



40일간 굶는 몸의 시간표

카힐의 40일 연구, 혈당과 케톤과 자가포식을 중심으로

컬러 PDF · 개인 영구 소장

이 PDF는 무료 샘플입니다

이 책의 앞표지와 앞 **50쪽**, 뒤표지를 읽어 보실 수 있습니다. 51쪽부터는 ssbook.kr에서 구매하시면 전체를 보실 수 있습니다.

ssbook.kr/book/fasting-40days

POD 정가 ~~18,000원~~ → **10,800원** (60%)

ssbook.kr 홈페이지 안내

- **시리즈별 서가** — 인삼 · 오토파지 · 식물성 저탄고지 · 단식 · 생물리학 · 독립영양인간 · 중고등학교 교재 · 채식 · 라이프스타일 · 고대사
- **책마다 고유 주소** — 링크를 보내면 누구나 표지 · 소개 · 무료 샘플을 볼 수 있습니다
- **구매** — 회원가입(이메일 인증) 후 카드 결제(쿠키페이) → 내 서재에서 전체 컬러 PDF 내려받기
- **가격** — 종이책 POD 가격의 60%, 전 페이지 컬러 PDF
- **이용 범위** — 개인 영구 소장 가능, 공개 배포 · 재판매 · 공유 금지(내려받은 파일에는 구매자 정보가 표시됩니다)
- **책 신청 게시판** — 회원은 자유게시판에서 원하는 책 내용을 신청할 수 있습니다

FASTING · GLUCOSE · KETONES

40일간 굶는 몸의 시간표

카힐의 40일, 혈당과 케톤과 자가포식



네 시간에서 마흔 날까지, 굶는 몸이 연료를 바꾸는 순서를 읽는다

이광조 지음

 SSP 과학과영성출판사

FASTING · GLUCOSE · KETONES

40일간 굶는 몸의 시간표

카힐의 40일, 혈당과 케톤과 자가포식

이광조 지음

 과학과 영성출판사

끓는 몸의 시간표

카힐의 40일, 혈당과 케톤과 자가포식

끓는 몸의 시간표

카힐의 40일, 혈당과 케톤과 자가포식

지은이	이광조 박사 (한국식품영양연구소 소장)
연구소	한국식품영양연구소 · 충남 금산군 금성면 장목동길 8-18 · 전화 070-4070-3369 · klifestyle.net
판본	초판 · 판본 v1 · 2026-09-21
판형	신국판 152×225mm · 본문 Noto Serif CJK KR 10pt
근거 자료	이 책을 위해 만든 단식 논문 데이터베이스 fasting_db(PubMed의 단식·기아·케톤체·혈당 논문 0편의 서지·초록)와 자가포식 데이터베이스 autophagy_db(논문 0편·오픈엑세스 전문 0편). 그 가운데 철회·정정·초록 없는 문헌을 뺀 코퍼스 184,480편을 근거로 썼고, 인용한 논문은 모두 PubMed 원 서지와 영어 초록으로 확인했다

이 책은 굶는 동안 몸에서 일어나는 일을 일반 독자가 이해할 수 있도록 풀어 쓴 교양서입니다. 의학
적 진단이나 치료를 대신하지 않습니다. 하루를 넘기는 단식은 진료와 혈액검사를 거쳐 시작하고, 사
흘을 넘기는 단식은 의료진의 감독 아래에서 하십시오. 21일을 넘는 단식은 이 책이 권하지 않습니
다. 당뇨약·인슐린·SGLT2 억제제를 쓰는 분, 임신·수유 중인 분, 성장기 어린이와 청소년, 저체중이
거나 섭식장애를 겪은 분, 간·콩팥·심장에 병이 있는 분은 단식을 스스로 시작하지 마십시오. 약은 처
방한 의사만 조절합니다. 오래 굶는 뒤의 첫 끼는 재급식증후군의 위험이 있어 며칠에 걸쳐 천천히
돌아와야 합니다. 책 속의 인물과 사건은 설명을 위해 지어낸 것이며, 인용한 연구는 모두 실제 논문
으로 각 장 끝에 출처를 밝혔습니다.

차례

한국식품영양연구소와 이 책	7
머리말 — 굶는 몸을 시간으로 읽는다	10

제1부 연료의 지도

1장 40일을 견딘 사람들	13
2장 창고가 셋인 몸	21
3장 몸이 끝까지 지키는 숫자, 혈당	29
4장 뇌가 쓰는 하루치 포도당	37
5장 카힐의 다섯 단계	45

제2부 제1기 — 먹은 것이 도는 네 시간

6장 밥 한 그릇의 네 시간	55
7장 인슐린이라는 저장 스위치	63
8장 네 시간 뒤, 조용한 전환	71
9장 먹을 때 자가포식은 잠근다	78

제3부 제2기 — 글리코겐을 꺼내 쓰는 밤

10장 간의 글리코겐	87
11장 글루카곤, 반대쪽 스위치	95
12장 아침 공복 혈당은 어디서 오나	102
13장 열두 시간과 열여섯 시간 사이	110
14장 배고픔의 파도	118

제4부 제3기 — 몸이 포도당을 만든다

15장 없는 것을 만드는 공장	127
16장 근육이 내놓는 알라닌	134
17장 젖산은 버려지지 않는다	141
18장 지방이 케톤으로 바뀌는 길	148
19장 하루가 지나면 자가포식이 커진다	156
20장 재활용 공장의 내부	163

제5부 제4기 — 케톤 적응, 사흘에서 세 주

21장 사흘째의 전환점	171
--------------	-----

22장 배고픔이 사라지는 이유	179
23장 몸이 벽돌을 아끼기 시작한다	187
24장 뇌가 케톤을 먹는다	195
25장 콩팥이 암모니아를 내보내는 까닭	202
26장 케톤은 연료이자 신호다	209
27장 낡은 것부터 먹는다	217
28장 케톤증과 케톤산증은 다르다	224

제6부 제5기 — 셋째 주에서 40일까지

29장 케톤이 더는 오르지 않는 날	233
30장 콩팥이 절반의 포도당을 만든다	241
31장 몸은 얼마나 아껴 쓰게 되나	248
32장 며칠까지 견딜 수 있나	256
33장 오래 굶는 몸에서 자가포식은	263
34장 굶주림이 남긴 자료	271

제7부 돌아오는 길 — 재급식

35장 첫 끼가 위험한 이유	279
36장 며칠에 걸쳐 돌아온다	287
37장 인슐린이 다시 켜지면	295

제8부 일상의 시간표

38장 단계를 올리는 길	304
39장 누가 하면 안 되는가	312
40장 다시 연료의 지도 앞에서	320

부록

부록 A 이 책의 용어	328
부록 B 이 책이 기댄 사람 대상 연구	333
부록 C 한 장으로 보는 시간표	347
부록 D 이 책의 근거 지도	349
부록 E 찾아보기	351
부록 F 자주 묻는 물음 서른 가지	354
부록 G 이 책의 숫자 대장	357

한국식품영양연구소와 이 책

이 책은 굶는 동안 몸에서 일어나는 일을 시간 순서대로 따라가는 책입니다. 본문으로 들어가기 전에, 이 책을 쓴 사람과 그가 이끄는 연구소를 간단히 소개합니다.

지은이 이광조 박사

이광조 박사는 서울대학교에서 식품영양학 박사 학위를 받았고, 30년 가까이 식품과 영양을 연구해 왔습니다. 지금은 한국식품영양연구소 소장으로 연구를 이끌고 있습니다. 교육 기관인 한국생활건강학원을 세웠고, 과학과영성출판사의 대표를 맡고 있습니다. 연구자마다 붙는 국제 고유번호인 ORCID는 0009-0006-9739-3825입니다.

지은이가 쓴 책으로는 『채식이야기』, 『채식치유학』, 『과학과 초월의 길목에서』, 『역사 속의 채식인』, 『식물성 케톤식』이 있습니다. 오랫동안 한 가지 질문을 붙들어 왔습니다. **먹는 것과 먹지 않는 것이 사람 몸의 대사를 어떻게 바꾸는가** 하는 질문입니다.

식품영양을 연구하는 사람이 왜 단식에 관한 책을 쓰는지 궁금할 수 있습니다. 답은 간단합니다. **단식은 영양학의 반대편이 아니라 영양학의 한 장**이기 때문입니다. 무엇을 먹는가만큼 언제 먹고 언제 먹지 않는가가 대사를 바꿉니다. 그리고 그 변화는 혈당과 케톤이라는 숫자로 잴 수 있습니다. 이 책은 그 숫자들을 시간 순서로 늘어놓은 것입니다.

[표 I-1] 지은이와 연구소 한눈에 보기

항목	내용
지은이	이광조 박사 — 서울대학교 식품영양학 박사, 한국식품영양연구소 소장
임상연구	사람 대상 무작위 이중맹검 위약대조 시험 수행, SCIE 논문 3편(모두 제1저자)
그 밖의 일	한국생활건강학원 설립자, 과학과영성출판사 대표
저서	『채식이야기』 『채식치유학』 『과학과 초월의 길목에서』 『역사 속의 채식인』 『식물성 케톤식』
연구소	식품·영양·대사 연구, 사람 대상 연구의 설계와 통계분석
ORCID	0009-0006-9739-3825

한국식품영양연구소가 하는 일

한국식품영양연구소는 먹는 것이 몸에서 무엇을 바꾸는지를 연구하는 곳입니다. 연구는 크게 세 갈래입니다. 첫째는 식품과 영양, 그리고 음식이 에너지와 몸의 재료로 바뀌는 과정인 대사입니다. 둘째는 식물성 식사, 케톤식, 단식처럼 먹는 방식 자체를 바꾸는 식이법입니다. 셋째는 이런 질문을 사람에게서 확인하는 방법, 곧 사람을 대상으로 한 연구를 설계하고 자료를 통계로 분석하는 일입니다.

한 가지는 분명히 해 둡니다. **한국식품영양연구소는 의료기관이 아닙니다.** 진료나 처방을 하지 않습니다. 하루를 넘기는 단식은 진료와 혈액검사를 거쳐 시작해야 하고, 사흘을 넘기는 단식은 의료진의 감독이 필요합니다. 약을 쓰고 계신 분의 약 조절은 처방한 의사만 합니다. 이 책도 같은 원칙 위에 서 있습니다.

이 책의 근거 자료

이 책을 쓰기 위해 두 개의 논문 데이터베이스를 만들어 썼습니다. 하나는 **fasting_db**로, PubMed에서 단식·기아·케톤체·혈당에 관한 논문의 서지와 초록을 모은 것입니다. 다른 하나는 **autophagy_db**로, 자가포식에 관한 논문과 오픈액세스 전문을 모은 것입니다. 본문의 인용은 모두 이 두 데이터베이스에서 원 서지와 영어 초록을 확인한 것이며, **초록에 없는 수치는 쓰지 않았습니다.**

인용은 각 장 끝의 「이 장의 출처」에 APA 양식으로 모았고, 책 끝에 전체 참고문헌을 다시 실었습니다. 부록 B에는 이 책이 기댄 사람 대상 연구를 따로 모아 두었습니다.

머리말 — 굶는 몸을 시간으로 읽는다

단식에 관한 책은 많습니다. 그런데 대부분이 “무엇이 좋아지는가”를 말합니다. 이 책은 다른 것을 말합니다. “**몇 시간째에 무엇이 바뀌는가**”입니다.

저는 이 책을 시간표라고 부릅니다. 밥을 먹고 네 시간 동안 몸은 들어온 것을 나눠 쓰고, 네 시간이 지나면 간의 창고를 엽니다. 열두 시간이면 그 창고가 거의 비고, 열네 시간이면 이미 핏속 포도당의 절반 가까이가 몸이 새로 만든 것입니다. 하루를 넘기면 세포 안에서 청소 공장이 돌기 시작하고, 사흘이 지나면 뇌가 다른 연료를 받아들일 준비를 합니다. 열이레가 지나면 케톤은 더 오르지 않고, 다섯 주가 되면 콩팥이 포도당 생산의 절반을 맡습니다.

이 시간표를 처음 그린 사람이 **조지 카힐**입니다. 1960년대 보스턴에서 그와 동료 **조지 오언**은 병원에 입원한 지원자들을 매일 검사하며 40일까지의 굶는 몸을 기록했습니다. 목의 혈관에 가느다란 관을 넣어 뇌가 무엇을 먹는지까지 직접 했습니다. 그렇게 얻은 자료로 그들은 굶는 몸을 다섯 단계로 나누었습니다. 기준은 단 하나, “**지금 핏속의 포도당은 어디서 왔는가**”였습니다.

이 책은 그 다섯 단계를 차례대로 견뎌냅니다. 그리고 그 위에 두 가지를 엮습니다. 하나는 **케톤**입니다. 지방에서 만들어져 뇌까지 가는, 굶는 몸의 두 번째 연료입니다. 다른 하나는 **자가포식**입니다. 세포가 제 안의 낡은 부품을 뜯어 재료로 다시 쓰는 일이며, 굶는 시간이 길어질수록 활발해집니다. 혈당과 케톤이라는 두 숫자를 축으로 삼으면, 이 모든 이야기가 하나의 시간표 위에 놓입니다.

한 가지는 처음부터 분명히 해 두겠습니다. **이 책은 40일 단식을 권하지 않습니다.** 40일은 병원 침대에서 매일 검사를 받으며 이루어진 연구입니다. 이 책에서 40일은 실행할 일정이 아니라 몸을 읽는 지도입니다. 이 책이 권하는 실천은 매일의 열두 시간과 열여섯 시간, 한 달에 한 번의 하루, 그리고 필요하다면 **의료진의 감독 아래** 며칠에서 스무 날까지입니다. 스물하루를 넘기는 단식은 권하지 않습니다.

책의 형식은 네 사람의 대화입니다. 내분비대사내과 의사인 윤재림 교수, 지리산 자락에서 찾집을 하는 마흔일곱의 최도경, 중환자실에서 열두 해를 일한 간호사 한선아, 그리고 중학교 2학년 최우진입니다. 도경은 한 해 동안

하루·이틀·닷새·이레·두 주·스무 날의 단식을 차례로 겪고, 선아는 그때마다 “그러다 사람 잡습니다”라고 말하며 안전의 자리를 지킵니다. 우진은 어려운 말이 나올 때마다 “그게 무슨 뜻이에요?”라고 묻습니다. 중학교 2학년이 이해할 수 있게 쓰겠다는 약속을 지키기 위해 우진이 있습니다.

책 속의 인물과 사건은 설명을 위해 지어낸 것입니다. 도경의 검사 값과 기록도 이야기 속 예시입니다. 그러나 **인용한 연구와 그 수치는 모두 실제 논문**이며, 각 장 끝에 출처를 밝혔습니다. 이 책을 쓰면서 저는 단식·기아·케톤체·혈당에 관한 PubMed 논문과 자가포식 논문을 데이터베이스로 만들어 두고, 문장 하나하나를 그 초록과 대조했습니다. 초록에 없는 수치는 쓰지 않았습니다.

건강은 숫자를 아는 일이 아니라 자기 몸을 아는 일입니다. 그런데 자기 몸을 알려면 몸이 시간에 따라 무엇을 하는지 알아야 합니다. 이 책이 그 시간표가 되었으면 합니다. 읽고 나면 아침 공복 혈당 한 줄이 다르게 보일 것입니다. 그 숫자가 밤새 간이 만들어 넣은 것이라는 사실을, 그리고 그 뒤에서 몸이 얼마나 정교하게 일하고 있는지를 아시게 될 테니까요.

마지막으로 한 가지. 이 책의 숫자들은 누군가의 굶주림과 누군가의 자원에서 나왔습니다. 전쟁의 기근을 겪은 사람들, 다른 사람을 더 잘 먹이려고 스스로 반년을 굶은 자원자들, 그리고 병원 침대에서 매일 채혈에 동의해 준 분들입니다. 그분들에게 이 책을 빚졌습니다.

2026년 9월 **이광조** (한국식품영양연구소 소장)

제 1 부

연료의 지도

01

40일을 견딘 사람들

지리산 자락 산청, 웅석봉이 창으로 보이는 찻집 ‘들돌’ 2층 다락방이다. 3월 첫 화요일 오후, 손님이 끊긴 시간에 네 사람이 낮은 상 앞에 둘러앉았다. 상 위에는 김이 오르는 결명자차 네 잔과, 접힌 자국이 선명한 종이 한 장이 놓여 있다. 찻집 주인 최도경이 지난주에 받은 건강검진 결과지다.

도경 교수님, 이것 좀 봐 주십시오. 숫자가 다 빨간색입니다. 몸무게 92킬로그램, 허리 96센티미터, 공복 혈당 118, 중성지방 210. 혈압도 138에 88이고요.

윤 교수 급한 병은 아니고요, 몸이 보내는 예고편에 가깝습니다. 그런데 도경 씨, 저를 부른 이유가 이 종이 때문만은 아니지요?

도경 예. 실은 열 해 전에 절에서 이레 동안 굶어 본 적이 있습니다. 그때 이상한 일을 겪었어요. 첫 사흘은 죽을 맛이었는데, 나흘째 아침부터 배가 안 고파 집니다. 머리도 맑고요. 그 뒤로 십 년 동안 그게 궁금했습니다. 굶었는데 왜 편해졌을까.

선아 저는 반대쪽 이야기를 하겠습니다. 저는 중환자실에서 열두 해 일했습니다. 오래 못 드신 분들 여럿 봤고요, 그분들이 위험해지는 건 굶는 동안이 아니라 **다시 드시기 시작할 때**였습니다. 그래서 단식 이야기가 나오면 저는 먼저 겁이 납니다.

윤 교수 선아 씨 말씀이 맞습니다. 그 이야기는 35장에서 통째로 한 장을 쓸 겁니다. 오늘은 순서만 잡지요¹.

우진 저는 그냥 궁금한 건데요, 안 먹으면 몸은 뭘 태워요? 살이요?

굶은 몸을 처음으로 제대로 들여다본 사람들

윤 교수 우진이가 제일 중요한 질문을 했구나. 1960년대에 미국 보스턴에 조지 카힐이라는 의사가 있었어. 그때까지 의학은 굶는 몸에 대해 아는 게 거의 없었던단다. 핏속 지방산은 재는 방법조차 없었고, 케톤이라는 물질은 ‘대사의 독’쯤으로 여겨졌지².

우진 독이요? 지금은 아닌가요?

윤 교수 지금은 정반대로 안다. 그걸 뒤집은 게 카힐과 그 동료 오언의 연구야. 이분들은 비만인 지원자를 병원에 입원시켜 놓고, 물과 비타민만 드리면서 **5주에서 6주, 길게는 40일까지** 굶는 동안 매일 피를 뽑았어. 혈당, 인슐린, 지방산, 케톤, 소변으로 나가는 질소까지 전부 잴지^{3,4}.

도경 40일어요? 요즘 같으면 허락이 안 날 것 같은데요.

윤 교수 지금은 그런 연구를 그렇게 하지 않습니다. 그래서 더 귀한 자료이기도 하지요. 이분들은 거기서 멈추지 않고, 목의 혈관에 가느다란 관을 넣어 **뇌로 들어가는 피와 뇌에서 나오는 피를 따로 받아** 견주었습니다. 뇌가 무엇을 얼마나 먹었는지를 사람에게서 직접 잴 겁니다⁵.

선아 결과가 어땠습니까?

윤 교수 오래 굶은 사람의 뇌는 포도당 대신 **케톤을 주된 연료로 쓰고 있었습니다**. 간과 콩팥이 하루에 만드는 포도당도 잴는데, 5~6주째에는 하루 약 86그램, 그것도 간과 콩팥이 거의 절반씩 맡고 있었고요⁶⁷.

도경 콩팥이요? 콩팥은 오줌 만드는 데 아닙니까.

윤 교수 그렇게만 알고 계셨을 겁니다. 그런데 오래 굶으면 콩팥이 포도당 공장의 절반을 맡습니다. 그게 30장 이야기입니다⁸.

이 책이 따라갈 시간표

윤 교수 카힐이 남긴 가장 큰 선물은 숫자가 아니라 **지도**입니다. 혈당이 어디서 오는지에 따라 굶는 몸을 다섯 단계로 나누었거든요. 먹은 것이 도는 네 시간, 글리코젠을 꺼내 쓰는 밤, 몸이 포도당을 만들기 시작하는 하루, 케톤으로 갈아타는 사흘, 그리고 셋째 주부터의 새 평형. 이 책은 그 다섯 단계를 차례대로 걸어갑니다⁹.

우진 그림 1-1을 보니까 부마다 시간이 붙어 있네요. 그러면 저희도 그 시간을 따라가면서 배우는 거예요?

윤 교수 그렇단다. 그리고 한 가지 더 있어. 굶는 동안 세포 안에서는 **자가포식** (autophagy)이라는 일이 커져. 세포가 제 안의 낡은 부품을 뜯어서 재료로 다시 쓰는 청소 작업이야. 이게 언제 켜지고 무엇부터 먹는지를 19장, 20장, 27장에서 볼 거야^{10,11}.

도경 그런데 교수님, 저는 40일은 못 합니다. 가게도 봐야 하고요.

시간을 따라 걷는다 — 네 시간에서 40일까지



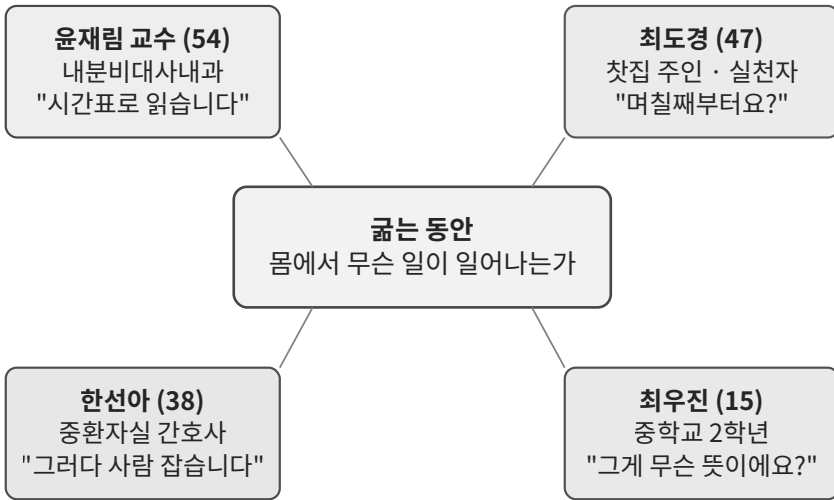
제1기 → 제2기 → 제3기 → 제4기 → 제5기, 그리고 돌아오는 길

[그림 1-1] 이 책이 걸어갈 길 여덟 개의 부가 카힐의 다섯 단계와 회복, 그리고 일상의 시간표로 이어진다. 시간은 네 시간에서 마흔 날까지다(모식도)

윤 교수 하시면 안 됩니다. 40일은 병원에 입원해서 매일 검사받으며 한 연구입니다. 저희가 할 일은 그 지도를 읽는 것이고, 도경 씨가 걸을 길은 따로 있습니다. **하루, 이틀, 닷새, 이레, 두 주, 스무 날** — 박 원장님 진료와 검사를 받으면서 한 칸씩 올라가는 겁니다. 스물하루를 넘기지는 않습니다^{12,1314}.

선아 스무 날도 짧지 않은데요.

윤 교수 그래서 감독이 필요합니다. 독일의 한 단식 전문 병원에서 4일부터 21일까지 단식한 1,422명을 하루하루 기록한 연구가 있습니다. 하루 200~250킬로칼로리의 채수와 즙을 곁들이는 방식이었고, 체중·허리둘레·혈압이 모두 내려갔으며, 혈당은 정상 범위 아래쪽으로 내려가고 케톤은 올라갔습니다. 이상반응은 1퍼센트 미만이었구요¹⁵. 도경 씨가 걸을 길이 바로 이 방식입니다¹⁶.



[그림 1-2] 네 사람의 질문 지도 같은 물음을 네 사람이 서로 다른 자리에서 묻는다(모식도)

우진 저는 학교 자유탐구 주제를 “끓으면 몸은 무엇을 태우는가”로 정할래요.
그림 1-2에 제 질문도 있네요.

윤 교수 지금까지 이야기한 것을 표 1-1로 모았습니다.

도경 좋습니다. 그럼 저는 오늘부터 뭘 하면 되니까?

윤 교수 오늘은 아무것도 하지 마십시오. 몸에 연료 창고가 몇 개이고 각각 얼마나
큰지부터 아셔야 합니다. 그게 다음 시간입니다.

[표 1-1] 이 책이 답할 여섯 가지 질문과 그 자리

질문	어디서 답하나
몸에는 연료 창고가 몇 개 있나	2장
혈당은 왜 65 아래로 잘 내려가지 않나	3·29장
케톤은 언제부터 얼마나 오르나	21·29장
자가포식은 몇 시간째에 켜지나	19·33장
오래 굶으면 왜 근육이 덜 줄어드나	23장
다시 먹을 때 무엇을 조심하나	35·36장

왜 하필 혈당과 케톤인가

선아 교수님, 굶으면 몸에서 수백 가지가 바뀔 텐데 왜 하필 혈당과 케톤 두 가지로 보자고 하십니까?

윤 교수 세 가지 이유가 있습니다. 첫째, **가장 오래, 가장 많이 켜 값**입니다. 1960년대 자료부터 지금까지 이어집니다. 둘째, **집에서 썰 수 있습니다**. 손끝 한 방울이면 됩니다. 셋째, 가장 중요한데요, **이 두 값이 서로 반대로 움직이면서 몸의 단계를 알려 줍니다.**^{17,18}

도경 혈당이 내려가면 케톤이 올라간다는 말씀이군요.

윤 교수 그렇습니다. 혈당이 90에서 70으로 내려가는 동안 케톤은 0.1에서 4로 올라갑니다. 두 숫자를 나란히 적어 두면, 몸이 지금 어느 칸에 있는지 대강 알 수 있습니다¹⁹.

우진 온도계 두 개로 계절을 아는 거랑 비슷하네요.

윤 교수 좋은 비유구나. 그리고 이 두 값 뒤에 나머지가 따라 움직여. 인슐린, 글루카곤, 지방산, 성장호르몬, 소변 질소, 자가포식까지 전부 같은 방향으로 정렬되지. 그래서 이 책은 그 두 숫자를 축으로 삼는단다^{20,21}.

선아 그럼 자가포식은 못 재는 겁니까?

윤 교수 사람에게서 손쉽게 재는 방법은 아직 없습니다. 그래서 이 책은 자가포식을 **혈당과 케톤이라는 보이는 값 위에 얹어** 설명합니다. 보이는 것으로 보이지 않는 것을 읽는 셈이지요.

카힐과 오언은 어떤 사람이었나

우진 카힐이라는 분은 어떤 사람이었어요?

윤 교수 조지 카힐은 미국 보스턴에서 일한 의사이자 연구자란다. 1950년대에 인턴이었을 때 당뇨병성 케톤산증으로 실려 온 아이를 치료하면서 큰 충격을 받았다. **사람 몸이 연료를 어떻게 쓰는지 우리가 너무 모른다는 걸** 그때 깨달았다고 직접 적어 놓았지²².

도경 그때는 뭘 몰랐습니까?

윤 교수 핏속에 지방산이 떠다닌다는 사실 자체를 몰랐습니다. 인슐린을 쥔 방법도 없었고요. 케톤은 몸에 해로운 찌꺼기 정도로 여겨졌습니다.

선아 지금 우리가 당연하게 아는 걸 하나도 모르던 때군요.

윤 교수 그 상태에서 그는 “사람을 오래 굶겨 보면 몸이 연료를 어떻게 다루는지 가장 잘 보인다”고 생각했습니다. 먹는 것이 계속 들어오면 변수가 너무 많으니까, **아무것도 들어오지 않는 상태**를 기준으로 삼은 것입니다.

우진 실험 설계를 그렇게 하는군요.

윤 교수 그리고 조지 오언이라는 동료와 함께 병원에서 그 일을 해냈어. 오언은 나중에 21일 단식 연구까지 이어서 했고³, 뇌 혈관에 관을 넣어 뇌의 연료를 켜 것도 그 팀이야⁵.

도경 두 사람이 평생 한 주제를 판 거군요.

윤 교수 그리고 카힐은 만년에 이렇게 적었습니다. 케톤이 뇌에서 쓰이기 때문에 **사람이 오랜 굶주림을 견딜 수 있었다**고요. 한때 독으로 여겨졌던 물질이 사람을 살려 온 연료였다는 이야기입니다.

우진 그럼 오늘 배운 걸 한 줄로 하면요?

윤 교수 **굶는 몸은 망가지는 몸이 아니라 연료를 바꾸는 몸이다.** 이 한 줄을 확인하는데 마흔 장을 쓸 거란다.

도경 그 한 줄 때문에 제가 일 년을 쓰는군요.

선아 저는 한 줄 더 보태겠습니다. **바꾸는 동안 곁에 사람이 있어야 한다.**

이 장의 세 줄

카힐과 오웬은 1960년대에 사람을 입원시켜 놓고 40일까지 굶는 동안 혈당·인슐린·케톤·질소를 매일 잴고, 목의 혈관에 관을 넣어 뇌가 무엇을 먹는지까지 직접 확인했다.

그 연구에서 굶는 몸은 혈당이 어디서 오는가에 따라 **다섯 단계**로 나뉘었고, 이 책은 그 다섯 단계를 시간 순서대로 걸어간다.

40일은 실행할 일이 아니라 읽을 지도다. 이 책이 원하는 실천은 12·16시간에서 시작해 **의료진 감독 아래 스무 날까지**이며, 스물하루를 넘지 않는다.

이 장의 출처

- Mishra, A., Sobha, D., Patel, D., & Suresh, P. (2024). Intermittent fasting in health and disease. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 130(6), 755–767. <https://doi.org/10.1080/13813455.2023.2268301>
- Cahill, G. F. (2006). Fuel metabolism in starvation. *Annual Review of Nutrition*, 26, 1–22. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258>
- Owen, O. E., Smalley, K. J., D'Alessio, D. A., Mozzoli, M. A., & Dawson, E. K. (1998). Protein, fat, and carbohydrate requirements during starvation: anaplerosis and cataplerosis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68(1), 12–34. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.1.12>
- Ulupınar, S., Terzi, M., Çamlı, A., Asan, S., Şeran, B., İnce İ, Gençoğlu, C., Çabuk, S., Yağan, E., & Özbay, S. (2026). Duration-Dependent Changes in Body Composition During Prolonged Fasting: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrition Reviews*. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuag092>
- Owen, O. E., Morgan, A. P., Kemp, H. G., Sullivan, J. M., Herrera, M. G., & Cahill, G. F. (1967). Brain metabolism during fasting. *The Journal of Clinical Investigation*, 46(10), 1589–95. <https://doi.org/10.1172/jci105650>
- Owen, O. E., Felig, P., Morgan, A. P., Wahren, J., & Cahill, G. F. (1969). Liver and kidney metabolism during prolonged starvation. *The Journal of Clinical Investigation*, 48(3), 574–83. <https://doi.org/10.1172/jci106016>
- Tricò, D., Jiang, L., Spicer, D., Page, K., Belfort de Aguiar, R., Naik, S., Savoye, M., Caseria, D. M., Arora, J., Mason, G. F., Constable, T., Rothman, D. L., & Herzog, R. I. (2026). Ketone Bodies Derived From Medium-Chain Triglycerides Support Brain Metabolism and Function Under Hypoglycemia in Type 1 Diabetes Mellitus. *Diabetes*, 75(9), 1644–1656. <https://doi.org/10.2337/db26-0293>
- Barve, R. A., Veronese, N., Bertozzi, B., Tosti, V., Cagigas, M. L., Spelta, F., Cava, E., Piccio, L., Early, D. S., Head, R. D., & Fontana, L. (2025). Cardiometabolic and molecular adaptations to 6-month intermittent fasting in middle-aged men and women with overweight: secondary outcomes of a randomized controlled trial. *Nature Communications*, 16(1), 11370. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-66366-8>
- Tang, L., Li, L., Bu, L., Guo, S., He, Y., Liu, L., Xing, Y., Lou, F., Zhang, F., Wang, S., Lv, J., Guo, N., Tong, J., Xu, L., Tang, S., Zhu, C., & Wang, Z. (2021). Bigu-Style Fasting Affects Metabolic Health by Modulating Taurine, Glucose, and Cholesterol Homeostasis in Healthy Young Adults. *The Journal of Nutrition*, 151(8), 2175–2187. <https://doi.org/10.1093/jn/nxab123>

10. Bensalem, J., Teong, X. T., Hattersley, K. J., Hein, L. K., Fourrier, C., Dang, L. V. P., Singh, S., Liu, K., Wittert, G. A., Hutchison, A. T., Heilbronn, L. K., & Sargeant, T. J. (2025). Intermittent time-restricted eating may increase autophagic flux in humans: an exploratory analysis. *The Journal of Physiology*, 603(10), 3019–3032. <https://doi.org/10.1113/jp287938>
11. Kim, J., Kundu, M., Viollet, B., & Guan, K. L. (2011). AMPK and mTOR regulate autophagy through direct phosphorylation of Ulk1. *Nature Cell Biology*. <https://doi.org/10.1038/ncb2152>
12. Lilja, S., Stoll, C., Krammer, U., Hippe, B., Duszka, K., Debebe, T., Höfner, I., König, J., Pointner, A., & Haslberger, A. (2021). Five Days Periodic Fasting Elevates Levels of Longevity Related Christensenella and Sirtuin Expression in Humans. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(5). <https://doi.org/10.3390/ijms22052331>
13. Li, C., Sadraie, B., Steckhan, N., Kessler, C., Stange, R., Jeitler, M., & Michalsen, A. (2017). Effects of A One-week Fasting Therapy in Patients with Type-2 Diabetes Mellitus and Metabolic Syndrome - A Randomized Controlled Explorative Study. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes : Official Journal, German Society of Endocrinology [and] German Diabetes Association*, 125(9), 618–624. <https://doi.org/10.1055/s-0043-101700>
14. Cahill, G. F. (1970). Starvation in man. *The New England Journal of Medicine*, 282(12), 668–75. <https://doi.org/10.1056/nejm197003192821209>
15. Wilhelmi de Toledo, F., Grundler, F., Bergouignan, A., Drinda, S., & Michalsen, A. (2019). Safety, health improvement and well-being during a 4 to 21-day fasting period in an observational study including 1422 subjects. *PloS One*, 14(1), e0209353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209353>
16. Horne, B. D., Muhlestein, J. B., & Anderson, J. L. (2015). Health effects of intermittent fasting: hormesis or harm? A systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 102(2), 464–70. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.109553>
17. Qi, D., Nie, X., & Zhang, J. (2025). A Systematic Review and Meta-Analysis of the Impacts of Time-Restricted Eating on Metabolic Homeostasis. *Angiology*, 76(6), 511–524. <https://doi.org/10.1177/00033197241228046>
18. Martins, C., Roekenes, J., Hunter, G. R., & Gower, B. A. (2021). Association between ketosis and metabolic adaptation at the level of resting metabolic rate. *Clinical Nutrition*, 40(8), 4824–4829. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.06.029>
19. O'Brien, T., O'Brien, P. C., & Service, F. J. (1993). Insulin surrogates in insulinoma. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 77(2), 448–51. <https://doi.org/10.1210/jcem.77.2.8345050>
20. Beer, S. F., Bircham, P. M., Bloom, S. R., Clark, P. M., Hales, C. N., Hughes, C. M., Jones, C. T., Marsh, D. R., Raggatt, P. R., & Findlay, A. L. (1989). The effect of a 72-h fast on plasma levels of pituitary, adrenal, thyroid, pancreatic and gastrointestinal hormones in healthy men and women. *The Journal of Endocrinology*, 120(2), 337–50. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1200337>
21. Nørrelund, H., Nair, K. S., Nielsen, S., Frystyk, J., Ivarsen, P., Jørgensen, J. O., Christiansen, J. S., & Møller, N. (2003). The decisive role of free fatty acids for protein conservation during fasting in humans with and without growth hormone. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 88(9), 4371–8. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030267>
22. Ke, P., Zhou, H., Wang, Z., Wu, X., Lin, H., & Huang, X. (2014). Establishment of blood β -hydroxybutyrate threshold for diagnosis of type 2 diabetes ketoacidosis. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao = Journal of Southern Medical University*, 34(10), 1507–10.

창고가 셋인 몸

3월 중순, 비가 내렸다. 찻집 2층 창에 빗줄기가 흘렀다. 우진이 학교에서 빌려 온 작은 화이트보드를 벽에 기대 놓고 마커를 들었다.

우진 교수님, 지난번에 창고 이야기를 하셨잖아요. 그걸 그려 볼게요. 몸에 창고가 몇 개예요?

윤 교수 셋이란다. 이름부터 알려 줄게. **글리코젠, 지방, 그리고 단백질.**

도경 저는 보일러 배관을 십팔 년 했습니다. 기름 탱크, 전기, 가스 — 연료가 셋인 집이랑 비슷한 겁니까?

윤 교수 딱 그렇습니다. 그런데 이 세 창고는 크기가 하늘과 땅 차이이고, 꺼내 쓰는 방법도 다릅니다.

첫째 창고: 글리코젠 — 작고 빠르다

윤 교수 글리코젠은 포도당을 여러 개 이어 붙여 만든 덩어리입니다. 간과 근육에 들어 있지요. 특징은 **작고 빠르다**는 겁니다. 꺼내 쓰기는 제일 쉬운데, 양이 얼마 안 됩니다¹.

선아 얼마나 안 되는데요?

윤 교수 저녁을 먹고 자리에 누워 아침에 일어나면, 간에 있던 글리코젠은 이미 거의 다 쓴 상태입니다. 연구자들은 이 지점을 **대사 스위치가 넘어가는 자리**라고 부릅니다. 대개 마지막 식사에서 열두 시간쯤 지나면 간의 글리코젠이 바닥나고 지방이 풀려 나오기 시작한다는 뜻이지요¹².

우진 그럼 근육에 있는 글리코젠은요? 그건 꽤 많다고 들었어요.

윤 교수 좋은 질문이야. 근육 글리코젠은 간보다 훨씬 많아. 그런데 **그건 혈당이 되지 못한다.**³

도경 예? 같은 글리코젠인데요?

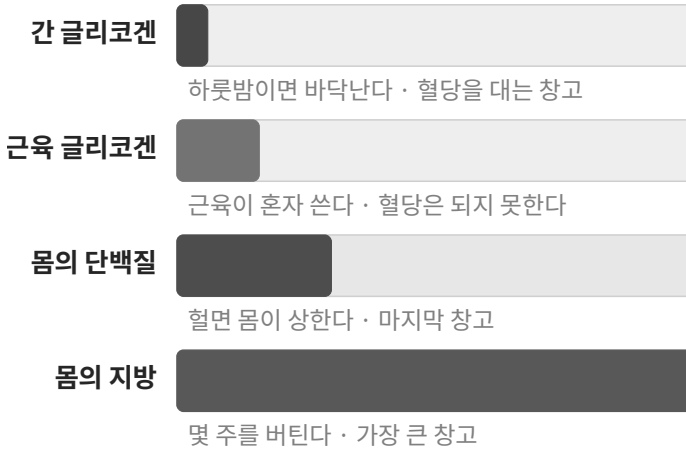
윤 교수 포도당을 핏속으로 내보내려면 마지막 단계에서 떼어 내는 효소가 하나 필요한데, 근육에는 그 효소가 없습니다. 그래서 근육의 글리코젠은

근육이 혼자 쓰는 비상식량입니다. 옆집에 나눠 주지 못하는 쌀독인 셈이지요⁴.

선아 그러면 굶는 동안 혈당을 대는 창고는 사실상 간 하나뿐이네요.

윤 교수 그렇습니다. 그것도 하룻밤이면 바닥나는 창고입니다. 그림 2-1을 보시면 크기 차이가 눈에 들어올 겁니다.

창고 셋의 크기는 하늘과 땅 차이다



막대 길이는 대략의 비례를 보여 주는 모식도다

[그림 2-1] 몸속 연료 창고 셋 막대 길이는 대략의 비례를 보여 주는 모식도이고, 오른쪽 설명은 그 창고의 성격이다(모식도)

둘째 창고: 지방 — 크고 느리다

윤 교수 두 번째가 지방입니다. 몸에서 가장 큰 창고고, 몇 주를 버틸 수 있습니다. 왜 이렇게 클까요? 지방은 **물 없이 저장되기 때문**입니다⁵⁶.

우진 물이요?

윤 교수 글리코겐은 제 무게의 두세 배나 되는 물을 끌고 다녀. 눅눅한 쌀자루 같은 거지. 지방은 물을 거의 안 끼고 뭉쳐 있어서, 같은 무게로 훨씬 많은 에너지를 담는단다. 그래서 몸은 남는 에너지를 결국 지방으로 바꿔 넣어 두는 거야⁷.

도경 그래서 단식 첫 이틀에 몸무게가 확 빠지는 거군요. 글리코젠이 물을 끌고 나가니까.

윤 교수 정확합니다. 도경 씨가 하게 될 첫 단식에서 하루 만에 1킬로그램 넘게 빠질 텐데, 그 대부분은 물입니다. 지방이 그렇게 빨리 빠지지지는 않습니다⁸.

셋째 창고: 단백질 — 창고가 아니라 몸 그 자체

윤 교수 세 번째가 단백질입니다. 그런데 이건 엄밀히 말해 창고가 아닙니다. 근육, 심장, 간, 면역세포, 효소 — 전부 단백질로 지어진 **몸 자체**거든요. 꺼내 쓴다는 건 집의 벽돌을 빼서 때는 일입니다^{9,10,11}.

선아 그런데 굶으면 결국 꺼내 쓰잖아요¹².

윤 교수 씁니다. 안 쓸 수가 없어요. 지방산은 포도당이 되지 못하는데 뇌와 적혈구는 포도당을 요구하니까, 그 포도당의 재료를 어딘가에서 가져와야 합니다. 그 어딘가가 단백질입니다. 이 책 15장부터 그 이야기를 합니다.

도경 그러면 오래 굶으면 근육이 다 없어지는 겁니까?

윤 교수 그래서 몸이 **아끼는 방법**을 배웁니다. 그게 이 책에서 제가 제일 좋아하는 부분이고, 23장에서 다룹니다. 다만 아껴도 완전히 멈추지는 않습니다. 21일을 굶은 사람들을 자세히 조사한 연구를 보면, 몸의 지방과 지방이 아닌 부분(제지방)이 **나란히** 줄어들었습니다. 지방만 골라 쓰지 못한다는 뜻이고, 이것이 단식에 한계를 긋는 이유입니다^{13,14}.

우진 그러면 살찐 사람이 더 오래 버티는 거예요?

윤 교수 대체로 그렇단다. 하지만 그것도 지방이 많아서가 아니라, **제지방이 바닥나기까지 시간이 더 걸려서야**. 이 구분이 32장의 핵심이야¹⁴.

선아 표 2-1을 보니까 이상합니다. 제일 큰 창고인 지방이 혈당은 못 된다는 거잖아요.

윤 교수 바로 그 모순이 굶는 몸의 모든 이야기를 만듭니다. 창고는 가득한데 뇌가 원하는 형태가 아닌 겁니다. 몸이 그 모순을 어떻게 푸는지가 이 책의 4부와 5부고요¹⁵.

도경 답을 미리 알려 주시면 안 됩니까?

[표 2-1] 세 창고의 성격

창고	어디에	꺼내는 속도	혈당이 되나	한계
간 글리코겐	간	매우 빠름	된다	하룻밤이면 바닥
근육 글리코겐	근육	빠름	안 된다	근육이 혼자 쓴다
지방	지방조직·간	느림	안 된다	포도당이 못 된다
단백질	근육·장기	느림	된다	혈면 몸이 상한다

윤 교수 반쪽만 알려 드리지요. 몸은 **지방을 포도당으로 바꾸는 대신, 뇌가 지방을 쓸 수 있는 형태로 바꿉니다.** 그게 케톤입니다.

왜 지방은 포도당이 되지 못하나

우진 아까부터 그게 제일 이상해요. 지방이 그렇게 많은데 왜 포도당으로 못 바뀌요?

윤 교수 화학에서 한쪽으로만 도는 문이 있단다. 지방산은 잘게 쪼개지면 **아세틸-CoA**라는 조각이 되는데, 이 문은 들어갈 수는 있어도 되돌아 나올 수가 없어. 그래서 지방산의 탄소는 포도당이 되지 못하고 그대로 태워지거나 케톤이 되는 거야¹⁶¹⁷.

도경 문이 한쪽으로만 돈다… 역류방지 밸브 같은 거군요. 배관에 흔히 답니다.

윤 교수 아주 좋은 비유입니다. 다만 지방 분자에는 예외가 한 군데 있습니다. 지방은 지방산 세 가닥이 **글리세롤**이라는 짧은 뼈대에 붙은 모양인데, 그 뼈대만은 포도당이 될 수 있습니다.

선아 그 양이 얼마나 되나요?

윤 교수 적지 않습니다. 21일 단식 연구에서 글리세롤이 포도당 만드는 데 기여한 양이 **아미노산 전부를 합친 것과 맞먹었습니다**¹³. 지방이 간접적으로 혈당을 돕는 유일한 통로지요¹⁸.

우진 그러면 지방은 연료는 대 주는데 혈당은 거의 못 대고, 글리세롤만 조금 대는 거네요.

윤 교수 정확하게 정리했다.

창고를 혈면 몸무게는 어떻게 줄어드나

도경 그러면 제가 스무 날을 굶으면 몸무게가 어떻게 줄어들니까? 다 지방입니까?

윤 교수 아닙니다. 순서가 있습니다. 첫 이들은 글리코젠과 그에 딸린 물이 빠져서 하루 1킬로그램 넘게 줄기도 합니다. 그다음부터가 진짜입니다. 지방과 제지방이 함께 줄고, 하루에 빠지는 무게는 오히려 **작아집니다**. 대개 하루 0.3에서 0.5킬로그램 사이지요^{8,19,19}.

선아 그래서 단식 초반에 체중계 숫자를 보고 기뻐하면 안 되는 거군요.

윤 교수 그 숫자의 절반 이상이 물이니깐요. 그리고 다시 먹으면 그만큼 돌아옵니다. 도경 씨가 스무 날 단식을 마치고 회복식을 하면 2킬로그램쯤 되돌아올 텐데, 그건 실패가 아니라 물이 제자리로 오는 것입니다⁷.

창고를 잘못 이해하면 생기는 오해

선아 이 대목에서 사람들이 가장 많이 오해하는 게 뭡니까?

윤 교수 세 가지입니다. 첫째, “**굶으면 근육부터 빠진다**”는 말입니다. 순서가 반대입니다. 몸은 지방을 먼저 씹니다. 다만 근육을 **전혀** 안 쓰는 것은 아니어서, 그 조금이 눈에 띄는 겁니다²⁰.

도경 둘째는요?

윤 교수 “**지방이 많으면 오래 버틸 수 있다**”입니다. 반은 맞습니다. 그런데 32장에서 보시겠지만 날수를 정하는 것은 지방이 아니라 제지방입니다⁷.

우진 셋째는요?

윤 교수 “**글리코젠이 있으면 케톤이 안 나온다**”는 말이 지나치게 단순하게 쓰이는 것이라나. 글리코젠이 줄어들면서 케톤이 서서히 오르지, 딱 끊기고 시작되는 게 아니야.

선아 그럼 저희가 기억할 건 뭡니까?

윤 교수 이 한 문장입니다. “**창고마다 크기와 꺼내는 속도와 대가가 다르다.**” 글리코젠은 작고 빠르고 대가가 없습니다. 지방은 크고 느리고 대가가 없지만 포도당이 못 됩니다. 단백질은 대가가 큼니다. 굶는 몸의 모든 선택은 이 셋 사이의 저울질입니다.

창고라는 비유의 한계

선아 창고 비유가 이해하기는 쉬운데, 어긋나는 부분도 있습니까?

윤 교수 있습니다. 두 가지만 짚겠습니다. 첫째, **핏속 포도당은 창고가 아닙니다**. 몸 전체 핏속에 녹아 있는 포도당은 다 합쳐도 몇 그램밖에 안 됩니다. 각설탕 몇 개 분량이지요²¹.

도경 그게 전부입니까? 혈당 90이라고 하면 꽤 많을 것 같은데요.

윤 교수 농도가 90이지 총량이 90이 아닙니다. 그래서 혈당은 **고여 있는 물이 아니라 흐르는 물**입니다. 간이 계속 부어 주고 세포가 계속 퍼 가면서 수위가 유지되는 겁니다.

우진 그러면 간이 몇 분만 멈춰도 큰일 나겠네요.

윤 교수 그렇단다. 그래서 몸이 그 일에 여러 겹의 안전장치를 두는 거야.

선아 둘째는요?

윤 교수 **창고끼리 서로 바뀐다**는 점입니다. 포도당이 남으면 지방이 되고, 지방이 풀리면 글리세롤이 포도당이 되고, 단백질이 헐리면 포도당도 되고 케톤도 됩니다. 칸막이가 쳐진 창고가 아니라 **서로 통하는 방**에 가깝습니다.

도경 다만 한쪽 문은 일방통행이고요.

윤 교수 지방산에서 포도당으로 가는 문만 막혀 있습니다. 그 문 하나가 막혀 있다는 사실이 이 책 전체를 만듭니다.

선아 정리하면 쓰는 순서가 정해져 있다는 거군요.

윤 교수 글리코젠 → 지방 → 단백질입니다. 그런데 이 순서는 칼로 자르듯 나뉘지 않고 겹칩니다. 다만 **비중이 옮겨 갑니다**.

우진 겹치면서 비중이 옮겨 간다. 적어 둘게요.

윤 교수 이 책에서 그 말이 여러 번 나올 거란다. 몸은 스위치를 딸깍 내리지 않고 손잡이를 천천히 돌리거든.

이 장의 세 줄

몸의 연료 창고는 셋이다. 간 글리코젠은 작고 빨라 하룻밤이면 바닥나고, 근육 글리코젠은 근육이 혼자 쓰며 혈당이 되지 못한다.

지방은 물 없이 저장되어 가장 크고 오래가지만, 포도당으로 바뀌지 못한다. 단백질은 창고가 아니라 몸 자체여서 꺼내 쓰면 몸이 상한다.

굵은 몸의 모든 이야기는 이 모순에서 나온다 — 창고는 가득한데, 뇌가 원하는 형태가 아니다.

이 장의 출처

1. 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>
2. Mattson, M. P., Moehl, K., Ghena, N., Schmaedick, M., & Cheng, A. (2018). Intermittent metabolic switching, neuroplasticity and brain health. *Nature Reviews. Neuroscience*, 19(2), 63–80. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.156>
3. Holdsworth, D. A., Cox, P. J., Kirk, T., Stradling, H., Impey, S. G., & Clarke, K. (2017). A Ketone Ester Drink Increases Postexercise Muscle Glycogen Synthesis in Humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(9), 1789–1795. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001292>
4. Wahren, J., Efendić, S., Luft, R., Hagenfeldt, L., Björkman, O., & Felig, P. (1977). Influence of somatostatin on splanchnic glucose metabolism in postabsorptive and 60-hour fasted humans. *The Journal of Clinical Investigation*, 59(2), 299–307. <https://doi.org/10.1172/jci108641>
5. Pedersen, M. H., Svart, M. V., Lebeck, J., Bidlingmaier, M., Stødkilde-Jørgensen, H., Pedersen, S. B., Møller, N., Jessen, N., & Jørgensen, J. O. L. (2017). Substrate Metabolism and Insulin Sensitivity During Fasting in Obese Human Subjects: Impact of GH Blockade. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 102(4), 1340–1349. <https://doi.org/10.1210/jc.2016-3835>
6. Frayn, K. N., & Humphreys, S. M. (2012). Metabolic characteristics of human subcutaneous abdominal adipose tissue after overnight fast. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 302(4), E468–75. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00527.2011>
7. Ulupinar, S., Terzi, M., Çamli, A., Asan, S., Şeran, B., İnce İ, Gençoğlu, C., Çabuk, S., Yağan, E., & Özbay, S. (2026). Duration-Dependent Changes in Body Composition During Prolonged Fasting: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrition Reviews*. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuag092>
8. Xing, K., Liu, R., Peng, S., Zi, X., Lian, L., Yang, B., Cen, Y., Li, Y., Zhao, Y., & Zhang, Y. (2026). Age-Specific Analysis of the Effects of Intermittent Fasting on Body Composition and Cardiometabolic Markers in Healthy Adults and Individuals with Overweight or Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/nu18111799>
9. Hannaford, M. C., Leiter, L. A., Josse, R. G., Goldstein, M. B., Marliss, E. B., & Halperin, M. L. (1982). Protein wasting due to acidosis of prolonged fasting. *The American Journal of Physiology*, 243(3), E251–6. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1982.243.3.e251>

10. Vendelbo, M. H., Møller, A. B., Christensen, B., Nellemann, B., Clasen, B. F., Nair, K. S., Jørgensen, J. O., Jessen, N., & Møller, N. (2014). Fasting increases human skeletal muscle net phenylalanine release and this is associated with decreased mTOR signaling. *PLoS One*, 9(7), e102031. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102031>
11. Thomsen, H. H., Rittig, N., Johannsen, M., Møller, A. B., Jørgensen, J. O., Jessen, N., & Møller, N. (2018). Effects of 3-hydroxybutyrate and free fatty acids on muscle protein kinetics and signaling during LPS-induced inflammation in humans: anticatabolic impact of ketone bodies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 108(4), 857–867. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy170>
12. Mallinson, J. E., Keeton, M., Nixon, A., Sheth, A., Jones, R., Pabla, P., Senden, J. M., van Loon, L. J., & Tsintzas, K. (2026). Effect of an Acute Prolonged Overnight Fast on Skeletal Muscle Insulin and Anabolic Sensitivity in Healthy Men. *The Journal of Nutrition*, 156(8), 101660. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2026.101660>
13. Owen, O. E., Smalley, K. J., D'Alessio, D. A., Mozzoli, M. A., & Dawson, E. K. (1998). Protein, fat, and carbohydrate requirements during starvation: anaplerosis and cataplerosis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68(1), 12–34. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.1.12>
14. Martin-Rincon, M., Pérez-López, A., Morales-Alamo, D., Perez-Suarez, I., de Pablos-Velasco, P., Perez-Valera, M., Perez-Regalado, S., Martinez-Canton, M., Gelabert-Rebato, M., Juan-Habib, J. W., Holmberg, H. C., & Calbet, J. A. L. (2019). Exercise Mitigates the Loss of Muscle Mass by Attenuating the Activation of Autophagy during Severe Energy Deficit. *Nutrients*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/nu11112824>
15. Zhang, Y., Kuang, Y., Xu, K., Harris, D., Lee, Z., LaManna, J., & Puchowicz, M. A. (2013). Ketosis proportionately spares glucose utilization in brain. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism : Official Journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 33(8), 1307–11. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.87>
16. Kjærulff, M. L. G., Luong, T. V., Richard, G., St-Pierre, V., Søndergaard, E., Møller, N., Gormsen, L. C., Tremblay, S., Croteau, E., & Cunnane, S. C. (2024). Cerebral and myocardial kinetics of [11C]acetoacetate and [11C]β-hydroxybutyrate: A comparative crossover study in healthy rats. *Nuclear Medicine and Biology*, 138-139, 108967. <https://doi.org/10.1016/j.nucmedbio.2024.108967>
17. Svart, M., Rittig, N., Pedersen, S. B., Jessen, N., & Møller, N. (2021). Oral 3-hydroxybutyrate ingestion decreases endogenous glucose production, lipolysis, and hormone-sensitive lipase phosphorylation in adipose tissue in men: a human randomized, controlled, crossover trial. *Diabetic Medicine : A Journal of the British Diabetic Association*, 38(2), e14385. <https://doi.org/10.1111/dme.14385>
18. Owen, O. E., Felig, P., Morgan, A. P., Wahren, J., & Cahill, G. F. (1969). Liver and kidney metabolism during prolonged starvation. *The Journal of Clinical Investigation*, 48(3), 574–83. <https://doi.org/10.1172/jci106016>
19. Manzoor, H. M. I., Sultan, M. T., Hameed, A., Noman, A. M., Khalid, M., Kazmi, M., Sohail, A., Ramadan, M. F., Zongo, E., Rahim, M. A., & Al-Asmari, F. (2026). Effect of Intermittent Fasting on Weight Loss in Overweight and Obese Adults: A Systematic Review of Clinical Trials. *Food Science & Nutrition*, 14(9), e72264. <https://doi.org/10.1002/fsn3.72264>
20. Nørrelund, H., Nair, K. S., Nielsen, S., Frystyk, J., Ivarsen, P., Jørgensen, J. O., Christiansen, J. S., & Møller, N. (2003). The decisive role of free fatty acids for protein conservation during fasting in humans with and without growth hormone. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 88(9), 4371–8. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030267>
21. Landau, B. R., Wahren, J., Chandramouli, V., Schumann, W. C., Ekberg, K., & Kalhan, S. C. (1996). Contributions of gluconeogenesis to glucose production in the fasted state. *The Journal of Clinical Investigation*, 98(2), 378–85. <https://doi.org/10.1172/jci118803>

몸이 끝까지 지키는 숫자, 혈당

우진이 화이트보드에 숫자 하나를 크게 썼다. 90. 그 아래에 물음표를 붙였다.

우진 교수님, 건강검진표에 혈당 118이 빨간 글씨였잖아요. 그럼 정상은 몇이예요?

윤 교수 밥을 먹지 않은 아침에 재면 대략 70에서 99 사이란다. 단위는 mg/dL, 피 100밀리리터에 몇 밀리그램이 들어 있느냐는 뜻이야¹.

도경 118이면 많이 나쁜 겁니까?

윤 교수 당뇨는 아니고 그 앞 단계입니다. 중요한 건 지금부터 할 이야기예요. **몸은 이 숫자를 굉장히 좁은 범위에 가둬 둡니다.** 밥을 먹어도 크게 안 오르고, 하루를 굶어도 크게 안 내려갑니다².

선아 중환자실에서도 그렇습니다. 혈당이 50 아래로 떨어지면 바로 응급이예요. 땀이 나고 손이 떨리고, 더 내려가면 의식이 흐려집니다³.

윤 교수 그게 이 장의 핵심입니다. 혈당은 **너무 높아도 문제지만, 낮아지면 훨씬 빨리 위험해집니다.** 그래서 몸은 혈당을 지키는 장치를 여러 겹으로 두었습니다⁴.

왜 그렇게까지 지키나

윤 교수 이유는 두 기관 때문입니다. 첫째는 뇌입니다. 뇌는 몸무게의 2퍼센트밖에 안 되지만 에너지는 아주 많이 씁니다. 케톤이 없는 평소 상태에서 뇌가 하루에 태우는 포도당은 **100그램쯤**으로 계산됩니다⁵⁶.

우진 밥 한 공기가 탄수화물 70그램쯤이라고 배웠는데, 그럼 뇌 혼자 밥 한 공기 반을 먹는 거네요?

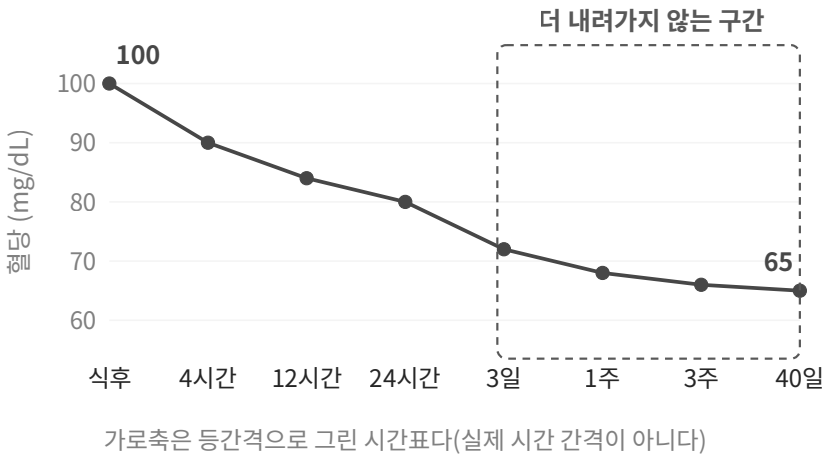
윤 교수 그렇게 보면 된다. 둘째는 적혈구야. 적혈구에는 미토콘드리아가 아예 없어. 산소를 실어 나르는 일에만 집중하려고 발전소를 버린 세포거든. 그래서 적혈구는 **포도당 말고는 아무것도 못 쓴다.**⁷

도경 그러니까 케톤이 아무리 많아도 적혈구는 포도당을 달라고 한다?

윤 교수 그렇습니다. 그래서 굶어도 혈당이 0이 될 수 없습니다. 0이 되기 전에 사람이 먼저 위험해지고, 몸은 그걸 알고 있습니다⁸.

굶으면 혈당은 어디까지 내려가나

윤 교수 이제 실제 자료를 봅시다. 카힐과 오언이 비만인 지원자 열한 명을 입원시켜 오래 굶기며 췌장 값이 있습니다. 혈당과 인슐린은 **첫 사흘 동안 뚜렷하게 떨어졌습니다**. 그런데 그다음이 중요합니다. 사흘이 지나면 더 내려가지 않았어요^{9,10,11}.



[그림 3-1] 굶는 동안의 혈당 식후 100 언저리에서 사흘 만에 70대로 내려간 뒤, 40일까지 그 자리에서 거의 움직이지 않는다. 가로축은 등간격으로 그린 시간표다(모식도)

선아 그림 3-1에서 점선 상자 안이 평평하네요.

윤 교수 그 평평함이 이 책 전체에서 가장 중요한 그림 중 하나입니다. 굶는 몸은 **혈당이 계속 떨어지는 몸이 아닙니다**. 새로운 자리에서 다시 안정되는 몸입니다¹².

도경 저는 굶으면 혈당이 쪽쪽 떨어져서 쓰러지는 줄 알았습니다.

윤 교수 약을 안 드시는 건강한 분은 그렇게 되지 않습니다. 다만 **당뇨약이나 인슐린을 쓰시는 분은 완전히 다릅니다**. 약은 혈당을 끌어내리는데 음식이

안 들어오면 진짜 저혈당이 옵니다. 그래서 39장에서 그분들을 제일 먼저 걸러 내는 겁니다^{13,14}.

선아 그건 저희 병원에서도 가장 흔한 사고입니다. 검사 때문에 금식시켰는데 당뇨약을 그대로 드신 경우요.

65와 70 사이에서 멈추는 이유

우진 그런데 왜 하필 65나 70에서 멈춰요? 더 내려갈 수도 있잖아요.

윤 교수 그 자리가 **몸이 포도당을 만들어 내는 속도와 쓰는 속도가 맞아떨어지는 자리**이기 때문이야. 만드는 쪽은 간과 콩팥이고, 쓰는 쪽은 뇌와 적혈구지. 굶는 동안 뇌가 케톤을 쓰기 시작하면서 포도당을 덜 쓰게 되니까, 적게 만들어도 균형이 맞아. 그 지점이 70 언저리인 거야^{6,1516}.

도경 그러면 제가 단식할 때 혈당을 재 보면 얼마쯤 나올까요?

윤 교수 도경 씨는 시작 혈당이 118이니까 처음엔 높은 데서 출발합니다. 하루를 굶으면 90 언저리, 이틀이면 80 언저리, 닳새쯤 되면 70대 초반까지 내려갈 겁니다. 그리고 거기서 멈출 겁니다. 표 3-1이 그때그때 몸이 하는 일을 정리한 것입니다¹⁷.

[표 3-1] 혈당 값과 그때 몸이 하는 일

혈당(mg/dL)	언제	몸이 하는 일
140 언저리	식후 한 시간	인슐린을 내보내 거둬들인다
90~100	식후 네 시간	글리코젠을 조금씩 헐기 시작
80 언저리	하룻밤 뒤	간이 포도당을 만들어 보탠다
70대	사흘 뒤	케톤이 오르고 포도당을 아껴 쓴다
65~70	그 뒤로 계속	새 평형 — 더 내려가지 않는다
55 아래	약을 쓰는 사람에게 올 수 있다	식은땀·떨림·혼미 — 즉시 먹어야 한다

선아 마지막 줄이 있어서 마음이 놓입니다.

윤 교수 그 줄은 이 책 끝까지 계속 따라다닐 겁니다.

저혈당은 어떻게 오나

선아 저혈당은 단계가 있습니다. 처음엔 배가 고프고 손이 떨리고 식은땀이 납니다. 가슴이 두근거리고요. 이걸 몸이 아드레날린을 내보내서 “빨리 먹어라” 하고 알리는 신호입니다.

우진 그다음은요?

선아 더 내려가면 뇌가 직접 영향을 받아. 말이 어눌해지고 행동이 이상해지고, 심하면 의식을 잃는단다. 병원에서는 그 전에 잡으려고 하지.

윤 교수 중요한 구분이 하나 있습니다. **굵어서 서서히 내려간 70과, 약 때문에 급히 떨어진 70은 몸이 다르게 느낍니다.** 서서히 내려가면 뇌가 케톤이라는 보조 연료를 함께 쓰고 있어서 증상이 거의 없습니다. 급히 떨어지면 케톤도 없는 상태라 곧바로 증상이 옵니다¹⁸.

도경 그래서 저는 굵어도 멀쩡한데, 당뇨약 드시는 분은 위험하다는 거군요.

윤 교수 그렇습니다. 같은 숫자라도 그 숫자에 이르는 길이 다릅니다.

단위와 측정

우진 그런데 저희 학교 과학 선생님은 혈당을 mmol/L로 쓰시던데요?

윤 교수 나라마다 습관이 다르단다. 우리나라 병원은 mg/dL을 쓰고, 유럽 논문은 mmol/L을 많이 써. 바꾸려면 **18로 나누면 돼.** 90을 18로 나누면 5.0mmol/L이지¹⁹.

우진 아, 그럼 70은 3.9네요. 계산기 안 꺼내도 되겠어요.

도경 저도 집에 있는 측정기로 아침마다 재면 되니까?

윤 교수 그러시는 게 좋습니다. 다만 손끝에서 재는 값은 검사실 값과 조금씩 다릅니다. **같은 시간, 같은 손가락, 같은 기계로** 재서 흐름을 보는 게 중요합니다. 하루하루의 숫자보다 일주일의 방향을 보세요²⁰.

선아 기록지에 재는 시각을 같이 적으시면 더 좋습니다. 아침 여섯 시 값과 아홉 시 값은 다릅니다²¹.

혈당을 지키는 장치는 여러 겹이다

우진 혈당을 지키는 장치가 여러 겹이라고 하셨잖아요. 몇 겹이에요?

윤 교수 크게 넷이란다. 첫째는 **간의 글리코겐**이야. 몇 시간을 벌여 주지. 둘째는 **당신생**이야. 며칠에서 몇 주를 벌여 줘. 셋째는 **케톤**이고, 넷째는 **콩팥**이야^{22,15,16}.

도경 앞의 둘은 혈당을 올리는 거고, 뒤의 둘은요?

윤 교수 케톤은 혈당을 올리는 게 아니라 **혈당을 덜 쓰게** 합니다. 뇌가 케톤을 쓰면 포도당 수요가 줄지요. 콩팥은 오래 굶었을 때 공급을 보탭니다⁶.

선아 공급을 늘리는 장치 둘, 수요를 줄이는 장치 하나, 그리고 예비 공장 하나군요.

윤 교수 정확합니다. 그래서 어느 하나가 부족해도 혈당이 쉽게 무너지지 않습니다. 반대로 말하면, 혈당이 무너졌다는 것은 **여러 겹이 한꺼번에 뚫렸**다는 뜻입니다.

도경 약을 쓰는 사람이 그렇겠군요.

윤 교수 인슐린이나 설포닐우레아는 이 장치들을 동시에 무력화합니다. 간이 포도당을 만드는 것도 막고, 세포가 포도당을 가져가는 것도 늘리지요. 그래서 그런 약을 쓰시는 분의 단식은 완전히 다른 이야기가 됩니다⁴.

집에서 재는 혈당, 어디까지 믿나

도경 집에서 재는 혈당계는 얼마나 정확합니까?

윤 교수 기기마다 다르지만 대체로 **검사실 값과 10퍼센트 안팎의 차이**를 허용합니다. 그러니까 90이 나왔다면 실제로는 81에서 99 사이일 수 있습니다²³.

선아 생각보다 폭이 넓네요.

윤 교수 그래서 **한 번의 값으로 판단하지 말라**고 하는 겁니다. 게다가 손끝 혈액은 정맥혈과 조금 다릅니다. 식후에는 손끝 값이 더 높게 나오는 경향이 있고요.

우진 그럼 어떻게 재야 해요?

윤 교수 세 가지를 지키면 된단다. 첫째, **손을 씻고 말린 뒤에** 재는 것. 손에 단 것이 묻어 있으면 값이 엉뚱하게 높게 나와. 둘째, 첫 방울을 닦아 내고 두 번째 방울로 재는 것. 셋째, **같은 시각에 재는 것**.

도경 저는 아침에 일어나자마자 잹습니다.

윤 교수 좋습니다. 그리고 하루하루의 숫자보다 **일주일 평균의 방향**을 보십시오.

오늘 94고 내일 101이어도 놀라실 일이 아닙니다. 잠, 스트레스, 전날 저녁, 날씨까지 영향을 줍니다.

선아 병원에서도 한 번 높게 나온 값으로 진단하지 않습니다. 반복해서 확인하지요.

도경 그러니까 혈당이 내려가는 걸 겁내지 않아도 된다는 말씀이군요.

윤 교수 **약을 쓰지 않는 건강한 몸이라면** 그렇습니다. 그리고 그 단서가 이 책 내내 따라붙을 겁니다.

선아 저는 그 단서 때문에 마음이 놓입니다.

우진 저는 혈당이 흐르는 물이라는 게 제일 신기해요.

이 장의 세 줄

혈당은 몸이 가장 좁게 지키는 숫자다. 뇌가 하루에 포도당 100그램쯤을 쓰고, 적혈구는 미토콘드리아가 없어 포도당 말고는 쓰지 못하기 때문이다.

오래 굶어도 혈당은 0으로 가지 않는다. 사람 연구에서 혈당은 첫 사흘에 내려간 뒤 70 언저리에서 멈추고, 그 뒤로는 거의 움직이지 않았다.

단, 당뇨약·인슐린을 쓰는 사람에게는 이 안전장치가 통하지 않는다. 진짜 저혈당이 올 수 있다.

이 장의 출처

1. Myette-Côté É, Caldwell, H. G., Ainslie, P. N., Clarke, K., & Little, J. P. (2019). A ketone monoester drink reduces the glycemic response to an oral glucose challenge in individuals with obesity: a randomized trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 110(6), 1491–1501. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz232>
2. Blicher, L. H., Hodson, L., Smith, K., Hald, B., Andersen, B., & Karpe, F. (2026). High Basal Skeletal Muscle Glucose Uptake in Normoglycemic and Hyperinsulinemic Overweight Men Is Coupled With an Increase in Alanine-Glucose Cycling. *Diabetes*, 75(8), 1403–1410. <https://doi.org/10.2337/db25-0860>
3. Rossetti, P., Porcellati, F., Ricci, N. B., Candeloro, P., Cioli, P., Bolli, G. B., & Fanelli, C. G. (2008). Different brain responses to hypoglycemia induced by equipotent doses of the long-acting insulin analog detemir and human regular insulin in humans. *Diabetes*, 57(3), 746–56. <https://doi.org/10.2337/db07-1433>
4. Shaefer, C., Reid, T., Vlainic, A., Zhou, R., & DiGenio, A. (2015). FASTING VERSUS POSTPRANDIAL HYPERGLYCEMIA AS A TREATMENT TARGET TO LOWER ELEVATED HEMOGLOBIN A1C. *Endocrine Practice : Official Journal of the American College of Endocrinology and the American Association of Clinical Endocrinologists*, 21(12), 1323–32. <https://doi.org/10.4158/ep14498.or>

5. Halperin, M. L., Marsden, P. A., Singer, G. G., & West, M. L. (1985). Can marked hyperglycemia occur without ketosis? Clinical and Investigative Medicine. *Medecine Clinique Et Experimentale*, 8(4), 253–6.
6. Zhang, Y., Kuang, Y., Xu, K., Harris, D., Lee, Z., LaManna, J., & Puchowicz, M. A. (2013). Ketosis proportionately spares glucose utilization in brain. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism : Official Journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 33(8), 1307–11. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.87>
7. Thomsen, H. H., Sandfeld-Paulsen, B., Bjerg, L. N., & Bech, J. N. (2026). Intermittent exogenous ketosis increases erythropoietin in healthy adults: A randomized, placebo-controlled study with preliminary sex-specific observations. *Physiological Reports*, 14(15), e71041. <https://doi.org/10.14814/phy2.71041>
8. Westcott, F. A., Nagarajan, S. R., Parry, S. A., Savic, D., Green, C. J., Marjot, T., Johnson, E., Cornfield, T., Mózes, F. E., O'Rourke, P., Mendall, J., Dearlove, D., Fielding, B., Smith, K., Tomlinson, J. W., & Hodson, L. (2024). Dissociation between liver fat content and fasting metabolic markers of selective hepatic insulin resistance in humans. *Europe an Journal of Endocrinology*, 191(4), 463–472. <https://doi.org/10.1093/ejendo/lvae123>
9. Owen, O. E., Felig, P., Morgan, A. P., Wahren, J., & Cahill, G. F. (1969). Liver and kidney metabolism during prolonged starvation. *The Journal of Clinical Investigation*, 48(3), 574–83. <https://doi.org/10.1172/jci106016>
10. Landau, B. R., Wahren, J., Chandramouli, V., Schumann, W. C., Ekberg, K., & Kalhan, S. C. (1996). Contributions of gluconeogenesis to glucose production in the fasted state. *The Journal of Clinical Investigation*, 98(2), 378–85. <https://doi.org/10.1172/jci118803>
11. Wahren, J., Efendić, S., Luft, R., Hagenfeldt, L., Björkman, O., & Felig, P. (1977). Influence of somatostatin on splanchnic glucose metabolism in postabsorptive and 60-hour fasted humans. *The Journal of Clinical Investigation*, 59(2), 299–307. <https://doi.org/10.1172/jci108641>
12. Veldhorst, M. A., Westerterp, K. R., & Westerterp-Plantenga, M. S. (2012). Gluconeogenesis and protein-induced satiety. *The British Journal of Nutrition*, 107(4), 595–600. <https://doi.org/10.1017/s0007114511003254>
13. Handelsman, Y., Chovanes, C., Dex, T., Giorgino, F., Skolnik, N., Souhami, E., Stager, W., Niemoeller, E., & Frias, J. P. (2019). Efficacy and safety of insulin glargine/ lixisenatide (iGlarLixi) fixed-ratio combination in older adults with type 2 diabetes. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 33(3), 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2018.11.009>
14. Aravind, S. R., Ismail, S. B., Balamurugan, R., Gupta, J. B., Wadhwa, T., Loh, S. M., Suryawanshi, S., Davies, M. J., Gorman, C. J., Katzeff, H. L., Radican, L., Engel, S. S., & Wolthers, T. (2012). Hypoglycemia in patients with type 2 diabetes from India and Malaysia treated with sitagliptin or a sulfonyleurea during Ramadan: a randomized, pragmatic study. *Current Medical Research and Opinion*, 28(8), 1289–96. <https://doi.org/10.1185/03007995.2012.707119>
15. Owen, O. E., Smalley, K. J., D'Alessio, D. A., Mozzoli, M. A., & Dawson, E. K. (1998). Protein, fat, and carbohydrate requirements during starvation: anaplerosis and cataplerosis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68(1), 12–34. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.1.12>
16. Blomqvist, G., Alvarsson, M., Grill, V., Von Heijne, G., Ingvar, M., Thorell, J. O., Stone-Elander, S., Widén, L., & Ekberg, K. (2002). Effect of acute hyperketonemia on the cerebral uptake of ketone bodies in nondiabetic subjects and IDDM patients. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 283(1), E20–8. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00294.2001>
17. Li, C., Sadraie, B., Steckhan, N., Kessler, C., Stange, R., Jeitler, M., & Michalsen, A. (2017). Effects of A One-week Fasting Therapy in Patients with Type-2 Diabetes Mellitus and Metabolic Syndrome - A Randomized Controlled Explorative Study. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes : Official Journal, German Society of Endocrinology [and] German Diabetes Association*, 125(9), 618–624. <https://doi.org/10.1055/s-0043-101700>

18. Croteau, E., Castellano, C. A., Fortier, M., Bock, C., Fulop, T., Paquet, N., & Cunnane, S. C. (2018). A cross-sectional comparison of brain glucose and ketone metabolism in cognitively healthy older adults, mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Experimental Gerontology*, 107, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.07.004>
19. Jahrami, H., Trabelsi, K., Alhaj, O. A., Saif, Z., Pandi-Perumal, S. R., & BaHammam, A. S. (2022). The impact of Ramadan fasting on the metabolic syndrome severity in relation to ethnicity and sex: Results of a systematic review and meta-analysis. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases : NMCD*, 32(12), 2714–2729. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2022.09.001>
20. Bruno, J., Walker, J. M., Nasserifar, S., Upadhyay, D., Ronning, A., Vanegas, S. M., Popp, C. J., Barua, S., & Alemán, J. O. (2024). Weight-neutral early time-restricted eating improves glycemic variation and time in range without changes in inflammatory markers. *IScience*, 27(12), 111501. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111501>
21. Park, J., Kim, M. S., & Boo, Y. K. (2026). The Effect of Time-Restricted Eating on Metabolic Risk Factors for Cardiovascular Disease and Non-Alcoholic Fatty Liver Disease in Overweight and Obese Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrition Reviews*, 84(4), 667–683. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaf181>
22. 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>
23. Teo, E., Hassan, N., Tam, W., & Koh, S. (2022). Effectiveness of continuous glucose monitoring in maintaining glycaemic control among people with type 1 diabetes mellitus: a systematic review of randomised controlled trials and meta-analysis. *Diabetologia*, 65(4), 604–619. <https://doi.org/10.1007/s00125-021-05648-4>

뇌가 쓰는 하루치 포도당

비가 그치고 해가 났다. 도경이 찻잔을 새로 내오며 물었다.

도경 교수님, 어제 그 이야기 다시 해 주십시오. 뇌가 밥 한 공기 반을 먹는다는 거요. 뇌가 그렇게 크지도 않은데 말입니다.

윤 교수 크기는 몸무게의 2퍼센트쯤입니다. 그런데 에너지는 몸 전체가 쓰는 양의 5분의 1 가까이 씁니다¹.

우진 그게 왜 그래요? 뇌는 가만히 있잖아요.

윤 교수 가만히 있는 게 아니란다. 신경세포는 쉬는 동안에도 끊임없이 **전기를 만들 준비**를 해 둬야 해. 세포막 안팎으로 나트륨과 칼륨을 계속 퍼내고 퍼들이는 펌프가 돌아가는데, 그 펌프가 에너지를 엄청나게 먹지. 생각하지 않아도, 잠을 자도 그 펌프는 돌아간단다².

선아 중환자실에서 의식 없는 환자분도 뇌는 계속 에너지를 씁니다. 그래서 저혈당이 오면 뇌부터 표가 납니다.

왜 뇌는 지방을 직접 못 쓰나

우진 그런데 몸에 지방이 그렇게 많은데, 뇌는 왜 그걸 안 써요?

윤 교수 두 가지 이유란다. 첫째, 지방산은 물에 안 녹아서 핏속을 혼자 못 다녀. 알부민이라는 단백질에 업혀 다니지. 그런데 뇌로 들어가는 문, 그러니까 **혈액뇌장벽**은 그렇게 업혀 온 큰 짐을 잘 들여보내지 않아³⁴.

도경 정수 필터 같은 거군요. 굵은 건 못 지나가는.

윤 교수 그렇습니다. 둘째 이유는 속도입니다. 지방산을 태우는 과정은 산소를 많이 쓰고 단계가 깁니다. 뇌처럼 빠르게 에너지를 뽑아 써야 하는 기관에는 불편하지요⁵.

선아 그런데 케톤은 통과한다는 거죠?

윤 교수 케톤은 작고 물에 잘 녹습니다. 게다가 뇌혈관에는 케톤을 실어 나르는 **전용 운반체**가 있습니다. 굵은 날이 길어지면 이 운반체가 늘어나서 더

많이 들어갑니다. 그래서 굶을수록 뇌가 케톤을 더 잘 쓰게 되는 겁니다
6,789.

도경 지방은 못 들어가는데, 지방으로 만든 케톤은 들어간다. 그러니까 간이 **택배 포장**을 다시 해 주는 셈이네요.

윤 교수 아주 좋은 비유입니다. 그 포장 공장이 18장에서 볼 간세포입니다.

그래도 포도당을 꼭 써야 하는 세포들

윤 교수 그렇다고 포도당이 필요 없어지는 건 아닙니다. 끝까지 포도당만 쓰는 세포들이 있습니다¹⁰.

우진 적혈구요!

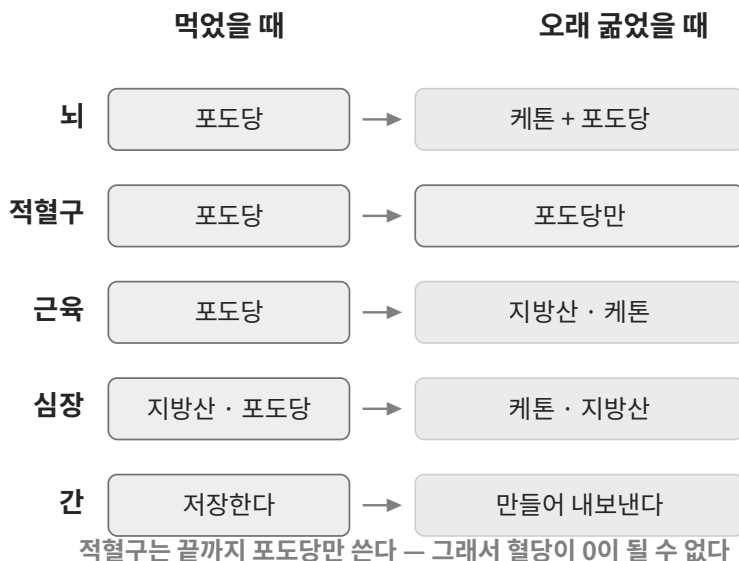
윤 교수 맞아. 미토콘드리아가 없어서 케톤을 태울 발전소 자체가 없지. 그리고 콩팥 속 깊은 부분, 눈의 각막과 수정체, 고환의 일부 세포, 활발히 싸우는 면역세포도 포도당에 많이 기댄단다. 이런 세포들이 있기 때문에 몸은 하루에 얼마씩은 **반드시 포도당을 만들어야** 해¹¹.

선아 그 양이 얼마나 됩니까?

윤 교수 오래 굶은 사람에게서 실제로 잿습니다. 5~6주째에 하루 약 86그램이었습니다. 처음의 절반 이하로 줄었지만 0이 되지는 않았지요¹². 굶는 몸은 포도당 생산을 **줄이되 멈추지는 않습니다**.¹³¹⁴

도경 그림 4-1에서 적혈구 칸만 색이 안 바뀌었네요.

윤 교수 그 한 칸이 이 책에서 몇 번이고 다시 나옵니다. **혈당이 0이 될 수 없는 이유**가 저 칸입니다¹⁵.



[그림 4-1] 장기마다 다른 연료 왼쪽은 먹었을 때, 오른쪽은 오래 굶었을 때다. 적혈구만 끝까지 포도당에 머문다(모식도)

뇌가 케톤으로 갈아타면 무엇이 달라지나

윤 교수 이제 이 장의 결론입니다. 굶는 날이 길어지면 뇌가 케톤을 쓰기 시작하고, 그만큼 포도당을 덜 씁니다. 뇌가 포도당을 덜 쓰면 몸이 만들어야 할 포도당의 양이 줄고, 포도당의 재료인 **단백질을 덜 혈어도 됩니다.**¹

선아 아, 그래서 케톤이 근육을 지킨다는 말이 나오는군요.

윤 교수 정확합니다. 케톤은 연료이면서 동시에 **근육을 아껴 주는 장치**입니다. 이 고리가 굶는 몸에서 가장 아름다운 부분이고, 23장에서 다시 봅니다¹⁶.

우진 그럼 뇌가 케톤을 쓴다는 건 어떻게 확인했어요? 뇌 속을 볼 수는 없잖아요.

윤 교수 목의 혈관에 관을 넣어서 들어가는 피와 나오는 피를 따로 받아 견주었던단다. 오래 굶은 사람에게서는 케톤이 들어갔다가 훨씬 적게 나왔어. 줄어든 만큼을 뇌가 쓴 거지¹⁷. 이 방법은 24장에서 그림으로 볼 거야³.

[표 4-1] 먹었을 때와 오래 굶었을 때의 연료

기관	먹었을 때	오래 굶었을 때	비고
뇌	포도당	케톤 + 포도당	케톤 운반체가 늘어난다
적혈구	포도당	포도당만	미토콘드리아가 없다
근육	포도당	지방산 · 케톤	포도당을 양보한다
심장	지방산 · 포도당	케톤 · 지방산	케톤을 잘 쓴다
간	저장한다	만들어 내보낸다	자기가 만든 케톤은 쓰지 않는다
콩팥	거의 쓰지 않음	포도당을 만든다	30장

도경 표 4-1 마지막 줄이 재미있습니다. 간이 케톤을 만들면서 자기는 안 먹는다고요?

윤 교수 케톤을 다시 쓰는 데 필요한 효소가 간에는 없습니다. 만들기만 하고 전부 내보내지요. 남 주려고 만드는 공장입니다⁷.

선아 그런 기관이 또 있나요?

윤 교수 드뭅니다. 그래서 간을 **몸의 살림꾼**이라고 부릅니다. 굶는 동안 간이 얼마나 바빠지는지는 12장과 15장에서 보시게 될 겁니다¹⁸.

뇌는 그 많은 에너지를 어디에 쓰나

우진 펌프가 돌아간다고 하셨는데, 그게 그렇게 에너지를 많이 먹어요?

윤 교수 신경세포 하나가 신호를 한 번 보낼 때마다 나트륨이 안으로 밀려들어 온단다. 신호가 끝나면 그 나트륨을 전부 다시 밖으로 퍼내야 다음 신호를 보낼 수 있어. 퍼내는 데 ATP가 들지. 뇌가 쓰는 에너지의 절반 이상이 이 펌프질이라고 봐¹⁹.

도경 배관으로 치면 물을 쓰는 게 아니라 **압력을 유지하는 데** 기름이 드는 거군요. 보일러도 그렇습니다. 안 틀어도 순환펌프는 돌니다.

윤 교수 좋은 비유입니다. 그래서 뇌는 잠을 자도, 아무 생각을 하지 않아도 연료를 계속 씁니다. 다른 기관처럼 “오늘은 쉬자” 할 수가 없어요.

선아 그런데도 오래 굶은 사람이 정신이 멀쩡한 게 신기합니다²⁰.

윤 교수 그게 이 책이 하려는 이야기의 핵심입니다. 몸은 뇌의 연료를 **끊지 않으려고** 나머지를 전부 조정합니다. 근육은 포도당을 양보하고, 간은 밤새 포도당을 만들고, 나중에는 콩팥까지 거둡니다. 그래도 모자라면 연료의 종류 자체를 바꿔 버립니다.

케톤은 뇌에 얼마나 들어가나

선아 운반체가 늘어난다고 하셨는데, 그건 며칠이 걸립니까?

윤 교수 며칠에서 몇 주에 걸쳐 서서히 늘어납니다. 그래서 단식 이틀째의 뇌와 스무날째의 뇌는 같은 케톤 농도에서도 **받아들이는 양이 다릅니다**. 오래 굶을수록 같은 값에서 더 많이 씹니다⁶.

도경 그래서 사흘째가 제일 힘들고 그 뒤로 편해지는 겁니까?

윤 교수 그 이유의 큰 부분입니다. 케톤은 이미 올라와 있는데 뇌가 아직 받아들이는 길을 다 열지 못한 구간이 초반입니다. 22장에서 다시 이야기하지요.

우진 정리해 볼게요. 뇌는 포도당을 많이 쓰는데 지방은 못 쓰고, 그래서 간이 지방을 케톤으로 바꿔서 보내 주고, 뇌는 그 케톤을 받는 문을 점점 넓힌다. 그리고 적혈구는 끝까지 포도당만 쓴다. 맞아요?

윤 교수 한 장을 네 문장으로 줄였구나. 그대로 발표해도 되겠다.

뇌가 케톤을 쓴다는 말의 정확한 뜻

선아 하나 확인하고 싶습니다. “뇌가 케톤을 쓴다”는 말이 “뇌가 포도당을 안 쓴다”는 뜻은 아니지요?

윤 교수 아닙니다. 아주 중요한 구분입니다. 세 가지로 나누어 말씀드리겠습니다.

윤 교수 첫째, **케톤이 주된 연료가 될 수 있다**는 것은 사람에게서 직접 확인되었습니다. 둘째, 그렇다고 **포도당 요구가 0이 되지는 않습니다**. 셋째, 그 비율은 **케톤 농도와 굶은 기간에 따라 달라집니다**.^{1,11}

도경 그러니까 하루 굶은 사람의 뇌와 스무 날 굶은 사람의 뇌는 다르다?

윤 교수 같은 사람이라도 다릅니다. 케톤 농도가 낮으면 거의 포도당으로 돌아가고, 높아지고 시간이 지나면 케톤 쪽 비중이 커집니다.

우진 그럼 저희처럼 밤에만 굶는 사람은요?

윤 교수 아침에 일어났을 때 네 뇌는 거의 전부 포도당으로 움직이고 있단다.

케톤이 0.2쯤이니까. 케톤이 뇌의 주 연료가 되려면 며칠이 필요해⁸.

선아 그러면 “16시간 단식하면 뇌가 케톤으로 돌아간다”는 말은 과장이군요.

윤 교수 방향은 맞지만 정도가 과장된 표현입니다. 16시간이면 **케톤이 만들어지기 시작하는 단계**입니다. 이 책이 시간표를 강조하는 이유가 그것입니다. 같은 현상이라도 **얼마나** 중요합니다.

케톤을 쓰지 못하는 곳들

우진 케톤을 못 쓰는 세포가 적혈구 말고 또 있어요?

윤 교수 있단다. 간이 그렇지. 18장에서 다시 보겠지만 간은 케톤을 만들기만 하고 자기는 못 써. 다시 쓰는 데 필요한 효소가 없거든.

선아 그러면 굶는 동안 간은 무엇을 태웁니까?

윤 교수 **지방산**입니다. 간은 지방산을 태워 얻은 에너지로 포도당을 만들고 케톤을 만듭니다. 그러니까 간은 원료도 지방, 연료도 지방인 셈입니다.

도경 그 밖에는요?

윤 교수 콩팥 속 깊은 부분도 산소가 적어서 주로 포도당에 기댑니다. 눈의 각막과 수정체는 혈관이 없어 확산으로 영양을 받는데, 그런 조직도 포도당 의존이 큼니다.

우진 그럼 그런 데는 굶으면 힘들어요?

윤 교수 그래서 몸이 포도당 생산을 완전히 멈추지 않는 거란다. 하루 80~90그램은 반드시 만들어 그런 곳에 보내지¹². 굶는 몸이 하는 모든 조정은 결국 **이 소수를 위한 최소 공급을 지키는 일**이야.

선아 나머지 기관이 양보하는 구조군요.

윤 교수 근육과 심장은 지방산과 케톤으로 옮겨 가고, 뇌는 케톤으로 절반 이상을 대신합니다. 그렇게 해서 남긴 포도당을 포도당밖에 못 쓰는 곳에 돌립니다.

도경 뇌 때문에 온몸이 애를 쓰는군요.

윤 교수 그리고 그 애쓰미 아주 정교합니다. 양보할 곳은 양보하고, 지킬 곳은 끝까지 지킵니다.

선아 병동에서 환자분들을 보면 그 정교함이 무너지는 순서도 늘 비슷합니다.

윤 교수 무너지는 순서를 알면 지키는 순서도 알 수 있습니다. 그게 이 책이 시간표를 그리는 이유입니다.

이 장의 세 줄

뇌는 몸무게의 2퍼센트지만 에너지의 5분의 1을 쓴다. 지방산은 혈액뇌장벽을 잘 넘지 못해 뇌가 직접 쓰지 못하지만, 지방산으로 만든 케톤은 전용 운반체를 타고 들어간다.

적혈구는 미토콘드리아가 없어 끝까지 포도당만 쓴다. 그래서 오래 굶은 몸도 하루 86그램쯤의 포도당을 계속 만들어 낸다.

뇌가 케톤으로 갈아타면 포도당 요구가 줄고, 포도당의 재료인 단백질을 덜 혈어도 된다 — 케톤이 근육을 아끼는 첫 번째 이유다.

이 장의 출처

1. Zhang, Y., Kuang, Y., Xu, K., Harris, D., Lee, Z., LaManna, J., & Puchowicz, M. A. (2013). Ketosis proportionately spares glucose utilization in brain. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism : Official Journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 33(8), 1307–11. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.87>
2. Nybo, L., Møller, K., Pedersen, B. K., Nielsen, B., & Secher, N. H. (2003). Association between fatigue and failure to preserve cerebral energy turnover during prolonged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 179(1), 67–74. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2003.01175.x>
3. Blomqvist, G., Alvarsson, M., Grill, V., Von Heijne, G., Ingvar, M., Thorell, J. O., Stone-Elander, S., Widén, L., & Ekberg, K. (2002). Effect of acute hyperketonemia on the cerebral uptake of ketone bodies in nondiabetic subjects and IDDM patients. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 283(1), E20–8. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00294.2001>
4. Frayn, K. N., & Humphreys, S. M. (2012). Metabolic characteristics of human subcutaneous abdominal adipose tissue after overnight fast. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 302(4), E468–75. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00527.2011>
5. Tricò, D., Jiang, L., Spicer, D., Page, K., Belfort de Aguiar, R., Naik, S., Savoye, M., Caseria, D. M., Arora, J., Mason, G. F., Constable, T., Rothman, D. L., & Herzog, R. I. (2026). Ketone Bodies Derived From Medium-Chain Triglycerides Support Brain Metabolism and Function Under Hypoglycemia in Type 1 Diabetes Mellitus. *Diabetes*, 75(9), 1644–1656. <https://doi.org/10.2337/db26-0293>
6. Blomqvist, G., Thorell, J. O., Ingvar, M., Grill, V., Widén, L., & Stone-Elander, S. (1995). Use of R-beta-[1-11C]hydroxybutyrate in PET studies of regional cerebral uptake of ketone bodies in humans. *The American Journal of Physiology*, 269(5 Pt 1), E948–59. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1995.269.5.e948>
7. Kjørulff, M. L. G., Luong, T. V., Richard, G., St-Pierre, V., Søndergaard, E., Møller, N., Gormsen, L. C., Tremblay, S., Croteau, E., & Cunnane, S. C. (2024). Cerebral and myocardial kinetics of [11C]acetoacetate and [11C]β-hydroxybutyrate: A comparative crossover study in healthy rats. *Nuclear Medicine and Biology*, 138-139, 108967. <https://doi.org/10.1016/j.nucmedbio.2024.108967>

8. Croteau, E., Castellano, C. A., Fortier, M., Bocti, C., Fulop, T., Paquet, N., & Cunneane, S. C. (2018). A cross-sectional comparison of brain glucose and ketone metabolism in cognitively healthy older adults, mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Experimental Gerontology*, 107, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.07.004>
9. Svart, M., Rittig, N., Pedersen, S. B., Jessen, N., & Møller, N. (2021). Oral 3-hydroxybutyrate ingestion decreases endogenous glucose production, lipolysis, and hormone-sensitive lipase phosphorylation in adipose tissue in men: a human randomized, controlled, crossover trial. *Diabetic Medicine : A Journal of the British Diabetic Association*, 38(2), e14385. <https://doi.org/10.1111/dme.14385>
10. Li, X., Young, A. J., Shi, Z., Byanyima, J., Vesslee, S., Reddy, R., Pond, T., Elliott, M., Reddy, R., Doot, R. K., van der Veen, J. W., Kranzler, H. R., Nanga, R. P. R., Dubroff, J. G., & Wiers, C. E. (2026). Pharmacokinetic effects of a single dose nutritional ketone ester supplement on brain glucose and ketone metabolism in alcohol use disorder. *Psychiatry Research. Neuroimaging*, 357, 112154. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2026.112154>
11. Amer, A., Murrell, K., Edmonds, L., Bernhardt, I., Akroyd, R., Ryder, B., Wilson, C., & Glamuzina, E. (2025). D,L-3-hydroxybutyrate in the treatment of glucose transporter 1 deficiency syndrome (Glut1DS). *JIMD Reports*, 66(1), e12461. <https://doi.org/10.1002/jmd2.12461>
12. Owen, O. E., Felig, P., Morgan, A. P., Wahren, J., & Cahill, G. F. (1969). Liver and kidney metabolism during prolonged starvation. *The Journal of Clinical Investigation*, 48(3), 574–83. <https://doi.org/10.1172/jci106016>
13. Owen, O. E., Smalley, K. J., D'Alessio, D. A., Mozzoli, M. A., & Dawson, E. K. (1998). Protein, fat, and carbohydrate requirements during starvation: anaplerosis and cataplerosis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68(1), 12–34. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.1.12>
14. Landau, B. R., Wahren, J., Chandramouli, V., Schumann, W. C., Ekberg, K., & Kalhan, S. C. (1996). Contributions of gluconeogenesis to glucose production in the fasted state. *The Journal of Clinical Investigation*, 98(2), 378–85. <https://doi.org/10.1172/jci118803>
15. Lv, R., Liu, B., Jiang, Z., Zhou, R., Liu, X., Lu, T., Bao, Y., Huang, C., Zou, G., Zhang, Z., Lu, L., & Yin, Q. (2025). Intermittent fasting and neurodegenerative diseases: Molecular mechanisms and therapeutic potential. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 164, 156104. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2024.156104>
16. Gancheva, S., Bierwagen, A., Markgraf, D. F., Bönhof, G. J., Murphy, K. G., Hatzigelaki, E., Lundbom, J., Ziegler, D., & Roden, M. (2018). Constant hepatic ATP concentrations during prolonged fasting and absence of effects of Cerbomed Nemos® on parasympathetic tone and hepatic energy metabolism. *Molecular Metabolism*, 7, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2017.10.002>
17. Owen, O. E., Morgan, A. P., Kemp, H. G., Sullivan, J. M., Herrera, M. G., & Cahill, G. F. (1967). Brain metabolism during fasting. *The Journal of Clinical Investigation*, 46(10), 1589–95. <https://doi.org/10.1172/jci105650>
18. Xu, W., & Borges, K. (2024). Case for supporting astrocyte energetics in glucose transporter 1 deficiency syndrome. *Epilepsia*, 65(8), 2213–2226. <https://doi.org/10.1111/epi.18013>
19. Li, X., Young, A. J., Shi, Z., Byanyima, J., Vesslee, S., Reddy, R., Pond, T., Elliott, M., Reddy, R., Doot, R. K., van der Veen, J. W., Kranzler, H. R., Reddy Nanga, R. P., Dubroff, J. G., & Wiers, C. E. (2025). Pharmacokinetic effects of a single-dose nutritional ketone ester supplement on brain glucose and ketone metabolism in alcohol use disorder. *MedRxiv : the Preprint Server for Health Sciences*. <https://doi.org/10.1101/2023.09.25.23296090>
20. Bonaccorsi, V., & Romeo, V. M. (2025). Psychological and Psychiatric Consequences of Prolonged Fasting: Neurobiological, Clinical, and Therapeutic Perspectives. *Nutrients*, 18(1). <https://doi.org/10.3390/nu18010060>

카힐의 다섯 단계

3월 마지막 화요일, 네 사람은 윤 교수의 대사연구실을 찾았다. 복도 끝 방에는 커다란 투명 덮개가 달린 침대가 있었다. 숨으로 나오는 기체를 모으는 장치라고 했다. 벽에는 색이 바랜 그래프 한 장이 액자에 들어 있었다.

윤 교수 저 그림이 오늘 이야기입니다. 1970년에 조지 카힐이 정리한 것이고, 저는 학생 때 저 그림을 보고 이 길로 왔습니다¹².

우진 계단처럼 생겼네요. 칸이 다섯 개예요.

윤 교수 카힐은 이렇게 물었단다. “**지금 핏속을 돌고 있는 이 포도당은 어디서 왔는가?**” 그 답이 시간에 따라 달라지는데, 답이 바뀌는 지점마다 선을 그었더니 다섯 칸이 되었어³.

다섯 칸의 이름

윤 교수 첫째 칸은 **먹은 것이 도는 시간**입니다. 밥을 먹고 네 시간쯤은 핏속 포도당이 전부 방금 먹은 음식에서 옵니다⁴.

도경 그건 쉽습니다. 그다음은요?

윤 교수 둘째 칸은 **간의 글리코겐을 꺼내 쓰는 시간**입니다. 대략 네 시간에서 열여섯 시간 사이지요. 지난 장에서 본 그 작은 창고입니다⁵.

선아 그게 바닥나면요?

윤 교수 셋째 칸으로 넘어갑니다. **간이 포도당을 새로 만들기 시작합니다**. 젖산과 글리세롤과 아미노산을 재료로 써서요. 이걸 당신생이라고 부르고, 15장에서 자세히 봅니다⁶.

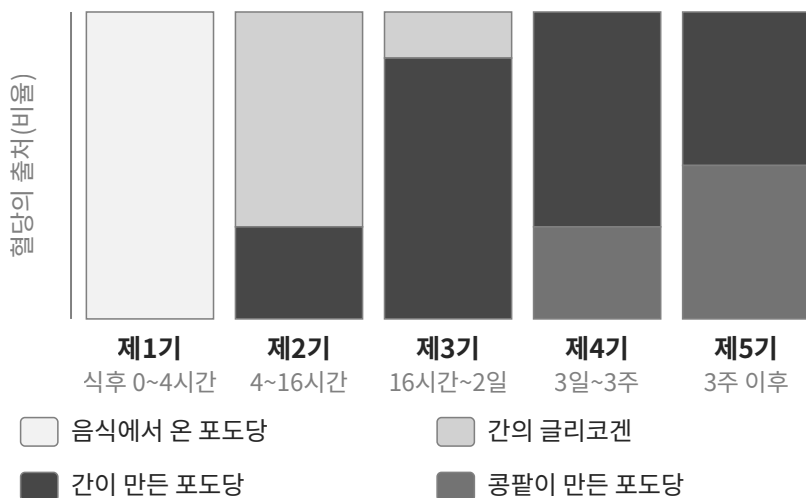
우진 그럼 넷째는요?

윤 교수 넷째 칸은 **간과 콩팥이 함께 만드는 시간**이야. 사흘에서 세 주 사이지. 이 구간에서 케톤이 쪽 올라오고, 몸이 단백질을 아끼는 법을 배워⁷.

도경 그리고 다섯째가 40일 쪽이군요.

윤 교수 그렇습니다. 셋째 주가 넘어가면 콩팥이 절반을 맡습니다. 5~6주째에 실제로 재 보니 하루 약 86그램의 포도당을 간과 콩팥이 절반씩 나눠 만들고 있었습니다⁸⁹.

혈당은 어디서 오는가 — 카힐의 다섯 단계



[그림 5-1] 혈당은 어디서 오는가 — 카힐의 다섯 단계 칸마다 색의 비율이 그 시기 포도당의 출처를 나타낸다(모식도)

왜 하필 혈당의 출처로 나누었나

선아 궁금한 게 있습니다. 케톤이나 체중으로 나눌 수도 있었을 텐데, 왜 혈당의 출처로 나누었을까요?

윤 교수 혈당이 몸이 가장 끝까지 지키는 값이기 때문입니다. 지키는 값이 같은 자리에 머물러 있으려면 무언가가 계속 바뀌어야 합니다. 그 바뀌는 것을 따라가면 몸이 무엇을 하고 있는지가 다 보입니다¹⁰.

도경 수도꼭지에서 물이 똑같이 나오는데, 뒤에서는 펌프를 바꿔 가며 돌리고 있는 거군요.

윤 교수 그 비유가 이 책 전체를 요약합니다. 그림 5-1에서 위쪽 그림은 거의 변하지 않고 아래쪽 색만 바뀌는 것이 바로 그 뜻입니다¹¹.

우진 그럼 케톤은 이 그림 어디에 있어요?

윤 교수 이 그림에는 없어. 그래서 표를 하나 더 만들었단다. 그림 5-2를 보렴¹².

다섯 단계를 숫자로

단계	때	혈당	케톤	자가포식
제1기	0~4시간	100 →	거의 0	잠긴다
제2기	4~16시간	90 → 84	0.1 아래	조금씩
제3기	16시간~2일	80 → 75	0.5 → 2	켜진다
제4기	3일~3주	72 → 67	3 → 6	활발하다
제5기	3주 이후	65 언저리	6 → 8	이어진다

혈당 mg/dL · 케톤(BHB) mmol/L · 대략의 값이다

[그림 5-2] 다섯 단계를 숫자로 혈당(mg/dL)과 케톤(mmol/L)은 대략의 값이고, 오른쪽 칸은 그 시기 자가포식의 상태다(모식도)

단계는 칼로 자르듯 나뉘지 않는다

윤 교수 한 가지 주의할 게 있습니다. 이 다섯 칸은 **서로 겹칩니다**. 열여섯 시간에 글리코젠이 딱 끊기고 당신생이 시작되는 게 아니라, 두 가지가 함께 일어나면서 비율이 서서히 바뀝니다¹³.

선아 환자마다 다르기도 하겠네요.

윤 교수 크게 다릅니다. 마지막 식사가 무엇이었는지, 평소 활동량이 얼마인지, 몸에 지방이 얼마나 있는지, 나이가 몇인지에 따라 몇 시간씩 밀립니다. 그래서 이 책의 시간은 **대략의 표지판**으로 읽으셔야 합니다¹⁴.

도경 그럼 제가 언제 몇 단계인지는 어떻게 압니까?

윤 교수 그걸 알 수 있는 방법이 있습니다. **케톤을 재는 겁니다**. 정확히는 핏속에서 가장 많은 케톤체인 **BHB(beta-hydroxybutyrate, 베타하이드록시뷰티르산)**를 잽니다. 이름이 길어서 이 책에서는 BHB라고

부르겠습니다. 손끝 한 방울로 잹니다. 값이 0.5를 넘으면 둘째 칸 끝에 온 것이고, 2를 넘으면 셋째 칸을 지난 것이고, 4를 넘으면 넷째 칸 한복판입니다. 25장에서 재는 법을 보여 드리겠습니다¹⁵¹⁶.

우진 몸속에 표지판이 있는 거네요.

윤 교수 그렇지. 카힐 시대에는 연구실에서 며칠 걸려 잹던 값을, 지금은 만 원짜리 시험지로 집에서 잹단다. 그 사이에 쌓인 게 오십 년의 연구야.

윤 교수 표 5-1에 정리해 두었습니다.

[표 5-1] 다섯 단계 한눈에 보기

단계	대략의 때	혈당의 출처	케톤(BHB)	이 책의 부
제1기	식후 0~4시간	먹은 음식	거의 0	2부
제2기	4~16시간	간의 글리코겐	0.1 아래	3부
제3기	16시간~2일	간이 만든 포도당	0.5 → 2	4부
제4기	3일~3주	간 + 콩팥	3 → 6	5부
제5기	3주 이후	콩팥이 절반	6 → 8	6부

이 지도를 어떻게 쓸 것인가

도경 그러면 저는 이 표에서 어디까지 갑니까?

윤 교수 스무 날이면 **제4기 후반, 제5기 문턱**입니다. 다섯째 칸을 발끝으로 밟아 보는 정도지요¹⁷.

선아 나머지 절반은요?

윤 교수 나머지는 카힐과 오언의 자료로 읽습니다. 그게 이 책이 40일을 다루는 방식입니다. **겉지 않고 읽는 구간이 있는 지도**인 셈이지요.

우진 지도에 “여기서부터는 가 보지 않았음”이라고 적혀 있는 옛날 지도 같아요.

윤 교수 좋은 비유다. 다만 이 지도는 가 본 사람들이 그려 놓았고, 우리는 그 기록을 읽는 거란다. 그 사람들이 병원 침대에서 40일을 보내며 남긴 기록이지.

도경 다음 주부터는 뭘 합니까?

윤 교수 이제 첫째 칸으로 들어갑니다. 밥 한 그릇이 몸에서 네 시간 동안 무엇을 하는지부터요.

다섯 단계를 지나는 동안 몸이 겪는 일

선아 단계를 넘어갈 때 사람이 느끼는 변화도 있습니까? 숫자 말고요.

윤 교수 있습니다. 둘째 칸에서 셋째 칸으로 넘어갈 때는 대개 **배고픔과 두통**이 옵니다. 셋째에서 넷째로 넘어가는 사흘째 언저리가 가장 힘들고요. 그 고비를 넘으면 오히려 조용해집니다¹⁸.

도경 제가 겪은 게 딱 그겁니다. 첫 사흘은 지옥, 나흘째부터는 이상하리만치 평온.

윤 교수 그 평온이 게으른 몸이 되었다는 뜻은 아닙니다. 그 시기에 몸은 오히려 아주 바쁩니다. 간과 콩팥은 포도당을 만드느라 쉬지 않고, 세포 안에서는 재활용 공장이 돌아가고 있지요¹⁹.

우진 걸은 조용한데 속은 공장이 돌아간다.

윤 교수 그렇단다. 그리고 단계마다 **조심할 것도 다르다**는 걸 기억해 두렴. 둘째 칸까지는 누구나 매일 지나는 구간이라 특별히 조심할 게 없어. 셋째 칸, 그러니까 하루를 넘기는 구간부터는 약을 드시는 분이 위험해지고, 넷째 칸으로 들어가면 전해질과 물을 챙겨야 해. 다섯째 칸은 감독 없이는 가지 않는다²⁰.

선아 그 기준이 명확하니까 오히려 마음이 놓입니다.

윤 교수 그래서 이 지도가 필요한 겁니다. 어디쯤에서 무엇을 조심해야 하는지 모르면 막연히 겁을 내거나, 반대로 막연히 용감해지거든요.

지도를 자기 몸에 맞게 읽는 법

도경 이 지도를 제 몸에 맞게 읽으려면 어떻게 해야 합니까?

윤 교수 세 가지를 조정하시면 됩니다. 첫째, **마지막 식사**의 크기와 내용입니다. 탄수화물이 많은 식사를 하셨다면 제1기와 제2기가 길어집니다. 둘째, **몸의 지방량**입니다. 지방이 많으면 케톤이 천천히 오르지만 오래

버팁니다. 셋째, **활동량**입니다. 걷거나 일하면 글리코겐이 빨리 비어 단계가 앞당겨집니다²¹.

선아 운동이 단계를 앞당긴다고요?

윤 교수 그렇습니다. 그래서 아침 공복에 가볍게 걸으면 그날의 케톤이 조금 더 올라갑니다. 다만 긴 단식 중의 격한 운동은 권하지 않습니다²¹.

우진 나이도 상관있어요?

윤 교수 상관있단다. 나이가 들면 근육이 적어지고, 단백질을 아끼는 장치도 젊을 때만 못해. 그래서 같은 사흘이라도 일흔에게는 스물보다 부담이 커²².

도경 그럼 저는 사십 대 후반이니 중간쯤이군요.

윤 교수 그리고 지방이 넉넉해서 조건이 나쁘지 않습니다. 다만 한 가지, **처음 하는 몸**이라는 점은 불리합니다. 케톤을 나르는 길이 아직 넓지 않으니깐요. 그래서 단계를 올려 가는 겁니다.

케톤식·저탄수화물과는 어떻게 다른가

선아 요즘 저탄수화물 식사나 케톤식을 하는 분이 많습니다. 그것도 이 다섯 단계와 관계가 있습니까?

윤 교수 있습니다. **탄수화물을 크게 줄이면 먹으면서도 제3기·제4기와 비슷한 대사 상태로 갈 수** 있습니다. 인슐린이 낮고 지방을 태우며 케톤이 오르는 상태지요²³.

도경 그럼 굶는 거랑 같은 겁니까?

윤 교수 비슷한 점과 다른 점이 있습니다. 비슷한 점은 **연료가 지방과 케톤으로 옮겨 간다**는 것입니다. 다른 점은 단백질과 열량이 계속 들어온다는 것이지요. 그래서 케톤식에서는 단백질을 헐 이유가 적고, 자가포식도 굶었을 때만큼 깊이 켜지지는 않습니다²⁴.

우진 그럼 케톤식이 더 편한 거 아니에요?

윤 교수 목적이 다르단다. 케톤 상태를 **오래 유지하는 것**이 목적이면 케톤식이 맞고, **비우는 시간 자체**가 목적이면 단식이 맞아.

선아 둘을 같이 하면요?

윤 교수 탄수화물을 줄인 식사를 하고 계시면 단식에 들어갈 때 케톤이 훨씬 빨리 오릅니다. 적응이 이미 되어 있으니깐요. 다만 이미 케톤 상태인 분이 긴

굵은 지 몇 시간째, 몸에서는 무엇이 바뀔까?

1960년대 보스턴, 조지 카힐과 동료들은 병원에 입원한 지원자들을 매일 검사하며 40일까지 굵은 몸을 기록했습니다. 오래 굵은 사람의 뇌는 포도당 대신 케톤을 주된 연료로 쓰고 있었습니다. 그들은 “지금 핏속의 포도당은 어디서 왔는가”라는 단 하나의 기준으로 굵은 몸을 다섯 단계로 나누었습니다.

이 책은 그 다섯 단계를 차례로 걸으며 혈당과 케톤, 그리고 세포 안의 청소인 자가포식을 하나의 시간표 위에 올려놓습니다. 열두 시간이면 간의 창고가 거의 비고, 사흘이 지나면 뇌가 다른 연료를 받아들이기 준비를 하며, 다섯 주가 되면 콩팥이 포도당 생산의 절반을 말합니다. 지리산 자락 산청의 찻집 ‘들돌’ 다락방에서 내분비대사내과 교수, 찻집 주인, 중환자실 간호사, 중학생이 나누는 대화로 8부 40장을 읽어 갑니다.

40일은 실행할 일정이 아니라 몸을 읽는 지도입니다. 매일의 열두 시간과 열여섯 시간부터 오래 굵은 뒤 안전하게 돌아오는 첫 끼까지 담았습니다. 읽고 나면 아침 공복 혈당 한 줄이 다르게 보일 것입니다.

이 책에서 만나는 것

- 카힐이 나눈 굵은 몸의 다섯 단계
- 혈당과 케톤, 두 숫자로 읽는 연료 전환
- 하루를 넘기면 켜지는 자가포식, 무엇부터 먹나
- 오래 굵은 뒤 첫 끼를 천천히 되찾는 재급식의 원칙

① 과학과 영성출판사

값 18,000원

값 18000 원

03470



9 791123 065472
ISBN 979-11-23065-47-2

이어서 읽으시려면

40일간 굶는 몸의 시간표 — 전체 360쪽

ssbook.kr/book/fasting-40days

판매가 **10,800원** (POD 정가 18,000원)

- 전 페이지 컬러 PDF · 개인 영구 소장
- 카드 결제 즉시 내 서재에서 내려받기
- 공개 배포 · 재판매 금지

발간 도서 목록

다음 쪽부터 과학과영성출판사가 발간한 책 전체 목록(표지·가격·특징)을 안내합니다.

총 69종 · 판매가는 POD 정가의 60% · 컬러 PDF · 개인 영구 소장

인삼 (6)



만병통치 인삼의 신경내분비시스템
하나의 인삼뿌리는 어떻게 온몸의 스위치를 건드리는가
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-neuroendo



인삼과 당뇨
공복혈당 · 당화혈색소 · 합병증을 개선하는 인삼
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-diabetes



인삼과 대사증후군
허리둘레 · 중성지방 · HDL · 혈압 · 혈당을 개선하는 인삼치유의 과학적 원리
₩18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-metabolic



인삼과 아토피
금산 아토피 마을에서 어린이 임상시험 설계까지
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-atopy



인삼과 암치유
실험실에서 진로실까지, 1,300편의 논문이 말하는 것
₩18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/ginseng-cancer



인삼의 임상연구
최신연구와 방법론
₩18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-clinical

오토파지 (2)



스스로를 먹는 몸
오토파지, 자가포식, 세포가 자기를 고쳐 쓰는 법
₩18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/eating-self



오토파지와 암
세포는 스스로를 먹는다
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/autophagy-cancer

식물성 저탄고지 (11)



뇌신경 4+2축과 성격유형 그리고 식물성 저탄고지
도파민 · 세로토닌 · 노르에피네프린 · 아세틸콜린 + 글루타메이트 · 가바
₩20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/brain-axes



당뇨를 개선하는 식물성 저탄고지
혈당 · 당화혈색소 · 체중을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-diabetes



고혈압을 개선하는 식물성 저탄고지
 혈압·체중·혈관 건강을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-hypertension



비만을 개선하는 식물성 저탄고지
 체중·허리둘레·체지방을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-obesity



뇌전증을 개선하는 식물성 저탄고지
 뇌전증 환자와 보호자를 위한 논문 근거 기반 식물성 저탄고지 식단
 23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-epilepsy



우울증을 개선하는 식물성 저탄고지
 소화관과 장·뇌 축, 에너지 대사를 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-depression



자폐를 개선하는 식물성 저탄고지
 일곱 갈래 기전이 한 점에서 만난다
 23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-autism



아토피를 개선하는 식물성 저탄고지
 피부 장벽과 면역, 장 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 19,000원 → **11,400원**
ssbook.kr/book/pkd-atopy



치매를 개선하는 식물성 저탄고지
 뇌 에너지 대사와 인슐린 신호, 혈관 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/pkd-dementia



암을 개선하는 식물성 저탄고지
 치료 중 체중 유지와 근육 보존, 영양 상태를 함께 살피는 식물성 케톤식 가이드
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-cancer



관절염을 개선하는 식물성 저탄고지
 염증 신호와 체중 부하, 대사 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-arthritis

단식 (1)



40일간 굶는 몸의 시간표
 카힐의 40일 연구, 혈당과 케톤과 자가포식을 중심으로
 18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/fasting-40days

생물리학 (4)



발골의 강
 피의 흐름에서 발바닥까지, 명과 몸 사이에서 확인된 것과 아직 모르는 것
 18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



보이지 않는 99%, 부항 자국 아래에서 벌어지는 일
 부항과 미세혈관에 대한 열다섯 번의 강의
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/cupping99



세 겹의 뇌, 눈 위의 지휘자
매클린의 삼위일체 뇌와 안와전두엽 이야기
~~10,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/triune-brain



광유전
빛으로 세포를 제어하는 기술 — 원리·실험·회로·치료
~~42,000원~~ → **25,200원**
ssbook.kr/book/optogenetics

독립영양인간 (2)



이암블리코스의 피타고라스적 삶에 관하여
그리스어 원전 완역 · 테일러 판 전편 수록
~~10,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/iamblichus



홍산문화의 수행상에서 한국 선도까지
요하의 흙인형 · 우하랑의 여신 · 해명경 · 태을금
화중지 다섯 갈래를 한자리에 놓다
~~26,000원~~ → **15,600원**
ssbook.kr/book/hongsan

중고등학교 교재 (30)



대입 과학논술 01 — 유전 암호·전사·번역
대학 기술로 완성하는 분자생물학의 중심원리
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-01



대입 과학논술 03 — 멘델 유전·감수분열·가계도
분리·독립 × 감수 분열 × 확률의 곱 — 기술 22문
항으로 읽는 유전
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-03



대입 과학논술 05 — 재조합 DNA·생명공학
제한 효소의 인식·절단 × 조각 길이로 위치 추론
× 재조합·판별 실험 설계
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-05



대입 과학논술 07 — 세포막·소기관·물질수송
인지질의 벽과 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐른다
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-07



대입 과학논술 08 — 호르몬·항상성·배설
감지하고, 신호를 보내고, 되돌린다 — 혈당에서 콩팥까지 항상성
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-08



대입 과학논술 09 — 면역·백신
몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역까지
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-09



대입 과학논술 10 — 세포호흡·광합성·에너지대사
포도당 한 분자의 ATP 장부 — 미토콘드리아와 엽록체
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-10



대입 과학논술 11 — 신경계·활동전위
펄프가 기울기를 만들고, 통로가 열리고 닫히며 신호가 생긴다
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-11



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물다양성
에너지는 흐르고 물질은 돈다 — 개체군에서 종 분화까지
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-12



대입 과학논술 13 — 원자 구조·주기성
전자 배치 × 유효 핵전하 × 이온화 에너지로 읽는 주기성
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-13



대입 과학논술 14 — 화학 결합·분자 구조·극성
 원자가 전자 세기 × 전자쌍 반발 × 쌍극자 벡터 합
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-14



대입 과학논술 15 — 분자 간 힘·수소 결합·계면
 극성 × 분자 간 힘의 서열 × 계면 에너지로 읽는 물질
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-15



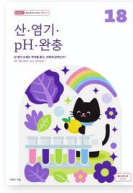
대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자
 유기 화학·생체 분자·고분자 문제 해설
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



대입 과학논술 17 — 화학양론·농도
 몰 × 반응식 계수비 × 농도 환산으로 푸는 화학 계산
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-17



대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수
 산화·환원과 산화수 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-18



대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충
 평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정으로 푸는 산·염기
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-19



대입 과학논술 20 — 반응 속도
 넘어야 할 언덕 — 반감기에서 촉매, 반응 메커니즘까지
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-20



대입 과학논술 21 — 화학 평형
 평형 상수 K × 반응 지수 Q × 르샤트리에로 읽는 화학 평형
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



대입 과학논술 22 — 열화학·엔탈피·자유 에너지
 열화학 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
 25,000원 → **15,000원**
ssbook.kr/book/nonsul-22



대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형
 용액·총괄성·상평형 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-23



대입 과학논술 24 — 기체
 기체 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-24



대입 과학논술 25 — 화학 전자·전기 분해
 화학 전자·전기 분해 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-25



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별
 원자에서 원소의 기원·주기율표까지
 18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-01



02 통합과학 화학 2 — 못은 왜 녹슬까
 결합에서 반응·산과 염기까지
 18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-02



03 통합과학 생명과학 1 — 배추는 왜 숨이 죽을까
본자에서 세포·호소·에너지까지
~~18,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자
유전 정보에서 진화·생태계까지
~~18,500원~~ → **11,100원**
ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 뒤통해질까
원자에서 힘과 에너지까지
~~22,000원~~ → **13,200원**
ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나침반
원자에서 전자기파까지
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/tonghap-06



07 통합과학 지구과학 1 — 구름은 왜 떨어지지 않을까
대기·기압·복사 에너지로 읽는 날씨
~~21,000원~~ → **12,600원**
ssbook.kr/book/tonghap-07



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다
원자에서 암석·판·지구의 역사까지
~~20,000원~~ → **12,000원**
ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식
이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영
양학과 분자생물학으로 다시 읽다
~~21,000원~~ → **12,600원**
ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비
사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의
언어로 다시 읽다
~~18,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/constitution-neuro

역사 속의 채식인
채식의 역사를 사람들의 이야기로 읽다
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-history

채식이야기
채식에 관한 이야기
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-story

우리 몸은 채식을 원한다
몸이 채식을 원하는 이유
교보문고 판매
ssbook.kr/book/body-wants-veg

라이프스타일 (3)



아주 쉬운 회춘의 원리
노화의 12가지 특징과 식이를 통한 회춘
~~18,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다
콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식
~~18,400원~~ → **11,000원**
ssbook.kr/book/skin-inside

고대사 (5)



동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/climate-ea-1



고려 서경(西京)의 위치를 추정하다 1권 방법편

여덟 가지 방법으로 동아시아 고전 지명을 좌표로 옮기기

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/seogyyeong-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제1권 기초편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제1~7장)

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/geonames-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제8~16장)

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/geonames-2



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제3권 적용편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (적용 사례)

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/geonames-3