감자 대신 부피를 채우는 재료로 사용하면 식사의 탄수화물 밀도를 크게 올리지 않으면서 씹는 양을 확보할 수 있다.[11]

[7] USDA FoodData Central. Spinach, raw, FDC 168462: carbohydrate 3.63 g, dietary fiber 2.20 g per 100 g.

[8] USDA FoodData Central. Broccoli, raw, FDC 170379: carbohydrate 6.64 g, dietary fiber 2.60 g per 100 g.

[9] USDA FoodData Central. Mushrooms, white, raw, FDC 169251: carbohydrate 3.26 g, dietary fiber 1.00 g per 100 g.

[10] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Table 5.2; USDA FoodData Central nutrient profiles.

[11] USDA FoodData Central. Broccoli, raw, FDC 170379; American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.

다만 특정 성분 하나를 이유로 '항암식품'이나 '당뇨 치료식품'처럼 표현하는 것은 피해야 한다. 십자화과 채소의 장점은 특정 파이토케미컬 하나보다, 다양한 채소를 꾸준히 섭취하는 전체 식사패턴 안에서 이해하는 편이 근거에 맞다. 이 책에서도 식품 하나의 약리효과보다 식사 구조를 우선한다.[12]

실전에서는 브로콜리·콜리플라워를 살짝 데치거나 굽고, 배추·양배추는 볶음이나 국물요리에 활용할 수 있다. 조리할 때 설탕이나 전분소스를 많이 넣으면 원래 낮았던 탄수화물 부담이 달라지므로 양념까지 식사의 일부로 계산해야 한다.[13]

4. 버섯은 부피와 감칠맛을 보완한다

버섯은 식물은 아니지만 식물성 식사에서 흔히 활용되는 균류 식품이다. 흰양송이버섯은 100 g당 약 22 kcal, 단백질 3.09 g, 탄수화물 3.26 g으로 에너지와 탄수화물 밀도가 낮다. 지방이 많은 식품과 함께 조리하면 식감과 감칠맛을 보완하면서 채소의 부피를 늘릴 수 있다.[14]

버섯의 영양성분은 종류와 재배·조리방법에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 표고, 느타리, 새송이, 양송이를 한 수치로 취급하기보다 식품성분표의 해당 항목을 확인하는 것이 좋다. 특히 말린 버섯은 수분이 빠져 같은 무게의 탄수화물과 에너지가 농축되므로 생버섯과 같은 방식으로 계산해서는 안 된다.[15]

실전에서는 버섯을 볶음, 두부구이의 곁들임, 수프, 채소전골에 넣기 좋다. 다만 시판 소스와 양념장은 설탕·전분·나트륨을 추가할 수 있으므로 원재료와 영양표시를 함께 봐야 한다.[16]

[12] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., food-pattern approach emphasizing overall dietary pattern rather than single nutrients or foods.

[13] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., minimizing added sugars, refined and ultraprocessed foods.

[14] USDA FoodData Central. Mushrooms, white, raw, FDC 169251: 22 kcal, protein 3.09 g, carbohydrate 3.26 g per 100 g.

[15] USDA FoodData Central food-composition system; values vary by food form and preparation.

[16] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., minimizing added sugar and sodium from processed foods.

5. 해조류는 '많이'보다 '조금씩 다양하게'가 낫다

김, 미역, 다시마와 같은 해조류는 한국식 식물성 식단에서 미네랄을 보완하는 좋은 재료가 될 수 있다. USDA의 생켈프 자료는 100 g당 탄수화물 9.57 g, 단백질 1.68 g, 마그네슘 121 mg, 칼슘 168 mg을 제시한다. 다만 실제로는 한 번에 100 g의 다시마를 먹는 경우가 드물기 때문에, 표의 100 g 수치를 실제 1회 섭취량과 혼동해서는 안 된다.[17]

해조류에서 더 중요한 문제는 요오드다. 해조류의 요오드 함량은 종류와 산지, 가공방법에 따라 매우 넓게 달라질 수 있다. 따라서 다시마를 대량으로 매일 먹는 식으로 요오드를 확보하려 하기보다, 소량을 다양하게 이용하고 필요하면 전체 요오드 섭취를 별도로 평가하는 것이 안전하다.[18]

김이나 미역 자체는 식물성 케톤식과 잘 맞지만, 조미김은 기름과 소금이 추가되고 일부 제품에는 당류가 들어갈 수 있다. 제품을 사용할 때는 원재료명과 나트륨, 총탄수화물을 확인해야 한다.[19]

6. 두부는 가장 다루기 쉬운 기본 단백질이다

식물성 케톤식에서 두부는 매우 실용적인 단백질 공급원이다. USDA 자료의 칼슘응고 단단한 두부는 100 g당 단백질 약 17.3 g, 탄수화물 2.78 g, 지방 8.72 g을 제공한다. 같은 두부라도 응고제와 수분량에 따라 단백질과 칼슘 함량이 크게 달라지므로 제품 라벨을 확인해야 한다.[20]

두부의 장점은 탄수화물이 낮은 편이면서 단백질과 지방을 동시에 공급한다는 점이다. 채소만으로 식사를 구성했을 때 생기기 쉬운 단백질 부족과 포만감 부족을 보완하기 좋다. 구이, 찜, 조림, 샐러드, 전골 등 한국식 조리에도 쉽게 적용된다.[21]

그러나 두부조림이라고 모두 같은 식사는 아니다. 설탕이나 올리고당을 많이 넣은 양념은 탄수화물을 올릴 수 있고, 짠 간장은 나트륨

[17] USDA FoodData Central. Seaweed, kelp, raw, FDC 168457: carbohydrate 9.57 g, protein 1.68 g, magnesium 121 mg, calcium 168 mg per 100 g.

[18] National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. Iodine Fact Sheet for Health Professionals. Seaweed iodine content varies widely by species and source.

[19] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., sodium and processed-food recommendations.

[20] USDA FoodData Central. Tofu, raw, firm, prepared with calcium sulfate, FDC 172475: protein 17.27 g, carbohydrate 2.78 g, fat 8.72 g per 100 g.

[21] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendation 5.29 on plant-based protein sources.

을 증가시킨다. 식품 자체와 조리법을 분리해서 평가하는 습관이 필요하다.[22]

7. 템페는 단백질 밀도가 높지만 탄수화물도 계산한다

템페는 콩을 발효해 만든 식품으로, USDA 자료의 조리된 템페는 100 g당 단백질 약 19.9 g, 지방 11.4 g, 총탄수화물 7.62 g이다. 두부보다 씹는 맛이 강하고 단백질 밀도가 높아 한 끼의 중심 단백질로 쓰기 좋다.[23]

다만 템페는 제품에 따라 다른 곡물이나 전분이 섞이기도 한다. 순수 대두 템페와 곡물이 포함된 제품은 탄수화물량이 달라질 수 있으므로, 이름보다 원재료와 영양표시를 확인해야 한다.[24]

발효식품이라는 이유만으로 혈당을 낮추는 특별한 치료효과를 기대해서도 안 된다. 템페의 가장 확실한 역할은 식물성 단백질과 지방을 제공하고 식감의 다양성을 높이는 데 있다. 발효에 따른 추가효과는 별도의 임상근거로 판단해야 한다.[25]

8. 에다마메와 콩류는 '양을 정해서' 이용한다

콩류는 식물성 단백질과 식이섬유의 중요한 공급원이지만, 식물성 케톤식에서는 종류와 양을 함께 봐야 한다. 조리된 에다마메는 100 g당 단백질 11.9 g, 식이섬유 5.2 g, 총탄수화물 8.91 g으로 일반적인 완두나 일부 익힌 콩보다 탄수화물 밀도가 낮은 편이다.[26]

반면 익힌 완두콩은 100 g당 탄수화물이 약 15.6 g이고 식이섬유가 5.5 g 정도다. 같은 '콩류'라는 이름 아래에서도 탄수화물량은 상당히 다르다. 따라서 엄격한 케톤단계에서는 에다마메나 일부 대두식품을 우선하고, 다른 콩류는 혈당과 케톤 반응을 보면서 양을 조절하는 편이 실용적이다.[27]

[22] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendations 5.20 and 5.25.

[23] USDA FoodData Central. Tempeh, cooked, FDC 172467: protein 19.91 g, fat 11.38 g, carbohydrate 7.62 g per 100 g.

[24] USDA FoodData Central and product labeling principles: branded tempeh formulations vary by ingredients and moisture.

[25] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.; evidence for glycemic effects should be based on clinical outcomes, not fermentation status alone.

[26] USDA FoodData Central. Edamame, frozen, prepared, FDC 168411: protein 11.90 g, fiber 5.20 g, carbohydrate 8.91 g per 100 g.

[27] USDA FoodData Central. Peas, green, cooked, FDC 170420: carbohydrate 15.60 g, fiber 5.50 g, protein 5.36 g per 100 g.

콩류를 완전히 제외할 필요가 있는지는 개인마다 다르다. 탄수화물 허용범위가 넓고 혈당이 안정적인 사람은 소량의 렌틸이나 병아리콩을 포함할 수 있지만, 케톤 생성이 쉽게 끊기는 사람은 같은 양도 부담이 될 수 있다. 중요한 것은 식품명이 아니라 실제 섭취량과 반응이다.[28]

표 16-2. 식물성 케톤식의 대표 단백질 식품

식품	총탄수화물(g/100g)	식이섬유(g/100g)	단백질(g/100g)	지방(g/100g)	활용
단단한 두부, 칼슘 응고	2.78	2.30	17.27	8.72	구이·조림·전골의 기본 단백질
템페, 조리	7.62	자료차이	19.91	11.38	씹는 식감, 주단백질
에다마메, 조리	8.91	5.20	11.90	5.20	반찬·샐러드, 양 조절

출처: USDA FoodData Central 기반 자료. 제품별 수분량과 제조법에 따라 값이 달라질 수 있다.

9. 견과류는 지방식품이면서 단백질식품이다

아몬드, 호두, 피칸, 마카다미아 같은 견과류는 불포화지방과 단백질, 식이섬유를 동시에 공급한다. 예를 들어 아몬드는 100 g당 지방 약 49.9 g, 단백질 21.2 g, 식이섬유 12.5 g을 제공한다. 다만 에너지 밀도가 매우 높으므로 ‘건강식품’이라는 이유로 무제한 먹는 방식은 체중조절에 불리할 수 있다.[29]

견과류는 보통 한 번에 20 30 g 정도의 작은 양으로도 충분한 에너지를 제공한다. 식사에 견과를 넣을 때는 다른 기름이나 씨앗의 양과 함께 계산하는 편이 좋다. 특히 견과버터는 씹는 과정이 줄어들어 양을 빠르게 늘리기 쉬우므로 계량이 더 중요하다.[30]

소금과 설탕, 시럽, 초콜릿이 코팅된 견과는 전혀 다른 식품이 된다. 식물성 케톤식에서는 가급적 무가당·무첨가 제품을 선택하고, 볶음 제품은 첨가유와 나트륨을 확인한다.[31]

[28] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., individualized macronutrient distribution and carbohydrate monitoring.

[29] USDA FoodData Central. Nuts, almonds, FDC 170567: fat 49.93 g, protein 21.15 g, fiber 12.5 g per 100 g.

[30] USDA FoodData Central. Nuts, almonds, FDC 170567; energy density 579 kcal per 100 g.

[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., minimizing added sugars, sodium and ultraprocessed foods.

10. 씨앗류는 적은 양으로 섬유와 지방을 보충한다

치아씨, 아마씨, 들깨, 참깨, 햄프씨드는 식물성 케톤식의 중요한 보조재료다. 치아씨는 USDA 자료에서 100 g당 총탄수화물 42.1 g으로 높아 보이지만 식이섬유가 34.4 g이다. 같은 식품을 28 g 정도로 먹으면 식이섬유를 약 9 10 g 공급하면서 실제 섭취량은 작게 유지할 수 있다.[32]

다만 '순탄수화물'을 계산할 때는 주의해야 한다. 미국 FDA와 ADA는 `net carbs`를 공식적인 규제 용어로 인정하지 않으며, ADA는 총탄수화물을 기준으로 보고 실제 혈당반응을 확인하라고 권고한다. 식이섬유나 당알코올의 흡수와 대사효과가 항상 동일하지 않기 때문이다.[33]

따라서 이 책에서 순탄수화물은 **식품을 비교하기 위한 실용적 보조지표**로만 사용한다. 일반 식품에서는 - 를 참고하되, 당알코올이 많은 가공식품에서는 이 계산을 그대로 적용하지 않는다. 혈당과 케톤 측정이 최종 확인수단이다.[34]

11. 아보카도와 올리브는 지방의 질을 높이는 식품이다

아보카도는 100 g당 지방 약 14.7 g, 총탄수화물 8.53 g, 식이섬유 6.7 g이다. 지방의 상당 부분이 불포화지방이며, 식이섬유도 함께 공급한다. 따라서 채소만으로 에너지가 부족한 식사에 지방과 부피를 동시에 더하기 좋다.[35]

올리브도 불포화지방이 중심이지만 가공과 염장에 따라 나트륨이 높을 수 있다. USDA의 통조림 익은 올리브 자료는 100 g당 지방 10.68 g, 식이섬유 3.2 g, 나트륨 872 mg을 제시한다. 실제 1회 섭취량은 훨씬 작지만, 여러 짠 반찬과 함께 먹는 한국식 식사에서는 총 나트륨을 함께 고려해야 한다.[36]

ADA 2026은 당뇨병 환자에게 포화지방이 많은 식품을 제한하고,

[32] USDA FoodData Central. Seeds, chia seeds, dried, FDC 170554: carbohydrate 42.12 g, fiber 34.40 g, protein 16.54 g, fat 30.74 g per 100 g.

[33] American Diabetes Association. Get to Know Carbs: "Net carbs" has no legal FDA definition and is not recognized as a formal ADA term; total carbohydrate is recommended for label-based counting.

[34] U.S. Food and Drug Administration. 21 CFR 101.9; dietary fiber is included within total carbohydrate on Nutrition Facts labeling.

[35] USDA FoodData Central. Avocados, raw, all commercial varieties, FDC 171705: fat 14.66 g, carbohydrate 8.53 g, fiber 6.70 g per 100 g.

[36] USDA National Nutrient Database / FoodData Central legacy record. Olives, ripe, canned: fat 10.68 g, fiber 3.2 g, sodium 872 mg per 100 g.

식물성 단백질과 견과·씨앗 등을 포함하는 식사패턴을 권고한다. 식물성 케톤식의 지방은 단순히 '많이 먹는 지방'이 아니라 **포화지방 대신 불포화지방을 선택하는 방향**이어야 한다.[37]

표 16-3. 견과·씨앗·지방식품의 100 g당 영양구성

식품	총탄수화물(g)	식이섬유(g)	단백질(g)	지방(g)	주의점
아몬드	21.55	12.50	21.15	49.93	에너지밀도 높음, 1회량 계량
치아씨	42.12	34.40	16.54	30.74	섬유가 많음, 수분과 함께 섭취
아보카도	8.53	6.70	2.00	14.66	채소와 함께 지방·섬유 보완
통조림 익은 올리브	6.26	3.20	0.84	10.68	나트륨이 높을 수 있음

출처: USDA FoodData Central 기반 자료. 100 g은 비교를 위한 표준량이며 실제 1회 섭취량과 다를 수 있다.

12. 기름은 '식품을 대체하지 않는 범위'에서 쓴다

올리브유나 아보카도유 같은 식물성 기름은 탄수화물이 거의 없고 불포화지방을 공급하기 때문에 케톤식에서 사용하기 쉽다. 그러나 기름은 식이섬유와 단백질, 대부분의 미량영양소를 거의 제공하지 않는 고에너지 식품이다. 따라서 견과·씨앗·아보카도 같은 전식품을 밀어내면서 기름만 늘리는 방식은 식물성 케톤식의 목적과 맞지 않는다.[38]

실전에서는 채소를 볶거나 드레싱을 만드는 데 필요한 만큼 사용하고, 포만감과 총에너지 섭취를 보면서 양을 조절한다. 체중감량이 필요한 사람과 체중을 유지해야 하는 사람의 기름 사용량은 같을 이유가 없다.[39]

코코넛오일은 식물성이라는 이유만으로 우선순위가 높아지지 않는다. 포화지방 함량이 높은 지방원은 LDL-C와 ApoB가 상승하는

[37] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendations 5.29-5.31.

[38] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., emphasis on nutrient-dense foods and overall food pattern.

[39] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., individualized meal plans based on calories, weight and metabolic goals.

사람에게 특히 주의가 필요하며, ADA도 포화지방이 많은 식품을 제한하도록 권고한다.[40]

13. 과일은 '종류와 양'을 정해서 사용한다

식물성 식사는 보통 과일을 적극 권장하지만, 엄격한 케톤단계에서는 과일의 당질도 전체 탄수화물 예산에 포함된다. 따라서 모든 과일을 금지할 필요도 없고, '자연식품이니 자유롭게 먹어도 된다'고 볼 수도 없다. 개인의 탄수화물 목표와 혈당반응을 기준으로 양을 정해야 한다.[41]

실전에서는 베리류처럼 상대적으로 당질이 낮고 섬유가 있는 과일을 소량 사용하는 방법이 있다. 반면 과일주스와 스무디는 씹는 과정이 줄고 빠르게 많은 양을 섭취하기 쉬워 혈당관리 측면에서 불리할 수 있다. ADA는 당뇨병과 당뇨 위험군에서 주스보다 물을 우선하도록 권고한다.[42]

과일을 넣었다면 그날의 다른 탄수화물 식품을 함께 조정한다. 식물성 케톤식은 '식품 한 개의 허용 여부'가 아니라 하루 전체 탄수화물과 실제 대사반응을 보는 식사다.[43]

14. 한국식 한 끼로 바꾸면 더 오래 지속된다

식물성 케톤식이 지속되려면 익숙한 조리법 안에서 구현되어야 한다. 두부구이와 버섯볶음, 배추·미역·잎채소, 들깨와 견과, 소량의 에다마메를 조합하면 한국식 상차림에서도 기본 구조를 만들 수 있다. 식사의 문화적 적합성과 개인 선호는 장기 순응도에 중요한 요소이므로, 낯선 서양식 메뉴만 반복할 필요는 없다.[44]

문제는 양념이다. 고추장, 조림장, 시판 드레싱, 양념된 김치나 장아찌는 제품과 레시피에 따라 당류와 나트륨이 크게 달라진다. '두부'나 '채소'라는 주재료만 보고 판단하지 말고 양념까지 포함해 총탄

[40] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendation 5.31 to limit foods high in saturated fat.

[41] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., individualized carbohydrate intake and whole-food quality.

[42] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendation 5.25 and Table 5.2: choose water over sugar-sweetened beverages and juices.

[43] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., individualized glycemic response and carbohydrate monitoring.

[44] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., nutrition plans should account for cultural preferences, access, health literacy and sustainability.

수화물과 나트륨을 봐야 한다.[45]

김치와 장류를 완전히 배제할 필요는 없지만, 당류가 첨가된 제품은 양을 줄이고 짠 반찬이 여러 개 겹치지 않게 구성하는 편이 좋다. ADA 2026은 임상적으로 적절한 경우 나트륨을 하루 2,300 mg 미만으로 제한하도록 권고한다.[46]

표 16-4. 식품을 세 단계로 나누는 실전 기준

단계	주로 포함할 식품	이유	사용법
기본층	비전분 채소, 두부, 버섯	낮은 탄수화물 밀도, 부피·단백질 확보	매 끼니 중심
조절층	템페, 에다마메, 견과, 씨앗, 아보카도, 올리브	단백질·지방·섬유 보완	양을 정해 사용
반응층	일반 콩류, 과일, 당질이 있는 발효·양념 식품	개인별 탄수화물 허용범위 차이	혈당·케톤 반응을 보고 조절
제한층	설탕음료, 주스, 정제곡물, 전분가공식품, 당류 많은 소스	탄수화물 밀도 높고 과식하기 쉬움	가능한 한 최소화

출처: ADA (2026), USDA FoodData Central, 본서 식물성 케톤식 실전설계 원칙.

15. 영양표시는 '총탄수화물-식이섬유-단백질-포화지방-나트륨' 순으로 본다

포장식품을 사용할 때 가장 먼저 볼 것은 1회 제공량이다. 그다음 총탄수화물과 식이섬유를 보고, 단백질과 총지방·포화지방, 나트륨을 확인한다. , , 이라는 앞면 문구보다 실제 영양표가 우선한다.[47]

특히 net carbs 표시는 주의해야 한다. ADA는 이 용어가 법적 정의가 없고 FDA가 공식적으로 사용하지 않는다고 설명한다. 당알코올이나 특정 섬유는 일부 흡수될 수 있으므로, 포장지의 순탄수화물 숫자만으로 인슐린이나 약물 용량을 조정해서는 안 된다.[48]

제품을 처음 먹을 때는 정해진 양을 먹고 식후혈당을 확인하는 편이 안전하다. 케톤유지가 중요한 사람은 혈중 BHB도 함께 볼 수 있

[45] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., minimizing added sugars and sodium from processed foods.

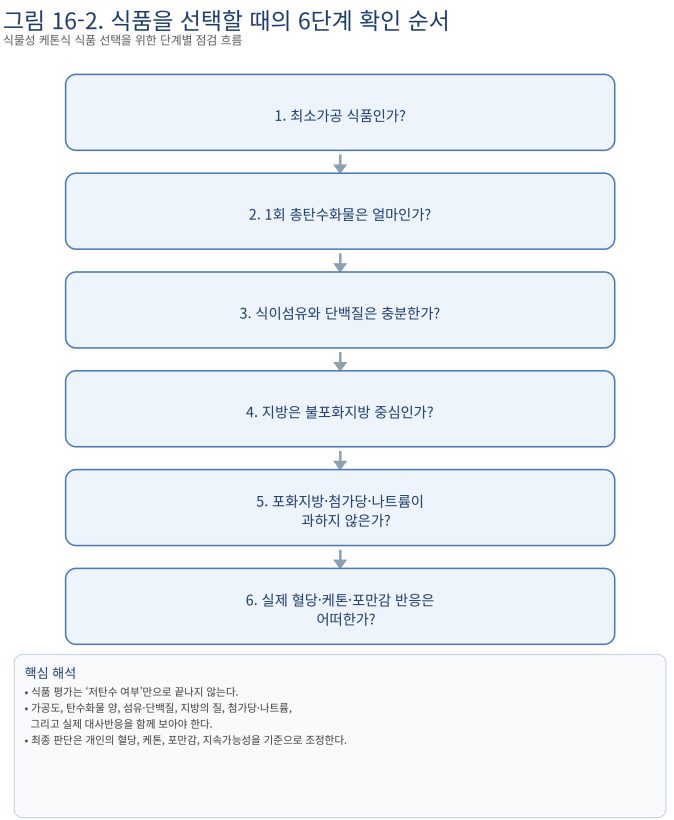
[46] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendation 5.20: sodium <2,300 mg/day as clinically appropriate.

[47] U.S. Food and Drug Administration. 21 CFR 101.9, Nutrition Facts labeling; American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026).

[48] American Diabetes Association. Get to Know Carbs. Net carbs is not legally defined; total carbohydrate and individual glucose response should guide counting.

다. 라벨은 예측도구이고, 개인의 실제 반응이 최종판정이다.[49]

그림 16-2. 식품을 선택할 때의 6단계 확인 순서



출처: 해당 장의 본문 근거와 연구 검토 내용을 바탕으로 구성.

1. 최소가공 식품인가?

↓

2. 1회 총탄수화물은 얼마인가?

↓

3. 식이섬유와 단백질은 충분한가?

↓

4. 지방은 불포화지방 중심인가?

[49] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., individualized glucose monitoring and ketone-risk guidance.

↓

5. 포화지방·첨가당·나트륨이 과하지 않은가?

↓

6. 실제 혈당·케톤·포만감 반응은 어떠한가?

출처: ADA (2026)의 영양치료 권고와 본서의 개인화 모니터링 원칙을 바탕으로 구성.

16. ‘정답 식품목록’보다 반복 가능한 식사구조가 중요하다

식물성 케톤식의 핵심 식품은 특별하지 않다. 잎채소와 십자화과, 버섯과 해조류, 두부와 템페, 에다마메, 견과와 씨앗, 아보카도와 올리브처럼 흔한 식품을 탄수화물 범위 안에서 조합하는 것이 기본이다. 특별한 가공 케토제품이 없어도 식사구조는 만들 수 있다.[50]

좋은 식사는 한 번의 완벽한 메뉴보다 반복 가능해야 한다. 장보기와 조리가 지나치게 복잡하면 장기적으로 유지하기 어렵다. 몇 가지 기본 채소와 단백질, 지방원을 정해 반복하고 계절에 따라 재료를 바꾸는 방식이 현실적이다.[51]

다음 장에서는 이 식품들을 어떤 지방원으로 연결할 것인지 더 깊게 다룬다. 같은 케톤상태라도 포화지방이 많은 식사와 불포화지방이 많은 식사는 지질반응이 다를 수 있다. 따라서 제17장의 질문은 단순히 ‘지방을 얼마나 먹을까’가 아니라 **‘어떤 지방을 선택할 것인가’**이다.[52]

[50] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., emphasis on nonstarchy vegetables, plant proteins, nuts, seeds and minimally processed foods.

[51] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., practical tools, personal preferences and sustainable eating patterns.

[52] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendation 5.31; Chapter 12 of this book on lipid response and saturated fat.

제17장. 지방 선택 - 얼마나 먹느냐보다 어떤 지방인가

식물성 케톤식에서 지방은 단순한 열량원이 아니다. 탄수화물 섭취가 줄어들수록 지방이 차지하는 비중은 자연스럽게 커질 수 있고, 그만큼 **지방의 질**이 혈중지질과 대사반응에 미치는 영향도 커진다. 따라서 "지방을 얼마나 먹을 것인가"보다 먼저 물어야 할 질문은 "어떤 지방으로 식사를 채울 것인가"이다.[1]

ADA 2026은 당뇨병 환자에게 이상적인 지방 비율 하나를 제시하지 않는다. 전체 지방의 비율은 개인의 식사패턴과 대사목표에 맞춰 조정하되, 총량보다 지방의 종류가 더 중요하다고 설명한다. 특히 포화지방이 많은 식품은 줄이고, 식물성 기름·견과·씨앗 등 불포화지방이 풍부한 식품으로 대체하는 방향을 권고한다.[2]

1. 지방은 하나의 영양소가 아니다

우리가 일상에서 "지방"이라고 부르는 것은 여러 종류의 지방산과 중성지방, 인지질 등이 섞인 큰 범주다. 그중 식사에서 가장 많이 논의되는 것은 포화지방산(SFA), 단일불포화지방산(MUFA), 다중불포화지방산(PUFA)이다. 이들은 화학구조가 다르고, 세포막과 지질대사에 미치는 영향도 같지 않다.[3]

포화지방산은 탄소사슬에 이중결합이 없고, MUFA는 이중결합이 하나 있다. PUFA는 둘 이상의 이중결합을 가진다. 구조가 달라지면 녹는점과 산화안정성, 막 유동성, 대사경로가 달라진다. 따라서 "지방 30 g"이라는 숫자만으로는 식사의 질을 판단할 수 없다.[4]

식물성 케톤식에서 이 구분은 특히 중요하다. 탄수화물을 줄인 자리를 코코넛오일과 팜유처럼 포화지방이 많은 식품으로 채우는 경우와, 올리브유·아보카도·견과·씨앗처럼 불포화지방이 많은 식품으로 채우는 경우는 같은 케톤식이라도 지질반응이 달라질 수 있다.[5]

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care, 49*(Suppl. 1), S89-S131.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., Recommendations 5.29-5.31 and section "Fats."

[3] National Academies / standard lipid biochemistry classification of saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids; ADA (2026), section "Fats."

[4] Standard fatty-acid chemistry: saturation describes the number of carbon-carbon double bonds; membrane and physical properties vary with chain length and unsaturation.

[5] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.,

표 17-1. 주요 지방산의 특징과 식물성 공급원

구분	구조적 특징	대표 지방산	주요 식물성 공급원	식물성 케톤식에서의 위치
포화지방(SFA)	이중결합 없음	팔미트산, 라우르산	코코넛, 팜유, 일부 가공식품	총량과 LDL/ApoB 반응을 보며 제한
단일불포화지방(MUFA)	이중결합 1개	올레산	올리브유, 아보카도, 아몬드, 마카다미아	기본 지방원으로 활용하기 쉬움
다중불포화지방(PUFA)	이중결합 2개 이상	리놀레산, ALA	호두, 씨앗, 대두, 카놀라, 아마·치아	필수지방산과 대체효과를 고려해 충분히 포함
트랜스지방	trans 배열의 이중결합	산업형 trans 지방산	부분경화유, 일부 가공식품	가능한 한 피함

출처: ADA (2026), NIH Office of Dietary Supplements, 일반 지방산 생화학 분류를 바탕으로 구성.

2. 중요한 것은 '추가'보다 '대체'다

영양연구에서 지방의 효과를 읽을 때 가장 흔한 오류는 어떤 영양소를 더했는지만 보는 것이다. 에너지 섭취가 일정하다면 지방을 늘릴 때는 다른 무언가가 줄어든다. 포화지방을 줄였을 때 그 자리를 정제 탄수화물이 채우는지, MUFA나 PUFA가 채우는지에 따라 결과가 달라질 수 있다.[6]

Imamura 등은 102개의 무작위 급식시험을 묶어 탄수화물, SFA, MUFA, PUFA의 등열량 치환효과를 분석했다. 탄수화물 에너지 5%를 MUFA로 바꾸면 HbA1c가 평균 0.09%포인트 낮아졌고, PUFA로 바꾸면 0.11%포인트 낮아졌다. SFA를 PUFA로 치환했을 때는 공복혈당·HbA1c·HOMA-IR 등 여러 지표가 유리한 방향으로 움직였다.[7]

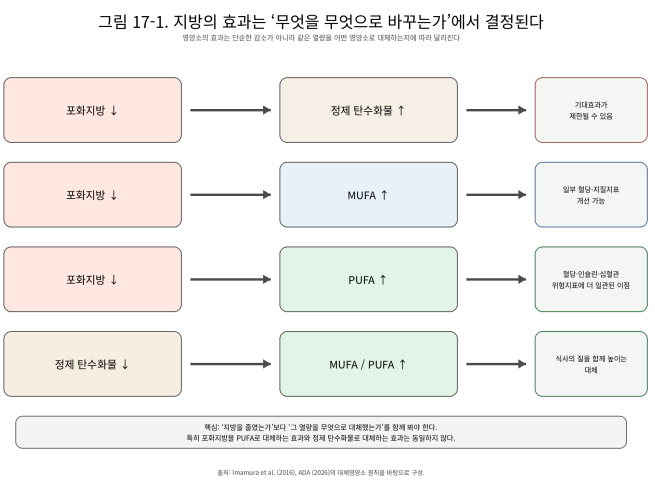
Table 5.2: use avocado, canola, and olive oils in place of fats high in saturated fat such as butter, coconut oil, lard, and shortening.

[6] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.; dietary-fat effects depend on the replacement nutrient.

[7] Imamura, F., Micha, R., Wu, J. H. Y., et al. (2016). Effects of saturated fat, polyunsaturated fat, monounsaturated fat, and carbohydrate on glucose-insulin homeostasis: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled feeding

이 결과는 “지방이면 모두 같다”는 생각과 맞지 않는다. 탄수화물을 줄인다는 사실만으로 대사적으로 좋은 식사가 되는 것이 아니며, 줄인 자리를 무엇으로 채우는지가 중요하다. 식물성 케톤식에서 불포화지방을 기본축으로 두는 이유가 여기에 있다.[8]

그림 17-1. 지방의 효과는 ‘무엇을 무엇으로 바꾸는가’에서 결정된다



제17장의 지방 치환·지방산 구성·식물성 지방 선택 원칙을 바탕으로 구성.

포화지방 ↓ → **정제 탄수화물** ↑ : 기대효과가 제한될 수 있음

포화지방 ↓ → **MUFA** ↑ : 일부 혈당·지질지표 개선 가능

포화지방 ↓ → **PUFA** ↑ : 혈당·인슐린·심혈관 위험지표에 더 일관된 이점

정제 탄수화물 ↓ → **MUFA/PUFA** ↑ : 식사 질을 함께 높이는 대체

출처: Imamura et al. (2016), ADA (2026)의 대체영양소 원칙을 바탕으로 구성.

trials. *PLoS Medicine, 13*(7), e1002087. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002087

[8] Imamura et al. (2016). Ibid.; ADA (2026), section “Fats.”

표 17-2. 등열량 지방 치환과 혈당·인슐린 지표

치환(총에너지의 5%)	주요 관찰결과	해석
탄수화물 → MUFA	HbA1c 약 -0.09%p, HOMA-IR 개선	탄수화물의 종류와 함께 해석 필요
탄수화물 → PUFA	HbA1c 약 -0.11%p, 공복인슐린 감소	PUFA의 대사효과가 비교적 일관됨
SFA → PUFA	공복혈당·HbA1c·HOMA 계열 개선	포화지방을 불포화지방으로 바꾸는 중요성
탄수화물 → SFA	공복혈당에 유의한 개선 없음	단순 저탄수·고포화지방이 자동으로 유리한 것은 아님

출처: Imamura F, et al. *PLoS Medicine*. 2016;13:e1002087.

3. MUFA는 식물성 케톤식의 기본 지방이 되기 쉽다

단일불포화지방산의 대표는 올레산이다. 올리브와 아보카도, 아몬드, 마카다미아 등에 많이 들어 있다. MUFA가 많은 식품은 탄수화물 부담이 낮으면서 포화지방 비중이 상대적으로 낮아, 식물성 케톤식의 기본 지방원을 구성하기 좋다.[9]

무작위 급식시험 메타분석에서 MUFA로 탄수화물이나 SFA를 일부 대체했을 때 HbA1c와 HOMA-IR이 개선되는 결과가 관찰됐다. 다만 MUFA 하나만의 약리효과로 해석해서는 안 된다. 실제 식사에서는 MUFA가 어떤 식품형태로 들어오는지, 총에너지와 체중이 어떻게 변하는지가 함께 작용한다.[10]

따라서 올리브유를 많이 마시는 식의 접근은 이 책의 방향과 다르다. 올리브유는 채소와 두부를 조리하고 샐러드의 지방을 보충하는 도구로 사용한다. 반면 아보카도와 아몬드는 지방과 함께 식이섬유, 미네랄, 단백질을 제공하므로 전식품의 장점이 더 크다.[11]

[9] USDA FoodData Central fatty-acid profiles for olive oil, avocado, almonds, and macadamia nuts.

[10] Imamura et al. (2016). In isocaloric exchanges, MUFA replacing carbohydrate lowered HbA1c and HOMA-IR in pooled feeding trials.

[11] USDA FoodData Central food composition records; whole avocado and nuts provide fiber, protein, minerals, and unsaturated fat unlike extracted oils.

4. 올리브유는 '주된 조리유'가 될 수 있지만 무제한은 아니다

ADA 2026은 포화지방이 많은 버터·코코넛오일·라드·쇼트닝 대신 올리브유, 카놀라유, 아보카도유 같은 식물성 기름을 사용하도록 예시를 제시한다. 이는 지방을 줄이라는 메시지보다 **지방의 공급원을 바꾸라**는 메시지에 가깝다.[12]

올리브유는 대부분의 지방이 MUFA로 구성되어 있고, 탄수화물이 거의 없다. 식물성 케톤식에서 채소를 볶거나 드레싱을 만들 때 쓰기 쉽다. 그러나 기름은 1 g당 약 9 kcal를 제공하는 고에너지 식품이며, 식이섬유와 단백질을 거의 공급하지 않는다. 체중감량이 목표라면 사용량을 계량하는 편이 좋다.[13]

엑스트라버진 올리브유에는 정제유보다 폴리페놀 등 미량성분이 더 남아 있을 수 있지만, 이것이 기름을 많이 사용할 이유가 되지는 않는다. 전체 식사의 채소, 견과, 씨앗, 콩 단백질과 함께 사용할 때 의미가 있다.[14]

5. 아보카도는 지방과 섬유를 함께 준다

아보카도는 기름과 달리 지방을 전식품 형태로 공급한다. USDA 기반 자료에서 아보카도 100 g은 총지방 약 14.7 g, MUFA 약 9.8 g, 식이섬유 6.7 g을 제공한다. 포화지방은 약 2.1 g으로 상대적으로 낮다.[15]

이 조합은 식물성 케톤식에서 유용하다. 지방을 늘리면서 동시에 식이섬유와 칼륨을 공급할 수 있기 때문이다. 샐러드나 두부요리에 아보카도를 더하면 별도의 많은 기름 없이도 에너지와 포만감을 높일 수 있다.[16]

다만 아보카도 역시 에너지 밀도가 낮은 식품은 아니다. 체중감량이 느려지거나 총에너지 섭취가 과해지는 사람은 1회량을 조절해야

[12] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Table 5.2 and Recommendation 5.31.

[13] U.S. Department of Agriculture. FoodData Central. Oils provide approximately 9 kcal/g of fat and essentially no dietary fiber or protein.

[14] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Mediterranean-style dietary pattern discussion; emphasis remains on the whole eating pattern.

[15] USDA FoodData Central. Avocados, raw, all commercial varieties: total fat 14.66 g, MUFA 9.799 g, saturated fat 2.126 g, fiber 6.7 g per 100 g.

[16] USDA FoodData Central. Avocado nutrient profile; ADA (2026) recommends nutrient-dense minimally processed foods and unsaturated fat sources.

한다. “불포화지방이 많다”는 사실과 “무제한으로 먹어도 된다”는 판단은 별개다.[17]

6. PUFA는 필수지방산을 공급하면서 대사에 영향을 준다

PUFA에는 오메가-6와 오메가-3 계열이 포함된다. 식물성 식품에서 흔한 오메가-6는 리놀레산(LA), 오메가-3는 알파리놀렌산(ALA)이다. 두 지방산은 인체가 충분히 합성할 수 없어 음식으로 섭취해야 하는 필수지방산이다.[18]

PUFA는 단순히 ‘좋은 지방’이라는 이름으로 뭉뚱그려서는 안 된다. 어느 계열인지, 어떤 식품에서 오는지, 무엇을 대신하는지가 중요하다. 그럼에도 무작위 급식시험에서는 SFA나 탄수화물 일부를 PUFA로 바꿨을 때 혈당과 인슐린 대사의 여러 지표가 유리하게 움직인다는 비교적 일관된 결과가 있다.[19]

식물성 케톤식에서는 호두, 아마씨, 치아씨, 들깨, 대두식품처럼 지방과 다른 영양소를 함께 제공하는 식품을 우선할 수 있다. 필요에 따라 카놀라유나 대두유 같은 기름도 사용하지만, 전식품이 식사의 중심이라는 원칙은 유지한다.[20]

7. 오메가-6는 무조건 ‘염증성 지방’이 아니다

오메가-6 지방산은 때때로 염증을 일으키는 지방으로 단순화된다. 그러나 사람을 대상으로 리놀레산 섭취를 증가시킨 무작위시험들을 모은 메타분석에서는 TNF-α, IL-6, CRP 등 대부분의 염증표지자가 유의하게 증가하지 않았다.[21]

2017년 메타분석은 30개의 무작위시험, 1,377명을 분석했으며 리놀레산 섭취 증가가 주요 사이토카인이나 CRP에 일관된 악영향을 주지 않았다고 보고했다. 따라서 “오메가-6는 염증을 일으키므로

[17] USDA FoodData Central. Avocado energy density is approximately 160 kcal per 100 g; portion should be individualized to energy and weight goals.

[18] National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. Omega-3 Fatty Acids Fact Sheet for Health Professionals. ALA and linoleic acid are essential fatty acids.

[19] Imamura et al. (2016). PUFA substitution showed the most consistent favorable effects on several glucose-insulin metrics.

[20] NIH ODS Omega-3 Fact Sheet; USDA FoodData Central nutrient profiles for walnuts, flax, chia, soy, and canola.

[21] Su, H., Liu, R., Chang, M., Huang, J., & Wang, X. (2017). Dietary linoleic acid intake and blood inflammatory markers: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Food & Function, 8*, 3091-3103. https://doi.org/10.1039/C7FO00433H

가능한 한 제거해야 한다"는 주장은 사람의 임상근거보다 지나치게 단순하다.[22]

물론 초가공식품과 튀김식품을 많이 먹는 식사에서 오메가-6 섭취가 높을 수는 있다. 그러나 문제를 리놀레산 한 성분으로만 돌리면 정제전분, 총에너지 과잉, 트랜스지방, 나트륨 같은 다른 요소를 놓치게 된다. 식물성 케톤식에서는 씨앗·견과·대두 같은 최소가공 공급원을 우선한다.[23]

8. 오메가-3의 출발점은 ALA다

식물성 식사에서 오메가-3의 기본 지방산은 ALA다. NIH Office of Dietary Supplements에 따르면 ALA는 아마씨와 아마씨유, 치아씨, 호두, 카놀라유, 대두유 등에 들어 있다. ALA는 필수지방산이므로 식사에서 꾸준히 확보해야 한다.[24]

NIH 자료에서 아마씨유 1큰술은 ALA 약 7.26 g, 치아씨 1온스는 5.06 g, 호두 1온스는 2.57 g, 아마씨 1큰술은 2.35 g 정도를 제공한다. 실제 식사에서는 기름만 늘리기보다 치아씨·아마씨·호두처럼 식이섬유와 단백질을 함께 주는 식품을 우선하기 쉽다.[25]

아마씨는 통째로 먹으면 소화되지 않고 배출되는 비율이 높을 수 있어 갈아서 사용하는 방식이 실용적이다. 치아씨는 수분을 많이 흡수하므로 충분한 물과 함께 먹는 편이 좋다. 식품형태와 조리법도 지방산 섭취의 일부다.[26]

[22] Su et al. (2017). Thirty RCTs with 1,377 participants found no significant pooled increase in TNF-α, IL-6, adiponectin, MCP-1, or CRP with higher dietary linoleic acid intake.

[23] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid., emphasis on minimally processed foods and limiting refined/ultraprocessed foods.

[24] National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. Omega-3 Fatty Acids Fact Sheet for Health Professionals.

[25] NIH ODS Omega-3 Fact Sheet, Table of selected food sources: flaxseed oil 7.26 g ALA/tbsp; chia 5.06 g/oz; walnuts 2.57 g/oz; flaxseed 2.35 g/tbsp; canola oil 1.28 g/tbsp; soybean oil 0.92 g/tbsp.

[26] General food-preparation principle; ground flax improves practical access to the seed contents, and chia forms a water-absorbing gel due to its fiber content.

표 17-3. 대표 식물성 오메가-3 공급원의 ALA

식품	기준량	ALA(g)	활용 예
아마씨유	1큰술	7.26	가열보다 드레싱·완성 후 첨가
치아씨	1온스(약 28 g)	5.06	두유·샐러드·푸딩
호두	1온스(약 28 g)	2.57	간식·샐러드·채소 요리
아마씨, 통씨	1큰술	2.35	분쇄 후 소량 사용
카놀라유	1큰술	1.28	볶음·조리용
대두유	1큰술	0.92	조리용, 전체 기름량과 함께 계산

출처: NIH Office of Dietary Supplements, Omega-3 Fatty Acids Fact Sheet for Health Professionals.

9. ALA가 EPA와 DHA로 바뀌는 양은 제한적이다

ALA는 체내에서 EPA와 DHA로 전환될 수 있지만 효율이 높지 않다. NIH는 ALA에서 EPA, DHA로의 전환이 제한적이며 보고된 전환율이 15% 미만이라고 설명한다. 특히 DHA로의 전환은 더 낮은 것으로 알려져 있다.[27]

따라서 ALA를 충분히 먹는 것과 EPA·DHA 상태를 동일하게 보는 것은 맞지 않는다. 완전 식물성 식사를 유지하면서 EPA·DHA를 직접 확보하려면 미세조류에서 유래한 조류유(algal oil)이 하나의 선택지가 될 수 있다. EPA와 DHA는 원래 해양 미세조류에서 합성되며, 물고기는 먹이사슬을 통해 이를 축적한다.[28]

다만 당뇨병에서 오메가-3 보충제가 혈당을 치료하는 수단이라고 볼 근거는 충분하지 않다. ADA 2026은 n-3 보충제가 일반적으로 당뇨의 혈당조절을 개선한다는 결론을 지지하지 않으며, 심혈관 예방 목적의 보충도 임상상황에 따라 다르게 판단한다.[29]

[27] NIH ODS Omega-3 Fact Sheet: ALA conversion to EPA and DHA is limited, with reported conversion rates below 15%.

[28] NIH ODS Omega-3 Fact Sheet: EPA and DHA originate in microalgae at the base of the marine food chain; algal oil is a direct non-fish source.

[29] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Section “Fats”: n-3 supplements have not consistently improved glycemic management; cardiovascular supplement recommendations depend on clinical context.

10. 오메가-6:오메가-3 비율만 좇지 않는다

오메가-6와 오메가-3의 '이상적 비율'을 하나의 숫자로 정하려는 시도가 많다. 그러나 실제 임상에서는 비율 자체보다 각 필수지방산을 충분히 확보하고, 포화지방과 초가공식품을 줄이며, 전체 식사의 질을 높이는 것이 더 직접적인 목표다.[30]

비율은 분자와 분모에 따라 달라진다. 오메가-3를 충분히 먹어도 오메가-6가 많으면 비율이 커질 수 있고, 두 지방산이 모두 부족해도 비율만 그럴듯하게 보일 수 있다. 따라서 비율 하나가 지방의 질을 완전히 대변하지 못한다.[31]

식물성 케톤식에서는 호두·아마씨·치아씨·들깨처럼 ALA가 풍부한 식품을 규칙적으로 포함하고, 견과와 씨앗의 종류를 다양하게 구성하는 편이 실용적이다. 특정 비율을 맞추기 위해 한 식품을 지나치게 많이 먹는 방식은 피한다.[32]

11. 포화지방은 '식물성'이라는 이유로 예외가 되지 않는다

코코넛과 팜유는 식물에서 얻지만 포화지방 비중이 높다. 따라서 식물성이라는 분류만으로 불포화지방과 같은 위치에 놓을 수 없다. ADA 2026은 당뇨병 환자에게 포화지방이 많은 식품을 제한하도록 권고하며, 예시에서 버터와 함께 코코넛오일도 언급한다.[33]

식물성 케톤식에서 코코넛오일을 완전히 금지할 필요는 없지만, 주된 지방원이 되는 것은 피하는 편이 합리적이다. LDL-C나 ApoB가 상승하는 사람에서는 더 주의해야 한다. 케톤수치가 잘 나온다는 이유로 지질위험을 무시해서는 안 된다.[34]

포화지방을 줄였다면 그 자리를 정제탄수화물이 아니라 불포화지방이 많은 식품으로 바꾸는 것이 핵심이다. 이 대체원칙은 식물성 케톤식이 일반적인 고포화지방 케톤식과 구별되는 중요한 지점이다.[35]

[30] NIH ODS Omega-3 Fact Sheet; current major guidelines focus on adequacy and food sources rather than prescribing one universal n-6:n-3 ratio.

[31] Conceptual limitation of ratios: identical ratios can arise from very different absolute intakes of both fatty-acid families.

[32] NIH ODS Omega-3 food-source guidance; food-based approach used in this book.

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Recommendation 5.31 and Table 5.2 explicitly include coconut oil among fats high in saturated fat to replace with unsaturated vegetable oils.

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.; Chapter 12 of this book discusses heterogeneity of LDL-C/ApoB response to ketogenic diets.

[35] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Section

12. 트랜스지방은 가능한 한 피한다

산업형 트랜스지방은 LDL-C를 높이고 HDL-C에 불리한 영향을 줄 수 있어 심혈관 위험과 관련된다. ADA 2026은 당뇨병 환자도 일반 인구와 마찬가지로 트랜스지방을 피하도록 권고한다.[36]

식물성이라는 표시가 트랜스지방이 없다는 뜻은 아니다. 일부 제과·제빵, 튀김, 가공식품에서는 지방의 종류를 따로 확인해야 한다. 원재료에 부분경화유가 있는지, 영양표에 트랜스지방이 표시되는지를 함께 본다.[37]

가정에서 주로 최소가공 식품과 식물성 기름을 사용하면 산업형 트랜스지방 노출을 크게 줄일 수 있다. 문제는 '케토'라는 이름으로 판매되는 초가공 간식이 식사의 중심이 될 때 다시 생긴다.[38]

13. 견과와 씨앗은 기름보다 더 많은 것을 제공한다

견과와 씨앗은 지방뿐 아니라 단백질, 식이섬유, 마그네슘, 비타민 E와 여러 식물성 화합물을 함께 제공한다. 아몬드 100 g에는 총지방 약 49.9 g 중 MUFA가 약 31.6 g, PUFA가 약 12.3 g 들어 있고 식이섬유도 12.5 g 정도다.[39]

호두는 ALA의 좋은 공급원이며, 치아씨와 아마씨는 ALA와 식이섬유를 동시에 제공한다. 참깨와 들깨는 한국식 조리에 익숙하게 사용할 수 있어 순응도를 높이는 데 도움이 된다. 같은 지방량이라도 전식품을 통해 먹으면 씹는 과정과 부피가 있어 기름보다 섭취속도가 느리다.[40]

다만 견과류는 에너지 밀도가 높다. 체중감량이 목표인데 하루 여러 번 한 줌씩 먹으면 총에너지가 쉽게 늘어난다. 기본 1회량을 정하고, 기름·아보카도·견과·씨앗을 한 끼에서 모두 많이 겹치지 않도록 한다.[41]

"Fats": saturated fats should be replaced with unsaturated fats rather than refined carbohydrates.

[36] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). People with diabetes should follow general-population guidance for saturated fat, cholesterol, and trans fat; trans fats should be avoided.

[37] U.S. FDA Nutrition Facts and ingredient-labeling principles for trans fat and partially hydrogenated oils.

[38] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Recommendations to minimize ultraprocessed foods and trans fat.

[39] USDA FoodData Central. Nuts, almonds: total fat 49.93 g, MUFA 31.551 g, PUFA 12.329 g, fiber 12.5 g per 100 g.

[40] NIH ODS Omega-3 Fact Sheet; USDA FoodData Central nutrient profiles for walnuts, chia, flax, sesame, and perilla-related seed products where available.

[41] USDA FoodData Central. Nuts and seeds are energy-dense foods; portion size

14. 가열은 지방의 종류와 조리시간을 함께 본다

불포화지방은 이중결합이 있어 포화지방보다 산화에 민감할 수 있다. 그렇다고 모든 불포화지방을 가열하면 안 된다는 뜻은 아니다. 실제 조리에서는 기름의 지방산 구성, 정제 정도, 온도, 가열시간, 반복사용 여부가 함께 작용한다.[42]

가정 조리에서는 올리브유·카놀라유·아보카도유 등을 볶음과 구이에 사용할 수 있고, 아마씨유처럼 ALA가 매우 많은 기름은 가열보다 드레싱이나 완성 후 첨가에 쓰는 편이 실용적이다. 어떤 기름이든 연기가 날 정도로 과열하거나 반복해서 재사용하는 것은 피한다.[43]

견과와 씨앗도 강한 고온에서 오래 가열하기보다 적당히 볶거나 생으로 사용하는 방법을 섞는다. 지방을 건강하게 먹는다는 것은 특정 오일 하나를 선택하는 것보다 조리 전체를 관리하는 일이다.[44]

15. 식물성 케톤식의 지방은 이렇게 배치한다

실제 한 끼에서는 먼저 채소와 단백질을 정한 뒤 지방을 더하는 편이 좋다. 예를 들어 두부와 브로콜리를 기본으로 하고, 올리브유 소량과 아몬드 또는 참깨를 더한다. 다른 끼니에는 아보카도나 호두, 들깨를 선택한다. 모든 지방원을 한 끼에 몰아넣을 이유는 없다.[45]

지방의 기본 우선순위는 전식품 불포화지방, 조리용 불포화 식물성 기름, ALA 공급원, 제한적으로 사용하는 포화지방 순으로 잡을 수 있다. 다만 목표체중, 활동량, 혈중지질, 위장관 적응, 포만감에 따라 양은 달라진다.[46]

should be matched to weight and energy goals.

[42] Standard lipid-oxidation chemistry: degree of unsaturation, temperature, oxygen exposure, and heating duration affect oxidation stability.

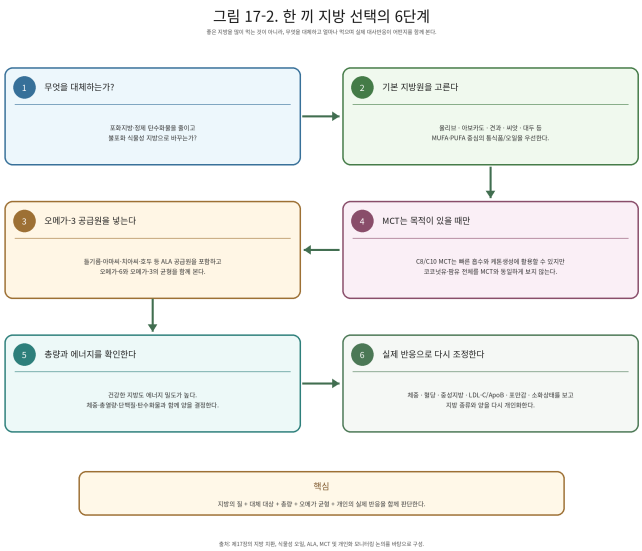
[43] Culinary guidance consistent with fatty-acid composition: high-ALA flaxseed oil is generally used without high heat; ADA (2026) lists olive, avocado, and canola oils as cooking replacements for saturated fats.

[44] General food-safety and culinary principle: repeated high-temperature oil use increases oxidation products; avoid overheating and repeated reuse.

[45] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Individualized meal-planning principles.

[46] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Section “Fats”: no single ideal fat percentage; emphasize fat quality and individualization.

그림 17-2. 한 끼 지방 선택의 6단계



출처: 제17장의 지방 치환, 식물성 오일, ALA, MCT 및 개인화 모니터링 논의를 바탕으로 구성.

표 17-4. 식물성 케톤식에서 지방원을 선택하는 우선순위

우선도	지방원	주된 장점	실전 원칙
1	아보카도, 견과, 씨앗, 올리브	불포화지방 + 섬유·미량영양소	매일 식사에 소량 분산
2	올리브유, 카놀라유, 아보카도유	조리와 드레싱에 편리	필요한 만큼 계량
3	아마씨, 치아씨, 호두, 들깨	ALA 공급	매일 또는 자주 포함
4	조류유 EPA/DHA	완전 식물성 직접 EPA/DHA 공급 가능	필요성과 용량은 개별 평가
제한	코코넛오일, 팜유	케톤식에 쓰기 쉬우나 포화지방 높음	주지방원으로 사용하지 않음
회피	부분경화유·트랜스지방 많은 가공식품	대사·심혈관 이점 없음	가능한 한 배제

출처: ADA (2026), NIH ODS Omega-3 Fact Sheet, USDA FoodData Central, 본서 실전원칙.

<!– CH17_MCT_OILS_V01 –>

중쇄지방산의 흡수·대사 특성과 인체생리적 이점

중쇄지방산(medium-chain fatty acids, MCFA)은 장쇄지방산과 소화·흡수·운반 방식부터 다르다. 특히 C8:0(caprylic acid)과 C10:0(capric acid)은 소장에서 흡수된 뒤 대부분 장 모세혈관으로 들어가 알부민과 결합하고 간문맥을 통해 간으로 빠르게 이동한다.

반면 대부분의 장쇄지방산은 장세포 안에서 다시 중성지방으로 합성되고 ApoB48과 함께 킬로미크론을 형성한다. 이후 소장 유미관 → 림프계 → 흉관(thoracic duct) → 정맥혈 → 말초순환의 경로를 거친다.

따라서 C8·C10 MCT는 장쇄지방에 비해 킬로미크론 형성과 림프 운반에 대한 의존성이 낮다.[47] 여기서 '흉선'이 아니라 **흉관(thoracic duct)**을 거친다는 점을 구별해야 한다.

1. 간으로 빠르게 전달되어 산화된다

C8·C10은 간에 빠르게 도달해 β-산화의 기질로 이용된다. 장쇄지방산보다 미토콘드리아 산화과정으로 신속하게 연결될 수 있어 즉각적인 에너지 공급에 유리한 대사적 특성을 가진다.

이 때문에 MCT를 "인체에 가장 부담이 적은 지방"이라고 단정하기보다는 **소화·흡수와 림프 운반 과정이 상대적으로 단순하고 간에 빠르게 전달되는 지방**이라고 표현하는 것이 정확하다.

2. 케톤체 생성을 촉진한다

중쇄지방산의 빠른 간 유입과 β-산화는 acetyl-CoA 생성을 증가시키며, 대사환경이 적절할 경우 acetoacetate와 β-hydroxybutyrate(BHB) 생성으로 연결된다.

특히 C8은 C10이나 C12보다 혈중 BHB 상승 효과가 강하게 관찰되는 경향이 있다. 따라서 C8·C10 MCT는 식물성 케톤식에서 케톤 생성을 보조할 수 있는 기능성 지방으로 활용할 수 있다.

[47] Watanabe S, Tsujino S. Applications of Medium-Chain Triglycerides in Foods. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:802805. doi:10.3389/fnut.2022.802805.

3. 담즙·킬로미크론·림프계 의존성이 낮다

MCT는 장쇄지방에 비해 담즙산, 장내 미셀 형성, 재에스테르화, 킬로미크론 형성 및 림프계 수송 의존도가 낮다.

이러한 특성 때문에 임상영양에서는 지방 흡수장애나 특정 림프계 문제 등에서 MCT가 활용되어 왔다.

4. 에너지소비·포만감·체중조절에 영향을 줄 가능성이 있다

일부 임상연구에서는 장쇄지방을 MCT로 일부 대체했을 때 에너지 소비 증가, 뒤이은 식사량 감소 또는 체중·체지방 감소가 관찰되었다.

그러나 효과의 크기는 크지 않고 연구마다 차이가 있으므로 MCT를 독립적인 체중감량 수단으로 해석해서는 안 된다. 식사 전체의 에너지균형과 함께 평가해야 한다.

5. 뇌의 대체에너지원 공급 가능성

간에서 생성된 BHB는 혈액뇌장벽을 통과해 뇌에서 에너지원으로 사용될 수 있다. 이러한 특성 때문에 MCT는 경도인지장애와 알츠하이머병을 포함한 뇌에너지대사 연구에서도 연구되고 있다.

다만 일부 연구에서 인지기능 개선 신호가 보고됐더라도 모든 사람에서 임상적 효과가 확립된 치료법으로 해석해서는 안 된다.

6. 코코넛유와 C8·C10 MCT유는 같은 것이 아니다

일반 코코넛유 지방산의 약 91%는 포화지방이며 대표적인 지방산은 대략 다음과 같다.

- 라우르산 C12:0 약 46%
- 미리스트산 C14:0 약 18%
- 팔미트산 C16:0 약 9 10%
- 카프릴산 C8:0 약 7 8%
- 카프르산 C10:0 약 5 6%

따라서 코코넛유에는 중쇄지방산이 존재하지만 **C8·C10 정제 MCT유와 동일한 지방은 아니다.** 특히 가장 많은 C12 라우르산은 C8·C10과 흡수·운반 특성이 완전히 같지 않다.

일반 팜유(palm oil) 역시 MCT유가 아니다. 팜유는 팔미트산(C16:0)과 올레산(C18:1)이 주성분이다. 라우르산 계열이 많은 것은 팜유가 아니라 **팜핵유(palm kernel oil)**이다.

따라서 본서에서는 기본 지방원을 견과류·종실류·콩류·올리브·아보카도 등으로 구성하고, 빠른 케톤 생성이 필요한 경우 C8·C10 MCT를 별도의 보조 지방으로 평가한다.

출처: Jadhav et al. (2022); Spiazzi et al. (2023); Lin et al. (2021); Heidt et al. (2026); intestinal lipid absorption 관련 생리학 문헌.

식물성 오일의 지방산 조성과 오메가-6·오메가-3 균형

식물성 오일은 모두 같은 대사적 성격을 갖지 않는다. 오일을 비교할 때는 포화지방(SFA), 단일불포화지방(MUFA), 오메가-6 linoleic acid(LA), 오메가-3 alpha-linolenic acid(ALA)의 구성을 함께 보아야 한다.

다음 수치는 품종·산지·정제방법에 따라 변할 수 있으므로 대표적인 범위로 해석한다.[48][49][50]

[48] Codex Alimentarius Commission. *Standard for Named Vegetable Oils (CXS 210-1999).* Adopted 1999; revised and amended through 2024. FAO/WHO Codex Alimentarius.

[49] Codex Alimentarius Commission. *Standard for Olive Oils and Olive Pomace Oils (CXS 33-1981).* FAO/WHO Codex Alimentarius. Fatty-acid composition ranges for edible olive oils.

[50] Li M, Jiang N, Guo G, et al. Perilla Seed Oil: A Review of Health Effects, Encapsulation Strategies and Applications in Food. *Foods*. 2024;13(22):3615. doi:10.3390/foods13223615.

표 17-5. 주요 식물성 오일의 지방산 구성과 n-6:n-3 특성

오일	SFA	MUFA 중심	오메가-6 LA	오메가-3 ALA	대략적 n-6:n-3	주요 특징
코코넛 유	약 90 92%	약 6 7%	약 1 2%	거의 0	산출 의미 낮음	C12 약 46%, C8·C10 일부 함유. 순수 MCT 유와 다름
팜유	약 48 52%	약 36 42%	약 9 12%	약 0.2 0.4%	약 25 50:1	C16 과 oleic acid 중심. MCT 유가 아님
들기름	약 7 10%	약 10 20%	약 9.5 14.4%	약 54 64%	약 0.15 0.27:1	매우 강력한 식물성 ALA 공급원
참기름	약 13 16%	약 34 46%	약 37 48%	약 0.2 0.5%	약 80:1 이상	sesamin·sesamol 등 의 lignan 이 특징
콩기름	약 14 16%	약 19 24%	약 50 55%	약 7 10%	약 5 8:1	LA 가 많지만 ALA 도 의미 있게 공급
해바라기유(일반형)	약 9 12%	약 15 25%	약 60 70%	약 0 0.3%	200:1 이상 가능	고-LA·저-ALA. high-oleic 품종은 별도로 봐야 함

표 17-5. 주요 식물성 오일의 지방산 구성과 n-6:n-3 특성 (계속)

오일	SFA	MUFA 중심	오메가-6 LA	오메가-3 ALA	대략적 n-6:n-3	주요 특징
옥수수유	약 12 16%	약 20 30%	약 50 60%	약 0.5 1%	약 50 100:1	LA가 높고 ALA가 적음
카놀라유	약 6 8%	약 60 64%	약 19 22%	약 9 11%	약 2:1	MUFA가 높고 LA:ALA 균형이 비교적 우수
올리브유	약 12 16%	약 68 75%	약 7 12%	약 0.5 1%	약 8 20:1	oleic acid 중심. EVOO는 polyphenol 도 특징
현미유·미강유	약 18 24%	약 38 44%	약 27 41%	약 1 2%	약 15 30:1	γ-oryzanol·tocopherol·tocotrienol 등이 특징
포도씨유	약 10 13%	약 15 25%	약 66 75%	약 0 0.6%	100:1 이상 가능	고-LA·저-ALA 오일의 대표적 예

현대 식사의 오메가-6:오메가-3 불균형

진화적 식사에서는 n-6:n-3 비율이 약 1:1 또는 그에 가까웠을 가능성이 제시되어 왔다. 반면 현대 서구형 식사에서는 약 **15:1 16.7:1**까지 높아졌다는 보고가 있다.[51]

[51] Simopoulos AP. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2002;56(8):365-379. doi:10.1016/S0753-3322(02)00253-6.

본서에서는 식물성 케톤식의 실무적 지방산 설계 목표로 **n-6:n-3를 약 1:1 3:1 범위에 접근시키는 것**을 제안한다.

이는 모든 사람에게 확정된 의학적 최적비율이라는 의미가 아니다. 현재 주요 기관들은 모든 질환과 모든 사람에게 적용되는 단일 최적 n-6:n-3 비율을 확정하고 있지 않다.[52]

따라서 1:1 3:1은 본서에서 사용하는 **식단 설계를 위한 실무적 목표범위**이다.

고-LA 오일에 편중되는 것을 피한다

일반형 해바라기유·옥수수유·포도씨유는 LA 함량이 매우 높고 ALA는 매우 적다. 이러한 오일을 주요 지방원으로 지속적으로 많이 사용할 경우 전체 식사의 n-6:n-3 비율이 크게 상승하기 쉽다.

따라서 이미 오메가-6 섭취가 풍부한 현대 식생활에서는 이러한 오일에 지방 공급원이 편중되는 것을 피하고, 들기름·아마씨·치아씨·호두·카놀라유 등의 ALA 공급원을 적극적으로 확보하는 것이 본서의 기본원칙이다.

다만 **"오메가-6 또는 LA 자체가 곧 염증을 일으킨다"라고 단정하지 않는다.** 사람을 대상으로 한 무작위시험의 체계적 문헌고찰에서는 LA 섭취 증가가 CRP, IL-6, TNF-α 등의 염증지표를 일관되게 증가시킨다는 근거가 확인되지 않았다.[53]

따라서 본서에서 강조하는 문제는 오메가-6 자체의 독성이라기보다 **오메가-3 공급이 부족한 상태에서 고-LA 오일에 지나치게 편중된 지방산 불균형**이다.

오일 선택의 실무적 우선순위

ALA 확보 목적

→ 들기름을 가장 적극적인 식물성 ALA 공급원으로 활용한다.

균형 잡힌 기본 조리유

→ 카놀라유는 높은 MUFA와 약 2:1의 LA:ALA 구성이라는 장점

[52] National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. Omega-3 Fatty Acids: Fact Sheet for Health Professionals. Accessed 2026-08-30. The fact sheet notes that an optimal omega-6:omega-3 ratio, if any, has not been defined.

[53] Johnson GH, Fritsche K. Effect of dietary linoleic acid on markers of inflammation in healthy persons: a systematic review of randomized controlled trials. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2012;112(7):1029-1041.e15. doi:10.1016/j.jand.2012.03.029.

이 있다.

MUFA 중심

→ 올리브유, 특히 extra-virgin olive oil은 oleic acid와 polyphenol 공급이라는 특징이 있다.

향미와 lignan

→ 참기름은 소량의 향미 지방으로 활용하되 ALA 공급원은 별도로 확보한다.

고-LA 오일

→ 일반 해바라기유·옥수수유·포도씨유는 금지하는 것이 아니라, 주된 지방원이 이들 오일 하나에 편중되지 않도록 한다.

MCT 활용

→ 케톤 생성을 보조하려면 일반 코코넛유 전체를 MCT로 간주하지 않고 C8·C10 함량과 목적을 구별한다.

최종적으로 오일은 n-6:n-3 비율 하나만으로 평가하지 않는다. LDL-C·ApoB·TG·체중·BHB, 전체 식품의 질, 조리온도, 산화안정성과 개인의 실제 대사반응을 함께 평가한다.

출처: Simopoulos (2002, 2006); Johnson & Fritsche (2012); Su et al. (2017); Asif (2011); Lin et al. (2013); Codex 및 각 식물성 오일 지방산 조성 연구.

<!– CH17_RATIO_1TO1_MENUS_V01 –>

오메가-6:오메가-3를 1:1에 가깝게 만드는 식물성 케톤식

Simopoulos는 진화영양학, 신경발달 및 유전학 자료를 근거로 오메가-6:오메가-3 비율을 **1:1 2:1 정도로 접근시키는 것을 인간 영양의 목표로 제안**하였다. 현대 서구형 식사에서는 이 비율이 약 10:1 20:1 또는 15:1 16.7:1까지 높아졌다고 보고되었다.[54]

본서에서는 식물성 케톤식의 실무적 지방산 설계범위를 **1:1 3:1**로 설정하고, 가능하면 약 **1:1에 가까운 식사구성**을 하나의 목표모델로 제시한다.

[54] Simopoulos AP. The omega-6/omega-3 fatty acid ratio: health implications. *OCL*. 2010;17(5):267-275. doi:10.1051/ocl.2010.0325. The review proposes approximately 1:1 to 2:1 as a target consistent with evolutionary, neurodevelopmental and genetic evidence.

식물성 식사에서는 오메가-6의 대부분을 LA가, 오메가-3의 대부분을 ALA가 차지하므로 실제 식단 설계에서는 LA:ALA를 실무 지표로 사용할 수 있다.

치아씨와 아마씨, 들깨·들기름은 ALA가 매우 높은 식품이다. 특히 들기름은 지방산 중 ALA가 약 58.8 70.9%를 차지할 수 있다.[55]

표 17-6. n-6:n-3 약 1:1을 만드는 식물성 케톤식 예시

식단	주요 식품과 양	LA	ALA	LA:ALA
한국형 들기름	두부 150g + 에다마메 100g + 아보카도 50g + 호두 5g + 들기름 18g + 비전분채소 500g + MCT 10 15g	약 13.2g	약 13.4g	**0.98:1**
아마씨형	두부 100g + 에다마메 50g + 아보카도 50g + 분쇄 아마씨 30g + 비전분채소 500g + MCT 15g	약 7.84g	약 7.66g	**1.02:1**
치아씨형	두부 70g + 에다마메 50g + 아보카도 50g + 치아씨 30g + 비전분채소 500g + MCT 15g	약 6.52g	약 5.99g	**1.09:1**

[55] Li M, Jiang N, Guo G, et al. Perilla Seed Oil: A Review of Health Effects, Encapsulation Strategies and Applications in Food. *Foods*. 2024;13(22):3615. Perilla seed oil contains approximately 58.8-70.9% alpha-linolenic acid and 9.5-14.4% linoleic acid.

표 17-6. n-6:n-3 약 1:1을 만드는 식물성 케톤식 예시 (계속)

식단	주요 식품과 양	LA	ALA	LA:ALA
카놀라·들기름형	두부 180g + 아보카도 50g + 카놀라유 10g + 들기름 약 16g + 비전분채소 500g + MCT 10 15g	약 12.5g	약 12.5g	**약 1.0:1**
호두·들기름형	두부 150g + 에다마메 150g + 호두 10g + 들기름 약 20g + 비전분채소 500g + MCT 10g	약 15.4g	약 15.4g	**약 1.0:1**

위 계산은 주요 지방 공급식품의 LA와 ALA를 이용한 근사값이다. 실제 식품의 품종과 가공방법에 따라 지방산 조성이 달라지므로 약 **0.9 1.1:1**을 실무적으로 1:1에 근접한 범위로 본다.[56]

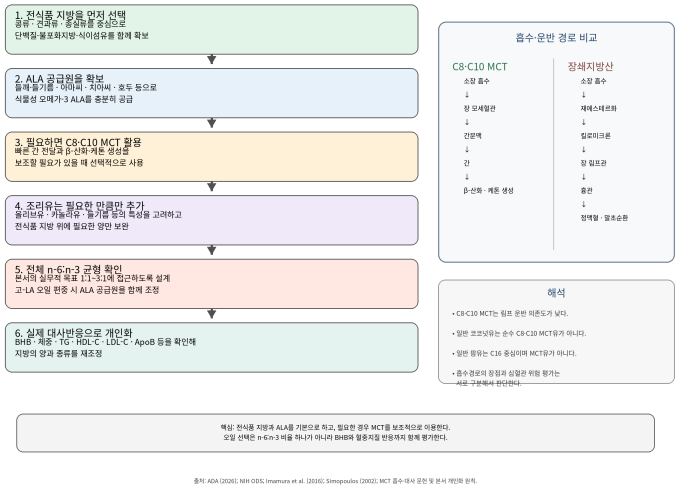
C8·C10 MCT는 오메가-6나 오메가-3 지방산이 아니므로 식사의 에너지와 케톤 생성을 보완하면서 LA:ALA 비율 자체에는 거의 영향을 주지 않는다.

본서에서 예시적으로 낮은 n-6:n-3 비율에 접근하도록 식단을 설계할 때는 **콩·두부·견과류에서 들어오는 LA의 양과 들깨·아마씨·치아씨에서 공급되는 ALA의 양을 함께 살펴 균형을 조정한다**. 특정 비율 자체가 임상적으로 확립된 최적값이라는 뜻은 아니다.

그림 17-2. 한 끼 지방 선택의 6단계

[56] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *FoodData Central*. Fatty-acid composition data for tofu, edamame, avocado, chia seed, walnut and vegetable oils; supplemented with published fatty-acid composition reviews for flaxseed and perilla oil. Values in the menu table are approximate calculations and vary by cultivar and processing.

그림 17-2. 한 끼 지방 선택의 6단계



출처: ADA (2026); NIH ODS; Imamura et al. (2016); Simopoulos (2002); MCT 흡수·대사 문헌 및 본서 개인화 원칙.

1. 콩류·견과류·종실류 등 전식품 지방을 먼저 선택한다

→ 단백질·불포화지방·식이섬유를 함께 확보

↓

2. 들깨·아마씨·치아씨·호두 등 ALA 공급원을 확보한다

↓

3. 필요하면 C8·C10 MCT를 보조적으로 활용한다

→ 장 모세혈관·간문맥을 통해 간으로 빠르게 이동해 β-산화와 케톤 생성을 보조

↓

4. 조리유는 필요한 만큼만 추가한다

→ 올리브유·카놀라유·들기름 등 지방산 조성과 조리특성을 고려

↓

5. 전체 식사의 n-6:n-3 균형을 확인한다

→ 본서에서는 1:1–3:1의 낮은 범위를 식단 구성의 실무적 예시로 사용하지만, 이를 보편적 최적비나 절대적 의학 기준으로 간주하지 않는다. 총 섭취량과 개별 지방산의 공급원도 함께 평가한다

↓

6. BHB·체중·TG·HDL-C·LDL-C·ApoB 반응으로 양과 종류를 개인화한다

흡수경로 비교: C8·C10 MCT → 장 모세혈관 → 간문맥 → 간 / 장

쇄지방산 → 킬로미크론 → 장 림프관 → 흉관 → 정맥혈·말초순환

출처: ADA (2026), NIH ODS, Imamura et al. (2016), Simopoulos (2002), MCT 흡수·대사 문헌 및 본서 개인화 원칙.

16. 혈중지질이 식사의 답을 알려준다

지방 선택의 마지막 판정은 혈액검사와 실제 대사반응이다. 식물성 케톤식을 시작한 뒤 중성지방과 HDL-C가 개선되더라도 LDL-C나 ApoB가 크게 상승할 수 있다. 이때 "케톤이 잘 나온다"는 이유로 지질변화를 무시해서는 안 된다.[57]

LDL-C 하나만으로 식사의 모든 대사효과를 설명할 수는 없다. 체중, HbA1c, 공복인슐린, 중성지방, HDL-C, 혈압, 간·신장기능과 약물변화를 함께 평가해야 한다. 그러나 중성지방 감소나 HDL-C 증가가 LDL-C 또는 ApoB의 의미 있는 상승을 자동으로 상쇄한다고 간주해서도 안 된다. 심혈관 위험이 높거나 LDL-C/ApoB가 상승한 사람은 의료진과 함께 지방의 종류와 총량, 포화지방 섭취와 전체 식사 전략을 재평가할 필요가 있다.[58]

식물성 케톤식의 지방 원칙은 단순히 지방의 양을 늘리는 것이 아니다. **포화지방이 많은 식품은 제한하고, 콩류·견과류·종실류와 올리브·대두 등에서 불포화지방을 우선 확보한다.** 들깨·아마씨·치아씨·호두 등은 ALA 공급원으로 활용하되, 특정 오메가-6:오메가-3 비율을 보편적 최적값으로 간주하지 않는다. 빠른 흡수와 간 전달을 이용할 특별한 목적이 있을 때는 일반 코코넛유 전체를 MCT와 동일시하지 않고, 주로 C8·C10으로 구성된 MCT를 별도로 고려할 수 있다. C8·C10은 문맥을 통한 간 전달이 우세하지만 사슬 길이가 길어질수록 림프·킬로미크론 경로의 비중이 커지므로 C12가 많은 코코넛유는 동일하게 취급하지 않는다. 최종적인 지방의 종류와 양은 **BHB·체중·TG·HDL-C·LDL-C·ApoB와 개인의 임상반응을 함께 보며 조정한다.** 다음 장에서는 이러한 지방구조와 함께 식물성 단백질을 충분히 확보하는 방법을 살펴본다.[59]

[57] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Cardiovascular risk management principles; Chapter 12 of this book on ketogenic-diet lipid responses.

[58] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Cardiovascular and nutrition guidance emphasizes integrated risk assessment and limiting foods high in saturated fat; lipid changes should be interpreted in the context of overall cardiovascular risk.

[59] Synthesis of ADA (2026), medium-chain triglyceride metabolism reviews, NIH

ODS omega-3 guidance, and the plant-based ketogenic working model developed in Chapters 14-16.

제18장. 식물성 단백질 설계 - 충분히, 나누어서, 신장기능에 맞게

단백질은 많이 먹는 영양소가 아니라 맞게 먹는 영양소다. 총량, 단백질 질, 식사 분배, 근육, 신장기능을 함께 본다.

식물성 케톤식에서 단백질은 탄수화물을 줄인 자리를 무조건 채우는 영양소가 아니다. 근육과 효소, 운반단백질, 면역계와 조직 회복에 필요한 재료이지만, 필요량은 나이와 체중, 활동량, 에너지 섭취, 신장기능에 따라 달라진다. 따라서 이 장의 출발점은 "많이 먹을수록 좋은가"가 아니라 **얼마가 필요한가, 어떤 식품에서 얻을 것인가, 하루에 어떻게 나눌 것인가**이다.[1]

식물성 케톤식에서는 이 질문이 더 중요하다. 곡류와 전분이 많은 콩류를 크게 줄이면 일반 식물식에서 자연스럽게 따라오던 단백질도 함께 줄 수 있기 때문이다. 반대로 탄수화물을 줄인다고 단백질을 지나치게 높이면, 신장질환이 있는 사람에게는 적절하지 않을 수 있다. 단백질은 '저탄수'와 '식물성' 사이의 균형을 잡는 핵심축이다.[2]

1. 단백질의 목표는 '최대한 많이'가 아니다

용어 | 단백질 목표
Protein target
총량을 많이 올리는 것이 목적이 아니다. 나이·근육·활동량·총에너지·신장기능에 맞춰 정한다.

ADA 2026은 당뇨병 환자에게 하나의 이상적인 단백질 비율을 제시하지 않는다. 일반적인 섭취 범위는 대략 체중 1 kg당 0.8~1.5 g 또는 총에너지의 15~20% 수준으로 소개되지만, 혈당관리나 심혈관위험을 최적화하기 위한 단 하나의 양은 확립되지 않았다. 따라서 현재 식사와 체중, 연령, 활동량, 신장기능을 바탕으로 개인화해야 한다.[3]

이 말은 1.5 g/kg이 모든 사람의 목표라는 뜻이 아니다. 0.8 g/kg은 성인의 기본 권장량을 설명할 때 사용하는 기준이며, 그보다 높은

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131. Protein section.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.; protein intake should be individualized and CKD modifies protein targets.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid. ADA notes no established ideal protein amount for glycemic or CVD outcomes and describes typical general ranges around 0.8–1.5 g/kg/day or 15–20% of energy.

섭취가 필요한지는 근육량과 운동, 체중감량, 고령, 질환상태를 함께 보고 판단한다. 특히 비만에서는 실제 체중을 그대로 곱하는 방식이 과도한 단백질량을 만들 수 있어 전문적인 영양평가가 필요하다.[4]

표 18-1. 상황별 단백질 섭취를 읽는 기본 기준

상황	근거에서 제시되는 범위	핵심 해석	식물성 케톤식에서의 원칙
일반 성인 당뇨병	대체로 0.8~1.5 g/kg/day 범위에서 개인화	한 가지 최적량은 확립되지 않음	체중·근육·총에너지와 함께 조절
고령 당뇨병	최소 0.8 g/kg/day, 근육회복에는 더 높은 개별량을 고려	근감소 예방이 중요	각 끼니에 단백질을 분산
CKD G3 이상, 비투석	약 0.8 g/kg/day	과도한 고단백은 피함	신장기능과 알부민뇨를 우선 확인
투석 중	약 1.0~1.2 g/kg/day 고려	단백질-에너지 소모 위험 증가	신장전문 영양관리 필요

출처: ADA Standards of Care in Diabetes—2026, Sections 5, 11, 13.

2. 단백질은 아미노산의 묶음이다

용어 | 필수아미노산
Essential amino acids, EAA
인체가 충분히 합성하지 못해 음식으로 섭취해야 하는 아미노산이다.

식사 단백질은 소화 과정에서 아미노산으로 분해된다. 그중 인체가 충분히 합성하지 못해 반드시 음식으로 얻어야 하는 아미노산을 필수아미노산(EAA)이라 한다. 단백질의 질을 평가할 때는 단순히 총 단백질 g만 보는 것이 아니라, 필수아미노산의 구성과 실제 소화·흡수되는 양을 함께 본다.[5]

식물성 단백질은 식품마다 아미노산 구성과 소화율이 다르다. 그래서 "식물성 단백질은 모두 불완전하다"거나 반대로 "모든 단백질은 완전히 같다"는 두 극단 모두 정확하지 않다. 실제 평가는 식품별로 해야 하며, 대두처럼 비교적 단백질 질이 높은 식품도 있고 곡류나 일부 씨앗처럼 제한아미노산이 더 뚜렷한 식품도 있다.[6]

3. DIAAS는 '몇 g이 들어 있는가' 다음 질문이다

용어 | DIAAS
Digestible Indispensable Amino Acid Score
소장에서 실제로 소화되는 필수아미노산을 고려해 단백질 질을 평가하는 지표다.

최근 단백질 질 평가에서 많이 사용하는 개념이 소화가능 필수아미노산 점수(DIAAS)다. DIAAS는 각 필수아미노산이 소장에서 얼마

[4] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid.; protein goals require individualization. Simple actual-body-weight multiplication may be inappropriate in some clinical settings and requires professional assessment.

[5] Moughan, P. J., & Lim, W. X. J. (2024). Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. Frontiers in Nutrition, 11, 1389719. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719

[6] van den Berg, L. A. M., Mes, J. J., Mensink, M., & Wanders, A. J. (2022). Protein quality of soy and the effect of processing: A quantitative review. Frontiers in Nutrition, 9, 1004754. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1004754

나 소화되는지를 고려하여 단백질의 질을 평가하려는 방법이다. 단백질 함량이 같아도 소화율과 필수아미노산 구성이 다르면 실제 이용 가능성은 달라질 수 있다는 뜻이다.[7]

2024년 DIAAS 10년 평가 리뷰는 다양한 식품에서 실제 소장 소화율을 이용한 자료가 축적되고 있지만, 아직 많은 식물성 식품에서 자료가 부족하고 조리·가공법에 따른 변이가 크다고 지적했다. 따라서 DIAAS는 유용한 도구이지만 한 숫자로 전체 식사의 건강성을 판정하는 지표는 아니다.[8]

4. 대두는 식물성 케톤식의 단백질 중심축이 되기 쉽다

용어 | 대두 단백질
Soy protein
두부·템페·에다마메 등에서 얻는 식물성 단백질이다. 식물성 단백질 중 비교적 질이 높은 편이다.

대두식품은 식물성 케톤식에서 가장 다루기 쉬운 단백질 공급원이다. 두부와 템페는 비교적 단백질 밀도가 높고, 일반적인 곡류·전분 식품보다 탄수화물 부담이 낮다. 제16장에서 본 것처럼 단단한 두부는 100 g당 단백질 약 17 g, 조리된 템페는 약 20 g 수준이며 제품과 수분량에 따라 값은 달라진다.[9]

대두의 단백질 질도 식물성 식품 가운데 높은 편이다. 2022년 정량적 리뷰에서는 여러 대두제품의 평균 DIAAS가 약 85 수준이었고, 가공조건에 따라 상당한 차이가 나타났다. 2024년 실험연구에서는 두부의 in vitro 총 단백질 소화율이 약 95~98%로 높았으며 DIAAS도 대체로 'good quality' 범위에 들어갔다.[10]

이는 두부가 특별한 치료식품이라는 뜻은 아니다. 중요한 점은 **낮은 탄수화물 부담과 비교적 높은 단백질 밀도, 좋은 아미노산 질, 조리의 편의성**이 한 식품에 같이 있다는 것이다. 그래서 식물성 케톤식에서는 두부와 템페를 '보조식품'이 아니라 한 끼의 주단백질로 배치하기 쉽다.[11]

[7] Moughan & Lim (2024). DIAAS evaluates ileal digestibility of indispensable amino acids rather than crude protein content alone.

[8] Moughan & Lim (2024). Ibid.; DIAAS data remain unavailable for many foods and processing conditions materially affect estimates.

[9] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. FoodData Central. Food composition records for firm tofu and cooked tempeh; see also Chapter 16 of this book.

[10] van den Berg et al. (2022); Hammer, L., et al. (2024). In vitro DIAAS of Swiss soybean cultivars using the INFOGEST model: Increase in protein quality from soybean to soymilk and tofu. Food Research International. PMID 38309908.

[11] USDA FoodData Central; van den Berg et al. (2022); Hammer et al. (2024). These sources support nutritional composition and protein quality, not a disease-treatment claim for tofu.

표 18-2. 식물성 케톤식에서 쓰기 쉬운 단백질 식품

식품	단백질(대략, 100 g)	탄수화물 특성	단백질 질·특징	실전 역할
단단한 두부	약 17 g	낮은 편	대두 단백질, 소화율 높음	한 끼 주단백질
템페	약 20 g	두부보다 높지만 조절 가능	발효 대두, 단백질 밀도 높음	한 끼 주단백질
에다마메	약 12 g	섬유 포함, 양 조절 필요	대두 기반, 부피와 섬유 동시 확보	반찬·샐러드 보조
아몬드	약 21 g	섬유 많고 지방도 높음	단백질보다 지방 비중 큼	보조 단백질·지방
치아·아마·햄프씨	종류별 차이 큼	섬유와 지방 동반	필수지방산·미네랄 동시 공급	소량 보강

출처: USDA FoodData Central; van den Berg et al. (2022); Hammer et al. (2024). 값은 제품·수분량·조리법에 따라 달라질 수 있다.

5. 견과와 씨앗은 '주단백질'보다 보강재에 가깝다

용어 | 단백질 밀도
Protein density
식품의 무게나 에너지 대비 단백질이 얼마나 들어 있는지를 뜻한다.

견과와 씨앗은 단백질을 제공하지만, 많은 경우 단백질보다 지방과 에너지가 더 많다. 아몬드는 100 g당 단백질이 약 21 g이지만 지방이 약 50 g에 이른다. 따라서 단백질 20 g을 얻겠다고 견과를 100 g씩 먹는 방식은 체중감량이 목표인 사람에게 과도한 에너지를 만들 수 있다.[12]

식물성 케톤식에서는 견과와 씨앗을 두부·템페 같은 주단백질의 '보조재'로 보는 편이 실용적이다. 참깨나 햄프씨드를 두부요리에 뿌리고, 치아씨나 아마씨를 소량 더하면 단백질뿐 아니라 불포화지방과 식이섬유, 마그네슘을 함께 보완할 수 있다.[13]

6. 콩류는 단백질이지만 탄수화물 예산도 사용한다

용어 | 탄수화물 예산
Carbohydrate budget
하루 또는 한 끼 탄수화물 허용량 안에서 콩류의 양을 조절하는 실전 개념이다.

렌틸, 병아리콩, 강낭콩은 일반 식물식에서 매우 중요한 단백질과 식이섬유 공급원이다. 그러나 식물성 케톤식에서는 한 끼 탄수화물 예산이 좁기 때문에 양을 무제한 늘리기 어렵다. 같은 콩류라도 에다마메와 대두는 비교적 탄수화물 밀도가 낮아 엄격한 단계에서 더 사용하기 쉽다.[14]

따라서 콩류를 '좋은 식품이므로 많이 먹는다'거나 '탄수화물이 있으므로 완전히 금지한다'는 두 방식 모두 피한다. 개인의 혈당과 케톤 반응, 하루 탄수화물 목표를 보고 작은 양부터 조정한다. 관해 유지단계나 탄수화물 허용범위가 넓어진 사람에서는 렌틸과 병아리콩

[12] USDA FoodData Central. Almond nutrient profile: protein is substantial but total fat and energy density are also high.

[13] USDA FoodData Central nutrient profiles for seeds and nuts; ADA (2026) encourages plant-based proteins including nuts and seeds.

[14] USDA FoodData Central nutrient profiles for legumes and edamame; carbohydrate density varies substantially among legume foods.

을 더 쉽게 포함할 수 있다.[15]

7. 류신은 근육 단백질합성의 신호 가운데 하나다

용어 | 류신
Leucine
근육 단백질합성 신호와 관련된 필수아미노산이다. 류신만으로 근육이 만들어지는 것은 아니다.

류신은 필수아미노산이면서 근육 단백질합성(MPS)을 자극하는 신호와 관련된다. 이 때문에 단백질 보충제 연구에서는 한 끼의 총 단백질량뿐 아니라 류신 함량을 함께 본다. 다만 류신 하나만 충분히 먹는다고 근육이 만들어지는 것은 아니며, 나머지 필수아미노산과 전체 에너지, 저항운동이 함께 필요하다.[16]

2025년 체계적 문헌고찰에서는 잘 설계된 식물성 단백질 혼합물이 충분한 용량과 약 2.5 g 수준의 류신을 제공할 때 일부 운동 후 MPS 연구에서 유청과 비슷한 반응을 보일 수 있다고 정리했다. 그러나 이는 주로 단백질 보충제를 이용한 운동연구이므로, 두부 한 접시에 그대로 적용할 '류신 기준'으로 해석해서는 안 된다.[17]

8. 식물성과 동물성 단백질의 차이는 '있지만 작고 조건에 따라 달라진다'

용어 | MPS
Muscle protein synthesis
근육 단백질을 새로 합성하는 과정이다. 단백질 섭취와 저항운동의 영향을 받는다.

2026년 식물성 대 동물성 단백질의 MPS 메타분석은 전체적으로 동물성 단백질을 약간 선호하는 방향을 보였지만, 차이는 작고 불확실성이 컸다. 18~54세에서는 반응이 대체로 비슷했고, 65세 이상에서는 동물성 단백질이 조금 유리한 신호가 나타났다. 연구 수가 적고 대부분의 동물성 자료가 유제품에 치우쳤다는 한계도 있었다.[18]

2025년 43개 RCT를 검토한 메타분석에서는 식물성 단백질이 전체적으로 근육량 증가에서 소폭 불리했지만, **대두와 우유단백질을 직접 비교한 연구에서는 유의한 차이가 없었다.** 근력이나 신체수행능력에서도 식물성과 동물성 단백질의 차이는 뚜렷하지 않았다.[19]

[15] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Individualized carbohydrate reduction may be used in some adults; food portions and metabolic response remain central.

[16] Current muscle-protein-synthesis literature identifies leucine as an essential amino acid involved in anabolic signaling, but complete EAA availability and resistance exercise are also required.

[17] Effect of Plant-Based Proteins on Recovery from Resistance Exercise-Induced Muscle Damage in Healthy Young Adults—A Systematic Review. (2025). PMID 40806155. Well-formulated blends at adequate doses, often ~30 g protein with ~2.5 g leucine, produced MPS responses comparable with whey in some studies.

[18] Effects of Plant- vs Animal-Based Proteins on Muscle Protein Synthesis: A Systematic Review With Meta-Analysis. (2026). Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. PMID 42055214.

[19] Effect of Plant Versus Animal Protein on Muscle Mass, Strength, Physical Performance, and Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized

이 결과를 식물성 식사의 실패로 읽을 필요는 없다. 오히려 단백질원을 선택할 때 총량과 단백질 질, 식사 분배, 운동을 함께 맞추면 격차를 줄일 수 있다는 뜻에 가깝다. 특히 식물성 케톤식에서는 단백질 밀도가 높은 대두식품을 중심에 놓는 이유가 더 분명해진다.[20]

표 18-3. 식물성 단백질과 근육 관련 최신 근거를 읽는 법

근거	주요 결과	무엇을 말할 수 있는가	무엇을 말할 수 없는가
2026 MPS 메타분석, 12연구	전체 차이는 작고 불확실, 고령에서 동물성 약간 우세	단백질원별 MPS 차이가 조건에 따라 존재	모든 식물성 단백질이 열등하다고 단정
2025 근육량 RCT 메타분석	전체 식물성은 소폭 불리, soy vs milk는 차이 없음	대두는 비교적 높은 단백질 질을 가짐	보충제 결과를 모든 전식품에 그대로 적용
2024 완두단백 RCT	84일 운동에서 완두와 유청 간 근력·근육량 변화 차이 없음	충분한 양+운동이면 일부 식물단백도 효과적	당뇨병 고령자 전체에 동일 적용
2025 회복 체계적 문헌고찰	혼합 식물단백은 충분한 단백질·류신에서 유청에 근접 가능	배합·용량이 중요	류신 하나만으로 식사 질을 판정

출처: 2024~2026 PubMed 수록 체계적 문헌고찰·RCT.

9. 하루 총량만큼 '한 끼 분배'가 중요하다

용어 | 단백질 분배
Protein distribution
하루 단백질을 한 끼에 몰기보다 여러 끼에 나누어 공급하는 전략이다.

하루 70 g의 단백질을 먹더라도 아침 5 g, 점심 15 g, 저녁 50 g으로 몰아먹는 것과 각 끼니에 나누어 먹는 것은 근육에 주는 자극이 같지 않을 수 있다. 특히 고령에서는 한 끼에 충분한 단백질과 필수아미노산을 공급하는 전략이 근육 보존에 중요하게 논의된다.[21]

고령자 연구 리뷰들은 흔히 한 끼 약 0.4 g/kg 정도의 단백질 분배를 실용적 목표로 제안한다. 그러나 이는 모든 당뇨병 환자에게 적용되는 공식 ADA 기준이 아니며, CKD가 있거나 체중이 매우 큰 경우에는 그대로 사용하면 안 된다. 이 책에서는 '하루 총량을 세 끼에 고르게 나누라'는 원칙을 우선하고, 정확한 g은 개인화한다.[22]

10. 고령 당뇨병에서는 체중감량보다 근육 보존을 동시에 본다

용어 | 근감소증
Sarcopenia
나이가 들며 근육량·근력·기능이 감소하는 상태다. 당뇨병 고령자에서 특히 중요하다.

고령의 당뇨병 환자는 체지방 감소가 필요하더라도 근육이 함께 줄어들면 기능이 나빠질 수 있다. ADA 2026은 고령 당뇨병에서 최소 0.8 g/kg/day의 적절한 단백질을 확보하고, 근육량과 기능 회복이 필요한 경우 더 높은 개인화된 양을 고려할 수 있다고 권고한다. 저항운동과 체중부하 운동도 함께 강조한다.[23]

식물성 케톤식에서 체중이 빠르게 줄어드는 초기에는 단백질과 근력운동을 함께 점검해야 한다. 체중계 숫자가 줄었다는 이유만으로 성공이라고 판단하지 않고, 허리둘레와 근력, 체성분, 활동능력을 같이 본다. 특히 고령자는 '케톤이 잘 나오는 식사'보다 '근육을 유지하면서 대사를 개선하는 식사'가 더 중요하다.[24]

11. 저항운동은 식물성 단백질의 효과를 끌어올리는 중요한 파트너다

용어 | 저항운동
Resistance exercise
근육에 저항을 가해 근력과 근육량을 유지·증가시키는 운동이다.

근육은 단백질을 먹기만 해서 유지되는 조직이 아니다. 저항운동은 근육 단백질합성 자극을 높이고, 단백질 섭취와 함께 작용한다. 최근 연구에서도 충분한 단백질 섭취와 저항운동이 결합되면 식물성 단백질을 이용한 근육 적응이 상당 부분 가능하다는 결과가 반복되고 있다.[25]

2024년 완두단백과 유청단백을 비교한 84일 RCT에서는 저항운동을 병행한 두 군 사이에서 전신 근력과 근육량 변화의 유의한 차이가 없었다. 이 연구는 건강한 성인을 대상으로 했으므로 당뇨병 치료

Controlled Trials. (2025). PMID 39813010. Soy vs milk subgroup showed no significant difference for muscle mass.

[20] van den Berg et al. (2022); 2025 and 2026 muscle meta-analyses. Protein source effects depend on quality, dose, age, and training context.

[21] Reviews of protein distribution in aging support distributing adequate protein across meals rather than concentrating most intake in one meal.

[22] Protein and Aging: Practicalities and Practice. (2025). PMID 40806046; per-meal targets around 0.4 g/kg are research-based proposals for older adults, not universal ADA prescriptions.

[23] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Older Adults: Standards of Care in Diabetes—2026. Recommendation 13.11a: at least 0.8 g/kg/day and potentially higher individualized amounts to regain lean mass/function.

[24] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Older Adults, Recommendations 13.11a-b; resistance and weight-bearing exercise are emphasized to preserve lean mass.

[25] 2025–2026 plant-protein muscle reviews; resistance exercise and adequate total protein are major modifiers of muscle adaptation.

효과를 증명하지는 않지만, 식물성 단백질과 운동을 함께 설계할 때 근육 유지가 가능하다는 실용적 근거가 된다.[26]

12. 식물성 단백질은 혈당에도 '단백질원' 이상의 의미가 있다

용어 | 식품 패키지
Food matrix
단백질뿐 아니라 지방·섬유·미량영양소가 함께 들어오는 식품 전체의 구성을 뜻한다.

식물성 단백질의 장점은 아미노산만으로 설명되지 않는다. 두부·대두·콩류·견과·씨앗은 대체로 포화지방이 낮고, 식이섬유와 불포화지방, 미량영양소를 함께 제공한다. 동물성 단백질을 식물성 단백질로 바꾸는 연구는 이런 '식품 패키지'의 효과를 함께 반영한다.[27]

13개 RCT, 280명을 분석한 메타분석에서는 동물성 단백질 일부를 식물성 단백질로 대체했을 때 HbA1c가 평균 0.15%p, 공복혈당이 0.53 mmol/L, 공복인슐린이 약 10 pmol/L 낮아졌다. 효과크기는 크지 않았고 연구 수도 적었지만, 식물성 단백질로의 대체가 혈당에 불리하다는 근거는 아니었다.[28]

ADA 2026도 이 메타분석을 포함한 자료를 바탕으로 식물성 단백질 증가와 동물성 단백질 대체가 일부 혈당지표와 심혈관 위험에 유리할 가능성을 소개한다. 다만 최근 체계적 문헌고찰에서는 근거의 확실성이 제한적이라는 평가도 있어, 식물성 단백질 하나를 당뇨 치료제로 표현해서는 안 된다.[29]

13. 대두 자체의 혈당효과는 연구마다 같지 않다

용어 | HOMA-IR
Homeostatic Model Assessment of Insulin Resistance
공복혈당과 공복인슐린으로 인슐린 저항성을 추정하는 지표다.

대두 연구는 흥미롭지만 결과가 일관되지는 않는다. 2026년 61개 RCT, 4,744명을 포함한 네트워크 메타분석에서는 통대두가 공복혈당과 공복인슐린, HOMA-IR에서 높은 순위를 보였지만, HbA1c에서는 유의한 효과를 확인하지 못했다.[30]

[26] Efficacy of Pea Protein Supplementation in Combination with a Resistance Training Program on Muscle Performance in a Sedentary Adult Population. (2024). PMID 38999765.

[27] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Plant proteins include legumes, nuts, and seeds and are generally packaged with less saturated fat and more fiber than many animal protein sources.

[28] Viguiliouk, E., et al. (2015). Effect of replacing animal protein with plant protein on glycemic control in diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Nutrients, 7(12), 9804-9824. PMID 26633472.

[29] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Protein section; also 2023 systematic review of animal vs plant protein noted limited-suggestive evidence and risk-of-bias concerns.

[30] Luo, Q., et al. (2026). Comparative effects of different types of soy products on glycemic control and insulin sensitivity: A network meta-analysis of randomized controlled trials. Frontiers in Nutrition. PMID 41640735.

이는 '대두를 먹으면 HbA1c가 내려간다'는 단순문장보다 더 복잡한 그림을 보여준다. 대두의 형태와 대상자의 대사상태, 중재기간, 대조식, 체중변화가 결과를 바꿀 수 있다. 따라서 식물성 케톤식에서 대두를 쓰는 가장 강한 이유는 **단백질 설계가 쉽고 탄수화물 부담이 낮다는 점**이며, 추가 혈당효과는 보너스 가능성으로 보는 편이 타당하다.[31]

14. 신장기능이 떨어져 있다면 단백질 전략이 달라진다

용어 | CKD
Chronic kidney disease
만성콩팥병. eGFR과 알부민뇨 등을 이용해 단계와 위험을 평가한다.

당뇨병 환자에게 신장기능 평가는 선택이 아니다. ADA 2026은 CKD G3 이상이면서 투석을 하지 않는 사람에서 단백질 섭취를 약 0.8 g/kg/day 수준으로 권고한다. 1.3 g/kg/day를 넘는 고단백 섭취는 알부민뇨 증가와 신장기능 악화와 연관될 수 있어 피하도록 설명한다.[32]

반대로 0.8 g/kg/day보다 더 낮게 제한한다고 혈당이나 심혈관위험, GFR 감소가 더 좋아진다는 근거도 충분하지 않으며 영양실조 위험이 생길 수 있다. 따라서 신장보호를 이유로 임의의 극단적 저단백식을 시작해서도 안 된다.[33]

투석을 시작한 사람은 상황이 다시 달라진다. 투석 중에는 단백질-에너지 소모 위험 때문에 ADA 2026은 약 1.0~1.2 g/kg/day를 고려하도록 한다. 즉 "신장이 나쁘면 무조건 단백질을 줄인다"는 공식도 맞지 않는다.[34]

[31] Luo et al. (2026). Ibid.; effects differed by soy product and outcome, with no significant HbA1c effect across interventions.

[32] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes—2026. Recommendation 11.3: ~0.8 g/kg/day for stage G3 or higher CKD not on dialysis; avoid excessive high protein.

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). CKD section; intake below 0.8 g/kg/day is not recommended routinely because it does not improve glycemia, CVD risk, or GFR decline and may increase malnutrition risk.

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). CKD Recommendation 11.3: dialysis patients may require 1.0–1.2 g/kg/day due to protein-energy wasting risk.

표 18-4. 신장기능에 따라 단백질 설계를 바꾸는 기준

확인항목	신장기능이 보존된 경우	CKD G3 이상 비투석	투석 중
단백질 목표	개인화, 일반 범위에서 조절	약 0.8 g/kg/day	약 1.0~1.2 g/kg/day 고려
우선 평가	체중·근육·활동량	eGFR·UACR·칼륨·영양상태	단백질-에너지 소모·투석 손실
피해야 할 접근	무조건 고단백	>1.3 g/kg/day의 과도한 고단백	과도한 단백질 제한
식물성 케톤식 적용	두부·템페 중심으로 분배	신장전문가와 탄수·단백질 동시 조절	투석 영양지침 우선

출처: ADA Standards of Care in Diabetes—2026, CKD section; KDIGO Diabetes Management in CKD.

15. 신장질환에서는 칼륨과 인도 '식물성이라서 무조건 좋다'고 볼 수 없다

용어 | 고칼륨혈증
Hyperkalemia
혈중 칼륨이 높아진 상태다. 진행된 CKD와 일부 약물 사용에서 식사 조절이 필요할 수 있다.

식물성 단백질 식품은 칼륨과 인을 함께 제공한다. 신장기능이 충분한 사람에게는 이것이 대개 문제가 되지 않지만, eGFR이 크게 떨어지거나 고칼륨혈증이 있는 사람은 식품선택과 양을 개별화해야 한다. ADA는 CKD에서 혈중 칼륨과 약물상태에 따라 칼륨 섭취를 조정하도록 권고한다.[35]

따라서 CKD가 있는 사람이 인터넷의 일반적인 식물성 케톤 식단을 그대로 따라서는 안 된다. 두부·견과·씨앗·아보카도·잎채소를 모두 대량으로 먹으면 단백질뿐 아니라 칼륨과 인, 에너지 섭취가 함께 달라진다. 이 경우 식물성이라는 이름보다 검사값과 신장병 단계가 먼저다.[36]

16. 70 kg 성인을 예로 들면 숫자가 더 선명해진다

용어 | g/kg/day
체중당 단백질량
하루 단백질 g을 체중 kg으로 나눈 값이다. 비만·저체중·CKD에서는 기계적으로 적용하지 않는다.

신장질환이 없는 70 kg 성인이 0.8 g/kg/day를 기준으로 잡으면 하루 약 56 g의 단백질이 된다. 1.0 g/kg/day라면 70 g, 1.2 g/kg/day라면 84 g이다. 이 계산은 단순한 예시이며, 비만·저체중·고령·운동량·CKD가 있는 사람은 실제체중에 기계적으로 곱해서 목표를 정하면 안 된다.[37]

식물성 케톤식에서는 이 총량을 두부 한 끼에 몰아넣기보다 아침·

[35] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). CKD section; potassium intake should be individualized according to serum concentrations, kidney function, medications, and comorbidities.

[36] KDIGO. (2022). Clinical Practice Guideline for Diabetes Management in Chronic Kidney Disease. Nutrition should be individualized and emphasize plant-based proteins, vegetables, fiber, unsaturated fats and nuts within CKD constraints.

[37] Arithmetic examples based on 0.8, 1.0, and 1.2 g/kg/day targets. Clinical protein prescription may require adjusted/ideal weight and individualized assessment in obesity, underweight, older age, or CKD.

점심·저녁으로 나누는 편이 낫다. 예를 들어 한 끼는 두부, 다른 끼니는 템페, 또 다른 끼니는 두부와 에다마메를 조합하고, 씨앗과 견과는 보조한다. 하루 총량과 한 끼 분배를 동시에 맞추는 방식이다.[38]

그림 18-1. 식물성 케톤식의 하루 단백질 설계 순서



출처: ADA 2026의 단백질·CKD·고령자 권고와 본서 실전원칙을 바탕으로 구성.

17. 단백질 식품은 '단백질만' 가져오지 않는다

용어 | 영양소 동반효과
Nutrient package
단백질 식품은 탄수화물·지방·섬유·미네랄을 함께 가져오므로 단백질 g만으로 선택하지 않는다.

두부는 단백질과 지방을 함께 가져오고, 견과는 단백질과 불포화지방, 에너지를 함께 가져온다. 콩류는 단백질과 식이섬유를 주지만 탄수화물도 함께 늘린다. 그래서 단백질 20 g이라는 숫자가 같아도 식사의 탄수화물과 지방, 식이섬유, 에너지 구조는 전혀 달라질 수 있다.[39]

이 점이 식물성 케톤식에서 중요한 이유는 명확하다. 단백질 목표만 보고 견과를 늘리면 에너지가 과해질 수 있고, 콩류를 늘리면 케톤이 낮아질 수 있다. 반대로 기름만 늘리면 단백질이 부족해진다. 한 식품의 영양성분이 전체 식사에서 어떤 역할을 하는지를 함께 봐야 한다.[40]

[38] Protein distribution concept based on aging and MPS literature; specific meal amounts should be individualized.

[39] USDA FoodData Central. Food nutrient matrices demonstrate that tofu, legumes, nuts and seeds provide different combinations of protein, carbohydrate, fat and fiber.

[40] USDA FoodData Central; ADA (2026). Macronutrient targets should be interpreted

그림 18-2. 좋은 단백질 설계는 네 가지가 동시에 맞아야 한다



출처: ADA 2026; FAO/DIAAS 관련 리뷰; 2025~2026 식물성 단백질 근육 메타분석을 바탕으로 구성.

18. 실전에서는 '단백질 앵커'를 먼저 정한다

용어 | 단백질 앵커
Protein anchor
한 끼에서 먼저 확보하는 주단백질 식품이다. 두부·템페 같은 고밀도 식품을 중심으로 잡는다.

매 끼니를 설계할 때 가장 먼저 정할 것은 단백질 앵커다. 아침에 두부 스크램블을 먹는다면 그 뒤에 채소와 아보카도, 씨앗을 붙인다. 점심에 템페가 주단백질이면 버섯과 십자화과 채소, 올리브유를 더한다. 저녁에는 두부나 대두식품을 다시 사용하되 조리법을 바꿔 식사의 반복감을 줄인다.[41]

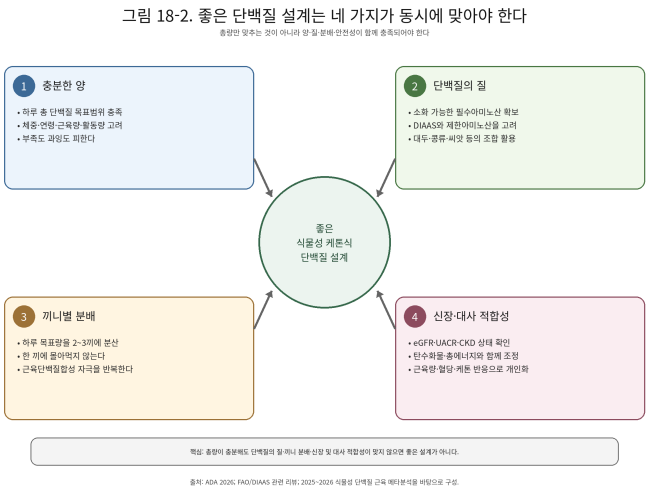
이 방식은 탄수화물을 먼저 채운 뒤 남는 공간에 단백질을 넣는 일반적인 식사와 순서를 바꾼다. 식물성 케톤식에서는 단백질을 먼저 확보하고, 채소와 지방을 배치한 뒤 남은 탄수화물 여유분을 계산하는 편이 단백질 부족을 예방하기 쉽다.[42]

within total energy and food quality rather than as isolated grams.

[41] Practical meal structure derived from ADA plant-protein guidance and the plant-ketogenic model developed in Chapters 14–17.

[42] This is a practical sequencing strategy of the present book, not an independent clinical treatment guideline; it is designed to prevent protein under-consumption during carbohydrate restriction.

그림 18-2. 좋은 단백질 설계는 네 가지가 동시에 맞아야 한다



출처: ADA 2026; FAO/DIAAS 관련 리뷰; 2025–2026 식물성 단백질 근육 메타분석을 바탕으로 구성.

19. 단백질 분말은 '필수'가 아니라 도구다

용어 | 단백질 분말
Protein powder
식품만으로 목표량을 채우기 어려울 때 사용할 수 있는 보조도구다. 필수품은 아니다.

두부와 템페, 에다마메로 목표량을 충족하기 어려운 사람은 대두·완두·혼합 식물성 단백질 분말을 사용할 수 있다. 그러나 보충제는 식품의 다양성을 대신하는 것이 아니라 부족한 부분을 채우는 도구다. 제품마다 단백질 함량과 당류, 전분, 감미료가 다르므로 영양표시를 확인해야 한다.[43]

운동 연구에서는 대두·완두 단백질이 충분한 용량으로 제공될 때 근육 적응을 지지할 수 있다는 근거가 있다. 그렇다고 모든 사람에게 보충제가 필요한 것은 아니다. 식사만으로 충분한 단백질을 확보하고 소화에도 문제가 없다면 굳이 추가할 이유가 없다.[44]

20. 마지막 기준은 혈당과 케톤만이 아니라 근육과 신장이다

용어 | UACR
Urine albumin-to-creatinine ratio
소변 알부민/크레아티닌 비. 당뇨병성 신장질환의 선별과 추적에 사용하는 지표다.

식물성 케톤식의 단백질이 잘 설계됐는지는 케톤수치 하나로 판단할 수 없다. 체중이 줄어도 근력이 급격히 떨어지거나 제지방이 감소하

[43] 2025–2026 plant-protein reviews show product dose, amino acid profile and added ingredients vary; supplement labels should be checked for protein, carbohydrate and additives.

[44] Effects of Plant- vs Animal-Based Proteins on Muscle Protein Synthesis (2026); pea protein RCT (2024); soy protein systematic reviews. Supplements are optional when whole-food intake is adequate.

면 단백질과 총에너지, 운동을 다시 봐야 한다. 반대로 단백질을 과도하게 올린 뒤 신장기능이나 알부민뇨가 악화된다면 현재 전략을 재평가해야 한다.[45]

따라서 추적할 항목은 체중, 허리둘레, HbA1c와 혈당뿐 아니라 근력과 활동량, 필요하면 체성분, 크레아티닌·eGFR·UACR까지 포함한다. 특히 고령자와 CKD 환자는 단백질 목표가 서로 반대 방향으로 움직일 수 있어 더욱 세밀한 개인화가 필요하다.[46]

식물성 케톤식에서 좋은 단백질 설계는 결국 간단한 원칙으로 정리된다. **충분히 먹되 과도하게 먹지 않는다. 대두식품처럼 단백질 밀도가 높은 식품을 중심에 놓고, 하루에 나누어 먹으며, 근육과 신장 기능을 함께 확인한다.** 다음 장에서는 이 단백질 구조와 지방 구조를 유지하면서 탄수화물을 어느 수준까지 낮추고 다시 늘릴 것인지 다룬다.[47]

[45] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Older Adults and CKD sections; lean mass/function and kidney markers are clinically relevant when modifying protein intake.

[46] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). CKD screening and older-adult recommendations support monitoring eGFR/UACR, nutritional status, body function and individualized goals.

[47] Synthesis of ADA 2026, USDA FoodData Central, DIAAS reviews, and 2024–2026 plant-protein muscle literature presented in this chapter.

제18장 핵심 참고문헌

American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S276.

American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Older adults: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S277-S296.

Moughan, P. J., & Lim, W. X. J. (2024). Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. Frontiers in Nutrition, 11, 1389719.

van den Berg, L. A. M., Mes, J. J., Mensink, M., & Wanders, A. J. (2022). Protein quality of soy and the effect of processing: A quantitative review. Frontiers in Nutrition, 9, 1004754.

Hammer, L., et al. (2024). In vitro DIAAS of Swiss soybean cultivars using the INFOGEST model. Food Research International, 178, 113947.

Reid-McCann, R. J., et al. (2025). Effect of plant versus animal protein on muscle mass, strength, physical performance, and sarcopenia. Nutrition Reviews, 83(7), e1581-e1603.

Mendes, B. R., et al. (2026). Effects of plant- vs animal-based proteins on muscle protein synthesis: A systematic review with meta-analysis. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. Advance online publication.

Viguiliouk, E., et al. (2015). Effect of replacing animal protein with plant protein on glycemic control in diabetes. Nutrients, 7(12), 9804-9824.

제19장. 탄수화물을 얼마나 먹어야 하는가 - 숫자보다 반응을 읽는다

탄수화물은 가장 낮게 먹는 것이 목표가 아니다. 양과 질, 실제 혈당반응, 케톤, 약물과 지속 가능성을 함께 보며 개인의 허용범위를 찾는다.

탄수화물은 식물성 케톤식에서 가장 자주 숫자로 표현되는 영양소다. 그러나 하루 몇 g이라는 숫자 하나만으로 좋은 식사를 정의할 수는 없다. 같은 30 g의 탄수화물이라도 설탕에서 온 30 g과 채소·견과·씨앗·콩에서 온 30 g은 식이섬유, 미량영양소, 음식의 부피와 포만감이 다르다. 당뇨병에서는 개인의 약물, 활동량, 인슐린 저항성, 체중과 식후반응도 함께 봐야 한다.[1]

ADA 2026은 당뇨병에 이상적인 단일 탄수화물 비율이 확립됐다고 보지 않는다. 다만 일부 성인에서는 혈당 개선을 위해 탄수화물 섭취를 줄이는 방법을 고려할 수 있으며, 탄수화물의 양과 관계없이 최소가공·고섬유·영양밀도가 높은 공급원을 선택하도록 권고한다.[2] 따라서 이 장의 질문은 "몇 g이 정답인가"가 아니다. **어느 수준에서 혈당이 안정되고, 필요한 영양을 확보하며, 실제로 유지할 수 있는가**가 핵심이다.

1. 먼저 '총탄수화물'을 기준선으로 잡는다

식품표시에서 가장 먼저 확인할 항목은 총탄수화물(total carbohydrate)이다. 탄수화물 총량에는 당류뿐 아니라 전분과 식이섬유 등이 포함된다. 실제 식사에서는 총탄수화물을 먼저 기록하고, 그 안에서 섬유의 종류와 식품 형태를 함께 보는 편이 안전하다.[3]

용어 | 총탄수화물
Total carbohydrate
영양표시에서 당류·전분·식이섬유 등을 포함해 표시하는 기본 탄수화물 값이다.

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid. Recommendations 5.15 and carbohydrate section: carbohydrate reduction may be considered for some adults, while carbohydrate quality should emphasize minimally processed, nutrient-dense, high-fiber foods.

[3] American Diabetes Association. Get to Know Carbs. Nutrition Facts carbohydrate guidance. https://diabetes.org/food-nutrition/understanding-carbs/get-to-know-carbs

시중에서는 흔히 '순탄수화물(net carbs)'이라는 말을 사용한다. 보통 총탄수화물에서 식이섬유와 일부 당알코올을 뺀 값으로 계산하지만, 이 용어에는 법적 정의가 없고 FDA도 공식 계산법으로 사용하지 않는다. ADA 역시 순탄수화물만 믿기보다 총탄수화물을 확인하고 혈당반응을 관찰하라고 설명한다.[4]

식물성 케톤식에서 순탄수화물은 실무상 참고값으로 쓸 수 있다. 다만 포장식품의 'net carb' 숫자를 케톤식의 면허처럼 사용해서는 안 된다. 식이섬유와 당알코올은 종류에 따라 소화와 혈당 영향이 다르고, 초가공 저탄수 제품은 영양밀도가 낮을 수 있기 때문이다.[5]

표 19-1. 탄수화물 관련 용어를 구분하는 기본 틀

용어	무엇을 뜻하는가	계산·판단의 핵심	식물성 케톤식에서의 사용법
총탄수화물	당류·전분·섬유 등을 포함한 표시값	영양표시의 기본 기준	하루와 한 끼 기록의 출발점
식이섬유	소장에서 완전히 소화되지 않는 탄수화물 성분	종류별 발효·흡수 특성이 다름	충분히 확보하되 제품의 '섬유 첨가'만 보지 않음
순탄수화물	통상 총탄수화물에서 섬유·일부 당알코올을 뺀 값	법적·공식 정의가 없음	참고값으로만 사용하고 실제 혈당을 함께 확인
GI	일정량의 이용가능 탄수화물이 혈당을 올리는 상대적 속도·크기	식품 자체의 평균적 특성	같은 탄수화물량이라면 낮은 GI가 유리할 수 있음
GL	GI와 실제 섭취 탄수화물량을 함께 고려한 값	'질 × 양' 개념	한 끼 전체의 부담을 이해하는 데 도움

출처: American Diabetes Association (2026); ADA Get to Know Carbs; Chiavaroli et al. (2021).

2. 식이섬유는 탄수화물이지만 같은 방식으로 작동하지 않는다

용어 | 식이섬유
Dietary fiber
소장에서 완전히 소화되지 않는 탄수화물 성분이다. 식품형태와 종류에 따라 생리효과가 다르다.

식이섬유는 총탄수화물에 포함되지만 포도당처럼 빠르게 흡수되는 탄수화물과는 다르게 행동한다. 일부 섬유는 장내미생물에 의해 발효되고, 식품의 구조를 유지하면서 소화 속도를 늦추며, 포만감과 대변량에도 영향을 준다. ADA 2026은 탄수화물 공급원을 최소가공·고섬유 식품으로 선택하고 최소 14 g/1,000 kcal 수준의 식이섬유를 강조한다.[6]

그러나 '섬유가 많다'는 문구만으로 좋은 식품이 되는 것은 아니다.

[4] American Diabetes Association. Get to Know Carbs. The ADA notes that "net carbs" has no legal definition, is not used by the FDA, and recommends using total carbohydrate while monitoring glucose response.

[5] American Diabetes Association. Get to Know Carbs; ADA Standards of Care in Diabetes—2026, minimally processed food guidance.

[6] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes—2026, Section 5. High-fiber carbohydrate sources and at least 14 g fiber/1,000 kcal are emphasized.

정제 전분이나 당류에 분리 섬유를 첨가한 가공식품과 채소·견과·씨앗·콩류처럼 식품 전체 구조 속에 섬유가 들어 있는 식품은 같지 않다. 식물성 케톤식은 섬유의 g 수뿐 아니라 **어떤 식품이 그 섬유를 가져오는가**를 본다.[7]

이 때문에 탄수화물을 줄이는 과정에서 채소까지 지나치게 줄이는 것은 바람직하지 않다. 탄수화물 제한의 우선순위는 설탕, 가당음료, 정제곡물, 과자·빵·면과 같은 고밀도 탄수화물부터 낮추는 것이다. 비전분 채소와 견과·씨앗은 탄수화물 예산 안에서 영양밀도를 지키는 핵심 식품군이다.[8]

3. GI와 GL은 '양'에 없는 정보를 준다

용어 | GI·GL
Glycemic index / load
GI는 탄수화물의 평균 혈당반응, GL은 GI와 실제 섭취량을 함께 반영하는 개념이다.

혈당지수(glycemic index, GI)는 같은 양의 이용가능 탄수화물을 먹었을 때 식품이 혈당에 미치는 반응을 상대적으로 비교하는 개념이다. 혈당부하(glycemic load, GL)는 GI에 실제 먹는 탄수화물량을 함께 반영한다. 따라서 GI는 질에 가까운 정보이고 GL은 질과 양을 동시에 보는 지표다.[9]

GI가 낮다고 해서 무제한으로 먹을 수 있는 것은 아니다. 반대로 GI가 높은 식품이라도 소량을 단백질·지방·섬유와 함께 먹으면 한 끼의 실제 혈당반응은 달라질 수 있다. 조리 정도, 입자 크기, 숙성, 식사순서와 혼합식의 구성도 결과에 영향을 준다. GI와 GL은 유용하지만 실제 한 끼의 모든 변수를 대체하지는 못한다.[10]

2021년 29개 무작위 비교, 1,617명의 당뇨병 환자를 포함한 체계적 문헌고찰에서 낮은 GI/GL 식사패턴은 높은 GI/GL 대조식보다 HbA1c를 평균 0.31%포인트 낮췄다. 공복혈당, LDL-C, 중성지방, 체중과 일부 심혈관 위험지표도 작은 폭으로 개선됐다. 이는 탄수화물의 **질**이 총량과 별개로 중요하다는 근거다.[11]

[7] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid. Whole and minimally processed food sources are prioritized over processed and ultraprocessed foods.

[8] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Ibid. Recommendations emphasize nonstarchy vegetables and limiting refined grains, sweets, sugar-sweetened beverages, and ultraprocessed foods.

[9] Chiavaroli, L., et al. (2021). Effect of low glycaemic index or load dietary patterns on glycaemic control and cardiometabolic risk factors in diabetes: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. BMJ, 374, n1651. https://doi.org/10.1136/bmj.n1651

[10] Chiavaroli et al. (2021). GI/GL are useful average dietary characteristics but do not capture all mixed-meal and person-specific determinants of postprandial glycemia.

[11] Chiavaroli et al. (2021). Twenty-nine trial comparisons in 1,617 participants; low GI/GL patterns reduced HbA1c by −0.31 percentage points (95% CI −0.42 to −0.19) and improved several secondary cardiometabolic outcomes.

표 19-2. 탄수화물의 양과 질은 서로 다른 질문이다

질문	대표 지표	무엇을 알려주는가	한계와 실전 해석
얼마나 먹는가	총탄수화물 g	전체 탄수화물 노출	식품의 질은 설명하지 못하므로 하루·한 끼 기록의 출발점으로 사용
얼마나 빨리 올리는가	GI	평균적인 식후 혈당특성	개인차·혼합식 반영이 제한적이므로 동일량 식품 비교에 활용
실제 한 끼 부담은 어느 정도인가	GL	GI와 섭취량을 결합	계산값과 개인반응이 항상 같지 않아 양·질을 함께 보는 보조지표로 사용
실제 내 몸은 어떻게 반응하는가	자가혈당·CGM	개인의 실제 식후반응	측정오차와 일상조건을 고려해 반복 패턴으로 최종 개인화

출처: Chiavaroli et al. (2021); Zeevi et al. (2015); ADA Standards of Care in Diabetes-2026.

4. ‘저탄수’와 ‘케톤식’은 같은 말이 아니다

용어 | 저탄수와 케톤식
Low carb vs ketogenic
탄수화물이 적다고 모두 케톤식은 아니다. 케톤식은 실제 케톤생성 상태를 목표로 한다.

저탄수 연구를 읽을 때 가장 큰 혼란은 정의가 서로 다르다는 점이다. 어떤 연구는 하루 150 g 이하를 저탄수로 부르고, 어떤 연구는 총에너지의 일정 비율을 기준으로 한다. ADA 2026은 매우 낮은 탄수화물 패턴을 흔히 총에너지의 26% 미만으로 설명하면서, 단기적으로 HbA1c 개선이 나타날 수 있지만 1년 이후에는 식사패턴 간 차이가 줄어드는 경향을 지적한다.[12]

케톤식은 탄수화물이 적다는 사실만으로 정의할 수 없다. 핵심은 지방산 산화와 케톤 생성이 증가해 실제 영양적 케토시스가 형성되는가이다. Keto-Med 연구의 well-formulated ketogenic diet는 탄수화물 20~50 g/day를 목표로 했고, 영양적 케토시스를 유지하도록 설계됐다.[13]

따라서 50 g이라는 숫자도 절대적인 생리학적 경계가 아니다. 어떤 사람은 더 높은 탄수화물에서도 케톤이 유지되고, 어떤 사람은 더 낮춰야 할 수 있다. 단백질량, 총에너지, 운동, 공복시간, 인슐린 저항성의 정도가 모두 영향을 준다. **케톤식의 정의를 확인하려면 섭취량과 함께 실제 케톤상태를 봐야 한다.**[14]

[12] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes—2026, Section 5. Very-low-carbohydrate patterns are described as <26% of energy in cited systematic reviews; short-term A1C differences diminish beyond one year.

[13] Gardner, C. D., et al. (2022). Effect of a ketogenic diet versus Mediterranean diet on glycated hemoglobin in individuals with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: The interventional Keto-Med randomized crossover trial. American Journal of Clinical Nutrition, 116(3), 640-652. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac154

[14] Gardner et al. (2022); low-carbohydrate nutrition reviews note that ketogenic physiology is defined by the metabolic state, not carbohydrate grams alone.

표 19-3. 연구에서 사용되는 탄수화물 제한 범위를 읽는 법

구분	연구·지침에서 흔히 쓰이는 범위	케토시스 보장 여부	이 책에서의 해석
일반적 저탄수	연구에 따라 >50~150 g/day 또는 <45% 에너지 등	보장하지 않음	'탄수화물 감소' 근거로 분류
매우 낮은 탄수화물	흔히 <26% 에너지	반드시 케톤식은 아님	단기 혈당효과와 지속성을 따로 평가
잘 구성된 케톤식	Keto-Med에서 20~50 g/day	케토시스를 목표로 설계	실제 케톤 측정 여부를 함께 확인
개인화 식물성 케톤식	고정 숫자가 아니라 반응 기반	측정으로 확인	혈당·케톤·영양·약물안전성을 함께 조절

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Gardner et al. (2022); Feinman-related low-carbohydrate literature reviews.

5. 20~50 g은 '처방'이 아니라 연구에서 자주 쓰인 출발범위다

용어 | 20~50 g/day
Trial starting range
케톤식 임상시험에서 자주 사용된 탄수화물 범위다. 모든 사람의 고정 처방량은 아니다.

제2형 당뇨병에서 탄수화물 20~50 g/day는 케톤식 임상시험에서 자주 사용된 범위다. 그러나 이를 모든 사람에게 똑같이 적용하면 식사의 질과 지속 가능성을 놓칠 수 있다. Keto-Med 연구에서는 케톤식과 저탄수 지중해식 모두 HbA1c가 개선됐고 두 식사 간 HbA1c 차이는 유의하지 않았다. 케톤식은 중성지방을 더 낮췄지만 LDL-C가 높아지고 식이섬유와 일부 영양소 섭취가 낮았다.[15]

이 결과는 탄수화물을 더 낮추면 언제나 모든 지표가 더 좋아진다는 단순한 선형관계를 지지하지 않는다. 혈당·중성지방에는 유리할 수 있지만 LDL-C, 영양밀도, 지속성에서 다른 결과가 나타날 수 있다. 식물성 케톤식이 탄수화물 숫자 외에 지방의 질, 채소, 섬유, 단백질을 동시에 보는 이유다.[16]

초기에는 20~50 g/day 같은 범위가 대사반응을 확인하는 실용적 출발점이 될 수 있다. 하지만 실제 목표량은 혈당과 케톤, 허기, 체중, 운동능력, 변비, 지질반응, 약물상태를 본 뒤 조정해야 한다. 이 책에서는 이를 **'최저 탄수화물'이 아니라 '최소한으로 필요한 제한'**을 찾는 과정으로 정의한다.[17]

[15] Gardner et al. (2022). WFKD targeted 20–50 g/day carbohydrate; HbA1c did not differ significantly from Med-Plus after 12 weeks, while triglycerides decreased more and LDL-C increased more on WFKD; fiber and several nutrients were lower.

[16] Gardner et al. (2022). The trial illustrates divergent responses across glycemic, lipid, nutrient-intake, and sustainability outcomes.

[17] This is the practical interpretation used in this book, derived from ADA individualization principles and the Keto-Med trial; it is not a fixed guideline target.

6. 같은 음식을 먹어도 식후혈당은 사람마다 다를 수 있다

용어 | 개인 식후반응
Personal PPGR
같은 음식을 먹어도 사람마다 식후 혈당 곡선이 다를 수 있다.

탄수화물 허용량을 개인화해야 하는 중요한 이유는 식후 혈당반응의 개인차다. Zeevi 등은 800명을 연속혈당측정으로 관찰하고 46,898회의 식사반응을 분석했는데, 동일한 음식에 대해서도 사람 사이의 식후혈당 반응이 크게 달랐다. 개인 특성, 생활습관과 장내미생물 정보를 결합하면 반응을 더 잘 예측할 수 있었다.[18]

이 연구가 모든 사람에게 CGM을 의무적으로 사용해야 한다는 뜻은 아니다. 또한 2015년 연구의 알고리즘을 그대로 임상표준으로 사용할 수도 없다. 그러나 '하나의 GI표'나 '하루 30 g'이 모든 사람의 실제 반응을 완전히 설명하지 못한다는 점은 분명히 보여준다.[19]

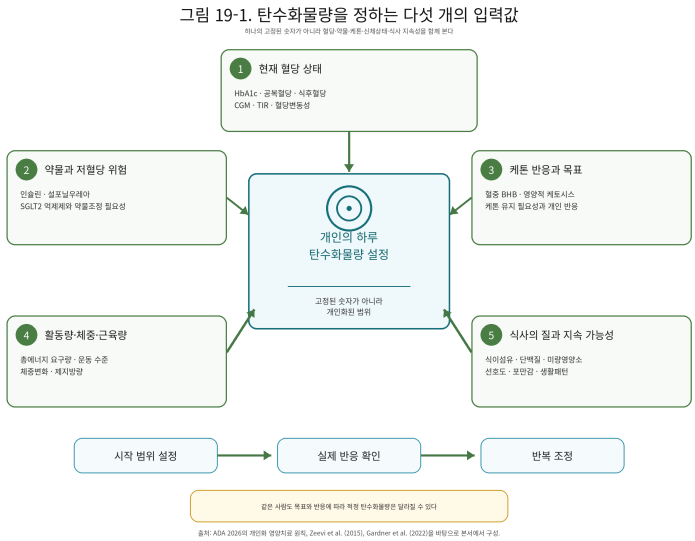
식물성 케톤식에서는 CGM이나 식후 자가혈당을 **실험도구**처럼 활용할 수 있다. 새로운 탄수화물 식품을 넣었을 때 같은 양을 비슷한 조건에서 반복해 보고, 식후 상승폭과 회복시간을 비교한다. 한 번의 값으로 결론을 내리기보다 여러 번의 패턴을 보는 편이 낫다.[20]

[18] Zeevi, D., et al. (2015). Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses. Cell, 163(5), 1079-1094. https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001

[19] Zeevi et al. (2015); Wolever, T. M. S. (2016). Personalized nutrition by prediction of glycaemic responses: fact or fantasy? European Journal of Clinical Nutrition, 70, 411-413. The findings support heterogeneity but do not invalidate population-level GI concepts.

[20] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Glucose monitoring and nutrition education should be individualized; CGM or self-monitoring can be used to understand patterns where clinically appropriate.

그림 19-1. 탄수화물량을 정하는 다섯 개의 입력값



7. 한 끼의 탄수화물은 하루 총량만큼 중요하다

용어 | 탄수화물 분배
Carbohydrate distribution
하루 총량뿐 아니라 한 끼에 얼마나 몰리는지도 식후혈당에 영향을 준다.

하루 60 g을 먹더라도 세 끼에 20 g씩 나누는 것과 한 끼에 50 g을 몰아서 먹는 것은 식후혈당 곡선이 다를 수 있다. 인슐린을 사용하거나 인슐린분비촉진제를 사용하는 사람에서는 식사별 탄수화물 패턴과 약물 작용시간의 관계가 특히 중요하다. ADA 2026도 고정 인슐린 용량을 사용하는 경우 탄수화물의 시간과 양을 일관되게 유지하는 교육을 권고한다.[21]

식물성 케톤식의 초기 단계에서는 한 끼 탄수화물의 급격한 변동을 줄이는 편이 반응을 읽기 쉽다. 채소와 두부, 견과, 씨앗을 기본으로 구성하고 콩류나 저당 과일을 추가할 때 한 번에 하나씩 양을 조정하면 어느 식품이 혈당과 케톤에 영향을 줬는지 구분하기 쉽다.[22]

지방과 단백질이 많은 혼합식에서는 혈당 상승이 늦게 나타날 수도 있다. 따라서 식후 1시간 값 하나만 보고 '안 오른다'고 판단하면 늦은 상승을 놓칠 수 있다. 개인에 따라 2~3시간 이후까지 패턴을 보는 이유다.[23]

[21] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes—2026, Section 5, Recommendation 5.28 regarding consistent carbohydrate timing and amount for people using fixed insulin doses.

[22] This stepwise food-testing method is a practical model in this book, consistent with individualized nutrition therapy but not an ADA-mandated protocol.

[23] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Section 5 notes that carbohydrate, fat, and protein all influence postprandial glycemia and mealtime insulin needs.

8. 초기 제한기와 유지기의 탄수화물량은 같을 필요가 없다

용어 | 재도입
Carbohydrate reintroduction
대사상태가 안정된 뒤 영양밀도 높은 탄수화물 식품을 소량씩 다시 시험하는 과정이다.

체중감량과 혈당 안정이 필요한 초기 단계에서는 탄수화물을 더 엄격히 줄이는 편이 대사반응을 확인하기 쉽다. 그러나 혈당과 체중이 안정되고 약물요구량이 달라지면, 장기적으로 같은 제한을 유지해야 하는지는 다시 평가해야 한다. ADA 2026이 장기적인 식사패턴을 개인화하고 지속 가능성을 반복해서 강조하는 이유도 여기에 있다.[24]

탄수화물을 다시 늘린다고 해서 곧바로 설탕이나 흰쌀, 빵을 추가하는 것은 아니다. 우선순위는 비전분 채소의 다양성을 늘리고, 다음으로 에다마메·콩류의 소량, 베리류나 통형태 식물식품처럼 섬유와 영양밀도가 높은 공급원을 시험하는 것이다. '재도입'은 고탄수식으로 복귀하는 과정이 아니라 **대사적으로 허용되는 식품의 범위를 찾는 과정**이다.[25]

이 과정은 주 단위로 천천히 하는 편이 해석하기 쉽다. 예를 들어 하나의 식품을 일정량 추가하고 며칠간 식후혈당, 공복혈당, 케톤, 허기와 체중을 본다. 이상이 없으면 다음 단계로 넘어가고, 혈당상승이 반복되거나 케톤 유지가 목표인데 케톤이 사라지면 양을 다시 줄인다. 이는 임상지침의 고정 프로토콜이 아니라 이 책에서 제안하는 **반응기반 실전모델**이다.[26]

표 19-4. 식물성 케톤식의 단계별 탄수화물 조절 모델

단계	목표	탄수화물 운영	관찰과 다음 단계 판단
1. 기초측정	현재 반응 파악	평소 섭취량·식품을 먼저 기록	공복·식후혈당, 체중, 약물을 기록해 기준선 확보
2. 제한기	식후부담·인슐린 요구 감소	정제 탄수화물을 우선 제거하고 저탄수 범위 설정	혈당·케톤·허기·수분상태가 안정적인지 확인
3. 안정기	영양밀도와 지속성 확보	채소·두부·견과·씨앗 중심으로 다양성 확대	변비·지질·체중·혈당을 보고 임상목표 접근 여부 평가
4. 재도입기	개인 허용범위 탐색	콩류·저당 과일 등 한 종류씩 소량 추가	식후혈당·CGM·케톤·체중이 반복적으로 안정되는지 확인
5. 유지기	장기적으로 지속 가능한 최소 제한	필요한 만큼만 제한	HbA1c·지질·신장·약물·삶의 질을 정기 재평가

출처: ADA 2026 개인화 영양치료 원칙과 본서의 식물성 케톤식 작업모델을 결합한 실전 제안. 고정된 임상지침이 아니다.

[24] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Section 5 emphasizes individualized eating plans, reassessment, and sustainability; differences among carbohydrate-restricted patterns tend to narrow over longer follow-up.

[25] ADA 2026 quality-of-carbohydrate principles; this ordering is the book's plant-based ketogenic practical model rather than a fixed clinical guideline.

[26] This staged reintroduction protocol is an authorial working model based on repeated metabolic response assessment. It requires medication safety review where relevant.

9. 케톤을 유지할 것인가, 혈당만 안정시키면 되는가

용어 | 영양적 케토시스
Nutritional ketosis
탄수화물 제한 등으로 케톤생성이 증가한 생리적 상태다. DKA와 구별해야 한다.

모든 제2형 당뇨병 환자가 지속적인 영양적 케토시스를 목표로 해야 하는 것은 아니다. 어떤 사람에게는 탄수화물을 줄이되 케톤을 지속적으로 유지하지 않는 저탄수 식사만으로도 혈당과 체중이 충분히 좋아질 수 있다. 실제 장기 저탄수 연구에서 케톤 여부와 관계없이 혈당·약물·체중이 개선된 사례가 많다.[27]

반대로 케톤생성 자체를 연구하고자 하거나 개인적으로 케톤상태에서 식욕과 혈당이 더 안정되는 경우에는 혈중 BHB를 측정해 실제 케토시스를 확인할 수 있다. 이때도 숫자 경쟁이 목적이 아니다. 더 높은 케톤이 더 좋은 당뇨치료효과를 보장한다는 근거는 없다.[28]

따라서 식물성 케톤식의 목표는 '가능한 한 탄수화물을 0에 가깝게' 만드는 것이 아니다. **필요한 대사효과가 나타나는 최소한의 제한을 찾고, 그 범위 안에서 식물성 식품의 다양성과 영양밀도를 최대화하는 것**이 더 합리적이다.[29]

10. 약물을 사용한다면 탄수화물 감량 속도도 치료의 일부다

용어 | SGLT2 억제제
SGLT2 inhibitor
요당 배설을 늘리는 당뇨약이다. 매우 낮은 탄수화물·케톤식과 함께할 때 DKA 위험에 특히 주의한다.

인슐린이나 저혈당 위험이 있는 약물을 사용하는 사람이 탄수화물을 갑자기 크게 줄이면 혈당이 예상보다 빠르게 떨어질 수 있다. 식사 변화와 약물 조정이 동시에 필요할 수 있으므로 의료진과 계획을 맞춰야 한다. 제23장에서 약물별 조정원칙을 더 자세히 다루겠지만, 여기서는 탄수화물 감량 자체가 약물요구량을 바꿀 수 있다는 점을 기억해야 한다.[30]

SGLT2 억제제는 더 특별한 주의가 필요하다. ADA 2026은 SGLT2 억제제를 사용하는 사람에게 케톤식 패턴을 피하도록 권고한다. 정상 또는 비교적 낮은 혈당에서도 케톤산증이 발생할 수 있

[27] Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of randomized trial data. BMJ, 372, m4743; ADA Standards of Care in Diabetes—2026.

[28] Ketogenic physiology reviews describe nutritional ketosis commonly around measurable β-hydroxybutyrate elevations; evidence does not establish that higher ketone concentrations linearly produce better diabetes outcomes.

[29] This is the design principle of the present book: use the least restriction needed to reach the metabolic goal while preserving diet quality and sustainability.

[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Nutrition therapy and medication management sections; substantial carbohydrate reduction can alter insulin and glucose-lowering medication requirements and requires individualized clinical supervision.

기 때문이다. 따라서 이 약을 사용하는 동안에는 이 책의 케톤 목표를 그대로 적용하지 않는다.[31]

임신·수유, 소아, 진행된 신장질환, 섭식장애가 있거나 위험이 높은 경우에도 매우 낮은 탄수화물 식사를 일반적인 자가실험처럼 적용해서는 안 된다. ADA 2026은 이들 상황에서 매우 낮은 탄수화물 패턴을 권하지 않는다.[32]

11. 탄수화물량을 정할 때 보는 실제 순서

용어 | 반응기반 조절
Response-based titration
고정 탄수화물 숫자보다 혈당·케톤·체중·지질·약물상태를 반복 측정해 양을 조절하는 방식이다.

첫째, 현재 총탄수화물과 주요 공급원을 기록한다. 둘째, 설탕·가당음료·정제곡물처럼 영양밀도가 낮고 혈당부담이 큰 식품부터 줄인다. 셋째, 비전분 채소와 식물성 단백질, 불포화지방을 충분히 배치한 뒤 남은 탄수화물 예산을 정한다.[33]

넷째, 혈당이 얼마나 내려갔는지 확인한다. 케토시스가 목표라면 BHB도 본다. 다섯째, 변비와 허기, 운동능력, 체중, LDL-C와 중성지방 등 다른 지표가 나빠지지 않는지 살핀다. 마지막으로 몇 주 또는 몇 달 뒤 같은 제한이 여전히 필요한지 다시 묻는다.[34]

이 순서를 따르면 “30 g인가 50 g인가”라는 논쟁에서 벗어날 수 있다. 탄수화물 숫자는 출발점이며, 최종 답은 반복해서 측정한 대사반응과 유지 가능성이 준다. **탄수화물은 고정된 처방량이 아니라 조절변수다.**[35]

[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes—2026, Section 5. Very-low-carbohydrate or ketogenic eating patterns should be avoided with SGLT2 inhibitors because of ketoacidosis risk.

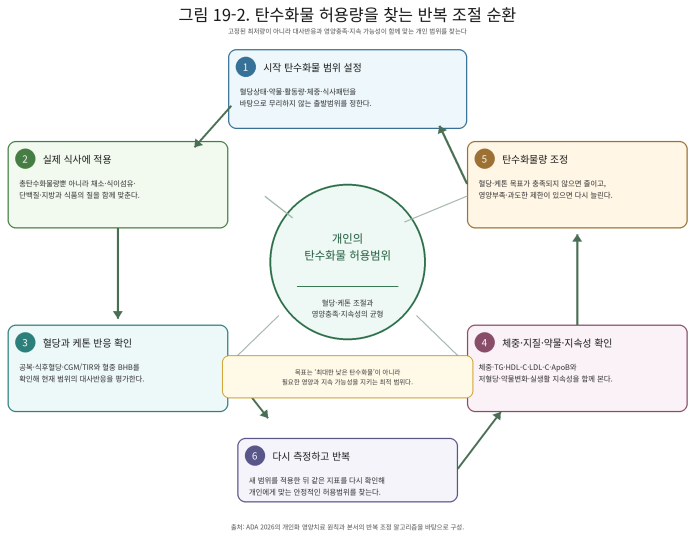
[32] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Section 5. Very-low-carbohydrate eating plans are not currently recommended in pregnancy or lactation, children, kidney disease, or people with or at risk for disordered eating.

[33] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Food-quality and carbohydrate-reduction recommendations; sequencing is adapted here into the book’s practical model.

[34] ADA 2026 individualization principles; Gardner et al. (2022) demonstrates the need to consider glucose, LDL-C, fiber, nutrient intake, and sustainability together.

[35] This is the conceptual conclusion of this chapter, based on the cited evidence and the book’s response-based framework.

그림 19-2. 탄수화물 허용량을 찾는 반복 조절 순환



출처: ADA 2026의 개인화 영양치료 원칙과 본서의 반복 조정 알고리즘을 바탕으로 구성.

12. 이 장의 결론 - 가장 낮은 양이 아니라 가장 맞는 양

용어 | 최소 필요 제한
Minimum effective restriction
가장 낮은 탄수화물량이 아니라 원하는 대사효과를 내는 최소한의 제한을 찾는 원칙이다.

식물성 케톤식에서 탄수화물은 줄여야 할 영양소이면서 동시에 식물성 식품의 다양성을 결정하는 영양소다. 너무 많으면 혈당과 인슐린 부담이 커질 수 있지만, 지나치게 낮추면 콩류·과일·일부 채소의 선택 폭과 식이섬유, 미량영양소가 줄 수 있다. 그래서 양과 질을 함께 보아야 한다.[36]

낮은 GI/GL 식사가 HbA1c를 개선한다는 연구는 탄수화물의 질이 중요하다는 것을 보여준다. 저탄수·케톤식 연구는 탄수화물의 양을 크게 줄였을 때 단기 혈당과 중성지방, 약물요구량이 개선될 수 있음을 보여준다. 개인 식후반응 연구는 같은 음식에도 사람마다 반응이 다를 수 있음을 보여준다. 세 근거는 서로 경쟁하지 않는다. 함께 사용할 때 더 완전한 식사설계가 된다.[37]

따라서 이 책에서 식물성 케톤식의 탄수화물 목표는 한 문장으로 정리할 수 있다. **혈당과 인슐린 부담을 충분히 낮출 만큼 줄이되, 필**

[36] ADA 2026 carbohydrate-quality recommendations; Gardner et al. (2022) showed lower fiber and selected nutrient intake during WFKD compared with a low-carbohydrate Mediterranean pattern.

[37] Chiavaroli et al. (2021); Goldenberg et al. (2021); Zeevi et al. (2015). These evidence streams address carbohydrate quality, carbohydrate quantity, and interpersonal response variability, respectively.

요한 영양과 지속 가능성을 잃을 만큼 낮추지는 않는다. 그리고 그 경계는 혈당, 케톤, 체중, 지질, 약물과 실제 생활 속 지속성을 반복해서 확인하며 찾는다.[38]

[38] Synthesis of ADA 2026 individualized medical nutrition therapy principles and the evidence reviewed in this chapter.

제19장 핵심 참고문헌

American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

American Diabetes Association. Get to Know Carbs. Understanding carbohydrates and net carbohydrate claims.

Chiavaroli, L., et al. (2021). Effect of low glycaemic index or load dietary patterns on glycaemic control and cardiometabolic risk factors in diabetes: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. BMJ, 374, n1651.

Gardner, C. D., et al. (2022). Effect of a ketogenic diet versus Mediterranean diet on glycated hemoglobin in individuals with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: The interventional Keto-Med randomized crossover trial. American Journal of Clinical Nutrition, 116(3), 640-652.

Zeevi, D., et al. (2015). Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses. Cell, 163(5), 1079-1094.

Goldenberg, J. Z., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of randomized trial data. BMJ, 372, m4743.

제20장. 시작하기 전에 반드시 확인할 것 - 기준선을 알아야 변화가 보인다

식사를 바꾸기 전에 현재 상태를 기록한다. 혈당뿐 아니라 신장·간·지질·혈압·약물과 합병증까지 기준선을 잡아야 이후 변화를 안전하게 해석할 수 있다.

식물성 케톤식을 시작하기 전에 가장 먼저 해야 할 일은 식품을 사는 것이 아니다. **현재의 대사상태를 기록하는 것**이다. 혈당이 어느 정도인지, 인슐린을 얼마나 분비하고 있는지, 신장과 간은 어떤 상태인지, 혈압과 지질은 어디에 있는지 먼저 확인해야 한다. 그래야 4주 뒤의 변화가 우연인지, 실제 치료 반응인지 판단할 수 있다.[1]

당뇨병 관리에서 기준선은 단순한 검사 목록이 아니다. 앞으로 무엇을 안전하게 바꿀 수 있는지 결정하는 지도다. 특히 탄수화물을 크게 줄이면 혈당과 약물 요구량이 빠르게 달라질 수 있으므로, 인슐린·설포닐우레아·SGLT2 억제제를 사용하는 사람은 시작 전 약물 검토가 필수적이다.[2]

이 장에서 제시하는 검사는 모두에게 무조건 시행하는 일률적 패널이 아니다. ADA 2026의 포괄적 평가 항목을 중심으로, 식물성 케톤식에서 특히 유용한 지표를 **필수·권장·선택**으로 나누어 설명한다.[3]

1. HbA1c와 공복혈당 - 출발점의 혈당을 기록한다

용어 | HbA1c
Glycated hemoglobin
최근 약 2~3개월의 평균적인 혈당 노출을 반영한다. 적혈구 수명 변화가 있으면 실제 혈당과 어긋날 수 있다.

HbA1c는 최근 약 2~3개월의 평균적인 혈당 노출을 반영한다. 당뇨병의 진단과 치료 경과 평가에서 가장 널리 쓰이는 지표이며, ADA는 최근 3개월 이내 결과가 없거나 치료가 변한 경우 평가하도록 권고한

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation and assessment of comorbidities: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S61-S88.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises; Pharmacologic approaches to glycemic treatment. Diabetes Care, 49(Suppl. 1).

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation and assessment of comorbidities: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S61-S88.

다.[4]

그러나 HbA1c 하나로 모든 것을 설명할 수는 없다. 적혈구 수명에 영향을 주는 빈혈, 최근 출혈이나 수혈, 혈액질환, 일부 신장질환에서는 실제 혈당과 HbA1c가 어긋날 수 있다. 이런 경우에는 공복혈당이나 CGM, fructosamine 같은 다른 지표를 함께 봐야 한다.[5]

공복혈당은 최소 8시간 열량 섭취가 없는 상태의 혈장 포도당이다. 진단 기준에서는 126 mg/dL 이상이 당뇨병 범위이며, HbA1c 6.5% 이상 역시 진단 기준에 해당한다. 명백한 고혈당 증상이 없다면 진단은 반복검사나 서로 다른 두 검사로 확인해야 한다.[6]

표 20-1. 식물성 케톤식 시작 전 기본 혈당·대사 지표

지표	기본 위치	무엇을 보는가	해석할 때 주의할 점
HbA1c	필수	최근 2~3개월 평균 혈당 노출	빈혈·수혈·혈액질환·진행된 CKD에서는 왜곡 가능
공복혈당	필수	공복 상태의 현재 혈당	하루 변동이 있어 단독으로 장기 추세를 판단하지 않음
CGM/BGM	권장	식후상승·야간혈당·변동성	진단용이 아니라 치료반응 관찰용으로 사용
공복인슐린	선택	보상성 고인슐린혈증의 단서	표준화된 임상진단 기준이 없고 검사법 차이가 큼
HOMA-IR	선택	공복혈당·인슐린 기반 저항성 추정	연구·추세 비교에 유용하나 절대값 진단에는 한계
C-peptide	조건부	내인성 인슐린 분비의 단서	모든 제2형 당뇨에 routine 검사가 아님

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Wallace et al.; Muniyappa et al.; Kang et al.

2. 공복인슐린과 HOMA-IR - 혈당 뒤의 인슐린을 읽는다

용어 | 공복인슐린
Fasting insulin
공복 상태의 혈중 인슐린 농도다. 표준화된 당뇨 진단값이 아니라 대사상태의 보조지표로 사용한다.

같은 공복혈당이라도 필요한 인슐린의 양은 다를 수 있다. 어떤 사람은 많은 인슐린을 분비해 혈당을 겨우 유지하고, 다른 사람은 베타세포 기능이 떨어져 인슐린 자체가 부족할 수 있다. 이 차이는 식사 반응과 약물 조정에서 중요하다.[7]

공복인슐린은 이런 차이를 이해하는 데 도움이 되지만, 일반적인 당뇨병 진단검사로 표준화되어 있지는 않다. 검사법과 인구집단에

[4] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

[5] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S27-S60.

[6] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S27-S60.

[7] Muniyappa, R., Lee, S., Chen, H., & Quon, M. J. (2008). Current approaches for assessing insulin sensitivity and resistance in vivo: advantages, limitations, and appropriate usage. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 294(1), E15-E26.

따라 참고범위가 달라지므로 한 번의 절대값보다는 같은 검사실에서 반복 측정한 추세가 더 유용하다.[8]

HOMA-IR은 공복혈당과 공복인슐린으로 인슐린 저항성을 추정하는 간편한 지표다. 역학연구와 대사 연구에서 널리 사용되지만, 정상 범위를 하나의 숫자로 고정하기 어렵고 베타세포 기능이 많이 떨어진 사람에서는 실제 저항성을 과소평가할 수 있다.[9]

한국인을 대상으로 clamp 검사와 비교한 연구에서도 HOMA-IR은 전체적으로 상관성을 보였지만, 낮은 BMI·낮은 베타세포 기능·높은 공복혈당에서는 정확도가 떨어졌다. 따라서 이 책에서는 HOMA-IR을 **진단 판정값이 아니라 변화 방향을 보는 보조지표**로 사용한다.[10]

3. C-peptide - 누구에게나 필요한 검사는 아니다

용어 | C-peptide
C-peptide
내인성 인슐린 분비를 추정하는 지표다. 모든 제2형 당뇨에 routine으로 필요한 검사는 아니다.

C-peptide는 인슐린이 만들어질 때 함께 분비되는 물질이다. 외부에서 주사한 인슐린에는 C-peptide가 없기 때문에, 인슐린 치료를 받고 있는 사람에서 몸이 스스로 얼마나 인슐린을 분비하는지 추정할 때 특히 도움이 된다.[11]

그러나 제2형 당뇨병 환자 모두에게 식사 시작 전 C-peptide를 측정해야 한다는 뜻은 아니다. ADA 2026은 당뇨병 유형을 분류하는 맥락에서 C-peptide 검사를 주로 인슐린 치료 중인 사람에게 사용하며, 인슐린 중단을 고려할 때 심한 인슐린 결핍을 배제하도록 한다.[12]

따라서 이 책에서는 C-peptide를 **조건부 검사**로 둔다. 당뇨 유형이 불분명하거나, 체중이 낮고 인슐린 분비저하가 의심되거나, 장기간 인슐린을 사용해 감량 가능성을 평가해야 하는 경우 의료진과 상의해 측정한다.

[8] Wallace, T. M., Levy, J. C., & Matthews, D. R. (2004). Use and abuse of HOMA modeling. Diabetes Care, 27(6), 1487-1495.
[9] Wallace, T. M., Levy, J. C., & Matthews, D. R. (2004). Use and abuse of HOMA modeling. Diabetes Care, 27(6), 1487-1495.
[10] Kang, E. S., et al. (2005). Limitation of the validity of the homeostasis model assessment as an index of insulin resistance in Korea. Metabolism, 54(2), 206-211.
[11] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S27-S60.
[12] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S27-S60.

4. 신장기능 - eGFR만 보지 말고 UACR도 본다

용어 | eGFR·UACR
Kidney markers
eGFR은 여과기능, UACR은 소변 albumin 배출을 본다. 초기 신장손상은 UACR이 먼저 변할 수 있다.

제2형 당뇨병에서는 식사 변경 전 신장기능을 반드시 확인해야 한다. ADA 2026은 모든 제2형 당뇨병 환자에서 eGFR과 spot UACR을 최소 연 1회 평가하도록 권고한다.[13]

eGFR은 혈액의 creatinine을 이용해 신장이 혈액을 얼마나 여과하는지 추정한다. 하지만 eGFR이 정상범위라고 해서 신장 손상이 전혀 없다는 뜻은 아니다. 초기 당뇨병성 신장질환에서는 eGFR이 유지된 상태에서도 소변 albumin이 먼저 증가할 수 있다.[14]

UACR은 소변 albumin을 creatinine에 대한 비율로 나타낸 값이다. 30 mg/g 이상이 지속되면 albuminuria가 의심되며, 300 mg/g 이상은 중증도가 더 높은 범주다. 운동, 감염, 고혈당, 발열, 월경 등으로 일시적으로 올라갈 수 있으므로 한 번의 값만으로 확정하지 않는다.[15]

식물성 케톤식에서 신장기능은 단백질 설계와 약물 안전성을 동시에 결정한다. CKD가 있다면 제18장에서 설명한 대로 단백질 목표를 조절하고, ACE 억제제·ARB·이뇨제 등을 복용한다면 potassium과 creatinine 변화도 함께 살펴야 한다.[16]

표 20-2. 신장·간·전해질 평가에서 확인할 항목

영역	핵심 검사	왜 필요한가	추가 확인이 필요한 경우
신장 여과	creatinine, eGFR	CKD 단계와 약물·단백질 계획의 기초	eGFR 감소가 지속되거나 빠르게 하락
신장 손상	spot UACR	초기 albuminuria 탐지	UACR ≥30 mg/g이 반복되거나 증가
전해질	Na, K, bicarbonate	이뇨제·RAAS 약물·탈수 위험 평가	K 이상, CKD, 혈압약 변경
간	AST, ALT, platelet, FIB-4	MASLD/MASH 섬유화 위험 선별	FIB-4 ≥1.3 또는 지속적 효소 상승
혈액	CBC, 필요 시 B12	빈혈·HbA1c 해석·metformin 장기복용 평가	빈혈, metformin >5년, 신경증상

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026, Sections 4 and 11.

[13] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S260.
[14] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S260.
[15] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S260.
[16] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S260.

5. 간기능과 FIB-4 - 지방간을 놓치지 않는다

용어 | FIB-4
Fibrosis-4 index
나이·AST·ALT·혈소판으로 간 섬유화 위험을 선별하는 계산지표다. 확진검사는 아니다.

제2형 당뇨병과 지방간은 자주 함께 나타난다. ADA 2026은 제2형 당뇨병 또는 전당뇨병 성인, 특히 비만이나 다른 심대사 위험요인이 있는 경우 FIB-4를 이용해 간 섬유화 위험을 선별하도록 권고한다.[17]

FIB-4는 나이, AST, ALT, 혈소판 수를 이용하는 계산지표다. 단순히 AST와 ALT가 정상이라고 안심할 수 없는 이유가 여기에 있다. 임상적으로 의미 있는 MASH와 섬유화가 정상 범위의 간효소에서도 존재할 수 있기 때문이다.[18]

ADA 2026에서는 성인 제2형 당뇨병에서 FIB-4 1.3 이상이면 transient elastography나 ELF 같은 추가 위험분류를 권고한다. 65세 이상에서는 해석 기준이 달라질 수 있으며, FIB-4 자체가 확진검사는 아니다.[19]

6. 지질검사 - LDL-C만 보지 않는다

용어 | ApoB
Apolipoprotein B
동맥경화성 lipoprotein particle 수를 반영하는 보조지표다. 표준 lipid panel을 대체하지 않는다.

식물성 케톤식은 지방 섭취 비중이 커질 수 있으므로 시작 전 지질검사가 중요하다. ADA 2026은 당뇨병 초기 평가에서 총콜레스테롤, LDL-C, HDL-C, 중성지방을 포함한 lipid profile을 확인하도록 권고한다.[20]

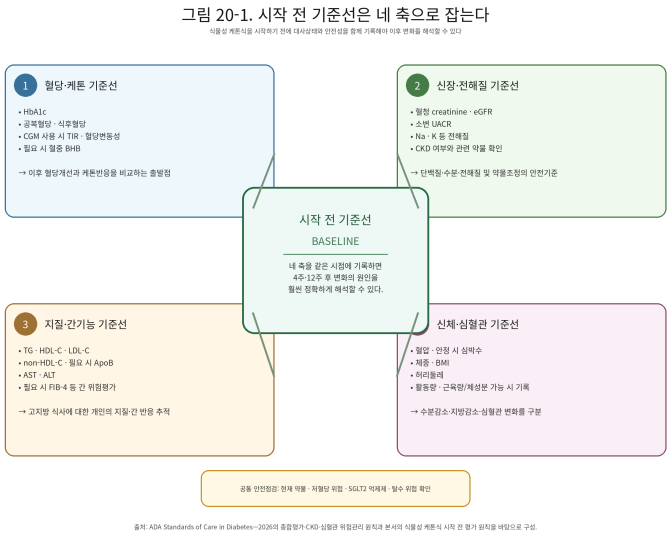
케톤식에서는 중성지방이 감소하고 HDL-C가 상승하는 경우가 흔하지만, 일부 사람에서는 LDL-C가 상당히 상승할 수 있다. 따라서 식사 전 값이 없으면 이후 변화가 식사 때문인지 원래 높았는지 구분하기 어렵다.

ApoB는 모든 사람에게 필수검사는 아니지만, LDL-C와 중성지방이 서로 다른 방향으로 움직이거나 심혈관 위험이 높은 사람에서는 추가적인 atherogenic particle burden을 이해하는 데 도움이 될 수 있다. 이 책에서는 ApoB를 **권장 선택검사**로 두되, 표준 lipid

[17] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation and assessment of comorbidities: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S61-S88.
[18] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation and assessment of comorbidities: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S61-S88.
[19] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation and assessment of comorbidities: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S61-S88.
[20] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Cardiovascular disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S216-S245.

profile을 대체하지는 않는다.[21]

그림 20-1. 시작 전 기준선은 네 축으로 잡는다



출처: ADA Standards of Care in Diabetes–2026의 종합평가·CKD·심혈관 위험관리 원칙과 본서의 식물성 케톤식 시작 전 평가 원칙을 바탕으로 구성.

7. 혈압·체중·허리둘레 - 검사실 밖의 대사 지표

용어 | 허리둘레
Waist circumference
복부지방 변화를 추적하는 실용적 지표다. 체중과 다른 정보를 줄 수 있다.

혈압은 채혈보다 간단하지만 중요성은 작지 않다. ADA의 포괄적 초기평가에는 혈압 측정이 포함되며, 치료 중 목표는 개인화하되 안전하게 달성할 수 있다면 대체로 130/80 mmHg 이하를 지향한다.[22]

체중과 BMI 역시 기록한다. 그러나 체중만으로 복부 지방의 변화를 충분히 설명하기 어렵기 때문에 허리둘레를 함께 측정하면 좋다. ADA의 2026 비만 평가 기준도 키·체중·BMI를 기본으로 하고 필요할 때 허리둘레를 추가하도록 한다.[23]

중요한 것은 같은 조건에서 반복하는 것이다. 체중은 아침 공복, 배뇨 후처럼 조건을 맞추고, 허리둘레도 같은 위치와 자세에서 측정

[21] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Cardiovascular disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S216-S245. ApoB is an adjunctive risk marker rather than a universal replacement for the standard lipid panel.

[22] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Cardiovascular disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S216-S245.

[23] American Diabetes Association. (2026). Screening, diagnosis, evaluation, and staging of obesity in adults: Standards of Care in Overweight and Obesity-2026.

한다. 그래야 수분 변화와 실제 체지방 변화를 어느 정도 구분할 수 있다.

표 20-3. 시작 전 신체·심혈관 기준선

지표	기록 방법	시작 전 의미	추적 시 포인트
혈압	안정 후 표준 커프로 2회 이상	심혈관·신장 위험과 약물계획	저탄수 시작 후 저혈압·어지럼도 확인
체중	같은 시간·비슷한 복장	에너지균형의 기본 기준선	초기 수분감소와 장기 지방감소를 구별
BMI	체중/키²	체중 범주를 보는 보조지표	체성분 자체를 보여주지는 않음
허리둘레	같은 해부학적 위치에서 반복	복부지방 변화의 실용적 대리지표	체중이 같아도 허리둘레 변화 가능
심박수	안정 시 측정	탈수·약물·운동상태의 참고	증상과 함께 해석

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; ADA Standards of Care in Overweight and Obesity-2026.

8. 약물 목록은 검사결과만큼 중요하다

용어 | euglycemic DKA
정상혈당성 케톤산증
혈당이 크게 높지 않아도 발생할 수 있는 DKA다. SGLT2 억제제와 매우 낮은 탄수화물 섭취에서 특히 주의한다.

식물성 케톤식을 시작할 때 가장 위험한 실수는 식사만 바꾸고 약물은 그대로 두는 것이다. 혈당이 빠르게 내려가면 같은 인슐린이나 설포닐우레아 용량이 저혈당을 일으킬 수 있다. 따라서 약 이름, 용량, 복용시간, 최근 저혈당 여부를 시작 전에 기록해야 한다.[24]

SGLT2 억제제는 더 주의해야 한다. 이 약물은 혈당이 아주 높지 않은 상태에서도 케톤산증이 발생하는 euglycemic DKA와 관련될 수 있으며, 매우 낮은 탄수화물 섭취·금식·탈수는 위험을 높일 수 있다. SGLT2 억제제를 사용하는 사람은 케톤식 시작 전에 의료진과 반드시 계획을 세워야 한다.[25]

혈압약도 변화할 수 있다. 탄수화물과 총에너지 섭취가 줄고 체중과 수분이 감소하면 혈압이 빨리 떨어질 수 있다. 특히 이뇨제나 여러 혈압약을 함께 사용하는 사람은 어지럼, 기립성 증상, 전해질 변화를 관찰한다.[26]

[24] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

[25] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026. Sections 5, 6, and 9; SGLT2 inhibitors and ketoacidosis risk guidance.

[26] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Cardiovascular disease and risk management; Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026.

표 20-4. 식물성 케톤식 시작 전 약물 안전 점검

약물군	시작 전 확인	식사변경 후 가능한 변화	핵심 안전조치
인슐린	종류·단위·식사/기저 구분	저혈당 위험 증가, 요구량 감소 가능	자가 임의 중단 금지, 빈번한 혈당확인과 의료진 조정
설포닐우레아	용량·저혈당 병력	저혈당 위험 증가	시작 초기 용량 재평가 필요
SGLT2 억제제	약명·신장기능·DKA 병력	euglycemic DKA 위험	매우 낮은 탄수화물/금식과 병행 전 의료진 상담
GLP-1 RA/GIP·GLP-1	오심·섭취량·체중	식욕감소가 겹쳐 섭취부족 가능	수분·단백질·증상 점검
혈압약/이뇨제	혈압·K·creatinine	저혈압·탈수·전해질 변화	혈압·증상·전해질 추적
statin 등 지질약	복용순응도·기준 LDL-C	식사효과와 약효가 함께 작용	임의 중단하지 않고 추적 lipid panel로 평가

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026, Sections 6, 9, 10, 11.

9. 눈·발·신경도 시작 전에 확인한다

용어 | 망막·발검사
Complication screening
식사 프로그램과 별개로 당뇨 합병증을 조기에 찾기 위한 기본 관리다.

대사치료의 목적은 숫자만 낮추는 것이 아니다. 이미 존재하는 합병증을 놓치지 않는 것이 더 중요할 때가 있다. 제2형 당뇨병에서는 진단 시점부터 망막병증이 존재할 수 있으므로 ADA는 진단 당시 안저검사를 권고한다.[27]

발도 마찬가지다. ADA는 최소 연 1회 종합적인 발 평가를 권고하며, 감각소실이나 과거 궤양·절단이 있다면 더 자주 확인한다. 신경병증이나 말초동맥질환이 있는 사람에게 운동량을 갑자기 늘리는 것은 별도의 주의가 필요하다.[28]

이 검사는 식물성 케톤식 자체를 위한 검사가 아니다. **당뇨병이라는 질환을 안전하게 관리하기 위한 기본 평가**다. 책의 식사 프로그램이 일반적인 당뇨 합병증 관리 원칙을 대신하지 않는다는 점을 분명히 해야 한다.

10. 한 장의 기준선 시트를 만든다

용어 | 기준선
Baseline
치료 전 상태를 같은 방법으로 기록한 출발점이다. 이후 변화의 방향과 크기를 판단하는 기준이 된다.

검사가 많아 보이지만 정리하면 네 묶음이다. 첫째는 혈당과 인슐린이다. 둘째는 신장·간·지질 같은 장기 상태다. 셋째는 혈압·체중·허리둘레 같은 신체지표다. 넷째는 약물과 기존 합병증이다.

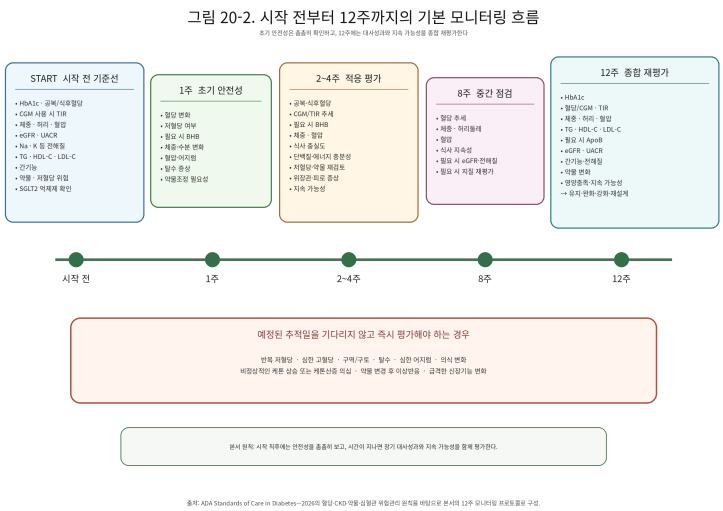
이 네 묶음을 한 장에 기록하면 이후 4주, 12주, 6개월의 변화가 보인다. 중요한 것은 완벽한 숫자를 만드는 것이 아니라 **같은 지표를**

[27] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Retinopathy, neuropathy, and foot care: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S261-S276.

[28] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Retinopathy, neuropathy, and foot care: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S261-S276.

같은 방식으로 반복해 변화의 방향을 읽는 것이다.[29]

그림 20-2. 시작 전부터 12주까지의 기본 모니터링 흐름



출처: ADA Standards of Care in Diabetes–2026의 혈당·CKD·약물·심혈관 위험관리 원칙을 바탕으로 본서의 12주 모니터링 프로토콜로 구성.

식물성 케톤식은 음식만의 프로그램이 아니다. 시작 전 상태를 알고, 변화 속도를 읽고, 필요하면 약물과 영양구성을 조정하는 **반응 기반 대사관리**다. 기준선을 기록하는 순간부터 치료는 이미 시작된다.

[29] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation and assessment of comorbidities; Glycemic goals: Standards of Care in Diabetes-2026.

제20장 핵심 참고문헌

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S27-S60.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation and assessment of comorbidities: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S61-S88.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Cardiovascular disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S216-S245.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S260.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Retinopathy, neuropathy, and foot care: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S261-S276.

Muniyappa, R., Lee, S., Chen, H., & Quon, M. J. (2008). Current approaches for assessing insulin sensitivity and resistance in vivo: advantages, limitations, and appropriate usage. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 294(1), E15-E26.

Wallace, T. M., Levy, J. C., & Matthews, D. R. (2004). Use and abuse of HOMA modeling. Diabetes Care, 27(6), 1487-1495.

Kang, E. S., et al. (2005). Limitation of the validity of the homeostasis model assessment as an index of insulin resistance in Korea. Metabolism, 54(2), 206-211.

제21장. 첫 4주의 대사 전환 - 적응을 서두르지 말고 반응을 읽는다

첫 4주는 몸을 몰아붙이는 시간이 아니다. 수분·혈당·케톤·체중·약물 변화를 함께 읽으며 안전하게 적응하는 시간이다.

탄수화물을 줄인 첫 4주는 몸이 새로운 연료 사용법을 배우는 시기다. 혈당과 체중은 비교적 빨리 움직일 수 있지만, 모든 변화가 곧 지방감소나 대사 회복을 뜻하지는 않는다. 첫 주의 체중 감소에는 수분 변화가 크게 섞일 수 있고, 약물을 사용하는 사람은 혈당이 예상보다 빨리 떨어질 수 있다.[1]

식물성 케톤식의 첫 4주는 그래서 '참고 버티는 기간'이 아니다. **관찰하고, 구별하고, 조절하는 기간**이다. 혈당·케톤·체중·혈압·증상을 같은 조건에서 기록하면 몸이 적응하고 있는지, 식사 구성이 맞지 않는지, 약물 재평가가 필요한지 훨씬 빨리 알 수 있다.[2]

이 장에서 제시하는 4주 계획은 모든 사람에게 같은 속도를 요구하지 않는다. 신장질환, 심부전, 인슐린 결핍 가능성, 임신, 섭식장애, 반복된 저혈당이나 DKA 병력이 있다면 일반적인 자가 프로그램보다 의료진의 개별 계획이 우선한다.[3]

1. 제1주 - 연료가 바뀌기 전에 수분과 약물부터 움직인다

용어 | 케토 유도기
Keto-induction
탄수화물을 크게 줄인 뒤 케톤대사로 이동하는 초기 적응기다. 증상과 속도는 개인마다 다르다.

첫 며칠에는 지방이 갑자기 많이 사라지기보다 글리코겐과 수분이 먼저 변한다. 탄수화물 섭취가 줄고 인슐린 노출이 낮아지면 신장에서 나트륨 배설과 이뇨가 증가할 수 있다. 이 반응은 공복과 케톤식 시작기에 오래전부터 관찰됐으며, 최근 scoping review도 초기

[1] Bistrian, B. R., Blackburn, G. L., Flatt, J. P., Sizer, J., Scrimshaw, N. S., & Sherman, M. (1976). Nitrogen metabolism and insulin requirements in obese diabetic adults on a protein-sparing modified fast. Diabetes, 25(6), 494-504; 2025 keto-induction scoping review.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Sections 2, 5, 6, 9, and 11.

1~4일의 natriuresis와 수분 변화가 두드러질 수 있다고 정리했다.[4]

이 때문에 체중계 숫자가 빠르게 내려갈 수 있다. 그러나 첫 주의 감소량을 그대로 체지방 감소로 해석하면 안 된다. 수분이 빠졌다가 다시 보충되면 체중이 일부 되돌아오는 것도 흔한 생리적 변동이다.[5]

두통, 피로, 어지럼, 근육경련, 변비 같은 증상도 보고된다. 흔히 '케토 플루'라고 부르지만, 2025년 scoping review는 증상 빈도와 원인에 대한 연구가 매우 이질적이며 전해질 보충의 효과를 직접 검증한 임상시험도 부족하다고 지적한다. 따라서 모든 불편을 전해질 부족으로 단정해서는 안 된다.[6]

증상이 있을 때 먼저 볼 것은 수분 섭취, 혈압, 혈당, 소변량, 약물이다. 특히 이뇨제나 여러 혈압약을 함께 사용하는 사람은 식사 변화와 수분 손실이 겹치면서 어지럼이나 기립성 저혈압이 나타날 수 있다.[7]

표 21-1. 첫 4주에 흔히 관찰할 수 있는 변화와 해석 원칙

시기	흔히 관찰하는 변화	먼저 확인할 것	해석 원칙
1~3일	체중 급감, 소변 증가, 갈증, 두통	혈압·혈당·수분·약물	체중 감소의 상당 부분이 수분일 수 있음
4~7일	공복혈당 변화, 식욕 변화, 피로 또는 안정감	저혈당 여부·식사량·수면	불편을 무조건 '적응'으로 넘기지 않음
2주	케톤 반응이 비교적 안정, 식후혈당 패턴이 보이기 시작	BGM/CGM·식사기록	한 번의 케톤값보다 반복 패턴을 봄
3주	체중·허리둘레·배고픔의 개인차가 커짐	총에너지·단백질·활동량	체중정체를 실패로 단정하지 않음
4주	혈당·혈압·약물요구량의 방향이 분명해짐	4주 기록 전체	유지·완화·재설계를 결정

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Bistrian et al.; 2025 keto-induction scoping review; Hallberg et al.을 바탕으로 저자 구성.

2. 케톤은 목표가 아니라 대사상태를 확인하는 신호다

용어 | BHB
β-Hydroxybutyrate
혈중에서 가장 많이 측정하는 케톤체다. 치료의 최종목표가 아니라 대사상태를 보는 보조지표다.

영양적 케토시스는 혈중 β-hydroxybutyrate(BHB)가 상승한 상태를 뜻하지만, 당뇨병 치료의 최종 목표는 케톤 수치를 높이는 것이 아니다. 혈당 안정, 약물 부담 감소, 체중과 허리둘레 개선, 지질과 혈

[4] Symptoms during initiation of a ketogenic diet: a scoping review of occurrence rates, mechanisms and relief strategies. (2025). Frontiers in Nutrition, 12, 1538266. PMID 40206956.

[5] Ibid.; early fasting and ketogenic diet natriuresis literature summarized therein.

[6] Symptoms during initiation of a ketogenic diet: a scoping review of occurrence rates, mechanisms and relief strategies. (2025). Frontiers in Nutrition, 12, 1538266.

[7] Cucuzzella, M., Riley, K., & Isaacs, D. (2021). Adapting medication for type 2 diabetes to a low carbohydrate diet. Frontiers in Nutrition, 8, 688540.

압의 안전한 변화가 더 중요한 임상 결과다.[8]

혈중 BHB는 식사 시간, 운동, 공복 시간, 수면과 전날 탄수화물 섭취에 따라 달라진다. 따라서 하루 한 번의 높은 값보다 같은 시간대에 반복 측정한 추세가 더 해석하기 쉽다.[9]

10주간 영양적 케토시스를 포함한 제2형 당뇨병 중재 연구에서는 평균 BHB가 약 0.6 mmol/L였고, HbA1c와 체중 및 약물사용이 함께 감소했다. 그러나 이 연구는 무작위 단일 식사시험이 아니라 원격진료와 교육, 약물관리가 결합된 다요소 중재였다. 케톤 수치 하나가 결과를 만들었다고 해석할 수는 없다.[10]

식물성 케톤식에서도 같은 원칙이 필요하다. 케톤이 낮다고 식이섬유나 단백질을 과도하게 줄이거나, 케톤을 높이기 위해 지방을 무조건 추가해서는 안 된다. 먼저 혈당과 식품의 질, 총섭취량, 배고픔, 지질반응을 함께 본다.[11]

3. 제1주의 가장 중요한 안전지표는 저혈당이다

용어 | 저혈당
Hypoglycemia
혈당 70 mg/dL 미만은 임상적으로 중요한 경고값이다. 약물사용자는 초기 식사변경 때 특히 주의한다.

탄수화물을 줄이면 식후 포도당 유입이 즉시 감소한다. 인슐린이나 설포닐우레아를 사용하는 사람에서는 식사보다 약효가 상대적으로 강해져 저혈당 위험이 높아질 수 있다.[12]

ADA 2026은 혈당 70 mg/dL 미만을 임상적으로 중요한 저혈당 경고값으로 보고, 54 mg/dL 미만을 더 심한 level 2 저혈당으로 분류한다. 인슐린·설포닐우레아·meglitinide를 사용하는 사람은 저혈당 위험군이므로 치료계획과 모니터링을 재평가해야 한다.[13]

초기에는 '좋은 혈당'과 '약물이 과해진 혈당'을 구별해야 한다. 이전보다 혈당이 낮아졌다는 이유만으로 약을 임의 중단해서도 안 되고, 반대로 식사를 바꿨는데도 같은 용량을 기계적으로 유지해서도

[8] Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional roles of ketone bodies in fuel metabolism, signaling, and therapeutics. Cell Metabolism, 25(2), 262-284.

[9] Newman, J. C., & Verdin, E. (2017). β-Hydroxybutyrate: a signaling metabolite. Annual Review of Nutrition, 37, 51-76.

[10] McKenzie, A. L., Hallberg, S. J., Creighton, B. C., et al. (2017). A novel intervention including individualized nutritional recommendations reduces hemoglobin A1c level, medication use, and weight in type 2 diabetes. JMIR Diabetes, 2(1), e5. PMID 30291062.

[11] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

[12] Cucuzzella, M., Riley, K., & Isaacs, D. (2021). Frontiers in Nutrition, 8, 688540.

[13] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

안 된다. 약물조정은 처방권자와 함께 진행한다.[14]

CGM을 사용한다면 평균혈당만 보지 말고 TBR을 함께 본다. ADA 2026의 일반적 목표는 대부분의 비임신 성인에서 70 mg/dL 미만 시간이 4% 미만, 54 mg/dL 미만 시간이 1% 미만이다.[15]

표 21-2. 첫 4주에 반드시 구별해야 할 위험 신호

신호	가능한 원인	즉시 확인할 것	대응 원칙
혈당 <70 mg/dL	인슐린·설포닐우레아 과효과	증상·약물·최근 식사	저혈당을 우선 처치하고 치료계획 재평가
반복 어지럼·기립증상	수분감소·저혈압·약물	혈압·수분·이뇨제	지속 시 의료진과 약물·체액상태 점검
심한 구토·복통·호흡이상	DKA 가능성	혈당·혈중/소변 ketone·SGLT2i	응급평가가 필요할 수 있음
심한 갈증·다뇨·체중 급감	고혈당 또는 탈수	혈당·ketone·수분상태	'케톤 적응'으로 넘기지 않음
지속되는 심계항진·근력저하	전해질·탈수·기타 원인	혈압·맥박·검사 필요성	임의 고용량 보충보다 원인평가 우선
지속 변비·섬취량 감소	식이섬유·수분·총섭취 부족	채소·씨앗·수분·약물	식물성 식품의 질과 섭취량 재설계

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; 2025 keto-induction scoping review; Cucuzzella et al. (2021).

4. 제2주 - 숫자 하나보다 패턴이 보이기 시작한다

용어 | TIR
Time in Range
CGM에서 70~180 mg/dL 범위에 머문 시간의 비율이다. 평균혈당과 다른 정보를 준다.

둘째 주가 되면 초기 수분변화가 다소 완화되고, 식사별 혈당반응이 더 선명해질 수 있다. 이때부터는 '오늘 케톤이 몇이었나'보다 어느 식사가 혈당을 올렸고, 어느 식사가 포만감을 오래 유지했는지를 기록하는 편이 더 유용하다.[16]

가능하다면 공복혈당과 대표 식사의 식전·식후 혈당을 반복해 본다. CGM을 사용한다면 TIR, 식후 최고점, 야간저혈당을 함께 본다. ADA는 대부분의 성인에서 TIR 70~180 mg/dL를 70% 이상으로 유지하는 것을 일반적 목표로 제시하지만, 목표는 개인의 상태와 저혈당 위험에 맞춰 조정한다.[17]

둘째 주에는 식단의 질도 다시 본다. 탄수화물을 줄였다는 이유로 채소, 두부, 템페, 견과, 씨앗까지 지나치게 제한하면 식이섬유와 단백질이 부족해질 수 있다. 반대로 식물성이라는 이유로 곡물·전분·당류를 많이 넣으면 원하는 혈당과 케톤 반응이 나오지 않을 수 있다.[18]

[14] Ibid.; Cucuzzella et al. (2021).
[15] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.
[16] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Section 6.
[17] Ibid. ADA 2026 CGM goals: TIR 70-180 mg/dL >70% for many nonpregnant adults, individualized as needed.
[18] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes.

이 시점의 목적은 '완벽한 케톤 수치'를 만드는 것이 아니라, **내가 지속할 수 있는 식품 조합과 대사반응의 경계선을 찾는 것**이다.[19]

5. 수분과 전해질은 '많이'가 아니라 '상태에 맞게' 관리한다

용어 | Natriuresis
나트륨 이뇨
인슐린 감소와 케톤식 초기에는 신장에서 나트륨과 수분 배설이 증가할 수 있다.

초기 케톤식에서 나트륨과 수분 배설이 증가할 수 있다는 생리적 근거는 비교적 확실하다. 그러나 정확히 얼마를 더 먹어야 하는지에 대한 임상시험 근거는 제한적이다. 2025년 scoping review도 전해질 보충의 생리적 타당성은 인정하면서, 증상 완화 효과를 직접 검증한 연구가 부족하다고 정리했다.[20]

따라서 모든 사람에게 소금이나 칼륨 보충제를 같은 양으로 권하는 방식은 적절하지 않다. 고혈압, CKD, 심부전, ACE 억제제·ARB·mineralocorticoid receptor antagonist를 사용하는 사람은 특히 칼륨과 나트륨을 임의로 늘려서는 안 된다.[21]

식물성 케톤식에서는 물과 함께 비전분 채소, 아보카도, 견과·씨앗, 두부 등 자연식품에서 칼륨과 마그네슘을 확보하는 것이 기본이다. 증상이 지속되거나 심하면 음식만의 문제가 아닐 수 있으므로 혈압과 전해질, 신장기능을 확인한다.[22]

(2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

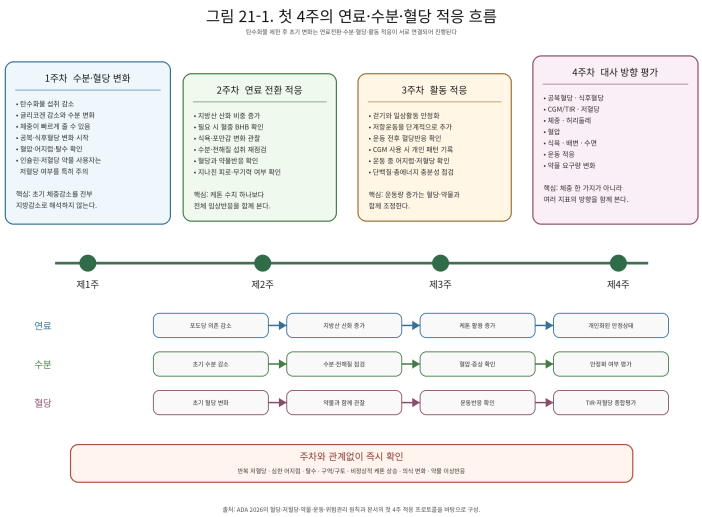
[19] Evert, A. B., et al. (2019). Nutrition therapy for adults with diabetes or prediabetes: a consensus report. Diabetes Care, 42(5), 731-754.

[20] Symptoms during initiation of a ketogenic diet: a scoping review of occurrence rates, mechanisms and relief strategies. (2025). Frontiers in Nutrition, 12, 1538266.

[21] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Chronic kidney disease and risk management; Cardiovascular disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026.

[22] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026.

그림 21-1. 첫 4주의 연료·수분·혈당 적응 흐름



출처: ADA 2026의 혈당·저혈당·약물·운동·위험관리 원칙과 본서의 첫 4주 적응 프로토콜을 바탕으로 구성.

6. 제3주 - '적응'과 '섭취부족'을 구별한다

용어 | 적응 vs 섭취부족
Adaptation vs undernutrition
피로가 모두 지방적응 때문은 아니다. 에너지·단백질·수분·수면과 약물을 함께 확인해야 한다.

셋째 주가 되면 많은 사람에서 초기 두통이나 어지럼이 줄지만, 피로나 운동능력 저하가 계속되는 사람도 있다. 이때 무조건 '아직 지방적응이 덜 됐다'고 설명하는 것은 위험하다. 총에너지, 단백질, 수분, 수면, 빈혈, 갑상선, 약물 등 다른 요인을 함께 봐야 한다.[23]

식욕이 줄어드는 것은 케톤식에서 자주 보고되지만, 식욕감소가 곧 충분한 영양섭취를 의미하지 않는다. 특히 GLP-1 receptor agonist나 GIP/GLP-1 약물을 사용하는 사람은 식사량이 과도하게 줄어들 수 있어 단백질과 수분 확보가 더 중요하다.[24]

체중이 잠시 멈추는 것도 이상하지 않다. 첫 주 수분감소 이후에는 체지방 변화가 더 천천히 나타날 수 있으며, 하루 단위 체중보다 7일 평균과 허리둘레가 더 유용하다.[25]

이 시점부터 저항운동의 중요성이 커진다. ADA 2026은 대부분의 성인 당뇨병 환자에게 주 150분 이상의 중등도~고강도 유산소 활동과, 비연속일에 주 2~3회의 저항운동을 권고한다. 다만 첫 4주에는

[23] Symptoms during initiation of a ketogenic diet: a scoping review of occurrence rates, mechanisms and relief strategies. (2025). Frontiers in Nutrition, 12, 1538266.

[24] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Pharmacologic approaches to glycemic treatment; Obesity and weight management: Standards of Care in Diabetes-2026.

[25] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Obesity and weight management for the prevention and treatment of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S166-S195.

기존 활동수준을 고려해 단계적으로 올리는 것이 현실적이다.[26]

7. 운동은 케톤을 높이는 수단이 아니라 근육을 지키는 수단이다

용어 | 저항운동
Resistance exercise
근육에 외부저항을 주는 운동이다. 근육량과 기능, 인슐린 감수성 유지에 중요하다.

근육은 식후 포도당을 처리하는 중요한 조직이다. 운동은 체중감량과 별개로 인슐린 감수성과 혈당관리에 도움이 될 수 있으며, 저항운동은 근육량과 기능을 보존하는 데 중요하다.[27]

그러나 첫 주부터 강도 높은 운동을 갑자기 시작할 필요는 없다. 수분과 혈압이 불안정하고 약물조정이 끝나지 않은 상태에서는 운동 중 저혈당이나 어지럼이 발생할 수 있다. 먼저 걷기와 일상활동을 안정시키고, 이후 저항운동을 단계적으로 추가한다.[28]

인슐린이나 저혈당 위험 약물을 사용하는 사람은 운동 전후 혈당 반응을 확인한다. CGM을 사용한다면 운동이 혈당을 얼마나 낮추는지 개인 패턴을 기록하면 식사와 약물 조정에 도움이 된다.[29]

8. 제4주 - 체중보다 '대사 방향'을 평가한다

용어 | 방향성 평가
Trend assessment
4주에는 HbA1c 최종판정보다 혈당·혈압·체중·증상의 변화 방향을 본다.

넷째 주에는 체중만 보지 않는다. 공복혈당, 식후혈당, TIR, 저혈당, 혈압, 허리둘레, 식욕, 배변, 수면, 약물요구량을 함께 본다. 한 지표가 좋아져도 다른 지표가 나빠졌다면 식단을 그대로 유지할 이유는 없다.[30]

HbA1c는 약 2~3개월의 평균 혈당을 반영하므로 4주 시점에는 아직 전체 효과가 완전히 드러나지 않을 수 있다. 따라서 4주 평가는 HbA1c의 최종 판정이 아니라 **방향성 평가**에 가깝다.[31]

저탄수 식사의 메타분석에서는 6개월 정도까지 HbA1c와 당뇨 관

[26] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Recommendations 5.34-5.38.
[27] Ibid. Aerobic and resistance activity recommendations and evidence review.
[28] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises; Physical activity recommendations.
[29] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026.
[30] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive medical evaluation; Glycemic goals; Cardiovascular disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026.
[31] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes; Glycemic goals: Standards of Care in Diabetes-2026.

해에서 유리한 결과가 관찰되지만, 12개월로 가면서 군간 차이가 작아지는 경향도 나타났다. 초기 4주 성과가 장기효과를 보장하지 않는다는 뜻이다.[32]

반대로 4주에 체중이 많이 줄지 않았다고 실패도 아니다. 혈당변동성이 줄고 약물 요구량이 낮아졌거나, 배고픔이 안정되고 허리둘레가 줄었다면 중요한 변화일 수 있다.[33]

표 21-3. 4주 동안 기록할 최소 모니터링 항목

항목	1주	2주	3주	4주 평가
혈당	약물사용자는 집중 확인	식전·식후 패턴	패턴 유지 여부	평균·TIR·저혈당 종합
케톤	필요 시 같은 시간대	식사와 함께 해석	추세 중심	목표가 아닌 보조지표로 평가
체중	수분변화 주의	7일 평균 시작	허리둘레 병행	체중·허리둘레 함께 평가
혈압	저혈압·어지럼 확인	약물과 함께 확인	안정성 확인	시작 전과 비교
수분·배변	매일 증상 확인	식이섬유 재점검	지속문제 원인평가	유지전략 결정
약물	저혈당 위험 우선	처방자와 재평가	필요량 변화 기록	12주 계획에 반영
활동	평소 수준 유지	걷기 증가	저항운동 단계적 추가	지속 가능한 주간계획 확정

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Cucuzzella et al. (2021); 저자 구성.

9. SGLT2 억제제와 DKA는 '케토 플루'와 전혀 다르다

용어 | euglycemic DKA
정상혈당성 케톤산증
혈당이 아주 높지 않아도 생길 수 있는 DKA다. SGLT2 억제제 사용 시 특히 주의한다.

식물성 케톤식에서 가장 위험한 혼동 중 하나는 DKA의 초기 증상을 단순 적응증상으로 생각하는 것이다. 메스꺼움, 구토, 복통, 빠른 호흡, 심한 탈수나 의식변화가 있다면 일반적인 keto-induction과 구별해야 한다.[34]

특히 SGLT2 억제제는 혈당이 매우 높지 않아도 euglycemic DKA가 발생할 수 있다. ADA 2026은 DKA 위험이 있는 사람에서 SGLT 억제제 사용과 케톤식 패턴을 함께 다룰 때 주의하도록 하고, 위험군에서는 케톤 측정과 sick-day 교육을 강조한다.[35]

인슐린 결핍이 있는 사람은 더 중요하다. 혈당이 낮아졌다는 이유

[32] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of randomized trial data. BMJ, 372, m4743.

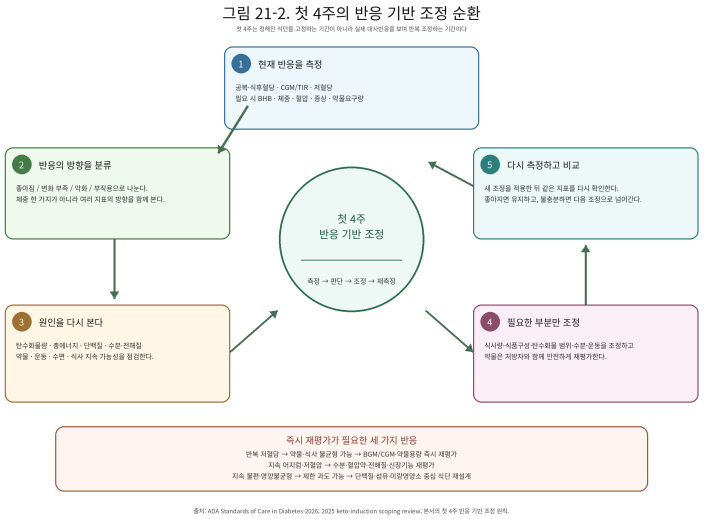
[33] Tay, J., Luscombe-Marsh, N. D., Thompson, C. H., et al. (2015). Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. American Journal of Clinical Nutrition, 102(4), 780-790.

[34] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026.

[35] Ibid.; American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Pharmacologic approaches to glycemic treatment: Standards of Care in Diabetes-2026.

로 기저 인슐린을 임의로 끊으면 DKA 위험이 생길 수 있다. 당뇨 유형이 불분명하거나 C-peptide가 낮고 체중감소·다뇨·갈증이 지속된다면 의료진 평가가 우선한다.[36]

그림 21-2. 첫 4주의 반응 기반 조정 순환



출처: ADA Standards of Care in Diabetes–2026; 2025 keto-induction scoping review; 본서의 첫 4주 반응 기반 조정 원칙.

10. 4주 뒤에는 세 가지 길 중 하나를 선택한다

용어 | 반응 기반 조정
Response-based adjustment
정해진 숫자보다 반복 측정한 혈당·케톤·체중·증상과 안전지표에 맞춰 식사를 조정하는 방식이다.

첫 번째는 **유지**다. 혈당이 안정되고 저혈당이 없으며, 식사 만족도와 영양구성이 좋고 지질·혈압에도 문제가 없다면 현재 탄수화물 수준을 유지하며 12주까지 관찰한다.[37]

두 번째는 **완화**다. 케톤은 나오지만 식이섬유와 단백질이 부족하거나 지속 가능성이 낮다면, 비전분 채소와 콩류의 일부를 단계적으로 늘리면서 혈당반응을 확인한다. 식물성 케톤식의 목적은 가장 낮은 탄수화물 숫자가 아니라 가장 좋은 대사반응을 만드는 것이다.[38]

세 번째는 **재설계**다. 반복 저혈당, 심한 저혈압, 지속적인 위장관

[36] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes; Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026.
[37] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026.
[38] Ibid.; Evert et al. (2019).

증상, LDL-C/ApoB의 큰 악화가 의심되거나, 식사 자체를 지속하기 어렵다면 처음부터 다시 설계한다. 실패가 아니라 개인화 과정이다.[39]

표 21-4. 제4주 의사결정 매트릭스

4주 결과	해석	다음 단계	확인할 지표
혈당 안정 + 증상 없음	현재 구성이 대체로 적합	12주까지 유지	혈당·체중·혈압·지질
혈당 개선 + 식사 지속 어려움	효과는 있으나 순응도 문제	탄수화물·식품 선택 완화	식후혈당·배고픔·식이섬유
케톤 상승 + 혈당 개선 없음	케톤 자체가 목표가 아님	총섭취·약물·당뇨 유형 재평가	HbA1c·C-peptide 필요성·약물
반복 저혈당	약물·식사 불균형 가능	처방자와 즉시 재평가	BGM/CGM·약물용량
어지럼·저혈압 지속	체액·약물·기타 원인 가능	수분·혈압약·검사 재평가	혈압·전해질·신장기능
지속 불편·영양불균형	식단 질 또는 제한 과도	식단 재설계	단백질·섬유·미량영양소

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; 2025 keto-induction scoping review; 저자 구성.

첫 4주는 몸을 몰아붙이는 시간이 아니다. **대사 반응을 배우는 시간**이다. 수치가 빨리 좋아질수록 약물과 안전성을 더 세심하게 보고, 변화가 느릴수록 식품의 질과 지속 가능성을 다시 본다. 이 과정을 지나면 다음 8주는 훨씬 명확해진다.[40]

[39] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, individualized goals and medication safety principles.

[40] Goldenberg et al. (2021); ADA Standards of Care in Diabetes-2026.

제21장 핵심 참고문헌

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Pharmacologic approaches to glycemic treatment: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1).

Symptoms during initiation of a ketogenic diet: a scoping review of occurrence rates, mechanisms and relief strategies. (2025). Frontiers in Nutrition, 12, 1538266. PMID 40206956.

Cucuzzella, M., Riley, K., & Isaacs, D. (2021). Adapting medication for type 2 diabetes to a low carbohydrate diet. Frontiers in Nutrition, 8, 688540.

Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. BMJ, 372, m4743.

McKenzie, A. L., Hallberg, S. J., Creighton, B. C., et al. (2017). A novel intervention including individualized nutritional recommendations reduces hemoglobin A1c level, medication use, and weight in type 2 diabetes. JMIR Diabetes, 2(1), e5.

Puchalska, P., & Crawford, P. A. (2017). Multi-dimensional roles of ketone bodies in fuel metabolism, signaling, and therapeutics. Cell Metabolism, 25(2), 262-284.

제22장. 12주 식물성 케톤 회복 프로그램 - 적응에서 안정화로, 안정화에서 재평가로

12주는 끝점을 만드는 시간이 아니다. 적응을 안정화하고, 3개월의 변화를 객관적으로 평가해 다음 단계를 결정하는 첫 임상적 분기점이다.

첫 4주가 몸의 반응을 배우는 기간이었다면, 5주부터 12주까지는 그 반응을 생활 속에서 안정시키는 기간이다. 이 시기에는 케톤 수치를 더 높이는 것보다 혈당의 변동을 줄이고, 충분한 단백질과 식이섬유를 유지하며, 약물과 운동을 안전하게 조정하는 일이 더 중요하다.[1]

12주라는 기간에는 이유가 있다. HbA1c는 대략 지난 2~3개월의 평균 혈당을 반영하므로, 식사와 약물 변화의 방향을 평가하기에 12주는 실용적인 첫 재평가 시점이 된다. ADA 2026도 치료가 바뀌었거나 목표에 도달하지 못한 경우 약 3개월 간격의 혈당상태 평가를 권고한다.[2]

그러나 12주가 '완치 판정일'은 아니다. 제2형 당뇨병 관해는 일반적으로 혈당강하제를 사용하지 않은 상태에서 HbA1c가 6.5% 미만으로 최소 3개월 유지된 경우를 뜻한다. 따라서 12주 프로그램의 목적은 관해를 선언하는 것이 아니라, **대사가 어느 방향으로 움직였는지 객관적으로 확인하고 다음 12주를 설계하는 것**이다.[3]

1. 12주 프로그램은 세 단계로 나눈다

용어 | 12주 프로그램
12-week program
1~4주 적응, 5~8주 안정화, 9~12주 재평가 준비로 나누어 대사반응을 단계적으로 확인한다.

이 프로그램은 1~4주 적응, 5~8주 안정화, 9~12주 재평가 준비의 세 단계로 나눈다. 첫 단계에서는 저혈당과 수분·전해질, 약물 문제를 우선 보았다. 둘째 단계부터는 식품의 질과 운동, 수면, 단백질 섭취,

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

[2] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

[3] Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. Diabetes Care, 44(10), 2438-2444. doi:10.2337/dci21-0034.

혈당 패턴을 더 정교하게 다듬는다.[4]

마지막 4주는 결과를 '좋다' 또는 '나쁘다'로 판정하는 시간이 아니다. HbA1c, 공복혈당, CGM, 체중·허리둘레, 혈압, 지질, 약물사용량과 증상을 함께 놓고 무엇이 좋아졌고 무엇이 남았는지를 확인한다. 당뇨병의 치료효과는 하나의 숫자로 설명할 수 없기 때문이다.[5]

표 22-1. 12주 식물성 케톤 프로그램의 단계별 목표

단계	핵심 목표	식사 초점	모니터링 초점
1~4주 적응	안전한 대사 전환	탄수화물 조절, 수분·단백질·채소 확보	저혈당, 혈압, 케톤, 약물, 증상
5~8주 안정화	혈당 패턴과 식사 지속성 안정	식품의 질, 단백질 분배, 불포화지방, 식이섬유	공복·식후혈당, TIR, 체중·허리, 배고픔
9~12주 최적화	지속 가능한 개인 기준 확정	유지 가능한 탄수화물 범위와 식사구성	HbA1c 재평가 준비, 지질·혈압·약물 변화
12주 평가	다음 단계 결정	유지·완화·재설계	HbA1c, 혈당패턴, 약물, 체성분, 안전지표

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Riddle et al. (2021); Goldenberg et al. (2021)을 바탕으로 저자 구성.

2. 5~6주 - 케톤보다 식사의 질을 다시 본다

용어 | 영양밀도
Nutrient density
열량 대비 단백질·식이섬유·비타민·무기질 등 유용한 영양소가 얼마나 풍부한지를 뜻한다.

다섯째 주부터는 초기 수분변화가 상대적으로 줄어들고, 실제 식사구성이 더 중요해진다. 이때 탄수화물을 낮게 유지하는 데만 집중하면 채소와 콩류, 견과·씨앗, 단백질 공급원이 부족해질 수 있다. 식물성 케톤식은 탄수화물 제한과 영양밀도를 동시에 만족해야 한다.[6]

식단을 점검할 때는 세 가지를 먼저 본다. 첫째는 비전분 채소와 식이섬유다. 둘째는 하루 총단백질과 한 끼 분배다. 셋째는 지방의 질로, 포화지방보다 견과·씨앗·올리브·아보카도 등 불포화지방 공급원을 우선한다.[7]

ADA 2026은 당뇨병 영양치료에서 최소가공 식품, 비전분 채소, 콩류, 견과·씨앗과 같은 식물성 단백질원을 강조한다. 또한 탄수화물의 양을 줄일 수 있다고 하더라도 정제곡물과 첨가당을 줄이고 식이섬유가 풍부한 식품을 선택하는 것이 중요하다고 설명한다.[8]

저탄수 비건식이 실제 임상에서 가능한지도 이미 시험됐다. Jenk-

[4] ADA Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026, Sections 5, 6, 8, and 9.
[5] ADA Professional Practice Committee. (2026). Glycemic goals and comprehensive medical evaluation sections in Standards of Care in Diabetes-2026.
[6] ADA Professional Practice Committee. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being: Standards of Care in Diabetes-2026.
[7] ADA Professional Practice Committee. (2026). Nutrition recommendations in Standards of Care in Diabetes-2026.
[8] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 5, dietary pattern and carbohydrate quality recommendations.

ins 등의 3개월 RCT에서는 제2형 당뇨병 환자 164명이 저탄수 비건식 또는 중등도 탄수화물 채식에 배정됐고, 두 군 모두 체중과 대사지표가 개선됐다. 이 연구는 '식물성'과 '저탄수'를 함께 설계할 수 있다는 직접적인 연결 근거다.[9]

3. 5~8주 - 공복혈당보다 하루 전체의 패턴을 본다

용어 | TIR
Time in Range
CGM에서 혈당이 목표범위에 머문 시간의 비율이다. 평균혈당과 혈당변동성을 함께 해석하는 데 도움을 준다.

아침 공복혈당이 내려가는 것은 중요하지만, 그것만으로 하루의 혈당조절을 판단할 수는 없다. 같은 HbA1c라도 식후 급등과 야간 저혈당이 반복될 수 있으며, CGM은 이런 변동을 확인하는 데 도움이 된다.[10]

CGM을 사용하는 사람은 TIR, TAR, TBR과 함께 식후 최고점과 야간 패턴을 본다. ADA 2026은 많은 비임신 성인에서 70~180 mg/dL 범위의 TIR을 70% 이상으로 유지하는 것을 일반적 목표로 제시하지만, 저혈당 위험과 개인 상태에 따라 목표는 달라진다.[11]

저탄수 식사가 평균 HbA1c와 다른 혈당지표에 서로 다른 영향을 줄 수 있다는 점도 중요하다. Tay 등의 장기 RCT에서는 두 식사군의 HbA1c 감소가 비슷했지만, 저탄수군에서 혈당변동성과 당뇨약 요구량이 더 크게 감소했다. 따라서 12주 프로그램에서는 HbA1c뿐 아니라 혈당의 안정성과 약물부담을 같이 본다.[12]

한 끼만 조정해도 하루 패턴이 달라질 수 있다. 12주 저탄수 아침식사 RCT에서는 HbA1c의 군간 차이는 경계선 수준이었지만, CGM의 평균·최대혈당과 변동성, 범위초과 시간이 저탄수 아침군에서 더 유리했다. '전체 식사를 극단적으로 제한해야만 의미가 있다'고 단정할 수 없는 이유다.[13]

[9] Jenkins, D. J. A., Jones, P. J. H., Abdullah, M. M. H., et al. (2022). Low-carbohydrate vegan diets in diabetes for weight loss and sustainability: a randomized controlled trial. American Journal of Clinical Nutrition, 116(5), 1240-1250. doi:10.1093/ajcn/nqac203.

[10] ADA Professional Practice Committee. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026.

[11] Ibid. General CGM goals include TIR 70-180 mg/dL >70% for many nonpregnant adults, individualized to risk and circumstance.

[12] Tay, J., Thompson, C. H., Luscombe-Marsh, N. D., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: a 2-year randomized clinical trial. Diabetes, Obesity and Metabolism, 20(4), 858-871. doi:10.1111/dom.13164.

[13] Oliveira, C. L. P., et al. (2023). Impact of a low-carbohydrate compared with low-fat breakfast on blood glucose control in type 2 diabetes: a randomized trial. American Journal of Clinical Nutrition. PMID:37257563.

4. 운동은 5주부터 '계획'으로 바꾼다

용어 | 저항운동
Resistance exercise
근육에 외부 저항을 주는 운동이다. 체중감량 중 근육량과 기능을 보존하는 데 중요하다.

첫 4주에는 안전한 적응이 우선이었다. 5주부터는 운동을 단순한 권고가 아니라 주간계획으로 만든다. 근육은 포도당을 처리하는 주요 조직이며, 유산소 운동과 저항운동을 함께 하는 것이 혈당과 기능 유지에 도움이 된다.[14]

ADA 2026은 대부분의 성인 당뇨병 환자에게 주 150분 이상의 중등도~고강도 유산소 활동을 최소 3일에 나누어 시행하고, 주 2~3회의 저항운동을 권고한다. 그러나 시작점은 사람마다 다르므로, 현재 활동량보다 조금 증가시키는 방식으로 접근하는 것이 안전하다.[15]

식물성 케톤식에서는 저항운동의 의미가 특히 크다. 식사량이 줄고 체중이 감소하는 동안 근육량까지 함께 줄면 인슐린 감수성과 장기 체중유지에 불리할 수 있다. 충분한 단백질과 저항운동을 함께 설계해야 하는 이유다.[16]

인슐린이나 설포닐우레아를 사용하는 사람은 운동 전후 혈당을 더 주의해서 본다. 식사와 운동이 동시에 혈당을 낮추는 방향으로 움직이면 기존 약물 용량이 상대적으로 강해질 수 있기 때문이다.[17]

표 22-2. 5~12주에 기록할 핵심 지표와 의미

지표	권장 관찰 주기	무엇을 보는가	해석할 때 주의할 점
공복혈당	주 3~7회 또는 개인계획	야간·간의 포도당 조절 방향	한 번의 수치보다 주간 평균을 봄
식후혈당/CGM	대표 식사 반복	음식별 반응, TIR·TAR·TBR	식사·운동·약물 시간을 함께 기록
케톤(BHB)	필요 시 같은 시간대	케토시스 여부와 추세	높은 수치 자체를 치료목표로 삼지 않음
체중·허리둘레	체중 주 2~7회, 허리 주 1회	체중과 복부지방 방향	수분변화와 근육량 변화를 함께 고려
혈압	주 2~7회 또는 의료진 계획	체중감소·약물·수분변화 영향	어지럼이 있으면 저혈압 여부 확인
약물	매일 복용기록	용량·횟수·중단 여부	임의 감량이 아니라 처방자와 조정
활동·수면	매일 간단히	운동과 회복의 지속성	수면부족은 혈당과 식욕에 영향을 줌

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Tay et al. (2018); Cucuzzella et al. (2021)을 바탕으로 저자 구성.

[14] ADA Professional Practice Committee. (2026). Physical activity recommendations in Standards of Care in Diabetes-2026.
[15] Ibid. Recommendation 5.36 and resistance exercise recommendations.
[16] ADA Professional Practice Committee. (2026). Physical activity and weight management sections; protein adequacy principles discussed in Chapter 18 of this book.
[17] ADA Professional Practice Committee. (2026). Hypoglycemia recommendations; insulin and insulin secretagogues increase exercise-related hypoglycemia risk.

5. 7~8주 - 정체기가 오면 더 줄이기 전에 원인을 찾는다

용어 | 정체기
Plateau
체중이나 혈당의 개선 속도가 일시적으로 둔해지는 시기다. 곧바로 실패로 해석하지 않는다.

체중이나 혈당의 개선 속도가 둔해지는 시점이 올 수 있다. 이때 탄수화물을 무조건 더 낮추거나 지방을 더 많이 먹는 것은 좋은 해결책이 아닐 수 있다. 먼저 총에너지, 간식, 음료, 단백질, 수면, 활동량과 약물 변화를 확인한다.[18]

체중감량은 제2형 당뇨병 개선과 밀접하지만, 체중 자체가 모든 효과를 설명하지는 않는다. 저탄수 RCT에서는 비슷한 체중감량에도 약물 요구량이나 혈당변동성에서 차이가 나타난 경우가 있다. 따라서 체중이 잠시 멈췄다고 프로그램 전체가 실패한 것은 아니다.[19]

반대로 체중은 많이 줄었는데 피로와 근력저하가 커지고 식사량이 지나치게 감소했다면 좋은 방향이라고 볼 수 없다. GLP-1 계열 약물을 사용하는 경우 식욕감소가 식사제한과 겹쳐 총에너지와 단백질 섭취가 과도하게 낮아질 수 있으므로 개별 평가가 필요하다.[20]

정체기에서는 '더 강하게'가 아니라 '더 정확하게'가 원칙이다. 식사기록 3일, 혈당 또는 CGM 패턴, 활동량, 수면과 약물을 한 화면에 놓고 보면 문제의 원인이 더 분명해진다.[21]

6. 약물감량은 성공의 결과일 수 있지만 목표 자체는 아니다

용어 | 약물부담
Medication burden
복용 약의 종류·용량·횟수와 저혈당 위험 등을 함께 보는 개념이다.

탄수화물 제한이 시작되면 일부 사람에서 약물 요구량이 빠르게 줄 수 있다. 12주 Pharm-TCR RCT에서는 저탄수·에너지제한 중재군의 35.7%가 혈당강하제를 완전히 중단했고, 대조군에서는 그런 사례가 없었다. 동시에 HbA1c, 체중, 혈압과 중성지방도 개선됐다.[22]

그러나 이 연구는 단순 저탄수 식사만의 효과가 아니다. 지역 약사가 약물조정과 모니터링을 함께 제공한 다요소 중재였다. 따라서 '식

[18] ADA Professional Practice Committee. (2026). Nutrition and obesity/weight management sections.
[19] Tay et al. (2018). Diabetes, Obesity and Metabolism, 20(4), 858-871.
[20] ADA Professional Practice Committee. (2026). Pharmacologic approaches and obesity/weight management sections; GLP-1 based therapy can markedly reduce appetite and energy intake.
[21] ADA Professional Practice Committee. (2026). Diabetes self-management and individualized nutrition principles.
[22] Little, J. P., Myette-Côté, É., et al. (2021). A randomized controlled trial of pharmacist-led therapeutic carbohydrate and energy restriction in type 2 diabetes. Nature Communications, 12, 5367. PMID:34508090.

사만 바꾸면 약을 끊을 수 있다'는 식으로 해석해서는 안 된다.[23]

저탄수 식사에서 약물조정이 중요한 이유는 안전성 때문이다. 인슐린과 설포닐우레아는 저혈당 위험 때문에 초기부터 용량 재검토가 필요할 수 있고, SGLT2 억제제는 케톤산증 위험 때문에 저탄수·케톤식과 함께 사용할 때 특별한 주의가 필요하다.[24]

약이 줄었다면 반드시 기록한다. 어떤 약이 언제 얼마나 줄었는지를 알면 HbA1c 변화가 식사, 체중감량, 약물변화 중 무엇과 함께 일어났는지 더 정확히 해석할 수 있다.[25]

7. 9~10주 - 12주 검사를 준비한다

용어 | 재평가
Reassessment
시작 전과 같은 지표를 다시 측정해 변화의 방향과 안전성을 객관적으로 비교하는 과정이다.

9주부터는 큰 변화를 새로 추가하기보다 현재 패턴을 안정적으로 유지하는 것이 좋다. 12주 평가 직전에 식단과 운동을 갑자기 바꾸면 검사결과가 평소 생활을 반영하지 못하기 때문이다.[26]

이 시기에는 시작 전 검사와 같은 항목을 다시 확인할 준비를 한다. HbA1c, 공복혈당, 필요 시 공복인슐린, 지질, 혈압, 체중과 허리둘레를 기본으로 보고, 신장·간 질환 위험이나 약물상태에 따라 creatinine/eGFR, UACR, ALT/AST 등을 반복한다.[27]

모든 검사를 12주마다 반복해야 하는 것은 아니다. 검사 주기는 질환상태와 약물, 초기 이상소견에 따라 달라진다. 예를 들어 ADA 2026은 최근 치료변화나 목표 미달이 있으면 혈당상태를 약 3개월마다 평가하도록 하지만, 안정적으로 목표를 유지하는 경우에는 더 긴 간격이 가능하다.[28]

지질도 한 번의 값만으로 결론내리지 않는다. 케톤식에서는 중성지방과 HDL-C가 좋아지는 동시에 일부 사람에서 LDL-C 또는 ApoB가 올라갈 수 있다. 12주 시점에는 이런 상반된 방향을 함께 확

[23] Ibid. The intervention combined carbohydrate/energy restriction with pharmacist-delivered medication management and monitoring.
[24] ADA Professional Practice Committee. (2026). Pharmacologic approaches, hypoglycemia, and hyperglycemic crisis sections; Cucuzzella, M., Riley, K., & Isaacs, D. (2021). Adapting medication for type 2 diabetes to a low carbohydrate diet. Frontiers in Nutrition, 8, 688540.
[25] ADA Professional Practice Committee. (2026). Medication reconciliation and glycemic assessment principles.
[26] ADA Professional Practice Committee. (2026). Glycemic assessment should reflect usual treatment and health status; author synthesis for program standardization.
[27] ADA Professional Practice Committee. (2026). Comprehensive medical evaluation, CKD, cardiovascular risk and liver-risk assessment sections.
[28] ADA Professional Practice Committee. (2026). Recommendation 6.2: glycemic status at least twice yearly when stable and more frequently, e.g. every 3 months, after treatment changes or when not at goal.

인하는 것이 중요하다.[29]

8. 11~12주 - 결과를 다섯 축으로 평가한다

용어 | 다섯 축 평가
Five-domain review
혈당, 약물, 체중·허리, 안전성, 지속 가능성을 동시에 평가하는 방식이다.

12주 평가는 다섯 축으로 나누면 명확하다. 첫째는 혈당, 둘째는 약물, 셋째는 체중과 허리둘레, 넷째는 심혈관·신장 안전성, 다섯째는 지속 가능성이다.[30]

혈당 축에서는 HbA1c와 공복혈당, 가능하면 CGM 또는 대표 식후혈당을 함께 본다. HbA1c는 지난 2~3개월을 반영하므로 12주 프로그램의 전체 방향을 보여주지만, 최근 몇 주의 급격한 변화는 완전히 반영하지 못할 수 있다.[31]

약물 축에서는 줄었는지 늘었는지뿐 아니라 저혈당 없이 안전하게 조정됐는지를 본다. 체중 축에서는 총감량과 허리둘레, 근력·활동수준을 함께 본다. 안전성 축에서는 혈압, 지질, 신장기능과 증상을 확인한다.[32]

마지막은 지속 가능성이다. 좋은 수치가 나왔더라도 식사가 지나치게 제한적이고 사회생활이나 배변, 수면, 운동을 계속 방해한다면 장기전략으로는 다시 설계해야 한다. 12주 프로그램은 단기기록을 만드는 것이 아니라 장기간 유지할 수 있는 개인의 식사범위를 찾는 과정이다.[33]

[29] Tay et al. (2018); Athinarayanan, S. J., Hallberg, S. J., et al. (2020). Impact of a 2-year trial of nutritional ketosis on indices of cardiovascular disease risk in patients with type 2 diabetes. Cardiovascular Diabetology, 19, 208.

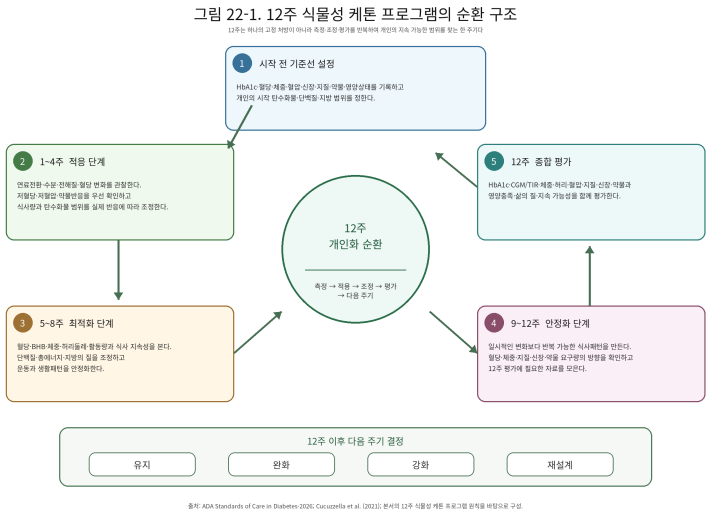
[30] ADA Professional Practice Committee. (2026). Comprehensive diabetes evaluation and treatment goals; author synthesis.

[31] ADA Professional Practice Committee. (2026). A1C reflects average glycemia over approximately 2-3 months.

[32] ADA Professional Practice Committee. (2026). Glycemic goals, obesity/weight management, cardiovascular disease, and CKD sections.

[33] ADA Professional Practice Committee. (2026). Nutrition therapy should be individualized and support sustainable behavior change.

그림 22-1. 12주 식물성 케톤 프로그램의 순환 구조



출처: ADA Standards of Care in Diabetes–2026; Cucuzzella et al. (2021); 본서의 12주 식물성 케톤 프로그램 원칙을 바탕으로 구성.

9. 12주 결과는 네 가지 유형으로 나눈다

용어 | 유지·완화·강화·재설계
Four pathways
12주 결과에 따라 현재 식사를 유지하거나 제한을 완화하고, 원인을 보강하거나 전체 계획을 다시 설계한다.

첫 번째는 **유지형**이다. 혈당이 개선되고 저혈당이 없으며, 혈압과 지질이 안전하고 식사도 지속 가능하다면 현재 구성을 유지한다. 케톤 수치가 높지 않더라도 대사결과가 좋다면 굳이 더 강한 제한으로 갈 이유는 없다.[34]

두 번째는 **완화형**이다. 혈당은 충분히 좋아졌지만 식이섬유, 식품 다양성, 운동능력이나 사회적 지속성에 문제가 있다면 탄수화물을 조금 늘려도 된다. 이때 전분이 적은 채소, 콩류의 소량, 통식품을 단계적으로 추가하고 식후혈당을 확인한다.[35]

세 번째는 **강화형**이다. 식사 순응도는 좋지만 혈당개선이 충분하지 않다면 약물, 당뇨 유형, 총에너지, 숨은 탄수화물과 활동량을 다시 본다. 무조건 탄수화물을 더 낮추기보다 원인을 먼저 구별한다.[36]

네 번째는 **재설계형**이다. 반복 저혈당, 증상성 저혈압, 지속적 위장관 문제, 신장기능 변화, LDL-C/ApoB의 큰 악화 또는 심한 식사 불편이 있다면 현재 계획을 유지하지 않는다. 안전성 이상은 '의지가

[34] ADA Professional Practice Committee. (2026). Individualized nutrition and glycemic goals; author synthesis.
[35] ADA Professional Practice Committee. (2026). Emphasis on minimally processed, high-fiber carbohydrate sources and individualized dietary patterns.
[36] ADA Professional Practice Committee. (2026). Diagnosis/classification and pharmacologic treatment sections; persistent poor response warrants reassessment rather than indiscriminate restriction.

부족해서'가 아니라 설계를 바꿔야 한다는 신호다.[37]

표 22-3. 12주 결과에 따른 네 가지 다음 단계

유형	12주 결과	다음 식사전략	추가 확인
유지형	혈당·체중·안전성 개선, 지속 가능	현재 탄수화물 범위와 식품구성 유지	3~6개월 추적
완화형	대사개선 충분, 제한 부담 큼	통식품 탄수화물을 소량 단계적 증가	식후혈당·체중·배고픔
강화형	순응도 양호, 목표 미달	원인분석 후 식사·운동·약물 재조정	HbA1c, 약물, 활동, 당뇨 유형
재설계형	저혈당·저혈압·지질/신장 악화·지속 불편	현재 제한 중단 또는 완화, 의료진 재평가	약물·지질·신장·전해질·영양상태

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Cucuzzella et al. (2021); 저자 구성.

10. 탄수화물 재도입은 '실패'가 아니라 시험이다

용어 | 탄수화물 재도입
Carbohydrate reintroduction
대사가 안정된 뒤 통식품 탄수화물을 소량씩 추가하며 혈당과 식욕 반응을 확인하는 시험과정이다.

모든 사람이 장기간 같은 수준의 탄수화물 제한을 유지할 필요는 없다. 대사 목표에 도달하고 약물과 혈당이 안정됐다면, 일부 사람은 식품의 다양성을 높이기 위해 탄수화물을 단계적으로 늘릴 수 있다.[38]

재도입은 한 번에 여러 식품을 추가하지 않는다. 한 가지 통식품을 소량 추가하고, 3~7일 동안 식후혈당·공복혈당·체중·배고픔과 케톤 추세를 본다. 문제가 없다면 다음 식품으로 넘어간다.[39]

우선순위는 정제곡물이나 설탕이 아니다. 콩류, 베리류, 전분이 적은 뿌리채소의 소량, 통곡물 일부처럼 식이섬유와 미량영양소를 함께 제공하는 식품을 개인 반응에 따라 시험한다. ADA가 강조하는 '최소가공·고섬유 탄수화물' 원칙과도 맞는다.[40]

다시 혈당이 올라가거나 식욕이 불안정해지면 이전 단계로 돌아간다. 중요한 것은 가장 많은 탄수화물을 먹는 것도, 가장 적게 먹는 것도 아니다. **대사적으로 안정하면서 오래 유지할 수 있는 개인의 상한선을 찾는 것**이다.[41]

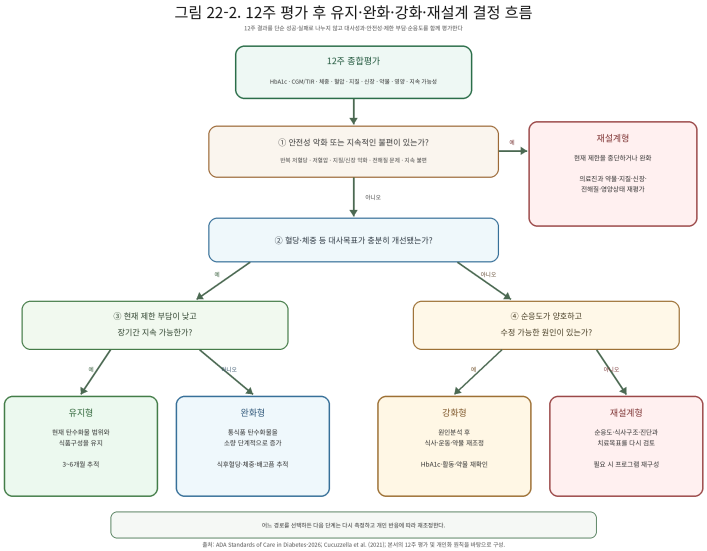
[37] ADA Professional Practice Committee. (2026). Hypoglycemia, CKD, cardiovascular risk, and nutrition safety principles.
[38] ADA Professional Practice Committee. (2026). No single ideal carbohydrate percentage is recommended for all people with diabetes; eating pattern should be individualized.
[39] Zeevi, D., Korem, T., Zmora, N., et al. (2015). Personalized nutrition by prediction of glycemic responses. Cell, 163(5), 1079-1094. doi:10.1016/j.cell.2015.11.001; author adaptation for staged reintroduction.
[40] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 5, minimally processed and high-fiber carbohydrate recommendations.
[41] ADA Professional Practice Committee. (2026). Individualized nutrition therapy; author synthesis.

표 22-4. 탄수화물 재도입의 단계적 시험 예시

단계	추가 식품 예시	1회 시험 원칙	확인할 반응
1단계	비전분 채소 양 증가	기존 식사에 한 종류 추가	식후혈당·배고픔·배변
2단계	콩·렌틸 소량	한 끼에 소량부터	식후혈당·TIR·복부팽만
3단계	베리·저당 과일 소량	단독보다 식사와 함께	식후최고점·식욕
4단계	통곡물 또는 전분식품 소량	개인 목표에 맞춰 제한적 시험	공복혈당·체중·CGM 추세

출처: ADA 2026의 고섬유·최소가공 탄수화물 원칙과 개인화 영양치료 원칙을 바탕으로 저자 구성.

그림 22-2. 12주 평가 후 유지·완화·강화·재설계 결정 흐름



출처: ADA Standards of Care in Diabetes–2026; Cucuzzella et al. (2021); 본서의 12주 평가 및 개인화 원칙을 바탕으로 구성.

11. 12주에 관해를 성급하게 선언하지 않는다

용어 | 관해
Remission
혈당강하제를 사용하지 않은 상태에서 HbA1c <6.5%가 최소 3개월 지속되는 것을 일반적 기준으로 삼는다.

12주 후 HbA1c가 6.5% 미만이 됐다고 해서 모두 관해인 것은 아니다. 국제 합의에서는 혈당강하제를 중단한 뒤 최소 3개월이 지나 HbA1c가 6.5% 미만으로 유지되는 경우를 일반적인 관해 기준으로 제안한다.[42]

따라서 약물을 계속 사용하고 있다면 '혈당조절이 크게 개선됐다'고 표현하는 것이 정확하다. 약물을 중단한 지 아직 3개월이 되지 않았다면 '관해 가능성을 추적 중'이라고 표현해야 한다.[43]

[42] Riddle et al. (2021). Diabetes Care, 44(10), 2438-2444.
[43] Ibid. Remission terminology requires attention to glucose-lowering

관해가 되더라도 추적은 끝나지 않는다. 다시 혈당이 올라갈 수 있고, 이전 당뇨병 기간 동안 축적된 심혈관·신장·망막 위험이 즉시 사라지는 것도 아니다. 정기적인 혈당평가와 합병증 검사는 계속 필요하다.[44]

DiRECT 연구는 체중감량을 통해 관해가 가능하다는 강한 근거를 제공했지만, 12개월 관해율은 약 46%, 24개월에는 약 36%로 감소했다. 장기 유지가 별도의 과제라는 뜻이다.[45]

12. 12주는 끝이 아니라 첫 번째 임상적 분기점이다

용어 | 분기점
Clinical checkpoint
치료의 끝이 아니라 현재 결과를 평가하고 다음 유지·조정 전략을 결정하는 시점이다.

저탄수 식사의 단기 효과는 비교적 빠르게 나타날 수 있다. Goldenberg 등의 메타분석에서는 6개월 시점에 관해와 HbA1c에서 유리한 결과가 관찰됐지만, 12개월에는 군간 차이가 줄어드는 경향이 있었다. 초기 성과가 장기 지속을 보장하지 않는다는 점을 보여준다.[46]

반대로 장기 유지가 가능한 사례도 있다. Tay 등의 2년 RCT에서는 저탄수와 고탄수 저지방 식사 모두 체중과 HbA1c를 개선했고, 저탄수군은 약물요구량과 혈당변동성에서 더 유리했다. 영양적 케토시스를 포함한 비무작위 2년 연구에서도 혈당·체중·약물 개선이 지속됐지만, 무작위시험이 아니라는 한계가 있다.[47]

그래서 12주 후의 질문은 '성공했는가?' 하나가 아니다. **어떤 지표가 좋아졌는가, 어떤 부담이 생겼는가, 약물은 어떻게 바뀌었는가, 이 식사를 1년 뒤에도 유지할 수 있는가**를 묻는다.[48]

12주 프로그램의 가장 좋은 결과는 가장 높은 케톤이 아니다. 혈당은 안정되고, 약물은 안전하게 조정되며, 근육과 식사의 질은 유지되고, 사람이 실제 생활에서 계속할 수 있는 상태다. 그 상태를 확인

pharmacotherapy status and timing.

[44] Ibid. Ongoing observation is recommended because relapse and diabetes-related complications remain relevant.

[45] Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al.; DiRECT investigators. Remission data summarized in Taylor et al./DiRECT follow-up; predictors paper: Diabetologia (2020), PMID:32870520. Remission was 46% at 12 months and 36% at 24 months in the intervention group.

[46] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis. BMJ, 372, m4743.

[47] Tay et al. (2018); Athinarayanan, S. J., Adams, R. N., Hallberg, S. J., et al. (2019). Long-term effects of a continuous remote care intervention including nutritional ketosis for type 2 diabetes: a 2-year non-randomized clinical trial. Frontiers in Endocrinology, 10, 348. doi:10.3389/fendo.2019.00348.

[48] ADA Professional Practice Committee. (2026). Comprehensive, individualized assessment across glycemia, medications, weight, cardiovascular and kidney risk, and behavior sustainability.

한 뒤 다음 단계로 넘어간다.[49]

[49] ADA Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026; author synthesis.

제22장 핵심 참고문헌

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Facilitating positive health behaviors and well-being to improve health outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S89-S131.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. Diabetes Care, 44(10), 2438-2444.

Jenkins, D. J. A., Jones, P. J. H., Abdullah, M. M. H., et al. (2022). Low-carbohydrate vegan diets in diabetes for weight loss and sustainability: a randomized controlled trial. American Journal of Clinical Nutrition, 116(5), 1240-1250.

Little, J. P., Myette-Cote, E., et al. (2021). A randomized controlled trial of pharmacist-led therapeutic carbohydrate and energy restriction in type 2 diabetes. Nature Communications, 12, 5367.

Tay, J., Thompson, C. H., Luscombe-Marsh, N. D., et al. (2018). Effects of an energy-restricted low-carbohydrate, high unsaturated fat/low saturated fat diet versus a high-carbohydrate, low-fat diet in type 2 diabetes: a 2-year randomized clinical trial. Diabetes, Obesity and Metabolism, 20(4), 858-871.

Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission. BMJ, 372, m4743.

Athinarayanan, S. J., Adams, R. N., Hallberg, S. J., et al. (2019). Long-term effects of a continuous remote care intervention including nutritional ketosis for the management of type 2 diabetes: a 2-year non-randomized clinical trial. Frontiers in Endocrinology, 10, 348.

제23장. 당뇨약을 사용하고 있다면 - 식사가 바뀌면 약물의 의미도 달라진다

약은 식사와 따로 움직이지 않는다. 식사를 바꾸면 약물의 위험과 이득도 다시 계산해야 한다.

식물성 케톤식은 약을 대신하는 처방이 아니다. 그러나 탄수화물 섭취량과 체중, 식후혈당이 빠르게 변하면 기존 약물의 효과가 같은 방식으로 느껴지지 않을 수 있다. 특히 인슐린과 설포닐우레아처럼 저혈당 위험이 있는 약은 식사 변화와 동시에 더 세밀한 관찰이 필요하다.[1]

이 장의 원칙은 단순하다. **약을 임의로 끊지 않는다. 식사를 바꿀 때는 약물 위험을 먼저 분류하고, 혈당자료를 바탕으로 의료진과 조정한다.** ADA 2026도 혈당강하 치료를 변경할 때 저혈당 위험이 높은 약물의 필요성과 용량을 재평가하도록 권고한다.[2]

1. 식사와 약물은 따로 움직이지 않는다

용어 | 약물-식사 상호작용
Medication-diet interaction
식사의 탄수화물과 에너지 변화가 약물의 혈당효과와 위험을 바꿀 수 있다는 뜻이다.

당뇨약은 서로 다른 지점을 건드린다. 어떤 약은 간의 포도당 생성을 줄이고, 어떤 약은 췌장의 인슐린 분비를 자극한다. 다른 약은 소변으로 포도당을 배출시키거나 위 배출과 식욕을 조절한다. 인슐린은 혈액의 포도당을 세포로 이동시키는 가장 직접적인 치료수단이다.[3]

따라서 식사의 탄수화물 양이 크게 줄면 약물의 상대적 효과도 달라질 수 있다. 예를 들어 식사 전 인슐린은 식사 탄수화물과 직접 연결되지만, 메트포르민은 단독 사용 시 저혈당 위험이 낮다. 이런 차이를 무시하고 모든 약을 똑같이 줄이는 것은 안전하지 않다.[4]

[1] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Pharmacologic approaches to glycemic treatment: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S183-S215.

[2] Ibid. Recommendation 9.17: reassess need and/or dose of higher hypoglycemia-risk medications when treatment changes.

[3] ADA Professional Practice Committee. (2026). Table 9.2 and pharmacologic treatment text.

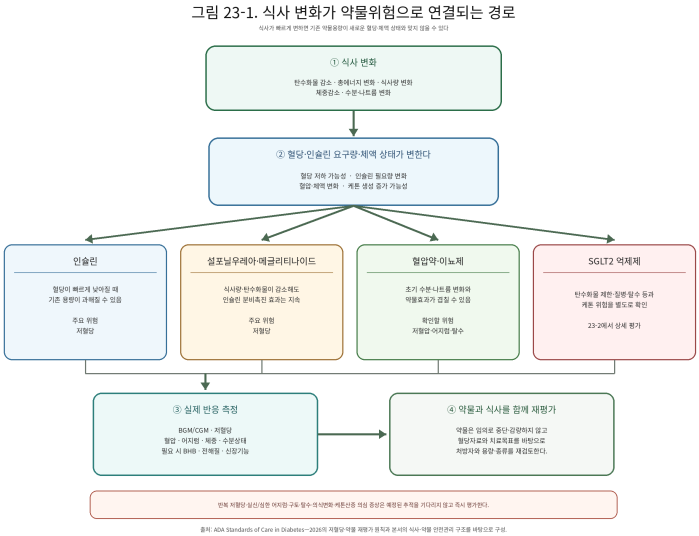
[4] ADA Professional Practice Committee. (2026). Sections 6 and 9; author synthesis.

표 23-1. 식물성 케톤식 시작 시 약물군별 우선 확인점

약물군	주된 작용	저혈당 위험	식사 전환 시 핵심 확인
메트포르민	간 포도당 생성 억제, 인슐린 감수성 보조	낮음	위장관 증상, 신장기능, 장기복용 시 B12
설포닐우레아·메글리티나이드	인슐린 분비 촉진	높음	탄수화물 감소 직후 저혈당 위험
DPP-4 억제제	내인성 인크레틴 작용 연장	낮음	신장기능별 용량, 병용약 확인
GLP-1 RA·GIP/GLP-1 RA	포도당 의존 인슐린, 식욕·위배출 조절	단독은 낮음	식사량 감소, 위장관 증상, 탈수, 동반 인슐린/SU
SGLT2 억제제	요당 배설 증가	단독은 낮음	케톤산증, 탈수, 매우 낮은 탄수화물 식사
인슐린	포도당 이용 증가·간 포도당 생성 억제	높음	식사 탄수화물, CGM/자가혈당, 저혈당 패턴

출처: ADA Professional Practice Committee for Diabetes (2026), Sections 6, 9, 11; 저자 재구성.

그림 23-1. 식사 변화가 약물위험으로 연결되는 경로



출처: ADA Standards of Care in Diabetes–2026의 저혈당·약물 재평가 원칙과 본서의 식사-약물 안전관리 구조를 바탕으로 구성.

2. 메트포르민 - 식사가 바뀐다고 자동으로 끊는 약은 아니다

용어 | 메트포르민
Metformin
간의 포도당 생성을 억제하고 인슐린 감수성을 돕는다. 단독 저혈당 위험은 낮다.

메트포르민은 제2형 당뇨병에서 오래 사용된 약물이다. 단독 사용 시 저혈당 위험이 낮고 체중은 대체로 중립적이거나 소폭 감소하는 방향을 보인다. 따라서 탄수화물을 줄였다는 이유만으로 가장 먼저 중단해야 하는 약으로 볼 수 없다.[5]

다만 신장기능을 확인해야 한다. ADA 2026은 eGFR 30 mL/

[5] ADA Professional Practice Committee. (2026). Table 9.2: metformin has high glucose-lowering efficacy, low hypoglycemia risk, and neutral to modest weight loss effect.

min/1.73 m^2 미만에서는 메트포르민을 금기로 보고, eGFR이 45 미만으로 내려가면 지속 사용의 이득과 위험을 다시 평가하도록 설명한다.[6]

장기 복용에서는 비타민 B12 부족도 확인해야 한다. 특히 빈혈이나 말초신경병증이 있으면 B12 검사를 고려해야 한다. 식물성 식사를 하는 사람은 B12 섭취원이 제한되기 때문에 이 문제는 더 중요해진다.[7]

메트포르민의 핵심은 '식사가 좋아졌으니 필요 없다'가 아니다. HbA1c, 공복혈당, 신장기능, 부작용과 전체 치료목표를 함께 보고 유지 여부를 결정하는 것이다.[8]

3. 설포닐우레아 - 탄수화물이 줄면 가장 먼저 저혈당을 경계한다

용어 | 설포닐우레아
Sulfonylurea
췌장의 인슐린 분비를 자극한다. 식사량이 줄 때 저혈당 위험을 먼저 본다.

설포닐우레아는 췌장 베타세포에서 인슐린 분비를 촉진한다. 혈당이 낮아져도 약효가 일정 부분 지속될 수 있기 때문에 인슐린과 함께 대표적인 저혈당 위험 약물로 분류된다.[9]

식사 탄수화물을 갑자기 크게 줄이면 식후 포도당 유입은 감소하지만 약물에 의한 인슐린 분비 자극은 그대로 남을 수 있다. 그래서 식물성 케톤식 시작 초기에 반복적인 70 mg/dL 미만 혈당이나 야간 저혈당이 나타난다면 의료진과 약물 재평가가 필요하다.[10]

ADA 2026은 치료를 새로 시작하거나 강화할 때 설포닐우레아, 메글리티나이드, 인슐린처럼 저혈당 위험이 높은 약물의 필요성과 용량을 재평가하도록 권고한다. 이것은 '무조건 감량'이 아니라 혈당자료와 치료목표에 따라 판단하라는 뜻이다.[11]

체중 측면에서도 주의가 필요하다. 설포닐우레아와 메글리티나이드는 체중 증가와 연관될 수 있어, 체중감량이 중요한 제2형 당뇨병

[6] ADA Professional Practice Committee. (2026). Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S260.
[7] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 5 and Table 9.2; periodic B12 testing should be considered with long-term metformin, particularly with anemia or neuropathy.
[8] ADA Professional Practice Committee. (2026). Person-centered pharmacologic treatment principles.
[9] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 6: insulin, sulfonylureas, and meglitinides are major medication classes associated with hypoglycemia risk.
[10] ADA Professional Practice Committee. (2026). Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026.
[11] ADA Professional Practice Committee. (2026). Recommendation 9.17.

에서는 전체 약물구성을 함께 검토할 필요가 있다.[12]

4. DPP-4 억제제 - 저혈당은 적지만 약의 역할은 제한적이다

용어 | DPP-4 억제제
DPP-4 inhibitor
인크레틴 분해를 억제한다. 저혈당 위험이 낮고 체중에는 대체로 중립적이다.

DPP-4 억제제는 내인성 인크레틴의 분해를 억제해 혈당 의존적인 인슐린 분비를 돕는다. 단독 사용 시 저혈당 위험이 낮고 체중에 대체로 중립적이다.[13]

탄수화물을 줄였다고 급하게 조정해야 하는 약물군은 아니지만, 신장기능에 따라 용량조절이 필요한 약이 있다. sitagliptin, saxagliptin, alogliptin은 신장기능을 고려해야 하며 linagliptin은 일반적으로 신장기능에 따른 용량조절이 필요하지 않다.[14]

또한 DPP-4 억제제와 GLP-1 수용체작용제를 동시에 사용하는 것은 추가 혈당강하 이득이 없어 권고되지 않는다. 식사 변화와 함께 약물 목록을 정리할 때 중복기전이 있는지 확인할 필요가 있다.[15]

5. GLP-1 계열 - 식사량이 줄어드는 효과와 식단효과를 구분한다

용어 | GLP-1 수용체작용제
GLP-1 receptor agonist
혈당 의존적 인슐린 분비를 돕고 식욕과 위배출에 영향을 준다.

GLP-1 수용체작용제와 dual GIP/GLP-1 수용체작용제는 혈당을 낮추는 것뿐 아니라 식욕과 체중에 큰 영향을 줄 수 있다. 단독 사용 시 저혈당 위험은 낮지만, 인슐린이나 설포닐우레아와 병용하면 저혈당 위험이 높아질 수 있다.[16]

식물성 케톤식과 GLP-1 계열을 함께 사용할 때는 '식단 때문에 배가 덜 고픈 것인지, 약물 때문에 섭취량이 크게 줄어든 것인지'를 구분해야 한다. 두 효과가 겹치면 총열량과 단백질 섭취가 지나치게 낮아질 수 있다.[17]

[12] ADA Professional Practice Committee. (2026). Obesity and Weight Management: Standards of Care in Diabetes-2026; sulfonylureas, meglitinides, and insulin are often associated with weight gain.

[13] ADA Professional Practice Committee. (2026). Table 9.2: DPP-4 inhibitors have intermediate efficacy, low hypoglycemia risk, and neutral weight effect.

[14] ADA Professional Practice Committee. (2026). Table 9.2: renal dose adjustment applies to sitagliptin, saxagliptin, and alogliptin; linagliptin generally does not require it.

[15] ADA Professional Practice Committee. (2026). Recommendation 9.18: concurrent DPP-4 inhibitor with GLP-1-based therapy is not recommended.

[16] ADA Professional Practice Committee. (2026). Sections 8 and 9.

[17] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 5 recommendation to monitor adequate nutrition during intentional weight loss; author synthesis for

특히 메스꺼움, 구토, 설사, 변비 같은 위장관 부작용이 지속되면 수분과 전해질 섭취도 감소할 수 있다. 식사량이 크게 감소한 상태에서 케톤식 제한까지 겹치면 영양밀도를 더 세밀하게 관리해야 한다.[18]

빠른 혈당개선이 있는 사람에서는 기존 망막병증도 확인할 필요가 있다. ADA 2026은 GLP-1 계열을 포함해 혈당강하 치료를 강화할 때 빠른 A1C 감소와 초기 망막병증 악화 가능성을 고려해 망막상태를 평가하도록 설명한다.[19]

표 23-2. 저혈당 위험이 낮은 약과 높은 약을 구분하는 이유

구분	대표 약물	식사 변화 직후 우선 확인	해석
높은 위험	인슐린, 설포닐우레아, 메글리티나이드	70 mg/dL 미만, 야간저혈당, 운동 전후 저혈당	빠른 약물 재평가가 중요
낮은 위험	메트포르민, DPP-4 억제제	위장관 증상, 신장기능, 전체 혈당추세	식사만으로 자동 감량하지 않음
낮지만 특수위험	SGLT2 억제제	케톤, 탈수, 오심·복통, 질병·금식	저혈당보다 DKA 위험이 핵심
낮지만 섭취량 변화 큼	GLP-1/GIP-GLP-1 계열	식사량·단백질·수분·위장관 증상	영양부족과 동반약 저혈당을 함께 봄

출처: ADA 2026 Sections 6, 8, 9; 저자 구성.

6. SGLT2 억제제 - 식물성 케톤식에서 가장 중요한 예외

용어 | SGLT2 억제제
SGLT2 inhibitor
요당 배설을 늘린다. 케톤산증 위험은 별도로 살펴야 한다.

SGLT2 억제제는 소변으로 포도당 배설을 증가시킨다. 단독 저혈당 위험은 낮고 심부전과 만성신장질환에서 중요한 심혈관·신장 이득이 있다. 따라서 단순히 '케톤식과 충돌하니 나쁜 약'이라고 말해서는 안 된다.[20]

그러나 **매우 낮은 탄수화물 식사와의 조합은 별도의 위험을 만든다.** ADA 2026은 SGLT2 억제제를 복용하는 사람, 특히 DKA 위험이 있는 경우 매우 낮은 탄수화물 또는 케톤식 패턴을 피하도록 권고한다. 장시간 금식, 탈수, 인슐린 부족 등도 DKA 위험을 높일 수 있으므로 함께 확인해야 한다.[21]

combined dietary restriction and GLP-1 therapy.

[18] ADA Professional Practice Committee. (2026). GLP-1–based therapy adverse effect guidance in Sections 8 and 9.

[19] ADA Professional Practice Committee. (2026). Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S261-S276.

[20] ADA Professional Practice Committee. (2026). Sections 9 and 11; SGLT2 inhibitors provide cardiovascular, heart failure, and kidney benefits in appropriate populations.

[21] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 5 Recommendation 5.26 and related nutrition guidance; very-low-carbohydrate or ketogenic eating patterns should be avoided with SGLT2 inhibitor therapy because of ketoacidosis risk.

SGLT2 관련 DKA는 혈당이 아주 높지 않은 상태에서도 나타날 수 있다. 제2형 당뇨병에서 사건 자체는 드물지만, SGLT2 억제제와 관련된 유글리세믹 DKA는 혈당이 200 mg/dL 미만에서도 나타날 수 있다. 따라서 혈당이 정상에 가깝거나 크게 높지 않다는 이유만으로 DKA를 배제해서는 안 된다.[22]

오심, 구토, 복통, 빠른 호흡, 심한 피로, 탈수감이 동반되면 혈당만이 아니라 혈중 β-hydroxybutyrate와 산-염기 상태 평가가 필요할 수 있다. DKA는 β-hydroxybutyrate 수치 하나만으로 진단하지 않으며, 당뇨병 또는 고혈당의 조건과 케톤증, 대사성 산증을 함께 평가한다. ADA 2026의 진단 틀에서는 β-hydroxybutyrate 3.0 mmol/L 이상이 유의한 케톤증 기준이며, 대사성 산증은 pH 7.3 미만 및/또는 bicarbonate 18 mmol/L 미만으로 평가한다. 이런 상황은 자가 식단조절의 문제가 아니라 즉각적인 의료평가가 필요한 상황이다.[23]

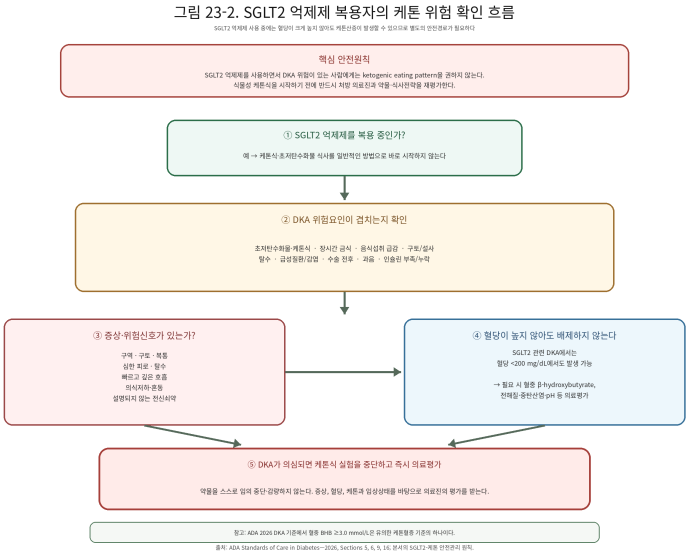
이 책에서 식물성 케톤식을 실천하는 사람이 SGLT2 억제제를 복용하고 있다면, **먼저 처방 의료진과 식사계획을 상의하는 것을 기본 안전원칙**으로 둔다. 약물의 심장·신장 이득을 잃지 않으면서 DKA 위험을 피하는 대안을 찾아야 하기 때문이다.[24]

[22] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 16, Diabetes Care in the Hospital. Euglycemic DKA may occur with plasma glucose below 200 mg/dL, including in association with SGLT2 inhibitor therapy.

[23] ADA Professional Practice Committee. (2026). Diabetes Care in the Hospital: Standards of Care in Diabetes-2026. DKA requires diabetes/hyperglycemia, significant ketosis, and metabolic acidosis; all diagnostic components must be considered together.

[24] ADA Professional Practice Committee. (2026). Sections 5, 6, 9, and 11; author safety synthesis.

그림 23-2. SGLT2 억제제 복용자의 케톤 위험 확인 흐름



출처: ADA Standards of Care in Diabetes–2026, Sections 5, 6, 9, 16; 본서의 SGLT2-케톤 안전관리 원칙.

7. 인슐린 - 탄수화물과 가장 직접적으로 연결된다

용어 | 기저 인슐린
Basal insulin
식사와 무관한 기본 인슐린 필요량을 보충하는 인슐린이다.

인슐린은 생명을 유지하는 필수 호르몬이며, 필요한 사람에게 식단으로 대체할 수 있는 약물이 아니다. 제1형 당뇨병은 물론이고 일부 제2형 당뇨병에서도 인슐린 부족이 크면 반드시 필요하다.[25]

특히 A1C가 매우 높거나 혈당이 300 mg/dL 이상이면서 다뇨·다갈, 체중감소 같은 증상이 있으면 ADA 2026은 인슐린 시작을 고려하도록 권고한다. 식물성 케톤식을 시작한다는 이유로 이런 상황에서 인슐린을 미루는 것은 위험하다.[26]

반대로 식사 탄수화물이 감소하면 식사 인슐린 요구량이 달라질 수 있다. 기저 인슐린은 간의 포도당 생산을 억제하는 역할이 크고, 식사 인슐린은 탄수화물 섭취와 더 직접적으로 연결된다. 두 종류를 같은 방식으로 조정하면 안 된다.[27]

CGM은 이런 조정에 유용하다. 저혈당이 반복되는 시간대, 식사 후 상승폭, 야간 패턴을 함께 보면 단순한 하루 평균값보다 약물과 식사의 관계를 더 잘 이해할 수 있다.[28]

[25] ADA Professional Practice Committee. (2026). Pharmacologic approaches to glycemic treatment.
[26] ADA Professional Practice Committee. (2026). Recommendation 9.20: consider insulin with symptoms of hyperglycemia or A1C >10% or glucose ≥300 mg/dL.
[27] ADA Professional Practice Committee. (2026). Insulin treatment sections; author explanation of basal versus prandial roles.
[28] ADA Professional Practice Committee. (2026). Glycemic goals and insulin

인슐린을 줄이는 목표 자체가 치료목표가 되어서는 안 된다. 목표는 안전한 혈당, 저혈당 최소화, 체중과 합병증 위험 개선이다. 약물량 감소는 그 결과로 따라올 수 있지만, 필요한 인슐린을 억지로 줄여서는 안 된다.[29]

8. 약물감량은 '성과'가 아니라 안전하게 관찰되는 결과다

용어 | 식사 인슐린
Prandial insulin
식사 후 혈당상승을 조절하기 위해 식사와 연동해 쓰는 인슐린이다.

저탄수화물 중재 연구에서는 약물감량이 보고돼 왔다. 그러나 연구마다 의료진의 감독, 약물 알고리즘, 에너지 제한, 교육 강도가 달라 단순 비교가 어렵다.[30]

예를 들어 약사 주도 탄수화물·에너지 제한 RCT에서는 식사중재와 약물관리가 동시에 제공됐다. 따라서 약물감량 결과를 '탄수화물을 줄였기 때문에 약을 끊었다'고 단순화해서는 안 된다.[31]

우리 DB에서도 약물감량 관련 논문이 다수 확인됐지만, 어떤 약을 얼마나 줄였는지, 감량 기준이 무엇이었는지는 원문 수준에서 별도로 검증해야 한다. 책에서는 약물감량을 HbA1c와 체중, 저혈당, 합병증 위험과 함께 해석한다.[32]

표 23-3. 약물 조정 전에 반드시 확인할 자료

확인 자료	왜 필요한가	위험 신호	다음 행동
CGM/자가혈당	저혈당 시간대와 식후패턴 확인	반복적 <70 mg/dL	인슐린/SU 등 고위험약 재평가
HbA1c	2~3개월 평균 변화 확인	빠른 큰 폭 감소 + 망막병증	안과·치료속도 검토
eGFR/UACR	메트포르민·일부 약물 용량과 CKD 위험	eGFR 급감, 탈수	약물·수분상태 평가
케톤·증상	SGLT2 관련 DKA 확인	오심·복통·호흡곤란·BHB 상승	즉시 의료평가
체중·식사량	GLP-1 계열과 식단의 섭취감소 확인	빠른 체중감소·단백질 부족	영양구성 재설계

출처: ADA 2026; 저자 구성.

titration sections.

[29] ADA Professional Practice Committee. (2026). Person-centered glycemic goals and hypoglycemia prevention principles.

[30] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis. BMJ, 372, m4743.

[31] Little, J. P., Myette-Côté, É., et al. (2021). A randomized controlled trial of pharmacist-led therapeutic carbohydrate and energy restriction in type 2 diabetes. Nature Communications, 12, 5367. PMID:34508090.

[32] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3'의 medication-reduction 문헌분류 결과와 장별 검증 원칙에 근거한 저자 해석.

9. 신장과 심장 보호 목적의 약은 HbA1c만 보고 끊지 않는다

용어 | 약물감량
Deprescribing
안전성과 치료목표를 유지하면서 불필요하거나 과도한 약물 부담을 줄이는 과정이다.

당뇨약의 역할은 이제 혈당강하에만 있지 않다. SGLT2 억제제와 일부 GLP-1 수용체작용제는 심혈관질환과 CKD 위험을 줄이는 목적으로 사용될 수 있다. ADA 2026은 CKD가 있는 제2형 당뇨병에서 A1C와 무관하게 이런 약물의 장기 장기보호 이득을 고려하도록 권고한다.[33]

따라서 식사 후 HbA1c가 좋아졌다고 해서 이런 약을 자동으로 중단해서는 안 된다. '혈당약이 필요 없어졌다'는 판단과 '심장·신장 보호를 위해 계속 쓸 가치가 있다'는 판단은 서로 다를 수 있다.[34]

이 차이를 이해하면 약물감량을 성공의 유일한 기준으로 보지 않게 된다. 어떤 사람에게는 약을 줄이는 것이 이득이고, 다른 사람에게는 혈당이 좋아져도 특정 약을 유지하는 편이 장기 위험 감소에 더 유리할 수 있다.[35]

10. 저혈당이 나타나면 식단을 더 강하게 밀어붙이지 않는다

용어 | 심장·신장 보호
Cardiorenal protection
일부 약물은 HbA1c와 별개로 심혈관·신장 위험을 줄이는 목적으로 사용된다.

저혈당은 '당뇨가 잘 낮고 있다는 증거'가 아니다. 인슐린이나 설포닐우레아 사용 중 혈당이 70 mg/dL 미만으로 반복되면 치료계획이 현재의 식사와 맞지 않을 가능성을 먼저 생각해야 한다.[36]

의식저하, 경련, 타인의 도움이 필요한 저혈당은 응급상황이다. 저혈당이 반복되면 더 엄격한 탄수화물 제한보다 약물·운동·식사 시점 전체를 재평가해야 한다.[37]

이 원칙은 환자의 의지를 약화시키는 것이 아니다. 오히려 식사치료를 오래 지속하기 위한 안전장치다. 혈당이 좋아질수록 약물과 식사가 서로 맞도록 조정되어야 한다.[38]

[33] ADA Professional Practice Committee. (2026). Recommendations 9.10-9.11 and Section 11 kidney protection recommendations.
[34] ADA Professional Practice Committee. (2026). Pharmacologic treatment should consider cardiorenal benefits irrespective of A1C in appropriate populations.
[35] ADA Professional Practice Committee. (2026). Person-centered medication selection; author synthesis.
[36] ADA Professional Practice Committee. (2026). Section 6 hypoglycemia definitions and risk assessment.
[37] Ibid. Level 3 hypoglycemia requires assistance and is clinically serious regardless of measured glucose value.
[38] ADA Professional Practice Committee. (2026). Hypoglycemia prevention and

11. 약물 복용자의 4단계 안전 프로토콜

용어 | 저혈당
Hypoglycemia
혈당이 지나치게 낮아진 상태다. 인슐린과 분비촉진제에서 특히 중요하다.

첫째, 시작 전에 약물명을 정확히 기록한다. 상품명만이 아니라 성분명, 복용시간, 용량, 인슐린 종류를 함께 적는다.[39]

둘째, 저혈당 위험약과 DKA 위험약을 표시한다. 인슐린·설포닐우레아·메글리티나이드는 저혈당 경고표시를, SGLT2 억제제는 케톤산증 경고표시를 한다.[40]

셋째, 첫 1~2주는 혈당자료를 평소보다 촘촘하게 본다. CGM이 있다면 TIR뿐 아니라 TBR과 야간저혈당을 확인하고, SGLT2 억제제를 사용하는 사람은 질병·금식·탈수 상황에서 케톤위험을 우선 확인한다.[41]

넷째, 약물변경은 기록을 남긴다. 무엇을 언제 바꿨고, 그 뒤 혈당·체중·증상이 어떻게 달라졌는지를 남겨야 다음 조정의 근거가 된다.[42]

표 23-4. 식물성 케톤식과 약물을 함께 관리하는 4단계 기록표

단계	기록할 내용	최소 확인 항목	목적
시작 전	약물·용량·시간·기저검사	HbA1c, eGFR, 혈당, 체중	위험분류와 기준선 확보
1~2주	식사·혈당·증상	저혈당, 탈수, 케톤위험	초기 약물-식사 불일치 탐지
3~4주	평균패턴과 변동성	TIR/TBR, 공복·식후혈당	일시적 변화와 지속패턴 구분
8~12주	검사와 약물목록 재검토	HbA1c, 신장·지질, 약물부담	유지·감량·변경 여부를 의료진과 결정

출처: ADA 2026; Cucuzzella et al. (2021); 저자 구성.

12. 가장 좋은 약물계획은 가장 적은 약이 아니라 가장 안전한 계획이다

용어 | 약물 안전 프로토콜
Medication safety protocol
약물목록·혈당·증상·신장기능·케톤위험을 함께 기록하며 조정하는 절차다.

식물성 케톤식을 통해 혈당과 체중이 개선되면 약물 요구량이 달라질 수 있다. 이것은 중요한 임상적 변화다. 하지만 모든 약을 줄이는 것이 목표는 아니다.[43]

treatment modification principles.

[39] ADA Professional Practice Committee. (2026). Comprehensive medical evaluation and medication reconciliation principles.

[40] ADA Professional Practice Committee. (2026). Sections 6 and 9.

[41] ADA Professional Practice Committee. (2026). CGM goals, hypoglycemia risk, and SGLT2 DKA risk mitigation sections.

[42] ADA Professional Practice Committee. (2026). Diabetes self-management and treatment reassessment principles; author implementation framework.

[43] Cucuzzella, M., Riley, K., & Isaacs, D. (2021). Adapting medication for type 2 diabetes to a low carbohydrate diet. Frontiers in Nutrition, 8, 688540.

메트포르민처럼 저혈당 위험이 낮은 약, 심장·신장 보호를 위해 쓰는 SGLT2 억제제나 GLP-1 계열, 반드시 필요한 인슐린은 각자 역할이 다르다. 반대로 식사 변화로 저혈당 위험이 커지는 인슐린·설포닐우레아는 더 빠른 재평가가 필요하다.[44]

따라서 이 책의 약물 원칙은 '약을 끊자'가 아니다. **식사가 바뀌면 약물의 위험과 이득을 다시 계산하자**는 것이다. 혈당자료, 신장기능, 심혈관 위험, 체중, 부작용과 개인의 치료목표를 함께 보아야 한다.[45]

식물성 케톤식의 성공은 약이 0개가 되는 순간으로 정의하지 않는다. 저혈당과 DKA를 피하면서 혈당이 안정되고, 합병증 위험이 낮아지며, 필요한 약을 가장 합리적으로 사용하는 상태가 더 중요한 목표다.[46]

[44] ADA Professional Practice Committee. (2026). Medication class characteristics and recommendations 9.16-9.18.

[45] ADA Professional Practice Committee. (2026). Sections 9 and 11; author synthesis.

[46] ADA Professional Practice Committee. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026; author synthesis emphasizing safety, complication prevention, and individualized treatment.

제23장 핵심 참고문헌

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Pharmacologic approaches to glycemic treatment: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S183-S215.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic goals, hypoglycemia, and hyperglycemic crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S132-S149.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Chronic kidney disease and risk management: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S246-S260.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Retinopathy, neuropathy, and foot care: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S261-S276.

Cucuzzella, M., Riley, K., & Isaacs, D. (2021). Adapting medication for type 2 diabetes to a low carbohydrate diet. Frontiers in Nutrition, 8, 688540.

Little, J. P., Myette-Cote, E., et al. (2021). A randomized controlled trial of pharmacist-led therapeutic carbohydrate and energy restriction in type 2 diabetes. Nature Communications, 12, 5367.

제24장. 당뇨 관해란 무엇인가 - 혈당이 정상화되어도 끝난 것은 아니다

관해는 치료의 중요한 이정표다. 그러나 관해가 곧 완치라는 뜻은 아니다.

제2형 당뇨병에서 혈당이 정상 범위로 돌아오고 약을 쓰지 않아도 그 상태가 유지되는 사람이 있다. 과거에는 이런 변화를 '역전'이나 '완치'라고 부르기도 했지만, 현재 국제 합의가 권하는 용어는 **관해(remission)**다. 관해는 질환의 활동성이 크게 줄어든 상태를 뜻하지만, 다시 고혈당이 나타날 가능성까지 사라졌다는 의미는 아니다.[1]

2021년 ADA, EASD, Diabetes UK, Endocrine Society 등이 참여한 국제 전문가 합의는 제2형 당뇨병 관해를 **혈당강하제를 사용하지 않은 상태에서 HbA1c가 6.5% 미만으로 최소 3개월 지속되는 경우**로 정의했다. 이 정의는 치료법의 우열을 선언하기 위한 것이 아니라, 연구와 임상에서 같은 언어를 쓰기 위한 기준이다.[2]

이 장에서는 관해를 하나의 숫자로만 보지 않는다. **혈당, 체중, 간과 췌장의 지방, 베타세포 기능, 약물 중단, 재발 위험, 장기 합병증**을 함께 본다. 그리고 관해가 가능하다는 사실과 관해가 영구적이라는 주장을 분명히 구분한다.[3]

1. 관해는 완치와 다르다

용어 | 관해
Remission
당뇨 진단범위 아래의 혈당이 약물 없이 유지되는 상태다. 완치와는 다르다.

'완치(cure)'라는 말은 질환이 사라졌고 더 이상 추적이나 치료가 필요하지 않다는 인상을 준다. 제2형 당뇨병에서는 이런 표현이 적절하지 않다. 체중 증가, 질병 스트레스, 약물 변화, 베타세포 기능의

[1] Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. Diabetes Care, 44(10), 2438-2444. doi:10.2337/dci21-0034.

[2] Ibid. The expert group proposed remission as the preferred term and HbA1c <6.5% at least 3 months after cessation of glucose-lowering pharmacotherapy as the usual criterion.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S27-S49; author synthesis.

추가 저하가 생기면 혈당은 다시 올라갈 수 있기 때문이다.[4]

반면 관해는 현재의 대사상태가 당뇨 진단기준 아래로 내려갔음을 뜻한다. 중요한 변화이지만 **재발 가능성을 전제로 한 상태**다. 따라서 관해에 들어갔다고 해서 HbA1c 검사나 신장·망막·신경·심혈관 위험 평가를 중단해서는 안 된다.[5]

이 구분은 책 제목의 '치유'라는 표현을 과학적으로 해석하는 데도 중요하다. 이 책 제목에서 사용하는 '치유'는 제2형 당뇨병이 영구적으로 사라졌다는 임상적 '완치'를 뜻하지 않는다. 대사건강이 개선되고 질환 부담이 줄어드는 방향을 포괄적으로 표현한 제목상의 서술어이다. 실제 임상연구 결과를 기술할 때는 '관해', '개선', '약물감량'을 각각의 정의에 따라 구분해 사용한다.[6]

표 24-1. 개선, 관해, 완치를 구분하는 기준

용어	핵심 의미	혈당강하제	추적관리	이 책에서의 사용
개선	HbA1c·혈당·체중 등이 좋아진 상태	사용할 수 있음	계속 필요	치료반응을 설명할 때 사용
관해	HbA1c <6.5%가 약물 없이 일정 기간 유지	일반적 혈당강하제 없음	반드시 필요	임상적 핵심 용어
역전	변화의 방향을 설명하는 표현	기준이 일정하지 않음	필요	기전 설명에 제한적으로 사용
완치	질환이 사라졌다는 의미	불필요하다는 인상	불필요하다는 인상	제2형 당뇨병 임상결과에는 사용하지 않음

출처: Riddle et al. (2021); ADA Professional Practice Committee for Diabetes (2026); 저자 재구성.

2. 현재 가장 널리 쓰이는 관해의 기준

용어 | HbA1c
Glycated hemoglobin
최근 약 2~3개월의 평균 혈당상태를 반영하는 지표다. 관해 판정의 중심 기준이다.

국제 합의의 중심 기준은 단순하다. **HbA1c <6.5%**이고, 일반적인 혈당강하제를 끊은 뒤 **최소 3개월**이 지나 있어야 한다. 약을 복용하면서 HbA1c가 6.5% 미만인 것은 좋은 혈당조절이지만, 이 합의 정의에서는 관해로 분류하지 않는다.[7]

HbA1c가 정확하지 않은 상황에서는 대체 지표를 고려할 수 있다. 합의문은 공복혈당 126 mg/dL 미만이나 CGM에서 계산한 평균혈당 기반 지표를 보조적으로 사용할 수 있다고 제안한다. 그러나 일상

[4] Riddle et al. (2021). The term cure was considered problematic because recurrence and continued follow-up remain possible.

[5] Riddle et al. (2021). Ongoing observation is recommended because hyperglycemia frequently recurs and diabetes-related complications still require surveillance.

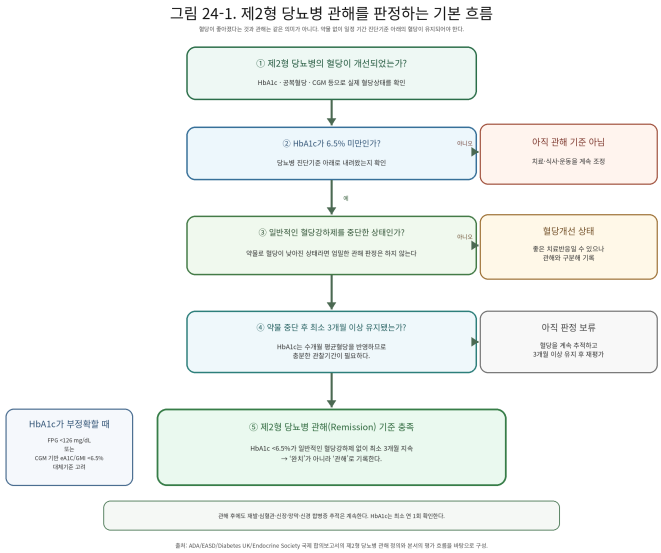
[6] 저자 용어원칙. 제2형 당뇨병의 임상결과에는 cure보다 remission을 사용하고, improvement와 medication reduction을 별도의 결과로 구분한다. Riddle et al. (2021).

[7] Riddle et al. (2021). HbA1c <6.5% for at least 3 months without usual glucose-lowering pharmacotherapy.

임상에서는 HbA1c가 가장 단순하고 표준화된 기준이다.[8]

생활습관 중재로 관해를 평가할 때는 시간 개념을 구분해서 이해해야 한다. 관해의 일반적 정의는 혈당강하제를 사용하지 않은 상태에서 HbA1c가 6.5% 미만으로 최소 3개월 지속되는 것이다. 그러나 식사·체중감량과 같은 생활습관 중재는 효과가 안정화되고 HbA1c에 충분히 반영되는 데 시간이 걸릴 수 있다. 국제 합의문은 생활습관 중재의 반응을 HbA1c로 신뢰성 있게 평가하려면 중재 시작 후 최소 6개월이 지난 시점을 사용하고, 이전에 혈당강하제를 사용했다면 약물 중단 후에도 최소 3개월이 지나야 관해를 문서화하도록 제안한다.[9]

그림 24-1. 제2형 당뇨병 관해를 판정하는 기본 흐름



출처: ADA/EASD/Diabetes UK/Endocrine Society 국제 합의보고서의 제2형 당뇨병 관해 정의와 본서의 평가 흐름을 바탕으로 구성.

3. 관해는 얼마나 자주 일어나는가

용어 | 자연관해
Spontaneous remission
특정 치료 없이 당뇨 진단범위 아래로 혈당이 유지되는 드문 상태를 뜻한다.

관해는 가능하지만 모든 사람에게 같은 확률로 일어나지 않는다. 일반 진료환경에서 특별한 집중중재 없이 관해가 나타나는 비율은 높

[8] Riddle et al. (2021). FPG <126 mg/dL or CGM-derived equivalent may be alternatives when HbA1c is unreliable.

[9] Riddle et al. (2021). For lifestyle intervention, HbA1c assessment is recommended at least 6 months after initiation of the intervention and at least 3 months after cessation of glucose-lowering pharmacotherapy when applicable.

지 않다. 미국 보험자료를 이용한 대규모 분석에서는 2021년 합의기준에 가까운 정의를 적용했을 때 약 3.2%가 관해로 분류됐다.[10]

집중적인 생활습관 중재에서는 비율이 더 높아질 수 있다. Look AHEAD 연구에서 집중 생활습관 중재군의 관해는 1년 11.5%, 4년 7.3%였고, 일반 당뇨교육 대조군은 약 2% 수준이었다. 관해는 체중감량 폭이 크고, 당뇨병 유병기간이 짧고, 시작 HbA1c가 낮으며, 인슐린을 사용하지 않는 사람에서 더 자주 나타났다.[11]

DiRECT에서는 더 강한 체중감량 프로그램을 사용했다. 1년 시점에 중재군의 46%가 관해에 도달했고 대조군은 4%였다. 그러나 이 결과는 특정한 저열량 체중관리 프로그램의 효과이며, 일반적인 식사변화만으로 같은 비율을 기대할 수 있다는 뜻은 아니다.[12]

표 24-2. 주요 생활습관 관해 연구의 결과

연구	대상·중재	1년 관해	장기 관해	해석
Look AHEAD	비만·제2형 당뇨병, 집중 생활습관 중재	11.5%	4년 7.3%	비교적 긴 유병기간에서도 일부 관해 가능
DiRECT	진단 6년 이내, 저열량 체중관리	46%	2년 36%	큰 체중감량과 관해가 밀접
DiRECT extension	기존 중재 후 장기 체중유지 지원	-	5년 13%*	재발이 흔하며 유지지원이 중요
일반 진료자료	별도 집중중재가 없는 실제 진료환경	낮음	정의에 따라 다름	관해는 자연적으로 흔한 상태가 아님

출처: Gregg et al. (2012); Lean et al. (2018, 2019, 2024); Miras et al. (2023). *5년 13%는 DiRECT 연장 중재 참여자 중 5년 자료가 있는 집단 기준.

4. 체중감량과 관해는 강하게 연결돼 있다

용어 | 체중감량 반응
Weight-loss response
감량 폭이 커질수록 관해 가능성이 높아지는 경향을 뜻한다. 개인별 차이는 크다.

DiRECT의 가장 중요한 결과는 관해율 자체보다 **체중감량 폭과 관해가 거의 계단식으로 연결됐다는 점**이다. 1년 시점에서 체중이 5 kg 미만 감소한 사람의 관해율은 약 7%였지만, 5~10 kg 감소에서는 34%, 10~15 kg 감소에서는 57%, 15 kg 이상 감소에서는 86%까지 올라갔다.[13]

이 결과는 '15 kg을 빼야만 관해된다'는 규칙을 의미하지 않는다.

[10] Miras, A. D., et al. (2023). Real-world prevalence of type 2 diabetes remission in a U.S. insured population using a large administrative claims database. Diabetes Spectrum, 36(3), 211-219. Approximately 3.2% met the least restrictive claims-based adaptation of the 2021 consensus definition.

[11] Gregg, E. W., Chen, H., Wagenknecht, L. E., et al. (2012). Association of an intensive lifestyle intervention with remission of type 2 diabetes. JAMA, 308(23), 2489-2496. doi:10.1001/jama.2012.67929.

[12] Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al. (2018). Primary care-led weight management for remission of type 2 diabetes (DiRECT): an open-label, cluster-randomised trial. Lancet, 391, 541-551. One-year remission was 46% in the intervention group and 4% in control.

[13] Lean et al. (2018). One-year remission by weight-loss category was approximately 7% for <5 kg, 34% for 5-10 kg, 57% for 10-15 kg, and 86% for >=15 kg loss.

사람마다 시작 체중, 당뇨 유병기간, 베타세포 기능이 다르다. 핵심은 **충분한 지방량 감소가 대사환경을 바꿀 가능성을 높인다**는 것이다.[14]

ADA 2026도 제2형 당뇨병과 과체중·비만이 있는 사람에서 체중 5~7% 감소는 혈당과 심혈관 위험인자를 개선하고, **10%를 넘는 지속적 체중감량은 질병수정 효과와 관해 가능성을 더 높일 수 있다**고 설명한다.[15]

그러나 체중만이 전부는 아니다. 같은 체중감량을 해도 어떤 사람은 관해에 들어가고 어떤 사람은 그렇지 않다. 이 차이를 이해하려면 간과 췌장의 지방, 그리고 베타세포의 회복능력을 봐야 한다.[16]

5. 간지방이 먼저 줄어드는 이유

용어 | 간지방
Liver fat
간세포에 축적된 지방이다. 과도하면 인슐린 저항성과 공복 고혈당에 관여한다.

제2형 당뇨병에서 간은 공복혈당을 결정하는 중요한 장기다. 간에 지방이 과도하게 축적되고 인슐린 저항성이 커지면, 인슐린이 존재해도 간의 포도당 생산이 충분히 억제되지 않는다.[17]

DiRECT의 기전 연구에서는 체중감량 후 간지방이 빠르게 감소했다. 중재군의 간지방은 평균 약 16%에서 약 3% 수준으로 줄었고, 이 변화는 혈당이 정상화된 사람과 그렇지 않은 사람 모두에서 나타났다. 간지방 감소는 공복 대사의 회복에 중요한 조건이지만 **그 자체만으로 관해를 보장하지는 않았다.**[18]

이 점이 중요하다. 간이 좋아져도 췌장의 인슐린 분비능이 충분히 회복되지 않으면 정상혈당을 유지하기 어렵다. 따라서 관해는 단순한 '간지방 감소'가 아니라 여러 장기의 회복이 함께 맞물린 결과다.[19]

[14] Lean et al. (2018); author interpretation. Weight-loss thresholds are probabilistic associations, not universal individual prescriptions.

[15] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Obesity and weight management for the prevention and treatment of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S166-S182. Recommendation 8.5.

[16] Taylor, R., Al-Mrabeh, A., Zhyzhneuskaya, S., et al. (2018). Remission of human type 2 diabetes requires decrease in liver and pancreas fat content but is dependent upon capacity for beta cell recovery. Cell Metabolism, 28(4), 547-556.e3.

[17] Taylor et al. (2018); ADA Professional Practice Committee (2026). Type 2 diabetes involves insulin resistance and inadequate beta-cell compensation, with the liver contributing to fasting hyperglycemia.

[18] Taylor et al. (2018). Liver fat fell from approximately 16.0% to 3.1% after weight loss in the mechanistic DiRECT subgroup.

[19] Taylor et al. (2018). Liver and pancreatic fat decreased broadly, whereas durable recovery of first-phase insulin secretion distinguished responders.

6. 췌장지방과 베타세포의 회복

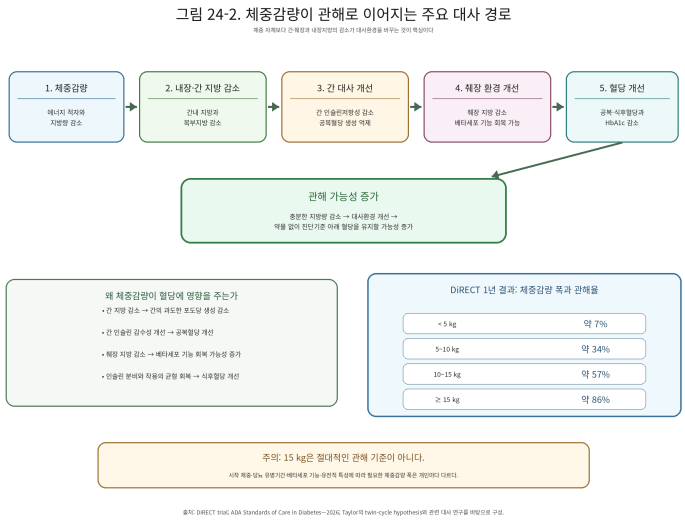
용어 | 췌장지방
Pancreas fat
췌장 조직 내 지방축적을 뜻한다. 관해 연구에서 베타세포 기능과 함께 연구된다.

DiRECT 기전 연구에서 췌장지방도 체중감량과 함께 감소했다. 그러나 관해를 가장 분명하게 가른 것은 **베타세포의 1차 인슐린 분비반응이 회복됐는가**였다. 관해에 들어간 사람에서는 첫 단계 인슐린 분비가 회복됐고, 그 변화는 12개월까지 유지됐다.[20]

또 관해된 사람은 비관해군보다 평균 당뇨병 유병기간이 짧았다. 이는 베타세포가 회복할 수 있는 '가역적 구간'이 사람마다 다를 수 있음을 시사한다. 이미 오랜 기간 기능저하가 진행된 경우에는 같은 체중감량을 해도 완전한 관해가 어려울 수 있다.[21]

2년 추적 MRI 연구에서는 관해가 유지된 사람에서 췌장 부피와 형태가 비당뇨군에 가까워지는 변화도 관찰됐다. 이것은 췌장이 완전히 새로 생겼다는 뜻이 아니라, 제2형 당뇨병과 관련된 형태적 이상 일부가 체중감량과 관해 과정에서 가역적일 수 있음을 보여준다.[22]

그림 24-2. 체중감량이 관해로 이어지는 주요 대사 경로



출처: DiRECT trial; ADA Standards of Care in Diabetes–2026; twin-cycle hypothesis 관련 연구를 바탕으로 구성.

[20] Taylor et al. (2018). Recovery of first-phase insulin response characterized participants returning to non-diabetic glucose control.

[21] Taylor et al. (2018). Responders had shorter mean diabetes duration than nonresponders, supporting a role for residual beta-cell recoverability.

[22] Al-Mrabeh, A., Hollingsworth, K. G., Shaw, J. A. M., et al. (2020). 2-year remission of type 2 diabetes and pancreas morphology: a post-hoc analysis of the DiRECT trial. Lancet Diabetes & Endocrinology, 8(12), 939-948. Pancreas volume and border irregularity moved toward non-diabetic morphology in responders.

7. 모든 사람에게 같은 관해 가능성이 있는 것은 아니다

용어 | 1차 인슐린 분비
First-phase insulin response
포도당 자극 직후 빠르게 분비되는 초기 인슐린 반응이다.

관해 가능성은 당뇨병 유병기간, 시작 HbA1c, 인슐린 사용, 체중감량 폭, 베타세포 기능과 관련된다. 일반적으로 유병기간이 짧고 체중감량이 크며 내인성 인슐린 분비능이 남아 있을수록 관해 가능성이 높다.[23]

반대로 유병기간이 길고 인슐린 분비능이 크게 감소한 사람은 혈당·체중·약물 요구량이 크게 좋아져도 국제 기준의 관해에 도달하지 못할 수 있다. 그렇다고 치료가 실패한 것은 아니다. HbA1c 감소, 저혈당 감소, 인슐린 감량, 체중감량과 합병증 위험 감소는 각각 중요한 임상적 이득이다.[24]

따라서 관해는 유용한 목표지만 **모든 사람에게 강요할 성적표는 아니다.** 개인의 당뇨병 단계와 치료목표를 반영해 현실적으로 해석해야 한다.[25]

표 24-3. 관해 가능성을 높이거나 낮추는 주요 요인

요인	관해 가능성과의 관계	이유	해석상의 주의
큰 체중감량	대체로 높아짐	간·췌장 지방과 인슐린 저항성 감소	개인별 필요 감량폭은 다름
짧은 유병기간	대체로 높아짐	베타세포 회복 여지가 클 가능성	절대 기준은 아님
낮은 시작 HbA1c	대체로 높아짐	진행 정도가 상대적으로 낮을 가능성	약물상태와 함께 해석
인슐린 비사용	연구에서 높은 관해율과 연관	내인성 분비능이 더 남아 있을 가능성	인슐린 사용 자체가 실패를 의미하지 않음
체중 재증가	재발 가능성 증가	간·췌장 대사부담이 다시 증가할 수 있음	유지 프로그램이 중요

출처: Gregg et al. (2012); Lean et al. (2018, 2019, 2024); Taylor et al. (2018); ADA 2026; 저자 재구성.

8. 2년 관해가 5년 관해를 보장하지 않는다

용어 | 재발
Relapse
관해 후 다시 당뇨 진단범위의 고혈당이 나타나는 상태다.

DiRECT의 2년 결과에서는 원래 중재군의 36%가 관해 상태였다. 5년 연장연구에서는 계속 추적되어 5년 자료가 확보된 연장중재 참여자 85명 가운데 11명, 즉 13%가 그 시점에 관해 상태였다. 다만 2년 결과와 5년 연장연구는 분석 대상과 분모가 동일하지 않으므로 36%

[23] Gregg et al. (2012); Taylor et al. (2018); Lean et al. (2018, 2019). Shorter diabetes duration, greater weight loss, lower baseline HbA1c and preserved endogenous insulin capacity are repeatedly associated with remission.

[24] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026; author synthesis emphasizing clinically meaningful improvement even without formal remission.

[25] Riddle et al. (2021). The consensus definition was designed for terminology and research, not as a mandate that every person should pursue remission.

에서 13%로 단순 비교해서는 안 된다.[26]

더 중요한 수치는 **2년 시점 관해였던 사람 중 5년에도 관해를 유지한 비율이 약 26%**였다는 점이다. 체중을 다시 늘리면 관해가 깨질 가능성도 커졌다. 따라서 관해를 만드는 것과 관해를 유지하는 것은 서로 다른 과제다.[27]

이 결과는 관해가 완치와 동일하지 않으며 재발할 수 있음을 보여준다. 동시에 일부 사람에서는 상당한 체중감량을 유지하면서 5년까지 혈당강하제 없이 관해 상태를 유지할 수 있다는 점도 보여준다.[28]

장기 관해를 위해서는 체중 유지, 식사 지속 가능성, 근육량, 신체활동, 수면과 스트레스, 정기검사가 함께 관리되어야 한다. 그래서 관해 이후의 관리가 관해를 만드는 과정만큼 중요하다.[29]

9. 관해되면 합병증 위험도 사라지는가

용어 | 잔여위험
Residual risk
혈당이 좋아져도 과거 손상이나 다른 위험요인 때문에 남아 있는 합병증 위험이다.

관해는 합병증 위험을 낮출 가능성이 있지만 위험을 0으로 만들지는 않는다. 과거 고혈당 노출과 기존 장기손상이 남아 있을 수 있기 때문이다. 국제 합의문도 관해 후 HbA1c를 최소 연 1회 확인하고, 당뇨 합병증에 대한 정기 평가를 계속하도록 권고한다.[30]

Look AHEAD의 장기 분석에서는 추적 중 한 번이라도 관해를 경험한 사람에서 관해가 없었던 사람보다 고위험 CKD 발생률이 약 33%, 복합 심혈관질환 발생률이 약 40% 낮았다. 다만 이것은 관해 자체의 독립효과를 완전히 증명한 것은 아니다. 체중, 체력, HbA1c, 혈압, 지질의 동반 개선이 결과에 영향을 주었을 수 있다.[31]

그럼에도 이 결과는 관해가 단순한 숫자놀이가 아님을 보여준다. 관해와 함께 유지되는 대사개선이 장기 신장·심혈관 위험 감소와 연

[26] Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al. (2019). Durability of a primary care-led weight-management intervention for remission of type 2 diabetes: 2-year results of DiRECT. Lancet Diabetes & Endocrinology, 7(5), 344-355; Lean et al. (2024). Five-year follow-up of DiRECT. Lancet Diabetes & Endocrinology, 12(4), 233-246.

[27] Lean et al. (2024). Of participants in remission at year 2 who were followed to year 5, approximately 26% remained in remission at year 5.

[28] Lean et al. (2024). At year 5, 11 of 85 extension participants with data (13%) were in remission; long-term remission remained possible but less common than at earlier follow-up.

[29] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Long-term weight maintenance programs are recommended after successful weight loss; Lean et al. (2024) demonstrates the challenge of sustaining remission.

[30] Riddle et al. (2021). HbA1c should be monitored at least yearly after remission together with routine screening for diabetes complications.

[31] Gregg, E. W., Chen, H., Bancks, M. P., et al. (2024). Impact of remission from type 2 diabetes on long-term health outcomes: findings from the Look AHEAD study. Diabetologia, 67, 459-469. Any remission was associated with 33% lower CKD and 40% lower composite CVD rates in multivariable analyses.

결될 가능성이 있다는 뜻이다.[32]

10. 관해 후에도 검사가 필요한 이유

용어 | 관해 추적
Remission surveillance
HbA1c와 합병증 위험을 정기적으로 확인해 관해 유지와 재발을 감시하는 과정이다.

관해에 들어간 사람도 최소한 HbA1c, 혈압, 지질, 신장기능과 당뇨 합병증 검사를 계속해야 한다. 특히 이미 망막병증, 신경병증, CKD, 심혈관질환이 있던 사람은 혈당이 좋아졌다고 기존 추적을 중단해서는 안 된다.[33]

약물도 같은 원칙으로 본다. 혈당강하 목적의 약을 중단해 관해 기준을 충족할 수는 있지만, 심부전·CKD·심혈관질환 보호 목적으로 사용하는 약물의 유지 여부는 별개의 임상판단이다.[34]

또 스테로이드, 일부 항정신병약, 급성질환, 수면부족, 체중증가 같은 요인은 혈당을 다시 올릴 수 있다. 관해는 '당뇨를 잊는 상태'가 아니라 **더 적은 대사부담으로 살아가되 재발을 감시하는 상태**에 가깝다.[35]

표 24-4. 관해 후에도 계속 확인해야 할 항목

항목	최소 확인 목적	왜 계속 보는가	재평가가 필요한 상황
HbA1c·혈당	관해 유지 확인	재발을 조기에 발견	HbA1c ≥6.5% 또는 상승 추세
체중·허리둘레	체중 재증가 확인	재발과 밀접한 생활지표	지속적 체중 증가
eGFR·UACR	신장 합병증 추적	과거 손상이 남을 수 있음	eGFR 감소·알부민뇨 증가
지질·혈압	심혈관 위험 관리	관해와 ASCVD 위험은 동일 개념이 아님	목표범위 이탈
망막·신경·발	기존 미세혈관 합병증 추적	혈당 정상화 후에도 진행 가능	새로운 시력·감각·상처 문제
약물목록	혈당 외 적응증 확인	심장·신장 보호 목적이 있을 수 있음	임의중단 금지, 적응증 재평가

출처: Riddle et al. (2021); ADA Standards of Care in Diabetes-2026; 저자 재구성.

11. 식물성 케톤식에서 관해를 어떻게 해석할 것인가

용어 | 직접근거
Direct evidence
특정 중재 자체를 직접 시험해 얻은 임상 근거를 뜻한다.

현재 직접 식물성 케톤식 연구만으로 관해율을 확정할 수는 없다. 앞장에서 확인했듯 식물성 식사와 케톤·저탄수 식사의 당뇨 개선근거

[32] Gregg et al. (2024). The observed association may partly reflect accompanying improvements in weight, fitness, HbA1c and cardiovascular risk factors and should not be interpreted as proof of a single causal remission effect.

[33] Riddle et al. (2021); ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Standards of Care in Diabetes-2026. Ongoing renal, retinal, neurologic, foot and cardiovascular risk surveillance remains appropriate.

[34] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Pharmacologic approaches and CKD/cardiovascular risk sections. Some agents may remain indicated for cardiorenal protection even when glycemia is near normal.

[35] Riddle et al. (2021). Weight gain, intercurrent illness, medications that worsen glycemia and continuing beta-cell decline can contribute to recurrence.

는 각각 존재하지만, 엄격한 식물성 케톤 동일중재의 장기 관해 자료는 아직 제한적이다.[36]

따라서 이 책은 DiRECT 중재군의 1년 시점 46% 관해율이나 다른 저탄수 중재의 관해율을 식물성 케톤식의 예상 관해율로 그대로 옮기지 않는다. 대신 **관해를 결정하는 생리적 조건**을 참고한다. 체중과 내장지방 감소, 혈당부담 감소, 인슐린 저항성 개선, 충분한 단백질과 근육 유지, 약물 안전성, 지속 가능한 식사구성이 핵심이다.[37]

식물성 케톤식이 이런 조건을 얼마나 안정적으로 만들 수 있는지는 앞으로 직접 RCT로 검증해야 한다. 관해는 이 식사모델의 가능성을 평가하는 중요한 결과지표가 될 수 있지만, 현재 단계에서는 과학적 검증의 대상이지 이미 보장된 결과가 아니다.[38]

12. 관해의 진짜 목표는 '약 0개'가 아니다

용어 | 유지관리
Maintenance
관해 이후 체중·식사·운동·검사를 지속해 재발위험을 낮추는 과정이다.

관해를 약을 모두 끊는 경쟁으로 이해하면 위험하다. 어떤 사람은 약물 없이 HbA1c 6.4%를 유지할 수 있지만, 심혈관·신장 위험 때문에 특정 약을 계속 쓰는 편이 더 안전할 수 있다. 또 어떤 사람은 HbA1c 6.6%이지만 인슐린을 크게 줄이고 체중과 혈압, 지질이 좋아져 전체 위험이 크게 낮아질 수 있다.[39]

따라서 치료의 최종 목표는 국제 기준의 관해라는 한 줄에만 있지 않다. **혈당이 안정되고, 장기 합병증 위험이 낮아지며, 필요한 약물은 합리적으로 사용하고, 체중과 근육을 유지하며, 삶의 질이 좋아지는 것**이 더 넓은 목표다.[40]

관해는 그 과정에서 매우 의미 있는 이정표다. 그러나 이정표에 도착했다고 여행이 끝나는 것은 아니다. 제2형 당뇨병의 관해는 '끝'이 아니라 **유지와 재발예방이 시작되는 지점**이다.[41]

[36] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3'의 식물성·케톤·저탄수·직접 동일중재 문헌검증 결과에 근거한 저자 판단.
[37] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026); Lean et al. (2018, 2019, 2024); author synthesis.
[38] 본 연구의 제15장 직접근거 분류 원칙. 식물성 케톤 동일중재의 장기 관해효과는 향후 직접 RCT가 필요하다.
[39] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic targets and medication selection should be individualized and should include cardiorenal risk rather than medication count alone.
[40] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive diabetes care targets glycemia, cardiovascular and kidney risk, weight, functional status, safety and quality of life.
[41] Riddle et al. (2021); Lean et al. (2024); author conclusion.

제24장 핵심 참고문헌

Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. Diabetes Care, 44(10), 2438-2444.

Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al. (2018). Primary care-led weight management for remission of type 2 diabetes (DiRECT). The Lancet, 391, 541-551.

Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al. (2019). Durability of a primary care-led weight-management intervention for remission of type 2 diabetes: 2-year results of DiRECT. Lancet Diabetes & Endocrinology, 7(5), 344-355.

Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al. (2024). 5-year follow-up of the randomised Diabetes Remission Clinical Trial (DiRECT). Lancet Diabetes & Endocrinology, 12(4), 233-246.

Taylor, R., Al-Mrabeh, A., Zhyzhneuskaya, S., et al. (2018). Remission of human type 2 diabetes requires decrease in liver and pancreas fat content but is dependent upon capacity for beta cell recovery. Cell Metabolism, 28(4), 547-556.e3.

Al-Mrabeh, A., Hollingsworth, K. G., Shaw, J. A. M., et al. (2020). 2-year remission of type 2 diabetes and pancreas morphology. Lancet Diabetes & Endocrinology, 8(12), 939-948.

Gregg, E. W., Chen, H., Bancks, M. P., et al. (2024). Impact of remission from type 2 diabetes on long-term health outcomes: findings from the Look AHEAD study. Diabetologia, 67, 459-469.

American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Obesity and weight management for the prevention and treatment of diabetes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl. 1), S166-S182.

제25장. 다시 당뇨로 돌아가지 않으려면 - 관해를 사건이 아니라 생활 시스템으로 만든다

당뇨병 관해에 도달했다는 말은 긴 치료 과정의 끝처럼 들린다. 그러나 실제로는 새로운 단계의 시작에 가깝다. 약물 없이 HbA1c가 당뇨병 진단범위 아래로 내려왔더라도, 체중이 다시 늘고 활동량이 줄거나 수면이 무너지고 질병·약물·스트레스가 겹치면 혈당은 다시 올라갈 수 있다.[1] 관해는 몸이 과거를 지웠다는 뜻이 아니라, 현재의 대사환경이 당뇨병을 드러내지 않을 만큼 좋아졌다는 뜻으로 이해하는 편이 정확하다.[2]

따라서 관해 유지의 목표는 매일 완벽한 혈당을 만드는 것이 아니다. **체중·식사·근육·활동·수면·검사라는 여섯 축을 장기적으로 관리해 재발의 방향을 조기에 알아차리고 다시 수정할 수 있는 시스템을 만드는 것**이다.[3] 이 장에서 말하는 유지관리는 특정 음식이나 케톤 수치를 평생 고정하는 방식이 아니라, 몸의 반응을 정기적으로 확인하면서 가장 덜 제한적이면서도 대사적으로 안정적인 수준을 찾는 과정이다.[4]

1. 관해를 유지하는 첫 번째 지표는 체중의 방향이다

DiRECT 연구가 보여준 가장 일관된 메시지 가운데 하나는 체중감량의 크기와 관해의 가능성이 밀접하게 연결된다는 점이다. 2년 시점에 10 kg 이상 감량을 유지한 참가자 가운데 상당수가 관해 상태를 유지했으며, 5년 연장연구에서도 장기적인 체중 유지가 관해 지속의 중심 과제로 남았다.[5] 반대로 체중이 다시 증가하면 간과 췌장을 포함한 대사장기의 지방축적이 다시 늘 수 있고, 시간이 지나면서 혈당이 당뇨병 범위로 돌아갈 가능성도 높아진다.[6]

[1] Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. *Diabetes Care, 44*(10), 2438-2444.

[2] Riddle et al. (2021). Remission requires ongoing observation because hyperglycemia can recur despite current near-normal glycemia.

[3] American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Sections 5, 6, and 8, *Standards of Care in Diabetes-2026*; author synthesis.

[4] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Nutrition and weight management should be individualized and monitored longitudinally.

[5] Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al. (2024). 5-year follow-up of the randomised Diabetes Remission Clinical Trial (DiRECT) of continued support for weight loss maintenance in the UK. *Lancet Diabetes & Endocrinology, 12*(4), 233-246.

[6] Riddle et al. (2021); Lean et al. (2024). Weight regain is a recognized contributor to recurrence, although individual mechanisms and thresholds vary.

중요한 것은 하루의 체중 숫자가 아니다. 체중은 수분, 염분, 글리코겐, 장 내용물에 따라 흔들리므로 단기 변동보다 **주간 평균과 4주 추세**가 더 유용하다.[7] ADA 2026은 체중감량에 성공한 사람에게 장기 유지 프로그램을 권고하며, 체중을 주 1회 이상 자가측정하고 장기적인 지원과 행동 모니터링을 지속하도록 제시한다.[8]

표 25-1. 관해 유지에서 추적할 핵심 변수와 조기 경고 신호

변수	안정적인 방향	조기 경고 신호	먼저 확인할 것	해석 원칙
체중	개인 유지범위 안에서 안정	수 주에 걸친 지속 증가	식사량·외식·간식·활동	하루 변동보다 추세를 본다
허리둘레	장기적으로 안정	옷이 조이거나 지속 증가	복부지방·활동량	체중과 함께 해석한다
공복·식후혈당	개인 목표범위에서 안정	같은 식사에서 반복 상승	탄수화물·수면·질병·약물	단일값보다 반복패턴을 본다
HbA1c	관해 범위 유지	이전보다 연속 상승	최근 3개월 생활변화	진단범위 접근 시 재평가한다
활동량	주간 활동이 유지	걸음·운동이 수 주 감소	통증·일정·피로·기분	운동 중단 이유를 먼저 해결한다
수면	일정한 수면시간·질	불면·수면시간 단축	카페인·스트레스·수면질환	혈당과 함께 기록한다

출처: Riddle et al. (2021); Lean et al. (2024); ADA Standards of Care in Diabetes-2026; 저자 종합.

2. 체중 재증가는 실패가 아니라 조기 경보

체중이 다시 늘기 시작했을 때 가장 위험한 반응은 "이미 실패했다"고 생각하며 기록과 관리를 모두 포기하는 것이다. 체중 재증가는 의지의 평가표가 아니라 에너지 균형과 생활환경이 달라졌다는 생리적

[7] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Weight management recommendations emphasize ongoing anthropometric monitoring; weekly-average interpretation is author practical guidance.

[8] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 8, Recommendation 8.11: long-term maintenance programs should include frequent self-monitoring of body weight, weekly or more frequently.

신호다.[9] ADA는 체중감량을 달성한 뒤에도 최소 1년 이상 장기 유지 프로그램을 이어가고, 월 1회 이상의 접촉·지원, 잦은 체중 자가측정, 식사나 활동 기록을 포함한 행동전략을 지속하도록 권고한다.[10]

실전에서는 기준 체중 하나보다 **개인 유지구간**을 정해 두는 편이 낫다. 예를 들어 관해에 도달한 뒤 안정된 4 8주 평균체중을 중심값으로 정하고, 그 범위를 벗어난 상승이 2 4주 이상 지속되면 식사와 활동을 다시 점검하는 방식이다. 이는 공식 진료지침의 특정 kg 기준이 아니라, 재증가를 조기에 발견하기 위한 저자의 모니터링 틀이다.[11]

체중이 늘었다고 바로 극단적인 단식이나 초저열량 식사로 돌아갈 필요는 없다. 우선 액상열량, 견과·씨앗·오일 같은 고에너지 식품의 양, 외식 빈도, 간식, 수면부족, 활동량 감소를 차례로 확인하는 것이 합리적이다.[12] 식물성 케톤식에서는 건강한 지방도 에너지 밀도가 높기 때문에 “좋은 지방”이라는 이유로 양을 무제한 늘리면 체중 유지가 어려워질 수 있다.[13]

표 25-2. 체중이 다시 오를 때의 3단계 대응

단계	관찰	식사 조정	활동·생활 조정	의료적 확인
1단계	1 2주 상승	간식·액상열량·오일 양 점검	걸음수·수면 회복	특별한 증상이 없으면 추세 관찰
2단계	2 4주 지속 상승	식사 구조를 초기 안정형으로 단순화	유산소·저항 운동 재구성	혈당 추세 함께 확인
3단계	혈당도 함께 상승	탄수화물 허용량 재평가	생활방해 요인 적극 해결	HbA1c·약물·질환 변화 상담

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026; Riddle et al. (2021); 저자 실전 프레임.

[9] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Long-term obesity management requires continued behavioral support; author interpretation avoids moral framing of weight regain.

[10] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 8, Recommendation 8.11 and accompanying text.

[11] 저자 실전 모니터링 프레임. 특정 kg 또는 특정 퍼센트의 재증가를 관해 재발 기준으로 규정하는 공식 지침은 아니다.

[12] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Sections 5 and 8; long-term maintenance emphasizes nutrition, activity, behavioral monitoring, and individualized review.

[13] 식품의 에너지 밀도에 관한 일반 영양학 원리 및 제17장 지방 선택 논의에 근거한 저자 종합.

3. 탄수화물 재도입은 '원래 식사로 돌아가기'가 아니다

관해 이후 식사를 평생 매우 낮은 탄수화물 수준으로 유지해야 하는지는 아직 직접근거가 충분하지 않다. 특히 식물성 케톤 동일중재를 장기간 추적해 "엄격한 케토시스를 평생 유지해야 관해가 지속된다"고 입증한 무작위시험은 현재 부족하다.[14] 따라서 유지기에는 케톤 수치 자체보다 HbA1c, 식후혈당, 체중, 지질, 식사의 질과 지속가능성을 함께 보는 것이 더 타당하다.[15]

탄수화물을 늘릴 때는 정제 곡물·설탕·주스부터 되돌리는 것이 아니라 콩류, 비전분 채소, 제한된 통곡·과일처럼 영양밀도와 식이섬유가 높은 식품을 작은 양부터 시험해야 한다.[16] ADA 2026도 하나의 이상적인 탄수화물 비율을 제시하지 않으며, 식사패턴은 개인화하고 최소가공 식품, 식이섬유, 비전분 채소, 콩류, 견과·씨앗을 중심에 두도록 권고한다.[17]

한 번에 여러 식품을 늘리면 무엇이 혈당과 체중을 변화시켰는지 알기 어렵다. 따라서 유지기 탄수화물 재도입은 **한 번에 한 변수씩**, 동일한 식사조건에서 식후혈당과 다음날 공복혈당을 확인하면서 진행하는 편이 해석하기 쉽다.[18] CGM을 사용하는 사람이라면 평균혈당뿐 아니라 식후 상승폭과 Time in Range의 변화도 참고할 수 있지만, CGM 수치 역시 임상상황과 함께 해석해야 한다.[19]

4. 근육은 장기 관해의 대사 저장고다

체중만 유지한다고 관해 유지가 완성되는 것은 아니다. 나이가 들수록 근육량과 근력은 감소하기 쉽고, 근육은 식후 포도당을 처리하는 주요 조직 가운데 하나이므로 장기 관리에서는 체중과 함께 **근육 기능**을 보존해야 한다.[20] 지나친 에너지 제한이나 단백질 부족으로 체

[14] 본 연구 프로젝트 'vk_diabete_db.sqlite3'의 직접 동일중재 분류와 제15장 근거검토. 장기 식물성 케톤 동일중재 관해 유지 RCT는 아직 제한적이다.

[15] Riddle et al. (2021); ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemia, weight, safety, cardiovascular and kidney risk require integrated assessment.

[16] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 5 nutrition recommendations favor minimally processed, high-fiber carbohydrate sources and individualized carbohydrate reduction where appropriate.

[17] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 5. No single ideal carbohydrate percentage is recommended; diet quality and individualization are emphasized.

[18] 저자 실전 프레임. 한 번에 한 변수씩 바꾸는 것은 개인 반응을 해석하기 위한 방법이며 공식 ADA 탄수화물 재도입 프로토콜은 아니다.

[19] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 6. Glycemic status may be assessed with A1C and/or CGM metrics including TIR, TAR and TBR.

[20] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 5 physical activity; exercise improves glycemia, body composition, function and cardiometabolic

중은 낮지만 근육이 계속 줄어드는 상태는 좋은 유지전략이라고 보기 어렵다.[21]

ADA 2026은 대부분의 성인 당뇨병 환자에게 주 150분 이상의 중등도 고강도 유산소 활동과 주 2 3회의 저항운동을 권고한다.[22] 체중 감량 유지 프로그램에서는 이보다 많은 주 200 300분의 신체활동이 장기 체중 유지에 도움이 될 수 있다고 제시한다.[23] 이 숫자는 모든 사람이 즉시 달성해야 하는 의무가 아니라, 현재 체력과 합병증을 고려해 단계적으로 접근할 장기 목표다.[24]

저항운동은 단순히 칼로리를 소비하기 위한 운동이 아니다. 근육량, 근력, 기능을 보존하고 노화에 따른 대사적 취약성을 줄이는 역할이 있다.[25] 특히 체중을 상당히 감량한 사람은 단백질 섭취와 근력운동을 함께 관리해야 하며, 신장질환이 있다면 제18장에서 설명한 것처럼 단백질 목표를 신장기능에 맞춰 조정해야 한다.[26]

risk.

[21] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Recommendations on adequate nutritional intake during intentional weight loss and preservation of lean mass; author synthesis.

[22] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 5, Recommendations 5.36-5.37: most adults with diabetes should perform at least 150 min/week moderate-to-vigorous aerobic activity and 2-3 resistance sessions/week.

[23] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 8, Recommendation 8.11: effective long-term weight maintenance programs encourage 200-300 min/week of regular physical activity.

[24] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Physical activity plans should be individualized for health status, complications, age and baseline activity.

[25] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Resistance exercise is recommended for adults with diabetes and is relevant to lean-mass preservation.

[26] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). CKD protein recommendations and Section 5 physical activity; 제18장 근거 종합.

표 25-3. 관해 유지기의 활동과 근육 보존 계획

요소	기본 목표	장기 유지에서의 역할	실전 적용	주의점
유산소 활동	주 150분 이상을 기본으로 단계적 증가	인슐린 감수성·심폐체력	걷기·자전거·수영 등	합병증과 체력에 맞춘다
체중 유지 활동량	일부에서 주 200 300분	체중 재증가 억제에 도움	생활활동과 운동을 합산	갑작스런 과부하를 피한다
저항운동	주 2 3회, 비연속일	근육량·근력 유지	전신 주요 근육군	망막·신경·심혈관 상태 고려
좌식 중단	약 30분마다 움직임	장시간 좌식 감소	짧은 걷기·기립	운동을 대체하는 것은 아니다
단백질	개인 필요량을 충분히	제지방량 유지 지원	식사마다 분산	CKD에서는 개별 조절

출처: ADA Standards of Care in Diabetes-2026, Sections 5 and 8; 제18장 근거 종합.

5. 수면과 스트레스는 혈당의 보이지 않는 변수다

관해 이후 혈당이 오르면 사람들은 가장 먼저 탄수화물만 의심하기 쉽다. 그러나 수면시간이 짧아지거나 불면이 지속되고, 감염·통증·정신적 스트레스가 겹치면 혈당조절과 자기관리 행동이 함께 흔들릴 수 있다.[27] ADA 2026은 당뇨병 환자의 수면 건강과 수면장애를 선별하고, 수면을 촉진하는 규칙적인 생활습관을 상담하도록 권고한다.[28]

따라서 같은 식사를 했는데 평소보다 혈당이 높아졌다면 음식만 줄이기 전에 수면, 감염, 통증, 스트레스, 활동량과 새로 시작한 약물이 있었는지 함께 확인해야 한다.[29] 특히 글루코코르티코이드나 일부 항정신병약물은 고혈당을 악화시킬 수 있으므로 관해 중 새 약물을 시작한 뒤 혈당이 변하면 의료진과 약물영향을 검토할 필요가 있

[27] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 5 Sleep Health. Sleep disruption is associated with poorer diabetes self-management and difficulty maintaining glucose goals.

[28] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Recommendations 5.56-5.57: screen sleep health and counsel sleep-promoting routines.

[29] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026); Riddle et al. (2021). Intercurrent illness, stress and medication changes can alter glycemia.

다.[30]

수면을 관리한다는 것은 모든 사람에게 정확히 같은 시간을 강요한다는 뜻이 아니다. 일정한 취침·기상시간, 야간 카페인과 자극요인의 감소, 수면무호흡이나 불면증 같은 장애의 평가가 핵심이다.[31] 혈당이 안정되더라도 수면이 장기간 무너지면 식사와 활동의 지속가능성 자체가 떨어질 수 있다.[32]

6. HbA1c가 좋아도 검사를 끝내면 안 된다

관해가 확인되면 혈당검사를 더 이상 하지 않아도 된다고 생각하기 쉽다. 그러나 국제 관해 합의문은 관해 후에도 HbA1c 또는 다른 혈당평가를 **최소 연 1회 이상** 실시하고, 당뇨 합병증에 대한 기존의 정기검사를 계속하도록 권고한다.[33] ADA 2026은 일반적인 당뇨병 관리에서 안정적인 목표범위의 사람에게도 혈당상태를 적어도 연 2회 평가하고, 치료변경이나 목표이탈이 있으면 약 3개월 간격 등 더 자주 평가하도록 한다.[34]

두 기준은 서로 충돌하지 않는다. 관해 정의 합의문은 관해 자체를 확인하는 최소 추적 간격을 제시한 것이고, 실제 진료에서는 개인의 치료변화, 재발위험, 합병증과 임상상황에 따라 더 자주 검사할 수 있다.[35] 특히 관해 직후 1년은 체중과 식사가 아직 안정되지 않은 경우가 많으므로, 의료진과 상의해 더 촘촘한 추적을 계획하는 것이 합리적이다.[36]

HbA1c 하나만 보는 것도 충분하지 않다. 혈압, 지질, 신장기능, UACR, 안저, 발·신경 상태 등은 과거의 고혈당 노출과 현재의 심혈관·신장 위험을 반영한다.[37] 관해가 되었다고 이미 생긴 망막병증이

[30] Riddle et al. (2021). Glucocorticoids and some antipsychotic agents can promote hyperglycemia and may contribute to recurrence.

[31] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 5 Sleep Health practical recommendations.

[32] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Sleep disturbances are associated with lower engagement in self-management and difficulty maintaining glucose goals.

[33] Riddle et al. (2021). Subsequent testing to document long-term maintenance of remission should be done at least yearly together with routine complication assessment.

[34] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 6, Recommendation 6.2: assess glycemic status at least twice yearly, and more frequently (e.g., every 3 months) with treatment change or unstable glycemia.

[35] Riddle et al. (2021); ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). The former is a remission consensus minimum, whereas routine clinical follow-up may be more frequent.

[36] 저자 임상적 해석. 관해 직후의 구체적 검사간격은 개인 위험과 치료변화에 따라 의료진이 정한다.

[37] Riddle et al. (2021); ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Complication and cardiovascular-kidney risk surveillance should continue.

나 신장병이 자동으로 사라지는 것은 아니다.[38]

표 25-4. 관해 후 장기 추적의 기본 틀

항목	안정기 기본 원칙	더 자주 볼 상황	왜 필요한가	비고
HbA1c/혈당	최소 연 1회 이상, 임상상황에 따라 더 자주	체중증가·식사변경·혈당 상승	관해 유지·재발 탐지	ADA 일반관리에서는 안정 시 연 2회 평가
체중·허리둘레	정기 자가측정·진료 시 추적	지속 상승	재발 위험의 조기 신호	주간 평균과 추세 활용
혈압·지질	기존 위험도에 따라 정기 평가	약물변경·체중증가	심혈관 위험 관리	관해와 별개로 관리
eGFR·UACR	당뇨병 병력에 따른 정기 평가	CKD 또는 악화소견	신장 합병증 감시	정상화 후에도 추적 지속
안저·발·신경	기존 당뇨 합병증 권고에 따라	증상·기존 합병증	과거 고혈당의 잔여위험	임의 중단하지 않는다

출처: Riddle et al. (2021); ADA Standards of Care in Diabetes-2026; 저자 종합.

7. '대사 기억' 때문에 합병증 관리는 계속된다

관해는 현재 혈당이 좋아졌다는 뜻이지, 과거 고혈당의 생물학적 흔적까지 모두 사라졌다는 뜻은 아니다. 국제 합의문은 이를 대사 기억 또는 legacy effect의 관점에서 설명하며, 관해 이후에도 망막병증, 신장병증, 신경병증과 심혈관질환 위험이 지속될 수 있다고 강조한다.[39] 그래서 관해 중인 사람에게도 정기적인 안저검사, 신장기능검사, 발 평가, 혈압과 체중측정을 중단할 근거는 없다고 명시한다.[40]

Look AHEAD의 장기분석은 관해 경험이 장기적으로 의미가 있을 가능성을 보여준다. 추적 중 한 번이라도 관해가 관찰된 참가자는 관해가 없었던 참가자보다 고위험 CKD 발생률이 33%, 복합 심혈관

[38] Riddle et al. (2021). No long-term evidence supports discontinuing usual complication assessments after remission.

[39] Riddle et al. (2021). The consensus report discusses metabolic memory/legacy effects of prior hyperglycemia.

[40] Riddle et al. (2021). Regular retinal screening, renal function tests, foot evaluation, blood pressure and weight assessment remain advised.

질환 발생률이 40% 낮게 관찰됐다.[41] 그러나 이는 관해 자체만의 인과효과를 증명한 것이 아니며, 체중·체력·HbA1c·지질의 동반 개선이 일부 설명했을 가능성이 있다.[42]

따라서 목표는 "당뇨병이라는 이름을 지우는 것"보다 장기적으로 실제 합병증 위험을 낮추는 데 있어야 한다. 혈당이 좋아도 혈압, LDL-C/ApoB, 신장위험, 흡연, 운동부족이 남아 있다면 그 위험요인은 계속 관리해야 한다.[43]

8. 약을 다시 쓰게 되어도 실패가 아니다

관해를 유지하다 혈당이 다시 오르고 약물이 필요해질 수 있다. 이것을 개인의 실패로 해석하면 오히려 치료가 늦어진다. 제2형 당뇨병은 시간이 지나며 베타세포 기능이 감소할 수 있고, 체중증가·질병·약물·생활환경 변화가 재발에 영향을 줄 수 있다.[44]

또 어떤 사람은 혈당 때문에가 아니라 심부전이나 만성콩팥병, 심혈관 위험감소 같은 이유로 SGLT2 억제제나 GLP-1 계열 약물을 계속 사용할 수 있다. 이런 경우 혈당이 정상범위라도 "약물 없이 관해"라는 연구 정의를 공식적으로 적용하기 어려울 수 있지만, 임상적으로 필요한 심혈관·신장 보호를 중단해서 관해라는 이름을 얻을 이유는 없다.[45]

재발이 확인되면 원인을 찾고, 식사·활동·체중관리와 필요한 약물치료를 다시 조합하면 된다. 관해 유지의 가장 중요한 기술은 한 번도 흔들리지 않는 것이 아니라, **흔들렸을 때 빨리 알아차리고 안전하게 돌아오는 능력**이다.[46]

[41] Gregg, E. W., Chen, H., Bancks, M. P., et al. (2024). Impact of remission from type 2 diabetes on long-term health outcomes: findings from the Look AHEAD study. *Diabetologia, 67*, 459-469. Any remission was associated with 33% lower high-risk CKD and 40% lower composite CVD rates in adjusted analyses.

[42] Gregg et al. (2024). The association may partly reflect post-baseline improvements in weight, fitness, HbA1c and LDL cholesterol and does not by itself establish causality.

[43] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Cardiovascular and kidney risk factor management remains a core component of diabetes care independent of glycemic status alone.

[44] Riddle et al. (2021). Weight gain, intercurrent illness and continuing decline of beta-cell function can contribute to recurrence.

[45] Riddle et al. (2021). If glucose-lowering drugs are continued for weight, cardiovascular or renal indications, drug-independent remission cannot be formally diagnosed even if glycemia is near normal.

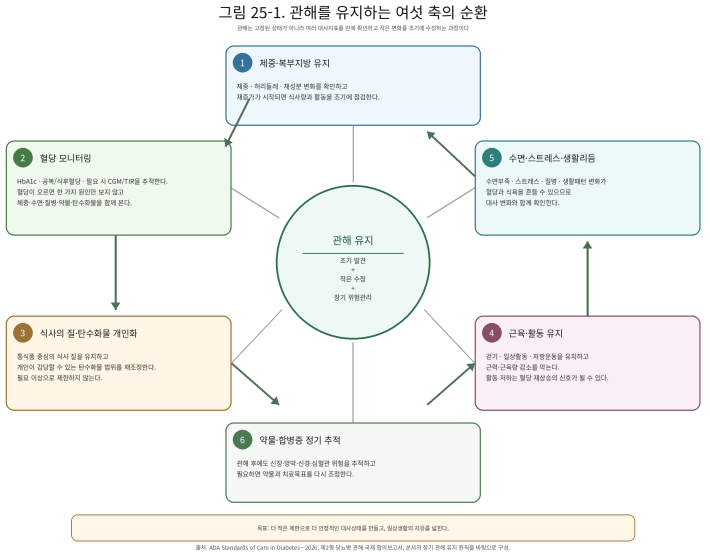
[46] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026); Riddle et al. (2021); author conclusion.

9. 재발은 한 번의 숫자가 아니라 추세로 발견한다

단일 공복혈당이나 단일 식후혈당이 높다고 곧바로 관해가 끝났다고 단정할 수는 없다. 질병, 수면부족, 측정오차, 일시적인 식사변화로 혈당은 흔들릴 수 있다.[47] 반대로 같은 방향의 상승이 여러 날 반복되고 HbA1c도 올라간다면 “조금 더 기다려보자”는 태도보다 원인을 평가하는 편이 낫다.[48]

관해 합의문은 HbA1c가 신뢰하기 어려운 상황에서는 공복혈당이나 CGM 기반 추정값을 대안으로 사용할 수 있다고 설명하며, 보다 변동성이 큰 혈당지표에서 관해의 상실을 의심하는 값이 나오면 반복측정으로 확인할 것을 제안한다.[49] 진단범위의 혈당이 다시 확인되면 의료진은 실제 당뇨병 재발인지, 일시적인 고혈당인지, 약물이나 질병의 영향인지 함께 판단해야 한다.[50]

그림 25-1. 관해를 유지하는 여섯 축의 순환



관해 유지의 주요 대사·생활관리 요소를 본서의 장기 관리 원칙에 따라 구성.

출처: Riddle et al. (2021); ADA Standards of Care in

[47] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic assessment must consider biological and measurement variability and clinical context.

[48] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). More frequent assessment is advised when glycemia is not stable or health status changes.

[49] Riddle et al. (2021). FPG or CGM-derived estimated A1C may be alternatives when HbA1c is unreliable; abnormal values suggesting loss of remission should be confirmed because of greater variability.

[50] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Diagnosis and classification require clinical confirmation except in unequivocal symptomatic hyperglycemia; author application to suspected recurrence.

Diabetes-2026; 저자 종합.

10. 유지기 식사는 엄격함보다 반복가능성이 중요하다

초기 치료기에는 식사구조를 단순하고 엄격하게 만드는 것이 도움이 될 수 있다. 그러나 수년을 유지하려면 가족식사, 외식, 여행, 계절, 문화적 식습관 속에서도 반복 가능한 형태로 바뀌어야 한다.[51] ADA 2026이 영양계획을 개인의 선호와 필요에 맞게 개인화하도록 권고하는 이유도 장기 지속가능성과 관련된다.[52]

식물성 케톤식의 유지형은 반드시 초기의 탄수화물 제한 수준과 같을 필요는 없다. 비전분 채소, 두부·템페·대두, 견과·씨앗, 올리브·아보카도 등 기본 골격을 유지하면서, 개인 반응에 따라 콩류·과일·통곡의 허용량을 조정하는 방식이 가능하다.[53] 다만 탄수화물이 늘어나면서 체중과 식후혈당, HbA1c가 동시에 상승한다면 허용량을 다시 낮추거나 식품의 질을 재검토해야 한다.[54]

중요한 것은 “케톤 수치를 유지했는가”가 아니라 **혈당이 안정되고, 체중이 유지되며, 근육과 영양상태가 보존되고, 심혈관·신장 위험이 관리되는가**이다.[55] 현재 직접근거 수준에서는 식물성 케톤식을 관해 유지의 유일한 방법으로 주장할 수 없으며, 다른 근거기반 식사패턴과 마찬가지로 장기 효과는 전체 생활체계와 함께 평가해야 한다.[56]

11. 1년을 하나의 관리주기로 생각하라

관해 유지의 시간단위를 하루나 일주일만으로 잡으면 작은 변동에 과민하게 반응하기 쉽다. 반대로 1년을 하나의 관리주기로 보면 매일의 식사, 주간 체중, 월간 생활평가, 분기 또는 반기 혈당평가, 연

[51] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Nutrition and behavioral interventions should be individualized and culturally/socially appropriate to improve sustainability.

[52] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 5 nutrition and Section 8 weight management recommendations.

[53] 제16장 식품선택, 제17장 지방선택, 제18장 단백질설계, 제19장 탄수화물 조절 원칙의 통합적 저자 제안.

[54] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Glycemic status and weight trajectory should guide ongoing treatment adjustments; author application to carbohydrate re-expansion.

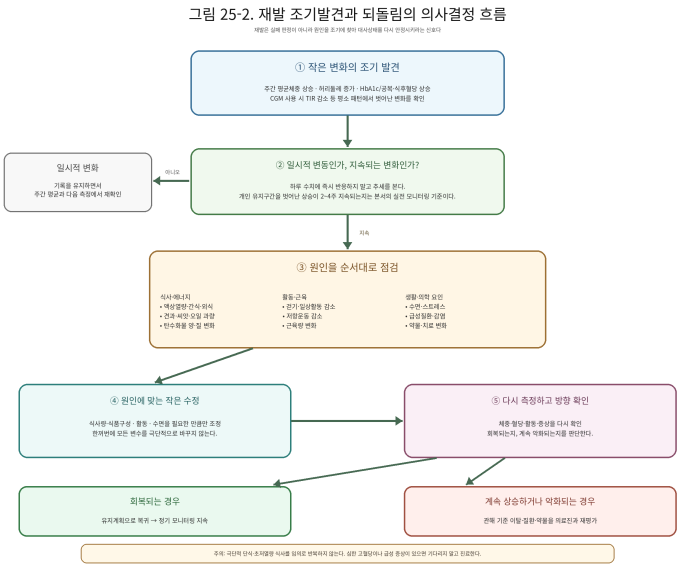
[55] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Comprehensive diabetes care includes glycemia, weight, functional health, cardiovascular and kidney risk, and safety.

[56] 본 연구 프로젝트의 식물성 케톤 직접근거 검토. 장기 관해 유지에서 식물성 케톤식의 우월성을 확정할 직접근거는 현재 제한적이다.

간 합병증 검사를 하나의 흐름으로 묶을 수 있다.[57] 이러한 구조는 숫자를 강박적으로 추적하라는 뜻이 아니라, 문제가 커지기 전에 발견할 최소한의 안전망을 만드는 것이다.[58]

ADA 2026은 체중감량 성공 후 장기 유지 프로그램에서 월 1회 이상의 지속적인 지원, 주 1회 이상의 체중 자가측정, 식사·활동 기록, 높은 수준의 신체활동을 포함하도록 권고한다.[59] 실제 생활에서는 이 모든 요소를 매일 기록할 필요는 없지만, 최소한 체중과 혈당의 방향이 나빠질 때 어떤 생활변화가 앞서 있었는지 추적할 수 있어야 한다.[60]

그림 25-2. 재발 조기발견과 되돌림의 의사결정 흐름



출처: Riddle et al. (2021); Lean et al. (2024); ADA Standards of Care in Diabetes–2026; 저자 실전 모니터링 프레임을 바탕으로 구성.

출처: Riddle et al. (2021); ADA Standards of Care in Diabetes-2026; 저자 종합.

[57] Riddle et al. (2021); ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026); author annual-cycle framework.

[58] 저자 장기 모니터링 프레임. 기록은 과잉감시가 아니라 추세를 조기에 발견하기 위한 최소 안전망으로 제시한다.

[59] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Section 8, Recommendation 8.11 and accompanying text: monthly support, frequent weight self-monitoring and 200-300 min/week physical activity are features of effective maintenance programs.

[60] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Self-monitoring tools can include weight, food intake, activity, wearables and behavioral tracking.

12. 관해 유지의 목표는 '정상인처럼 잊는 것'이 아니다

관해에 성공한 사람에게 "이제 당뇨병이 없으니 잊어도 된다"고 말하는 것은 과학적으로 안전하지 않다. 국제 합의문은 관해 상태에서도 고혈당의 재발이 흔할 수 있고, 과거 고혈당으로 인한 합병증 위험이 남을 수 있기 때문에 지속적인 의학적 관찰이 필요하다고 명확히 밝힌다.[61]

그러나 반대로 매 끼니마다 질병을 두려워하며 살아야 한다는 뜻도 아니다. 관해 유지의 궁극적인 목적은 더 적은 제한으로 더 안정적인 대사상태를 만들어 일상생활의 자유를 넓히는 것이다.[62] 체중이 조금 오르면 식사와 활동을 다시 점검하고, 혈당이 오르면 수면·질병·약물·탄수화물·체중을 차례로 살펴보며, 필요하면 의료진과 약물을 다시 조정하면 된다.[63]

관해는 한 번 얻고 보관하는 자격증이 아니다. **관해는 몸의 반응을 읽고, 조기에 수정하며, 장기 위험을 계속 관리하는 살아 있는 과정**이다.[64] 이 관점을 받아들이면 재발은 모든 노력이 사라지는 사건이 아니라, 다시 방향을 조절해야 한다는 신호가 된다.[65]

---

[61] Riddle et al. (2021). Remission requires continued active medical observation because recurrence and classic diabetes complications remain possible.

[62] ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026). Person-centered, individualized care and quality of life are central treatment principles; author synthesis.

[63] Riddle et al. (2021); ADA Professional Practice Committee for Diabetes. (2026); author practical synthesis.

[64] Riddle et al. (2021); Lean et al. (2024); author conclusion.

[65] Lean et al. (2024); Gregg et al. (2024); author conclusion that relapse should prompt renewed management rather than moral judgment.

제26장. 우리가 구축한 당뇨 식이 연구 데이터베이스 - 검색결과를 근거로 바꾸는 과정

많이 모으는 것보다, 어디까지 믿을 수 있는지를 구분하는 것이 더 중요하다.

논문 수가 많다고 근거가 강해지는 것은 아니다. 중요한 것은 **어떤 논문을 찾았는가, 그 논문이 실제로 어떤 식이를 시험했는가, 수치가 어디에 기록되어 있는가, 서로 충돌하는 값은 없는가, 그리고 그 판단이 다시 검증될 수 있는가**이다.[1] 이 책을 쓰는 과정에서 구축한 `vk_diabete_db.sqlite3`는 단순한 논문 목록이 아니라, 검색·분류·임상수치 추출·근거묶음·책 원고와 산출물의 이력을 한곳에서 연결하기 위한 연구 기반이다.[2]

이 장에서 제시하는 숫자는 **2026년 8월 25일 분석 스냅샷**이다. 연구 코퍼스는 이후 추가·정정될 수 있으므로 이 숫자는 영구적인 총량이 아니라, 이 책의 근거를 구성한 시점의 재현 가능한 기준점으로 이해해야 한다.[3] 또한 `papers=7,951`이라는 숫자는 7,951개의 독립된 무작위시험을 뜻하지 않는다. 하나의 임상시험이 여러 논문으로 보고될 수 있고, 리뷰·관찰연구·기전연구·중복보고가 함께 존재할 수 있기 때문이다.[4]

1. 왜 논문 폴더가 아니라 데이터베이스가 필요했는가

용어 | 연구 데이터베이스
Research database
문헌·추출값·분류·근거출처를 구조화해 검색과 재검증이 가능하도록 만든 연구 저장체계다.

PDF 파일을 수천 개 모아두는 것만으로는 연구가 되지 않는다. 파일 이름만으로는 식이유형, 대상자, 기간, HbA1c 변화, 약물변화, 부작용, 관해 여부를 일관되게 비교하기 어렵고, 시간이 지나면 어떤 숫

[1] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71.

[2] `vk_diabete_db.sqlite3` book/research integration design, internal project record, snapshot 2026-08-25.

[3] Internal corpus snapshot note, 2026-08-25. Counts are versioned snapshots and may change with later ingestion or correction.

[4] Li, T., Higgins, J. P. T., & Deeks, J. J. (2024). Chapter 5: Collecting data. In Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions, version 6.5. Cochrane. The unit of interest is the study, and multiple reports may describe the same study.

자를 어느 표에서 가져왔는지 다시 추적하기도 힘들다.[5] Cochrane Handbook은 체계적 문헌고찰의 데이터 수집에서 구조화된 양식을 사용하고, 원자료의 출처와 판단과정을 추적할 수 있도록 보존하는 것이 중요하다고 설명한다.[6]

우리의 데이터베이스는 이런 문제를 줄이기 위해 논문 레코드, 추출 텍스트/XML, PDF 보유 여부, 임상추출, 식이 분류, 수치 검증, evidence pack, 그리고 책의 장·표·그림·각주·PDF 해시를 연결하도록 발전했다.[7] 데이터 자체와 책 원고가 완전히 분리되어 있으면 나중에 문장을 고쳐도 어떤 근거를 사용했는지 추적하기 어렵다. 반대로 원고와 근거의 연결을 DB에 남기면 수정·증보판에서도 같은 질문을 다시 검색하고 비교할 수 있다.[8]

표 26-1. 연구 코퍼스와 원문 확보의 1차 스냅샷

구성요소	스냅샷 수	무엇을 의미하는가	해석할 때 주의할 점
papers	7,951	검색·수집된 문헌 레코드	독립 임상시험 수와 같지 않다
clinical_extractions	6,709	임상 관련 구조화 추출이 생성된 레코드	추출 생성이 곧 최종 채택을 뜻하지 않는다
XML	6,709	구조화 본문/추출 자료가 확보된 레코드	자료원별 본문 완전성이 다를 수 있다
PDF	3,015	로컬에 PDF 원문이 확보된 레코드	PDF가 없어도 XML/초록 근거가 있을 수 있다

출처: `vk_diabete_db.sqlite3` 및 연구 파이프라인 내부 스냅샷, 2026-08-25.[9]

2. 첫 번째 필터는 '검색되었는가'가 아니라 '해당 식이를 실제로 다루는가'이다

용어 | 식이 분류
Diet classification
논문에 단어가 등장하는 것과 실제 중재로 사용된 것을 구분해 식이유형을 판정하는 과정이다.

식물식, 저탄수화물식, 케톤식이라는 단어는 논문 안에서 다양한 방식으로 등장한다. 서론에서 잠깐 언급될 수도 있고, 비교식으로만 나올 수도 있으며, 실제 중재식일 수도 있다. 따라서 키워드가 있다는 이유만으로 특정 식이의 임상근거로 계산하면 근거량이 크게 부풀려질 수 있다.[10]

이 문제를 줄이기 위해 코퍼스를 `plant_based`, `ketogenic`, `low_carbohydrate`, `plant_keto_direct` 등으로 다시 분류하고,

[5] Li et al. (2024). Structured data collection forms are used to preserve sufficient and unambiguous data and provenance.
[6] Li et al. (2024), Chapter 5.4.1, Cochrane Handbook.
[7] Internal database schema and pipeline design, `vk_diabete_db.sqlite3`, 2026-08-25 snapshot.
[8] Internal book revision and artifact registry design; author methodological rationale.
[10] Internal second-pass review demonstrated that co-mention and actual intervention classification can diverge substantially; see Table 26-3.

내부 정밀분류에서 우선검토군인 Tier A를 별도로 두었다.[11] 이때 핵심은 숫자를 많이 만드는 것이 아니라 **실제로 해당 식이가 연구 설계의 중심에 있었는지를 더 엄격하게 확인하는 것**이었다. PRISMA 2020 역시 검색과 선별, 포함·제외 과정을 투명하게 보고해야 독자가 결과가 어떻게 만들어졌는지 판단할 수 있다고 강조한다.[12]

표 26-2. 엄격 분류 후 식이유형별 후보와 Tier A

식이 분류	eligible	Tier A	Tier A / eligible	이 책에서의 용도
식물성 식단	1,098	739	67.3%	제5~8장 등 식물식 근거군
케톤식	592	361	61.0%	제9~12장 등 케톤식 근거군
저탄수화물식	260	159	61.2%	케톤식과 구분한 저탄수 근거군
식물성+케톤 직접 후보	49	40	81.6%	직접 결합근거의 우선 검토군

출처: 내부 정밀분류 스크립트 `vk_refine_book_evidence.py` 결과 스냅샷. 비율은 본 장에서 계산.[13]

여기서 `plant_keto_direct` 49건, Tier A 40건이라는 숫자만 보면 직접 임상근거가 상당해 보일 수 있다. 그러나 이것은 아직 **후보군**이다. 식물성과 케톤이라는 두 개념이 함께 언급된 것과, 하나의 동일 중재가 실제로 식물성 케톤식으로 설계된 것은 전혀 다른 문제다.[14]

3. 두 번째 판독에서 '함께 언급'과 '같은 중재'를 갈랐다

용어 | 동일중재
Same intervention
식물성과 케톤이라는 특성이 한 연구의 같은 식사중재 안에서 동시에 구현된 경우를 뜻한다.

상위 300개 우선검토 논문을 다시 읽어 식이가 실제로 어떤 역할을 했는지를 분류했다. 그 결과 식물성 중재 148건, 케톤 중재 88건, 저탄수 중재 28건이 확인되었고, 식물성과 케톤이 함께 언급되었지만 동일 중재라고 확정할 수 없는 레코드가 32건이었다.[15] 식이 자체가 확정되지 않은 레코드는 3건, 그리고 이 300건 가운데 식물성과 케톤이 **같은 중재 안에서 명확히 결합된 것으로 확인된 레코드는 1건**이었다.[16]

[11] Internal refinement pipeline, `vk_refine_book_evidence.py`; Tier A is the project's highest-priority internal review class and should not be confused with an external evidence-grade system.

[12] Page et al. (2021). PRISMA 2020 emphasizes transparent reporting of identification, selection, appraisal, and synthesis.

[14] Internal classification principle: co-occurrence of dietary terms does not establish that both define the same intervention.

[15] Internal top-300 second-pass snapshot: plant-based intervention 148; ketogenic intervention 88; low-carbohydrate intervention 28; plant+keto co-mentioned 32.

[16] Same second-pass snapshot: diet not confirmed 3; plant-ketogenic same intervention 1; totals sum to 300.

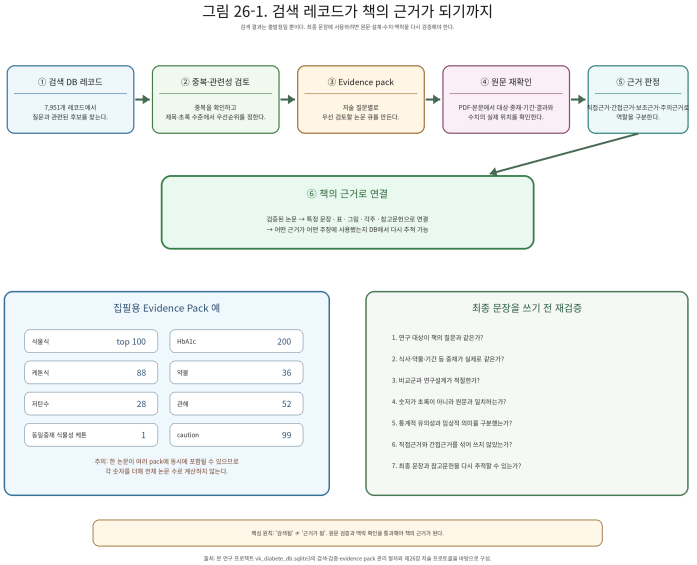
이 차이는 이 책의 논지를 결정하는 데 중요했다. 우리는 “식물식 연구가 많고 케톤식 연구가 많으니 식물성 케톤식도 충분히 입증됐다”고 말하지 않았다. 두 근거축은 각각 상당하지만, 둘을 하나의 동일한 중재로 검증한 직접근거는 훨씬 적다는 결론을 유지했다.[17] 이후 2026년의 직접·가교 연구가 추가되면서 이 분야가 형성되기 시작했다고 평가할 수 있지만, 여전히 식물식과 케톤식 각각의 근거량과 같은 수준으로 보아서는 안 된다.[18]

표 26-3. 상위 300개 논문의 2차 판독 결과

2차 판독 분류	건수	전체 300건 중 비율	해석
plant-based intervention	148	49.3%	식물성 식이가 실제 중재의 중심
ketogenic intervention	88	29.3%	케톤식이 실제 중재의 중심
low-carbohydrate intervention	28	9.3%	저탄수이지만 케톤식과 별도 분류
plant + keto co-mentioned	32	10.7%	두 개념이 함께 나오지만 동일 중재는 미확정
diet not confirmed	3	1.0%	식이 분류를 확정하기 어려움
plant-ketogenic same intervention	1	0.3%	동일 중재로 직접 확인된 최우선 레코드

출처: 상위 300개 second-pass 내부 판독 스냅샷, 2026-08-25.[19]

그림 26-1. 검색 레코드가 책의 근거가 되기까지



출처: 본 연구 프로젝트 vk_diabete_db.sqlite3의 검색·검증·evidence pack 관리 절차와 제26장 저술 프로토콜을 바탕으로 구성.

[17] Author evidence interpretation based on internal category refinement and second-pass confirmation.

[18] This book’s Chapter 15 review notes that direct/bridging literature is emerging but remains early and heterogeneous; direct PB-LCD/PB-KD evidence should not be equated with the much larger separate plant-based and ketogenic literatures.

4. HbA1c 숫자는 ’있다’보다 ’어디에 있는가’가 중요했다

용어 | 데이터 출처추적
Data provenance
숫자·판단이 어느 논문의 어느 위치에서 왔는지 기록해 다시 확인할 수 있게 하는 원칙이다.

임상논문의 핵심 수치는 초록, 본문 Results, 표, 보충자료에 서로 다른 형태로 나타날 수 있다. 초록에는 반올림된 값이 있고 표에는 더 정확한 값이 있을 수 있으며, 변화량과 최종값이 혼재하기도 한다. 따라서 숫자를 단순히 정규표현식으로 뽑는 것만으로는 책에 사용할 임상효과 수치의 신뢰성을 보장할 수 없다.[20]

HbA1c 3차 검증에서는 286개 후보를 별도로 모았고, 그중 137개에서 숫자를 확인했다. 확인된 값의 출처는 표 83건, Results 본문 52건, 초록 2건이었다.[21] 나머지 149건은 추가검토가 필요한 상태로 남겼고, 20건에는 서로 다른 위치나 자료원 사이의 불일치 가능성을 나타내는 conflict 플래그가 있었다.[22]

이 구조는 “자동추출이 틀릴 수 있다”는 사실을 실패로 보는 대신, **불확실성을 데이터로 저장**한다는 데 의미가 있다. Cochrane Handbook도 한 연구가 여러 보고서나 데이터원을 가질 수 있으므로 불일치가 있을 때 이를 해결할 계획을 세우고, 어떤 위치에서 값을 취했는지 추적할 수 있어야 한다고 권고한다.[23]

표 26-4. HbA1c 3차 수치 검증의 상태

검증 항목	건수	전체 후보와의 관계	의미
HbA1c candidates	286	100%	자동·반자동 탐색에서 검증 대상으로 올라온 후보
numeric confirmed	137	47.9%	실제 수치가 확인된 레코드
- table source	83	confirmed의 60.6%	표에서 확인된 수치
- results source	52	confirmed의 38.0%	Results 본문에서 확인된 수치
- abstract source	2	confirmed의 1.5%	초록에서만 확인된 수치
needs review	149	52.1%	추가 원문 확인이 필요한 후보
conflict flag	20	별도 품질 플래그	위치·자료원 간 값의 불일치 가능성

출처: HbA1c third-pass 내부 추출·검증 스냅샷. `table + results + abstract = 137`; conflict는 독립 합계가 아니라 검토 플래그다.[24]

[20] Li et al. (2024). Data from multiple report locations and sources may differ and require a plan for discrepancy resolution.
[21] Internal HbA1c third-pass snapshot: candidates 286; numeric confirmed 137; table 83; Results 52; abstract 2.
[22] Internal HbA1c third-pass snapshot: needs review 149; conflicts 20. Conflict is a quality flag and is not an additional mutually exclusive category.
[23] Li et al. (2024), Sections 5.2 and 5.4, Cochrane Handbook.

5. evidence pack은 '최종 정답 목록'이 아니라 질문별 작업 묶음이다

용어 | Evidence pack
Evidence pack
특정 집필 질문을 위해 우선 검토하도록 묶은 작업용 근거집합이다. 서로 중복될 수 있다.

책을 쓰면서 매번 7,951개 레코드를 처음부터 읽는 것은 비효율적이다. 그래서 특정 질문을 쓸 때 우선 검토할 논문을 evidence pack으로 묶었다. 식물식 top 100, 케톤식 88, 저탄수 28, 동일중재 식물성 케톤 1, HbA1c 200, 약물 36, 관해 52, caution 99가 대표적인 패키지다.[25]

이 숫자들은 서로 더해서 총 논문 수를 만들 수 없다. 한 논문이 HbA1c 패키지와 약물 패키지, caution 패키지에 동시에 들어갈 수 있기 때문이다.[26] evidence pack은 분석대상을 고정하는 최종 메타분석 데이터셋이 아니라 **저술 질문별 우선검토 큐(queue)**에 가깝다. 최종 문장에 수치를 사용할 때는 다시 원문 위치와 맥락을 확인하는 절차가 필요하다.[27]

표 26-5. 책 집필에 사용한 주요 evidence pack

evidence pack	레코드 수	주된 질문	중복 가능성
plant top	100	식물성 식단의 임상효과와 기전	있음
ketogenic	88	케톤식의 혈당·체중·지질효과	있음
lowcarb	28	케톤식과 구분되는 저탄수 근거	있음
plant_keto_same	1	동일중재의 직접근거	다른 pack과 중복 가능
hba1c	200	HbA1c 수치와 위치 재검증	있음
medication	36	약물감량·저혈당·안전성	있음
remission	52	관해 정의·유지·재발	있음
caution	99	LDL/ApoB, DKA, 영양·기타 안전성	있음

출처: 내부 evidence-pack 스냅샷. 각 패키지는 목적별로 겹칠 수 있으므로 합산하지 않는다.[28]

6. 긍정적인 논문만 모으면 데이터베이스가 아니라 확증편향 저장소가 된다

용어 | 확증편향
Confirmation bias
기존 믿음과 맞는 정보만 선택하거나 더 크게 평가하는 경향이다. 반대 근거를 함께 보존해야 줄일 수 있다.

식물성 케톤식이라는 가설을 지지하는 연구만 모으면 책은 쉽게 설득력 있어 보일 수 있다. 그러나 과학적 신뢰도는 반대 방향의 결과를 얼마나 정직하게 보존했는가에서 드러난다. 그래서 데이터베이

[25] Internal evidence-pack snapshot: plant top 100; ketogenic 88; lowcarb 28; plant_keto_same 1; hba1c 200; medication 36; remission 52; caution 99.

[26] Evidence packs are question-specific working sets and are not mutually exclusive; internal project design.

[27] Internal writing protocol: evidence pack prioritizes review but final factual claims are checked against the source report and context.

스에는 효과가 좋은 연구뿐 아니라 중립·혼합 결과, LDL-C/ApoB 상승, 저혈당 위험, SGLT2 억제제와 케톤산증 위험, 영양소 부족 가능성 같은 caution 근거도 별도로 묶었다.[29]

이 방식은 한 식사패턴을 '좋다/나쁘다'로 판정하는 대신, **누구에게 어떤 조건에서 어떤 결과가 나타났는가**를 묻게 한다. 식물식도 정제전분과 초가공식품 중심이면 대사적으로 불리할 수 있고, 케톤식도 지방의 질과 약물상태에 따라 위험 프로파일이 달라질 수 있다.[30] 따라서 근거DB의 역할은 결론을 미리 정해두는 것이 아니라, 결론을 수정할 수 있을 만큼 반대 근거를 함께 보존하는 것이다.[31]

7. 자동분류는 사람의 판독을 없애는 기술이 아니라 우선순위를 정하는 기술이다

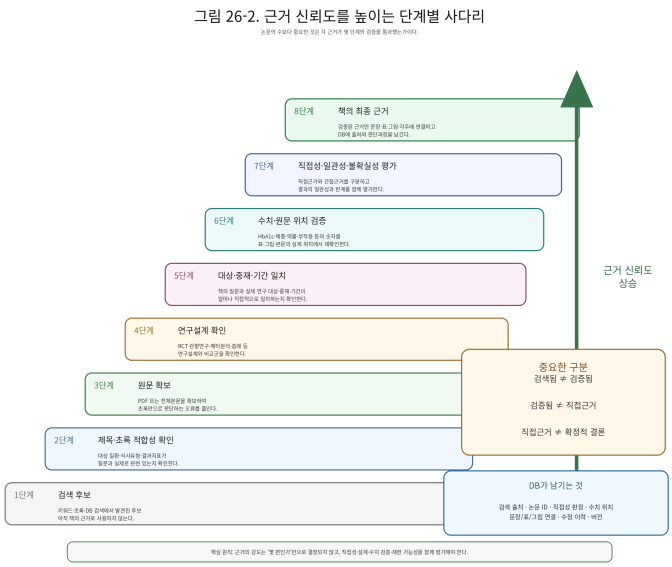
용어 | 사람-검토 루프
Human-in-the-loop
자동화가 후보를 만들고 사람이 문맥을 확인하며 결과를 다시 시스템에 반영하는 검증 방식이다.

7,951개의 레코드를 사람이 같은 깊이로 읽는 것은 현실적으로 어렵다. 자동화는 제목·초록·본문에서 식이유형, 임상지표, HbA1c, 약물, 관해, 안전성 신호를 찾아 **어디부터 사람이 읽어야 하는지** 순서를 정하는 데 유용했다.[32] 그러나 second-pass에서 co-mentioned 32건과 same-intervention 1건이 갈린 것처럼, 최종 의미판단은 문맥 확인 없이는 어렵다.[33]

따라서 이 시스템에서 AI·규칙기반 추출의 역할은 "정답 생성기"가 아니라 **후보 생성기와 품질경보 장치**다. 숫자가 발견되면 출처 위치를 저장하고, 충돌하면 conflict로 남기며, 직접근거인지 애매하면 상위 검토목록으로 올리는 방식이 더 안전하다.[34]

[29] Internal caution pack contains positive, neutral, mixed, and adverse/safety evidence to reduce one-directional selection.
[30] Author synthesis of the book's preceding chapters; not all plant-based or ketogenic implementations have the same food quality or safety profile.
[31] Methodological principle of disconfirming evidence preservation; author synthesis.
[32] Internal automation workflow for candidate generation and prioritization.
[33] Internal second-pass result: 32 co-mentioned records versus 1 same-intervention record among the top 300.
[34] Internal extraction design: candidates, source-location fields, conflict flags, and review states are retained rather than silently collapsed.

그림 26-2. 근거 신뢰도를 높이는 단계별 사다리



출처: Cochrane Handbook의 구조화된 근거수집 원칙과 본 연구 프로젝트의 데이터베이스 검증 절차를 바탕으로 구성.

8. 데이터의 출처와 버전을 남기는 이유

용어 | 버전 관리
Version control
파일과 데이터가 수정될 때 이전 상태를 구분해 보존하고 변경 이력을 추적하는 방식이다.

연구 데이터는 시간이 지나면서 바뀐다. 새 논문이 들어오고, 잘못 분류된 레코드가 수정되며, 같은 문장의 표현도 더 정확하게 바뀔 수 있다. 따라서 데이터베이스는 최종값만 남기는 것이 아니라 **언제 무엇이 바뀌었는지**를 추적할 수 있어야 한다.[35]

FAIR 원칙은 과학데이터가 찾을 수 있고(Findable), 접근 가능하며(Accessible), 상호운용되고(Interoperable), 재사용 가능해야(Reusable) 한다는 방향을 제시한다.[36] 우리의 시스템이 FAIR 인증을 받은 것은 아니지만, 파일경로·구조화 필드·버전·해시·수정로그를 남기는 방식은 재현성과 재사용성을 높이는 같은 방향을 지향한다.[37]

책 산출물에도 같은 원칙을 적용했다. 각 장의 Markdown, LaTeX, 단독 PDF, 누적 PDF, 동기화 스크립트에는 버전을 붙이고, DB에는 파일크기와 SHA-256 해시를 기록한다.[38] SHA-256은 파일

[35] Cochrane recommends that data be accurate, complete, accessible for updates and sharing, and that methods be transparent. Li et al. (2024).

[36] Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Scientific Data, 3, 160018.

[37] Author comparison. The project follows some FAIR-aligned practices but does not claim formal FAIR certification or full compliance.

[38] Internal book artifact policy: versioned Markdown/LaTeX/PDF/scripts with file

내용으로부터 256비트 메시지 다이제스트를 생성하므로, 저장된 해시를 다시 계산해 파일 바이트가 달라졌는지 확인할 수 있다.[39] 다만 해시는 내용의 과학적 정확성을 보증하지 않는다. **파일이 같은가**를 확인하는 도구이지, **주장이 맞는가**를 판단하는 도구는 아니다.[40]

9. 이 데이터베이스가 아직 해결하지 못한 문제

용어 | Study와 report
Study vs. report
하나의 임상연구가 여러 논문(report)으로 발표될 수 있다. 근거합성의 단위는 report가 아니라 study다.

첫째, `papers` 레코드와 독립된 `study`를 완전히 동일시할 수 없다. 하나의 시험이 여러 논문으로 보고된 경우를 연결하는 작업은 체계적 문헌고찰에서 매우 중요하며, Cochrane도 연구(study)가 관심단위이고 여러 report를 연결해야 한다고 강조한다.[41] 향후에는 trial registration, DOI, 저자·기관·표본수·등록번호를 이용해 `study_id`와 `report_id`를 더 명확히 분리할 필요가 있다.[42]

둘째, Tier A나 자동분류는 편리하지만 알고리즘 판정 자체가 편향될 수 있다. 검색어에 없는 표현, 다른 언어, 식이 정의가 불명확한 연구는 놓칠 수 있고, 초록만으로는 실제 중재의 지방·탄수화물 조성을 알기 어려운 경우도 있다.[43] 따라서 중요한 결론일수록 PDF 원문과 표·보충자료 확인이 필요하다.[44]

셋째, 숫자가 추출되었다고 비교가능한 것은 아니다. HbA1c 최종값과 변화량, intention-to-treat와 per-protocol, 12주와 2년 결과는 같은 열에 단순히 섞어서는 안 된다.[45] 향후 메타분석용 데이터셋은 연구설계, 비교군, 시점, 효과측정치, 표준오차·신뢰구간, 결측자료 처리까지 더 엄격히 정규화해야 한다.[46]

넷째, 현재 데이터베이스는 이 책의 근거 탐색과 저술을 지원하기

paths, sizes, hashes, and revision logs stored in the database.

[39] National Institute of Standards and Technology. (2015). FIPS 180-4: Secure Hash Standard (SHS). SHA-256 produces a 256-bit message digest and is used to detect whether message content has changed.

[40] NIST FIPS 180-4 describes hashing for message digests/integrity detection; scientific validity requires separate source and methodological assessment.

[41] Li et al. (2024). Systematic reviews have studies rather than reports as the unit of interest, and multiple reports should be linked.

[42] Author-proposed database upgrade based on the limitation identified in the current corpus.

[43] Internal pipeline limitation; automated classifiers depend on available text, terminology, and rule/model performance.

[44] Li et al. (2024). Source discrepancies and varying data-source strengths require source-aware extraction and resolution.

[45] Cochrane Handbook guidance requires effect data to be collected in forms suitable for analysis and appropriately converted/structured. Li et al. (2024).

[46] Author-proposed meta-analysis normalization requirements based on standard evidence-synthesis practice.

위한 **연구 인프라**이지, 그 자체가 완성된 PRISMA 체계적 문헌고찰이나 GRADE 근거평가를 의미하지 않는다.[47] 공식 체계적 문헌고찰로 출판하려면 사전 프로토콜, 완전한 검색식과 날짜, 중복제거, 독립된 선별·추출, 위험비뚤림 평가, 제외사유, 효과크기 합성 등 별도 절차를 명시해야 한다.[48]

10. 데이터베이스가 이 책의 문장을 어떻게 바꾸었는가

용어 | 근거 지도
Evidence map
어떤 질문에 근거가 많고 적은지, 직접성과 불확실성이 어디에 있는지 구조적으로 보여주는 지도다.

이 데이터베이스를 만들기 전에는 "식물성 식단도 좋고 케톤식도 좋으니 둘을 합치면 더 좋을 것이다"라는 문장을 쓰기 쉽다. 그러나 직접근거 후보 49건을 엄격히 재검토하고, 상위 300건에서 동일중재가 1건만 명확히 확인되는 과정을 거치면서 표현은 달라졌다.[49] 이 책은 **식물식과 케톤식의 각각의 근거는 상당하지만, 식물성 케톤식의 직접 임상근거는 아직 형성 초기이며 이질적이다**라는 더 제한적인 문장을 선택했다.[50]

HbA1c도 마찬가지다. 자동으로 잡힌 286개 후보를 모두 효과수치로 사용하지 않고, 실제 숫자가 확인된 137건과 추가검토 149건을 구분하면서 "찾았다"와 "확인했다"를 다른 상태로 저장했다.[51] 이 차이는 책의 문장을 더 느리게 만들지만, 훨씬 안전하게 만든다.[52]

결국 연구 데이터베이스의 가장 큰 가치는 논문을 많이 저장했다는 데 있지 않다. **주장을 세게 만들기보다, 어디까지 말할 수 있는지를 제한하는 장치**가 되었다는 데 있다.[53] 다음 장에서는 이 제한과 강점을 모두 고려해, 식물식·저탄수·케톤식·직접 식물성 케톤식의 근거를 한데 놓았을 때 현재 과학이 실제로 무엇을 말할 수 있는지를 종합한다.[54]

[47] Page et al. (2021). PRISMA is a reporting guideline for systematic reviews; the current integrated research database is not, by itself, a completed systematic review.
[48] Page et al. (2021); Cochrane Handbook (2024). These are additional processes needed for a formal systematic review and meta-analysis.
[49] Internal strict-category and second-pass snapshots described in Tables 26-2 and 26-3.
[50] Author conclusion based on the project's evidence map and the distinction between separate evidence streams and same-intervention evidence.
[51] Internal HbA1c third-pass snapshot described in Table 26-4.
[52] Author methodological interpretation: unresolved candidates remain marked as such rather than being treated as confirmed findings.
[53] Author conclusion from the database-building process.
[54] Transition to Chapter 27, which synthesizes the full evidence hierarchy and limitations.

제26장 핵심 참고문헌

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71.

Li, T., Higgins, J. P. T., & Deeks, J. J. (2024). Chapter 5: Collecting data. In Higgins, J. P. T., et al. (Eds.), Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions, version 6.5. Cochrane.

Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Scientific Data, 3, 160018.

National Institute of Standards and Technology. (2015). FIPS 180-4: Secure Hash Standard (SHS). U.S. Department of Commerce.

내부 연구 자료. `vk_diabete_db.sqlite3`, `vk_refine_book_evidence.py`, HbA1c third-pass, evidence-pack 및 book artifact registry 스냅샷 (2026-08-25).

제27장. 근거를 종합하면 무엇을 말할 수 있는가 - 강하게 말할 것과 아직 기다려야 할 것

근거가 많아질수록 결론은 더 조심스럽고 더 정확해져야 한다.

식이요법을 평가할 때 가장 위험한 순간은 근거가 많아졌을 때다. 논문 수가 늘어나면 결론도 강해져야 할 것처럼 보이지만, 실제로는 서로 다른 식사, 서로 다른 대상, 서로 다른 기간과 비교군이 한데 섞여 있을 수 있다. 그래서 최종 결론은 연구의 수보다 **직접성, 일관성, 지속기간, 안전성, 재현성**을 함께 보아야 한다.[1]

이 책의 마지막 근거종합 장은 식물식, 저탄수화물식, 케톤식, 식물성 저탄수·케톤식의 네 층을 구분한다. 이 네 층은 서로 겹치지만 같은 것이 아니다. 식물식의 근거가 곧 식물성 케톤식의 근거가 아니며, 저탄수화물식의 효과를 영양적 케토시스의 효과라고 부를 수도 없다.[2]

따라서 여기서는 결론을 세 단계로 나눈다. **현재 근거로 비교적 강하게 말할 수 있는 것**, 여러 연구가 같은 방향을 가리키지만 아직 조건이 붙는 것, 그리고 생리적 개연성은 있으나 직접 임상시험이 더 필요한 가설이다.[3]

1. 먼저 결론의 강도를 나누어야 한다

용어 | 근거 강도
Strength of evidence
효과의 크기만이 아니라 연구설계, 직접성, 일관성, 정밀성, 지속기간을 함께 평가해 결론의 확신 수준을 정한다.

첫 번째 원칙은 효과의 방향과 근거의 강도를 분리하는 것이다. 어떤 연구에서 HbA1c가 크게 낮아졌더라도 표본이 작고 기간이 짧다면 그 결과를 모든 사람에게 장기간 적용할 수는 없다. 반대로 평균 효과가 크지 않더라도 여러 무작위시험과 메타분석에서 같은 방향이 반복되면 임상적 의미는 더 안정적일 수 있다.[4]

[1] Guyatt, G. H., Oxman, A. D., Vist, G. E., et al. (2008). GRADE: An emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. BMJ, 336, 924-926.

[2] Internal evidence classification principle from `vk_diabete_db.sqlite3` and Chapter 26; low-carbohydrate, ketogenic, plant-based, and plant-ketogenic same-intervention records are stored as distinct evidence layers.

[3] Author synthesis based on GRADE concepts and the project's multi-pass evidence review.

[4] Guyatt et al. (2008); Cochrane Handbook, current evidence-synthesis principles.

두 번째 원칙은 **비교군을 본다**는 것이다. 식단 A의 결과가 좋아졌다는 사실만으로 A가 B보다 우수한 것은 아니다. 체중이 함께 줄었는지, 약물이 조정됐는지, 대조식도 개선됐는지, 열량·단백질·식품 가공도가 달랐는지를 함께 보아야 한다.[5]

세 번째는 지속기간이다. 제2형 당뇨병의 혈당은 수주 안에도 변하지만, 치료전략의 가치는 수개월과 수년에 걸쳐 유지되는지에 달려 있다. 저탄수화물식의 경우 6개월 효과가 12개월에 약해지는 메타분석 결과가 대표적이다.[6]

표 27-1. 이 책에서 사용하는 최종 결론의 세 단계

결론 단계	의미	요구되는 근거	이 책의 표현 원칙
비교적 확실	다수 연구·가이드라인이 같은 방향을 RCT, 메타분석, 일관된 임상지표 지지		"지지한다", "개선할 수 있다"
조건부 유력	효과가 반복되지만 기간·대상·비교군 여러 임상시험, 일부 이질성에 따라 달라짐		"도움이 될 수 있다", "특히 단기에는"
연구가 필요한 가설	기전은 타당하지만 직접 검증이 부족	간접근거·소수 직접시험	"가능성이 있다", "직접 검증이 필요하다"

출처: 본 프로젝트의 근거종합 원칙; GRADE의 직접성·일관성·정밀성 개념을 참고한 저자 정리.[7]

2. 식물성 식단에 대해서는 무엇을 말할 수 있는가

용어 | 식물성 식사패턴
Plant-based dietary pattern
식물성 식품의 비중이 높은 식사다. 건강효과는 정제곡물·설탕보다 채소·콩류·견과·씨앗·최소가공 식품의 비중에 좌우된다.

제2형 당뇨병에서 채식·비건 식사패턴은 이제 단순한 관찰연구 수준에 머물지 않는다. 2024년 무작위시험 메타분석은 성인 제2형 당뇨병에서 채식·비건 패턴이 비채식 대조식보다 HbA1c를 평균 약 **0.40%p** 낮추고 BMI도 감소시킬 가능성이 있다고 평가했다.[8] 2025년에 발표된 또 다른 메타분석도 9개 RCT, 681명을 종합해 HbA1c 약 **0.36%p 감소**를 보고했다.[9]

이 정도의 평균 차이는 약물 하나의 효과와 직접 비교할 수는 없지만, 생활중재로서는 무시하기 어렵다. 특히 식물식은 체중, LDL-C, 식이섬유, 식품의 에너지밀도 같은 여러 경로를 동시에 바꿀 수 있

[5] Gardner, C. D., Landry, M. J., Perelman, D., et al. (2022). Effect of a ketogenic diet versus Mediterranean diet on glycated hemoglobin in individuals with prediabetes and type 2 diabetes mellitus: The interventional Keto-Med randomized crossover trial. American Journal of Clinical Nutrition, 116(3), 640-652.

[6] Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: Systematic review and meta-analysis. BMJ, 372, m4743.

[8] Guest, N. S., Raj, S., Landry, M. J., et al. (2024). Vegetarian and Vegan Dietary Patterns to Treat Adult Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Advances in Nutrition, 15(10), 100294. HbA1c MD -0.40% (95% CI -0.59 to -0.21).

[9] Effects of Vegetarian or Vegan Diets on Glycemic and Cardiometabolic Health in Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-analysis (2025). Nine RCTs, n=681; HbA1c WMD -0.36% (95% CI -0.54 to -0.19). PubMed PMID 40037300.

다.[10] 그러나 식물성이라는 이름만으로 효과를 보장하지는 않는다. 정제곡물, 설탕, 초가공 식품이 중심인 식물성 식사는 건강한 식물성 식사와 대사효과가 다르다.[11]

ADA 2026은 당뇨병의 식사패턴에서 비전분 채소, 통과일, 콩류, 견과·씨앗, 최소가공 식품을 강조하고, 식물성 단백질을 더 많이 포함하도록 권고한다.[12] 이것은 "모두 비건이 되어야 한다"는 뜻이 아니라, 식사의 질을 높이는 방향에서 식물성 식품의 비중을 높일 근거가 충분하다는 의미다.[13]

따라서 **건강한 식물성 식사패턴이 제2형 당뇨병의 혈당과 체중 관리에 유효한 선택지라는 결론은 비교적 강하게 말할 수 있다.** 다만 이것이 곧 저탄수 또는 케톤식이라는 뜻은 아니다.[14]

3. 저탄수화물식은 단기 혈당개선에 강점이 있다

용어 | 저탄수화물식
Low-carbohydrate diet
탄수화물 섭취를 낮춘 식사다. 연구마다 정의가 다르며, 일반 저탄수와 영양적 케토시스를 유도하는 케톤식은 구분해야 한다.

저탄수화물식의 장점은 혈당을 올리는 주요 영양소의 양을 직접 낮춘다는 데 있다. 2021년 BMJ 메타분석은 23개 무작위시험, 1,357명을 포함했으며, 6개월 시점에서 저탄수화물식은 대조식보다 HbA1c를 평균 **0.47%p** 더 낮췄다.[15] 같은 시점에서 체중과 중성지방, 일부 관해지표도 유리한 방향을 보였다.[16]

그러나 시간축을 늘리면 그림이 달라진다. 12개월 HbA1c 차이는 약 **0.23%p**로 줄었고 통계적 경계에 걸렸으며, 체중의 우위도 사라졌다.[17] 관해 역시 약물을 사용하지 않는 엄격한 정의를 적용하면 효과크기가 작아졌다.[18]

이 결과는 저탄수화물식이 효과가 없다는 뜻이 아니다. 오히려 **초**

[10] Guest et al. (2024); Viguiliouk, E., Kendall, C. W. C., Kahleová, H., et al. (2019). Effect of vegetarian dietary patterns on cardiometabolic risk factors in diabetes. Clinical Nutrition, 38(3), 1133-1145.

[11] Plant-based diet quality distinction is supported by prospective evidence showing healthier plant-based indices are inversely associated with T2D risk whereas unhealthy plant-based indices are not; see systematic review/meta-analysis PMID 40789787 (2025).

[12] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). 5. Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl 1), S89-S130, recommendations 5.13-5.31.

[13] ADA (2026), recommendations 5.14, 5.24, and 5.29.

[14] Guest et al. (2024); ADA (2026). This statement concerns plant-based dietary patterns, not ketogenic status.

[15] Goldenberg et al. (2021). At 6 months, HbA1c mean difference -0.47% (95% CI -0.60 to -0.34), n=747.

[16] Goldenberg et al. (2021). Six-month outcomes included weight, triglycerides, medication use, and remission definitions.

[17] Goldenberg et al. (2021). At 12 months HbA1c mean difference -0.23% (95% CI -0.46 to 0.00); weight difference was non-significant.

[18] Goldenberg et al. (2021). Remission estimates were much smaller when absence of glucose-lowering medication was included in the definition.

기 혈당을 빠르게 안정화하는 전략으로는 유력하지만, 장기효과는 순응도와 식품의 질, 체중 유지, 약물조정에 크게 좌우된다는 뜻이다.[19]

ADA 2026도 일부 성인의 혈당개선을 위해 탄수화물 섭취 감소를 고려할 수 있다고 하면서, 동시에 장기 지속가능성과 개별화를 반복해서 강조한다.[20]

표 27-2. 식물식·저탄수·케톤식의 현재 근거를 같은 눈금으로 보기

근거층	대표 근거	HbA1c 방향	강점	주요 제한
채식·비건	RCT 메타분석	약 -0.36~-0.40%p	식품질·체중·LDL 동시 개선 가능	식단 정의와 열량차이
저탄수	23 RCT 메타분석	6개월 약 -0.47%p	단기 혈당·TG·체중	12개월 이후 차이 감소
케톤식	RCT 메타분석들	약 -0.29%p 또는 유의차 없음	TG 감소·HDL 상승 가능	정의·기간·비교식 이질성
식물성 저탄수/케톤	2026 review, 7 RCT	약 -0.3~-0.7%p 범위보고	두 원리의 접점 탐색	PB-LCD와 PB-KD 혼재, 장기자료 부족

출처: Guest et al. (2024); Goldenberg et al. (2021); Choy & Louie (2023); Ghasemi et al. (2024); Mazzola et al. (2026).[21]

4. 케톤식은 저탄수화물식과 같은 말이 아니다

용어 | 영양적 케토시스
Nutritional ketosis
탄수화물 제한으로 지방산 산화와 케톤체 생성이 증가한 생리상태다. 저탄수화물식이라고 모두 케토시스가 형성되는 것은 아니다.

케톤식은 탄수화물 제한의 정도가 더 크고, 실제로 영양적 케토시스가 형성되는 식사다. 따라서 모든 저탄수화물 연구를 케톤식 근거로 묶으면 효과를 과대평가하거나 반대로 희석할 수 있다.[22]

2023년 11개 RCT를 종합한 메타분석에서는 케톤식이 대조식보다 **혈당조절이나 체중감량에서 추가적인 유의한 우월성을 보이지 않았지만**, 중성지방은 더 낮아지고 HDL-C는 더 높아졌다.[23] 반면 2024년 VLCKD 임상시험 메타분석은 HbA1c 약 **0.29%p 감소**, 공복혈당·HOMA-IR·중성지방 개선을 보고했다.[24] 두 결과는 겉보기에는 모순처럼 보이지만 포함연구, 식이정의, 비교군, 분석방법이 다

[19] Author interpretation of Goldenberg et al. (2021) and ADA (2026), emphasizing adherence and sustainability.

[20] ADA (2026), recommendation 5.15 and carbohydrate section; benefits of carbohydrate restriction are more pronounced short-term and should be individualized.

[22] ADA (2026) distinguishes very-low-carbohydrate/ketogenic approaches from broader carbohydrate-restricted eating patterns; definitions vary across trials.

[23] Choy, K. Y. C., & Louie, J. C. Y. (2023). The effects of the ketogenic diet for the management of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of recent studies. Diabetes & Metabolic Syndrome, 17(12), 102905. Nineteen reports from 11 RCTs; no additional glycemic or weight benefit versus control, but TG reduction and HDL increase.

[24] Ghasemi, P., Jafari, M., Jafari Maskouni, S., et al. (2024). Impact of very low carbohydrate ketogenic diets on cardiovascular risk factors among patients with type 2 diabetes: GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of clinical trials. Nutrition & Metabolism, 21(1), 50. HbA1c WMD -0.29% (95% CI -0.44 to -0.14).

르다.[25]

Keto-Med 무작위 교차시험은 이 차이를 잘 보여준다. 20–50 g/day의 well-formulated ketogenic diet와 저탄수 지중해식을 비교했을 때 12주 HbA1c는 두 식사 사이에 유의한 차이가 없었다.[26] 케톤식에서는 중성지방이 더 많이 감소했지만 LDL-C가 증가했고, 식이섬유와 일부 영양소 섭취가 낮았다. 중재 종료 후 추적자료에서는 지중해식이 더 지속가능한 식사로 이어질 가능성이 시사됐다.[27]

따라서 **케톤식은 제2형 당뇨병에서 사용할 수 있는 하나의 강력한 탄수화물 제한 도구이지만, 모든 지표에서 다른 양질의 식사보다 우월하다고 말할 근거는 없다.** 특히 LDL-C·ApoB 반응과 장기 순응도는 반드시 따로 평가해야 한다.[28]

5. 식물성과 케톤을 결합하면 시너지가 생기는가

용어 | 시너지
Synergy
두 중재를 합쳤을 때 각 중재의 효과를 단순히 더한 것보다 더 큰 효과가 나타나는 현상이다. 직접 비교시험 없이 시너지를 확정할 수 없다.

이 질문이 이 책의 핵심이다. 생리학적으로는 매력적인 가설이 있다. 탄수화물 제한은 식후혈당과 인슐린 부담을 줄이고, 식물성 식품 중심의 구성은 식이섬유, 불포화지방, 미량영양소, 파이토케미컬을 확보하면서 포화지방과 초가공식품 의존을 낮출 수 있다.[29]

그러나 **두 장점을 한 식사에 넣었다고 임상효과가 자동으로 더해지는 것은 아니다.** 직접 비교시험이 필요하다. 우리 DB의 상위 300건 2차 판독에서도 plant+keto가 함께 언급된 32건과 실제 동일중재로 명확히 확인된 1건이 크게 갈렸다.[30]

2026년 Mazzola 등의 체계적 문헌고찰은 이 빈 공간이 조금씩 채워지고 있음을 보여준다. 연구진은 7개 RCT, 총 976명을 포함해 주로 식물성 저탄수화물(PB-LCD) 및 일부 식물성 케톤(PB-KD) 접근을 검토했고, 체중 약 5~7 kg 감소와 HbA1c 약 0.3~0.7%p 개선 범위를 보고했다.[31] 체중과 지질에 대한 근거확실도는 중등도, 혈당에

[25] Differences in eligibility, diet definitions, control diets, duration, and effect models can produce different pooled estimates; author methodological interpretation.

[26] Gardner et al. (2022). Forty participants with prediabetes or T2D completed 12-week WFKD and Med-Plus phases; primary HbA1c outcome did not significantly differ between diets.

[27] Gardner et al. (2022). TG favored WFKD, LDL-C favored Med-Plus; WFKD had lower fiber and selected nutrients, while follow-up data suggested greater sustainability of Med-Plus.

[28] Choy & Louie (2023); Gardner et al. (2022); ADA (2026), saturated-fat and cardiovascular-risk recommendations.

[29] Mechanistic synthesis from Chapters 7, 10, 11, 17, and 19; ADA (2026) supports minimally processed, high-fiber foods and carbohydrate reduction for selected adults.

[30] Internal top-300 second-pass snapshot, `vk_diabete_db.sqlite3`: plant+keto co-mentioned 32; plant-ketogenic same intervention 1.

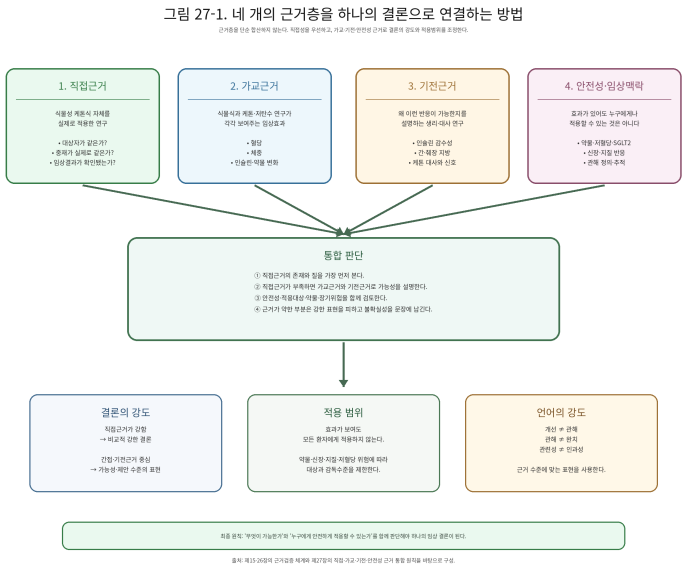
[31] Mazzola, G., Rondanelli, M., Cabrini, C., & Perna, S. (2026). Metabolic,

대해서는 중등도에서 중등도-낮음 수준으로 평가됐다.[32]

이 리뷰는 매우 중요하지만, 동시에 해석의 한계도 분명하다. PB-LCD와 PB-KD가 한 범주 안에 함께 들어 있고, 연구기간은 4~52주로 다양하며, 자유생활 환경에서 순응도가 낮아졌다.[33] 특히 실제 케토시스를 혈중 β-hydroxybutyrate로 반복 확인한 연구가 모든 시험에 공통된 것은 아니다.[34]

따라서 현재 가장 정확한 표현은 이렇다. **식물성 저탄수·케톤 접근의 직접근거는 형성되기 시작했으며 대사개선 가능성을 지지하지만, "식물성"과 "케톤"의 결합 자체가 독립적인 시너지 효과를 만든다고 확정하기에는 이르다.**[35]

그림 27-1. 네 개의 근거층을 하나의 결론으로 연결하는 방법



출처: 제15·26장의 근거검증 체계와 제27장의 직접·가교·기전·안전성 근거 통합 원칙을 바탕으로 구성.

adherence, and sustainability outcomes of plant-based low-carbohydrate and ketogenic diets: A systematic review of clinical evidence. Nutrition, 148, 113222. Seven RCTs, n=976, duration 4-52 weeks.

[32] Mazzola et al. (2026). GRADE certainty was moderate for body weight and lipid outcomes and moderate to moderate-low for glycemic outcomes, depending on outcome classification.

[33] Mazzola et al. (2026). Adherence was high in controlled settings but declined in free-living conditions; PB-LCD appeared more feasible long-term than stricter PB-KD approaches.

[34] Author caution based on heterogeneity of ketogenic definitions and biomarker verification across the included evidence; Mazzola et al. (2026) pooled PB-LCD and PB-KD clinical evidence.

[35] Author conclusion based on Mazzola et al. (2026) and the internal same-intervention evidence map.

6. 무엇이 실제 효과를 만드는지 분해해서 보아야 한다

용어 | 교란과 동시변화
Co-intervention
식사연구에서는 탄수화물, 지방, 단백질, 열량, 가공도, 체중이 동시에 바뀔 수 있어 한 요인의 독립효과를 분리하기 어렵다.

식사연구에서 한 가지 어려움은 여러 변수가 동시에 바뀐다는 점이다. 탄수화물을 줄이면 단백질이나 지방이 늘고, 설탕과 정제곡물을 줄이면 식품가공도도 내려갈 수 있다. 자연스럽게 총열량이 줄거나 체중이 감소할 수도 있다.[36]

Keto-Med 연구에서 두 식사는 탄수화물 수준은 달랐지만 비전분 채소를 먹고 첨가당과 정제곡물을 피한다는 공통점이 있었다. 두 식사 모두 HbA1c와 체중을 개선했고 12주 HbA1c 차이는 없었다.[37] 이는 극단적인 탄수화물 제한 자체뿐 아니라 **공통적으로 개선된 식품의 질**이 결과의 중요한 일부였을 가능성을 보여준다.[38]

네트워크 메타분석에서도 여러 식사패턴이 혈당을 개선했으며, HbA1c와 공복혈당 변화는 체중 변화와 관련됐다.[39] 그러므로 "케톤 때문에", "식물성이라서"라는 단일 원인 설명은 대개 지나치게 단순하다.

실전에서는 네 가지를 따로 본다. **탄수화물의 양, 탄수화물의 질, 지방의 질, 전체 식품의 가공도**다. 여기에 체중 변화, 근육량, 운동, 수면, 약물조정이 더해진다.[40]

표 27-3. 같은 HbA1c 개선이라도 원인이 다를 수 있다

관찰된 변화	가능한 설명	확인할 지표	과잉해석을 피하는 방법
HbA1c 감소	탄수화물 감소, 체중감량, 약물조정	체중, 약물, CGM	식사 하나의 효과로 단정하지 않기
TG 감소	탄수화물 감소, 체중감량	TG, 체중, 총열량	케톤체 자체의 효과와 구분
LDL-C 증가	포화지방 증가, 개인반응	LDL-C, non-HDL-C, ApoB	TG 개선만 보고 안전하다고 판단하지 않기
포만 증가	단백질·지방·섬유·에너지밀도	섭취량, 체중, 식이기록	한 영양소로만 설명하지 않기
약물 감소	혈당개선 + 의료진 조정	처방기록, HbA1c	관해와 동일시하지 않기

출처: ADA (2026); Gardner et al. (2022); 본 프로젝트의 결과해석 원칙.[41]

[36] Dietary intervention studies often alter several macronutrients, food groups, energy intake, and body weight simultaneously; Cochrane/clinical nutrition interpretation principle.
[37] Gardner et al. (2022). Both WFKD and Med-Plus restricted added sugar and refined grains and emphasized nonstarchy vegetables.
[38] Gardner et al. (2022), authors' discussion: shared dietary aspects likely contributed to improvements on both diets.
[39] Effect of Dietary Approaches on Glycemic Control in Patients with Type 2 Diabetes: A Systematic Review with Network Meta-Analysis of Randomized Trials (2023). Forty-two RCTs, n=4,809; meta-regression linked glycemic changes to weight change. PubMed PMID 37513574.
[40] Author integrative framework derived from Chapters 16-21.

7. 안전성은 효과와 별도의 축이다

용어 | 안전성 축
Safety domain
HbA1c 개선과 별개로 저혈당, DKA, LDL-C/ApoB, 신장기능, 영양충족도 등을 독립적으로 평가해야 한다.

어떤 식사가 HbA1c를 낮춘다고 해서 자동으로 안전한 것은 아니다. 식물성 케톤식에서는 특히 저혈당, 혈압저하, 탈수, LDL-C/ApoB 상승, 단백질·미량영양소 부족 가능성을 별도로 확인해야 한다.[42]

인슐린이나 설포닐우레아를 사용하는 사람은 탄수화물을 빠르게 줄일 때 저혈당 위험이 커질 수 있다. SGLT2 억제제를 사용하는 사람에게는 문제가 더 다르다. ADA 2026은 DKA 위험 때문에 SGLT2 억제제를 사용하는 위험군에서 케톤식 패턴을 **피하도록 권고한다**.[43]

또 ADA는 임신·수유, 소아, 신장질환, 섭식장애가 있거나 위험한 사람에게 매우 낮은 탄수화물 식사를 일반적으로 권장하지 않는다.[44] 이것은 식사의 잠재효과를 부정하는 것이 아니라, **효과가 있어도 적용대상이 아니거나 의료감독이 필요한 사람이 존재한다**는 뜻이다.

지질도 같은 방식으로 본다. 케톤식은 중성지방 감소와 HDL-C 증가를 보일 수 있지만, 일부 시험과 개인에서는 LDL-C가 상승한다.[45] 따라서 이 책의 식물성 케톤식은 지방의 대부분을 올리브·아보카도·견과·씨앗·대두 등 불포화 식물성 지방에서 구성하고, 포화지방을 많이 사용하는 전형적 케톤식과 구별한다.[46]

8. 관해에 대해서는 더 엄격한 언어가 필요하다

용어 | 당뇨 관해
Diabetes remission
일반적으로 혈당강하제 없이 HbA1c 6.5% 미만이 최소 3개월 지속되는 상태를 뜻한다. 완치와 동일한 말이 아니다.

식사중재에서 HbA1c가 6.5% 미만으로 내려갔다고 곧바로 "당뇨가 나았다"고 말해서는 안 된다. 국제 합의에서는 일반적으로 혈당강하제를 사용하지 않은 상태에서 HbA1c <6.5%가 최소 3개월 지속될 때 관해라고 정의한다. 다만 생활습관 중재의 효과를 HbA1c로 신뢰성 있게 판정할 때는 중재 시작 후 최소 6개월이 지난 시점을 사용하고, 이전에 혈당강하제를 사용했다면 중단 후 최소 3개월이 지난 것도 확인한다.[47]

[42] ADA (2026); Chapters 12, 20, 21, and 23 of this book.
[43] ADA (2026), recommendation 5.26: educate people at DKA risk treated with SGLT inhibition and discourage a ketogenic eating pattern.
[44] ADA (2026), carbohydrate section: very-low-carbohydrate eating plans are not currently recommended for pregnancy/lactation, children, kidney disease, or people with or at risk for disordered eating.
[45] Gardner et al. (2022); Goldenberg et al. (2021); Choy & Louie (2023).
[46] ADA (2026), recommendation 5.31; Chapter 17 of this book prioritizes unsaturated plant fats and individual lipid monitoring.
[47] Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. Diabetes Care, 44(10), 2438-2444.

저탄수화물 메타분석에서 약물사용 여부를 무시한 관해 정의는 6개월에 크게 유리했지만, **약물 없이**라는 조건을 붙이면 효과가 훨씬 작아졌다.[48] 이 차이는 관해 연구에서 약물정보가 얼마나 중요한지를 보여준다.

또 관해는 특정 식단의 독점적 결과가 아니다. 큰 체중감량과 체중유지가 관해에 강하게 연관되고, DiRECT는 식단의 이름보다 에너지감소와 체중감량, 이후 유지관리의 중요성을 잘 보여줬다.[49]

따라서 식물성 케톤식의 목표도 "케톤 수치를 높이는 것" 그 자체가 아니라 **약물 안전성을 지키면서 혈당·체중·지질·근육·생활 지속가능성을 개선하고, 가능한 사람에서는 관해 조건에 접근하도록 돕는 것**이어야 한다.[50]

9. 최종적으로 강하게 말할 수 있는 것과 아직 기다려야 할 것

용어 | 근거확실도
Certainty of evidence
현재 추정치가 실제 효과에 얼마나 가까울 것으로 믿을 수 있는지를 나타낸다. 직접성·이질성·비뚤림 위험 등에 따라 달라진다.

표 27-4. 현재 과학이 허용하는 최종 문장

질문	현재 결론	확신 수준	책에서 허용하는 표현
건강한 식물식이 T2D 관리에 도움이 되는가	그렇다	비교적 높음	"유효한 선택지다"
탄수화물 감소가 단기 혈당개선에 도움이 되는가	그렇다	비교적 높음	"특히 단기 혈당을 개선할 수 있다"
케톤식이 모든 식사보다 우월한가	아니다	중등도	"일부 지표에 장점이 있으나 전반적 우월성은 확정되지 않았다"
식물성 케톤식이 일반 케톤식보다 우월한가	아직 모름	낮음	"직접 비교시험이 필요하다"
식물성과 케톤의 결합에 시너지가 있는가	가능성은 있으나 미확정	낮음	"검증할 가치가 있는 가설이다"
12주 개선이 장기 관해를 보장하는가	아니다	높음	"장기 유지와 재평가가 필요하다"

출처: ADA (2026); Guest et al. (2024); Goldenberg et al. (2021); Choy & Louie (2023); Mazzola et al. (2026); Riddle et al. (2021).[51]

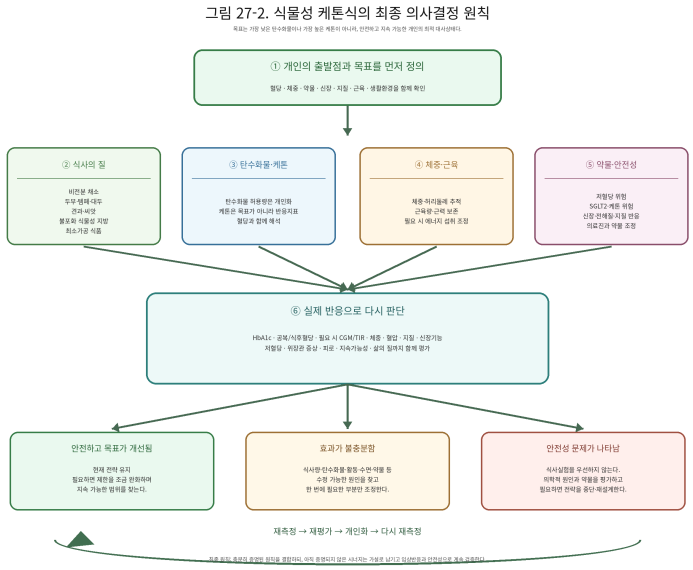
이 표에서 가장 중요한 것은 마지막 세 줄이다. 이 책은 식물성 케톤식을 하나의 유망한 대사전략으로 제안하지만, 아직 직접 근거가 부족한 부분을 이미 증명된 사실처럼 쓰지 않는다.[52]

반대로 근거가 부족하다는 이유로 모든 가능성을 버릴 필요도 없다. 식물식과 탄수화물 제한 각각에 축적된 임상근거, 지방의 질과 식이섬유에 관한 생리학, 새롭게 등장한 PB-LCD/PB-KD RCT 문헌

[48] Goldenberg et al. (2021). Six-month remission effect was large when medication use was ignored and much smaller under medication-free definitions.
[49] Lean, M. E. J., Leslie, W. S., Barnes, A. C., et al. (2018, 2019) DiRECT trial reports; sustained weight loss was strongly related to remission.
[50] Author synthesis of Chapters 20-25 and Riddle et al. (2021).
[52] Internal evidence hierarchy and Chapter 15/26 conclusions.

은 충분히 다음 단계 연구를 정당화한다.[53]

그림 27-2. 식물성 케톤식의 최종 의사결정 원칙



출처: 제27장의 근거 통합·개인화·안전성·장기 모니터링 원칙을 바탕으로 구성.

10. 이 책이 최종적으로 제안하는 것은 '하나의 숫자'가 아니다

용어 | 개인화 영양
Personalized nutrition
하나의 고정 비율이 아니라 혈당, 체중, 지질, 약물, 신장기능, 선호도와 지속가능성을 반영해 식사를 조정하는 접근이다.

식물성 케톤식은 탄수화물을 가능한 한 낮추는 경쟁이 아니다. 케톤 수치를 가능한 한 높이는 경쟁도 아니다. 목표는 **혈당을 낮추면서도 심혈관 위험과 영양상태, 근육, 신장기능, 생활 지속가능성을 함께 지키는 대사전략**이다.[54]

그래서 어떤 사람에게는 비교적 엄격한 케톤 단계가 짧게 필요할 수 있고, 다른 사람에게는 식물성 저탄수 수준만으로 충분할 수 있다. 혈당이 안정되고 약물이 줄며 체중과 지질이 좋아진다면 더 많은 비전분 채소와 제한적인 콩류·통식품 탄수화물을 재도입할 수도 있다.[55] 반대로 HbA1c는 좋아졌지만 LDL-C/ApoB가 크게 오르거나

[53] Guest et al. (2024); Goldenberg et al. (2021); Mazzola et al. (2026); ADA (2026).
[54] Author definition of the therapeutic objective; consistent with ADA individualized metabolic goals and nutrient-quality principles.
[55] Individualized carbohydrate titration principle from Chapters 19 and 22; this is a clinical framework, not a universal fixed carbohydrate prescription.

영양섭취와 삶의 질이 나빠진다면 전략을 다시 설계해야 한다.[56]

현재 과학이 가장 강하게 지지하는 메시지는 특정 유행식단의 승리가 아니다. **식품의 질을 높이고, 필요에 따라 탄수화물을 줄이며, 체중과 근육을 관리하고, 약물과 안전성을 함께 모니터링하는 개인화된 식사전략**이다.[57] ADA 2026 역시 하나의 이상적 다량영양소 비율보다 개인의 대사목표와 식품의 질을 중심에 둔다.[58]

식물성 케톤식의 가치는 바로 이 지점에서 평가되어야 한다. 이미 충분히 증명된 원칙을 결합하되, 아직 증명되지 않은 시너지는 가설로 남겨두는 것. 효과가 있는 사람에게는 사용할 수 있지만 모든 사람의 정답이라고 말하지 않는 것. 그리고 데이터가 새로 들어오면 결론의 강도도 함께 업데이트하는 것. 이것이 이 책이 선택한 과학적 태도다.[59]

다음 단계는 책 전체를 닫는 일이 아니라, 이 결론을 더 강하게 검증하는 것이다. 장기 무작위시험에서 식물성 케톤식과 식물성 저탄수식, 지중해식, 일반 케톤식을 직접 비교하고, HbA1c뿐 아니라 약물감량, 관해, ApoB, 신장기능, 영양충족도, 근육량, 삶의 질과 장기 순응도를 함께 추적해야 한다.[60]

제27장 핵심 참고문헌

Guest, N. S., Raj, S., Landry, M. J., et al. (2024). Vegetarian and Vegan Dietary Patterns to Treat Adult Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Advances in Nutrition, 15(10), 100294.

Goldenberg, J. Z., Day, A., Brinkworth, G. D., et al. (2021). Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: Systematic review and meta-analysis. BMJ, 372, m4743.

Choy, K. Y. C., & Louie, J. C. Y. (2023). The effects of the ketogenic diet for the management of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of recent studies. Diabetes & Metabolic Syndrome, 17(12), 102905.

Ghasemi, P., Jafari, M., Jafari Maskouni, S., et al. (2024). Impact of very low carbohydrate ketogenic diets on cardiovascular risk factors among patients with type 2 diabetes. Nutrition & Metabolism, 21(1), 50.

[56] Gardner et al. (2022); ADA (2026); Chapter 17 lipid monitoring framework.

[57] ADA (2026) emphasizes individualized meal plans, nutrient quality, weight goals, high-fiber minimally processed foods, plant proteins, and selected carbohydrate reduction.

[58] ADA (2026), recommendations 5.13-5.15 and nutrition therapy goals.

[59] Author synthesis of the book's evidence methodology and conclusion.

[60] Research agenda proposed by the author based on current direct-evidence gaps identified in Mazzola et al. (2026) and the internal database.

Gardner, C. D., Landry, M. J., Perelman, D., et al. (2022). Effect of a ketogenic diet versus Mediterranean diet on glycated hemoglobin in individuals with prediabetes and type 2 diabetes mellitus. American Journal of Clinical Nutrition, 116(3), 640-652.

Mazzola, G., Rondanelli, M., Cabrini, C., & Perna, S. (2026). Metabolic, adherence, and sustainability outcomes of plant-based low-carbohydrate and ketogenic diets: A systematic review of clinical evidence. Nutrition, 148, 113222.

Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., et al. (2021). Consensus report: Definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. Diabetes Care, 44(10), 2438-2444.

American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2026). Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care, 49(Suppl 1), S89-S130.