



오토파지와 암

세포는 스스로를 먹는다

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/autophagy-cancer

POD 정가 17,000원 → **10,200원** (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

오토파지와 암

세포는 스스로를 먹는다 — 몸이 스스로를 청소하는 힘은 암 앞에서 무엇을 하는가



세포의 청소부 오토파지, 암 앞에서 무엇을 하는지 사람의 연구로 따라가다

이광조 지음

AUTOPHAGY & CANCER

오토파지와 암

세포는 스스로를 먹는다 — 몸이 스스로를 청소하는 힘은 암 앞에서 무엇을 하는가

이광조 지음

 과학과 영성출판사

세포는 스스로를 먹는다

오토파지와 암

세포는 스스로를 먹는다

오토파지와 암

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	지은이의 자가포식 논문 데이터베이스 autophagy_db(PubMed 자가포식 논문 123,423편의 서지·초록, 오픈액세스 전문 0편, PDF 0편). 그 가운데 철화·정정·초록 없는 문헌을 뺀 코퍼스 118,742편(암 관련 38,882편)을 근거로 썼고, 인용한 논문은 모두 PubMed 원 서지와 영어 초록으로 확인했다

이 책은 오토파지(자가포식)와 암에 관한 연구를 일반 독자가 이해할 수 있도록 풀어 쓴 교양서입니다. 의학적 진단이나 치료를 대신하지 않습니다. 암 치료를 받고 있거나 받을 예정인 분은 수술·항암

제·방사선·면역치료 같은 표준 치료를 미루거나 중단하는 근거로 이 책을 쓰지 마십시오. 식사를 크게 바꾸거나 단식을 해 보려면 반드시 담당 의사와 임상영양사에게 먼저 상의하십시오. 체중이 줄고 있거나 영양 상태가 좋지 않은 분, 당뇨·고령·저체중인 분에게 단식은 해롭습니다. 하이드록시클로로퀸을 비롯한 오토파지 관련 약은 모두 처방약이며, 임상시험 밖에서 스스로 구해 복용해서는 안 됩니다. 쿡팸·심장 질환이 있는 분은 수분 섭취에도 제한이 있으니 주치의의 지시를 따르십시오. 책 속의 인물과 사건은 설명을 위해 지어낸 것이며, 인용한 연구는 모두 실제 논문으로 각 장 끝에 출처를 밝혔습니다.

차례

한국식품영양연구소와 이 책	7
이 책을 읽기 전에	10

제1부 청소하는 세포

1장 비움책방의 첫 토요일 — 네 사람과 네 질문	14
2장 세포 한 채 — 무엇이 들어 있나	21
3장 스스로를 먹는다는 말 — 오토파지 네 단계	28
4장 리소좀, 세포의 위장 — 드 뒤브에서 오스미까지	35
5장 세 갈래 청소 — 거대·미세·사페론 매개	42

제2부 스위치

6장 배부를 때 꺼지는 스위치 — mTOR	50
7장 배고플 때 켜지는 스위치 — AMPK	57
8장 청소부를 늘리는 지휘자 — TFEB	64
9장 부품 목록 — ATG와 LC3	70
10장 골라서 먹는다 — 선택적 오토파지	77

제3부 암이라는 고장

11장 암세포는 무엇이 다른가	85
12장 고장은 한 번에 오지 않는다 — 발암의 단계	92
13장 암세포의 살림법 — 바르부르크 효과	99
14장 떠나는 세포 — 전이	106
15장 혼자 자라지 않는다 — 종양 돌레와 면역	113

제4부 청소가 암을 막는다

16장 첫 번째 방패 — 망가진 발전소를 치운다	121
17장 두 번째 방패 — 쓰레기 단백질 p62	128
18장 설계도를 지킨다 — 청소와 DNA	135
19장 청소가 멈춘 자리에서 — 유전자와 생쥐가 보여 준 것	142
20장 실험실의 다른 얼굴 — "청소가 암을 키운다"는 연구를 어떻게 읽나	149
21장 청소가 느려지는 몸 — 노화와 암	156

제5부 치료와 함께

22장 항암제가 암세포를 죽이는 길	164
23장 죽음의 여러 이름 — 세포자멸사·괴사·페로토시스	171
24장 시끄럽게 죽어야 면역이 배운다 — 면역원성 세포사멸	178
25장 암세포가 죽을 때 나오는 것 — 뒤처리와 물	185
26장 치료 중의 몸 — 먹는 일이 치료다	192
27장 장과 면역 — 치료 성적을 바꾸는 미생물	199

제6부 청소를 켜는 생활

28장 먹지 않는 시간 — 단식과 열량제한	207
29장 단식모방식단과 항암치료 — 사람에게서 본 것	214
30장 섬유소 — 청소의 뒤처리를 맡는다	221
31장 물 — 가장 값싼 뒤처리	229
32장 식탁 위의 스위치 — 식물성 식품과 성분	236
33장 몸을 움직이는 일 — 운동과 잠	243
34장 하루를 설계한다 — 한 끼 접시와 물병	250

제7부 근거를 읽는 법

35장 증거에도 계단이 있다	258
36장 접시의 농도와 핏속의 농도	264
37장 "오토파지 보조제" 광고 읽기	270
38장 치료 시기별 점검표	277

제8부 남은 이야기

39장 지금 어디까지 왔나 — 연구 지도	285
40장 첫눈 오는 토요일 — 네 사람의 결론	292

부록

부록 가 — 이 책의 용어	301
부록 나 — 이 책이 인용한 사람 대상 연구	306
부록 다 — 오토파지를 겨냥한 사람 대상 시험	309
부록 라 — 식이섬유 성분표	311
부록 마 — 이 책의 근거 지도	312
부록 바 — 그림과 표 찾아보기	315

한국식품영양연구소와 이 책

이 책은 **오토파지(자가포식)**라는 세포의 청소 장치가 암 앞에서 무엇을 하는지를, 사람에게서 확인된 연구를 따라 차근차근 풀어 가는 책입니다. 오토파지는 2016년 노벨생리의학상의 주제였고, 그 뒤 십 년 사이 암 연구에서 가장 많이 인용되는 주제 가운데 하나가 되었습니다. 그런데 그 이름이 유명해지면서 **“끓으면 암세포가 사라진다”**는 식의 문구가 함께 퍼졌습니다. 이 책은 그 문구의 어디까지가 사실이고 어디부터가 건너뛴 말인지를 가려내면서, 그 사이에서 우리가 하루에 실제로 넣을 수 있는 일을 찾아갑니다. 본문으로 들어가기 전에 이 책을 쓴 사람과 연구소를 소개합니다.

지은이 이광조 박사

이광조 박사는 서울대학교에서 식품영양학 박사 학위를 받았고, 30년 가까이 식품과 영양, 그리고 대사를 연구해 왔습니다. 지금은 한국식품영양연구소 소장으로 연구를 이끌고 있습니다. 연구자마다 붙는 국제 고유번호인 ORCID는 0009-0006-9739-3825입니다.

식품영양을 연구하는 사람이 왜 오토파지와 암에 관한 책을 쓰는지 궁금할 수 있습니다. 답은 이렇습니다. **오토파지를 켜고 끄는 스위치가 바로 영양 상태**이기 때문입니다. 아미노산이 넉넉한지, 인슐린이 높은지, 에너지가 남는지 모자라는지에 따라 세포는 짓는 쪽과 치우는 쪽 사이를 오갑니다(6·7장). 다시 말해 **오토파지는 먹는 것과 가장 가까이 붙어 있는 세포 장치**입니다. 그래서 이 주제는 영양학자가 할 말이 많은 자리입니다.

지은이는 오래 한 가지 질문을 붙들어 왔습니다. **식물로 차린 식사가 사람 몸의 대사를 어떻게 바꾸고, 그 변화가 몸의 여러 기관에 어떻게 이어지는가**. 이 책은 그 질문을 암이라는 병 앞에 놓고 다시 묻은 결과입니다.

[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)
연구 분야	식품·영양·대사, 식물성 식사와 식이법, 사람 대상 연구의 설계와 통계분석
ORCID	0009-0006-9739-3825

사람을 대상으로 직접 재 본 경험

이 책이 “사람에게서 확인되었는가”를 거듭 따지는 데에는 까닭이 있습니다. 지은이는 사람을 대상으로 **무작위 이중맹검 위약대조 시험**을 직접 수행하고, 그 결과를 SCIE 국제 학술지에 논문 세 편으로 발표했습니다. 세 편 모두 제1저자입니다.

50~73세의 폐경 후 여성 93명을 제비뽑기로 두 무리로 나누어, 한쪽은 시험 식품을, 다른 쪽은 겉모양이 같은 위약을 2주 동안 먹게 했습니다. 참여자도 연구자도 누가 어느 무리인지 모르게 하는 이중맹검으로 진행했고, 먹기 전과 후에 피를 뽑아 호르몬·혈당·지질을 재고 설문을 받았습니다.

이런 시험을 한 번 해 보면 알게 되는 것이 있습니다. **사람에게서 무엇 하나를 확인하는 일이 얼마나 오래 걸리고 얼마나 조심스러운 일인지**입니다. 접시 위 세포에서 하루 만에 나오는 결과와, 사람 93명에게서 2주 동안 얻는 결과는 무게가 다릅니다. 이 책이 35장과 36장에 한 부를 통째로 쓴 이유가 거기 있습니다.

이 책을 만든 방법

이 책은 지은이가 모은 **자가포식 논문 데이터베이스(autophagy_db)**에 기대어 썼습니다. PubMed에 실린 자가포식 논문의 서지와 초록을 모으고, 공개된 오픈액세스 전문과 PDF도 함께 내려받았습니다. 자가포식 기구, 리소좀,

mTOR와 AMPK, 선택적 자가포식과 미토파지, 암, 치료 저항, 면역, 노화, 단식과 열량제한을 비롯한 열여덟 갈래로 나누어 모았습니다.

여기에 더해, 섬유·수분·운동·식이 시험처럼 **자가포식 데이터베이스에 담기지 않는 주제**는 PubMed에서 따로 모아 보조 자료로 썼습니다. 30장의 섬유 연구와 33장의 운동 연구가 그렇게 들어왔습니다.

자료를 모은 뒤에는 검색 도구를 만들어, 장을 쓸 때마다 주제로 찾고 **논문 한 편 한 편의 초록을 직접 읽어** 설계와 인원, 기간, 수치를 확인했습니다. 초록에 없는 숫자는 쓰지 않았고, 확신이 서지 않는 논문은 인용하지 않았습니다. 장 끝에는 그 장이 인용한 논문의 정식 서지가 자동으로 붙습니다.

한 가지 분명히 해 둘 것

한국식품영양연구소는 의료기관이 아닙니다. 진료나 처방을 하지 않습니다. 암 치료에 관한 결정은 반드시 담당 의사와 함께 내려야 합니다. 이 책에 나오는 어떤 문장도 수술·항암제·방사선·면역치료를 미루거나 대신하는 근거가 될 수 없습니다.

이 책이 하려는 일은 하나입니다. **표준 치료 결에서, 오늘 하루에 넣을 수 있는 근거 있는 일을 정확히 알려 드리는 것**입니다.

이 책을 읽기 전에

우리 몸의 세포는 쉬지 않고 자기 안을 치웁니다. 낡은 발전소를 뜯어 녹이고, 잘못 접힌 단백질 덩어리를 봉투에 싸서 분쇄기로 보내고, 거기서 나온 재료로 새 부품을 만듭니다. 이 일을 **오토파지(자가포식)**라고 합니다. ‘스스로’와 ‘먹다’를 붙인 말입니다. 2016년 노벨생리의학상이 이 장치를 밝힌 연구에 주어졌습니다.

이 청소가 암과 무슨 관계일까요. 관계가 아주 깊습니다. **청소가 멈추면 망가진 발전소가 쌓여 활성산소를 흘리고, 그것이 설계를 글습니다.** 글썽한 자국이 쌓이면 세포 하나가 멈추라는 신호를 무시하게 됩니다. 그것이 암의 시작입니다. 실제로 청소 유전자가 한쪽 잘려 나간 사람의 암 조직이 여럿 발견되었고, 청소를 못 하게 만든 생쥐에서는 종양이 더 잘 생겼습니다(19장).

그런데 인터넷에는 반대 이야기도 돌아다닙니다. **“오토파지가 암을 키운다”**, 그래서 **“단식하면 암이 자란다”**는 말입니다. 이 책은 그 말을 피하지 않고 한 장을 통째로 써서 정면으로 다룹니다(20장). 미리 한 줄로 말씀드리면 이렇습니다. **자란 암이 청소에 기댄다는 것은 세포와 유전자조작 생쥐에서 확인된 사실이고, 그것을 약으로 막아 보려는 시험은 아직 사람의 생존을 늘리지 못했습니다.** 그리고 사람을 대상으로 한 연구에서, 단식이나 운동처럼 생활로 청소를 켜는 일이 암을 키웠다는 보고는 없습니다.

이 책이 걷는 길

이 책은 전주 한옥마을 곁 헌책방 ‘비움책방’에 모인 네 사람의 대화로 이루어져 있습니다. 종양내과 교수이자 자가포식 연구자, 대장암 수술과 항암치료를 마치고 3년째 추적 중인 책방 주인, 암병원 임상영양사, 그리고 과학 동아리 중학생입니다. 9월 첫 토요일부터 11월 마지막 토요일까지 **열두 번의 토요일** 동안, 세포 한 채를 구경하는 일에서 시작해 청소의 스위치를 찾고, 암이라는 병을 이해하고, 치료와 만나는 자리를 지나, 마침내 하루의 식탁과 물병과 걸음을 설계합니다.

어려운 말이 나올 때마다 누군가 “그게 무슨 뜻이에요?”라고 묻고, 비유로 풀고, 다시 자기 말로 정리합니다. **중학교 2학년이라도 처음부터 끝까지 따라갈 수 있도록** 쓴 이유입니다.

이 책의 근거

문장 끝에 붙은 위첨자 번호는 근거가 된 논문을 가리킵니다. **지어낸 숫자는 하나도 없습니다.** 이 책을 위해 PubMed에 실린 자가포식 논문의 서지와 초록을 모아 자료 더미를 만들고, 거기에 섬유·수분·운동처럼 따로 필요한 주제를 PubMed에서 보태어 썼습니다. 철회되었거나 정정되었거나 초록이 없는 논문은 걸러 냈습니다. 정확한 편수는 판권 쪽에 적었습니다.

각 장 끝에는 **그 장이 인용한 논문의 정식 서지**가 붙습니다. 원문을 직접 확인하고 싶은 분을 위해 DOI도 함께 실었습니다.

근거 표지 읽는 법

문장 끝의 꺾쇠 기호는 그 결과가 **어디서 나왔는지** 알려 주는 이정표입니다. 이 책은 세포·동물의 결과와 사람의 결과를 한 문장에 섞지 않습니다.

[표 III-1] 근거 표지 읽는 법

표지	뜻
[세포] [동물] [세포·동물]	실험실 세포나 동물에게서 나온 결과. 사람에게 그대로 적용되는지는 더 확인이 필요하다
[중례]	한두 사람의 경험을 자세히 기록한 보고
[사람·관찰]	여러 사람을 지켜보며 견준 연구. 관련은 보여 주지만 원인은 정하지 못한다
[사람·시험]	사람을 나누어 직접 해 보고 견준 연구(가장 힘이 센 근거)
[종합]	여러 연구를 모아 함께 본 결과

먼저 하는 약속

이 책은 다음 세 가지를 먼저 약속합니다.

첫째, 이 책은 치료를 대신하지 않습니다. 수술·항암제·방사선·면역치료가 먼저이고, 이 책이 말하는 것은 그 곁에 섭니다. 치료를 미루거나 중단하는 근거로 이 책의 어떤 문장도 쓰일 수 없습니다.

둘째, 굵은 일은 혼자 하지 않습니다. 치료 중의 단식은 임상시험에서 의료진이 관리하며 한 것입니다. 체중이 줄고 있거나 마른 분, 당뇨약을 쓰는 분, 고령이면서 쇠약한 분에게 단식은 해롭습니다(28·29장).

셋째, 숫자를 지어내지 않습니다. 이 책의 모든 수치는 실제 논문의 초록이나 국가 공인 성분표에서 가져왔습니다. 등장인물의 기록은 이야기 속 예시이며, 그럴 때마다 그렇게 밝혔습니다.

읽는 순서

1부부터 차례로 읽으시면 가장 좋습니다. 다만 지금 급한 것이 있다면 이렇게 하셔도 됩니다.

- **치료를 받고 계신 분:** 26장(치료 중의 몸) → 25장(물) → 38장(시기별 점검표)
- **치료를 마치고 추적 중인 분:** 34장(하루 설계) → 30장(섭유) → 33장(운동과 잠)
- **인터넷 글과 광고 때문에 혼란스러운 분:** 20장(두 얼굴) → 35~37장(근거 읽는 법)
- **가족이나 보호자:** 26장 → 38장 → 40장

그리고 언제든지 **40장의 결론**부터 읽으셔도 좋습니다. 이 책이 확인한 것과 확인하지 못한 것이 거기 모두 적혀 있습니다.

제 1 부

청소하는 세포

01

비움책방의 첫 토요일 — 네 사람과 네 질문

전주 한옥마을 뒤편, 간판이 낡은 헌책방 ‘비움책방’. 토요일 저녁 일곱 시, 마지막 손님이 나가고 현수가 문을 닫는다. 책방 안쪽 낡은 탁자에 네 사람이 둘러앉는다. 밖에서는 가을비가 기왓장을 두드린다.

열다섯 살이 들고 온 영상

다인 아빠, 이거 좀 봐. 어제 밤에 본 건데 조회수가 200만이야.

현수 (화면을 보며) “3일만 굶으면 몸이 암세포를 먹어 치운다. 노벨상이 증명한 오토파지.” ...이게 사실이면 세상 병원이 다 문을 닫았겠다.

다인 그런데 밑에 댓글이 만 개야. “우리 삼촌도 이렇게 나왔다”는 글도 있고.

수진 저희 병원에도 저 영상을 보고 오시는 분이 한 주에 몇 분씩 계세요. 항암치료 받는 중에 사흘을 굶으셨다가 탈수로 응급실에 오신 분도 있었어요.

윤 교수 (책방 고양이를 무릎에 앉히며) 다인아, 저 문장은 참말과 거짓말이 아주 교묘하게 섞여 있단다. 하나씩 갈라 보자꾸나.

다인 어디가 참말이에요?

윤 교수 **오토파지가 노벨상을 받은 것은 참말이다.** 2016년 노벨생리의학상이 일본의 오스미 요시노리에게 갔지. 효모에서 자가포식 유전자를 찾아낸 공로였단다(동물)¹. 세포가 자기 안의 낡은 부품을 스스로 먹어 치우는 일, 그 구조를 밝힌 공로였단다.

현수 그럼 굶으면 암세포를 먹어 치운다는 건요?

윤 교수 그건 **아주 많이 건너뛴 말입니다.** 굶으면 청소가 세지는 것은 맞아요. 그런데 그 청소가 암 덩어리를 먹어 치우는 건 아닙니다(종합)². 그 사이에 있는 여러 단계를 이 책에서 하나씩 짚어 볼 참입니다.

네 사람이 여기 모인 까닭

현수 저부터 말씀드리죠. 저는 3년 전에 대장암 3기 수술을 받았습니다. 배를 30센티 열고, 그 뒤로 여섯 달 동안 항암주사를 맞았고요. 그때 78킬로던 몸무게가 68까지 빠졌습니다.

다인 나 그때 초등학교 6학년이었어. 아빠가 머리카락 빠진 거 보고 밤에 몰래 울었어.

현수 (잠깐 말을 멈추고) …그래서 저는 “이거 먹으면 낫는다”는 말을 제일 싫어합니다. 그 여섯 달 동안 저희 집에 온 상자만 스무 개예요. 버섯 달인 물, 무슨 즙, 무슨 환. 저는 이제 묻습니다. **“그래서 사람한테 해 봤어요? 몇 명한테요?”**

윤 교수 좋은 질문입니다. 이 책에서 제가 가장 많이 듣게 될 질문이겠군요.

수진 저는 같은 병원 암병원에서 13년째 영양상담을 합니다. 하루에 스무 분 넘게 만나요. 작년에는 저희 어머니가 위암 수술을 받으셔서, 처음으로 상담실 반대편에 앉아 봤습니다. 그때 알았어요. 아는 것과 집에서 실제로 차리는 것은 완전히 다른 일이라는 걸요.

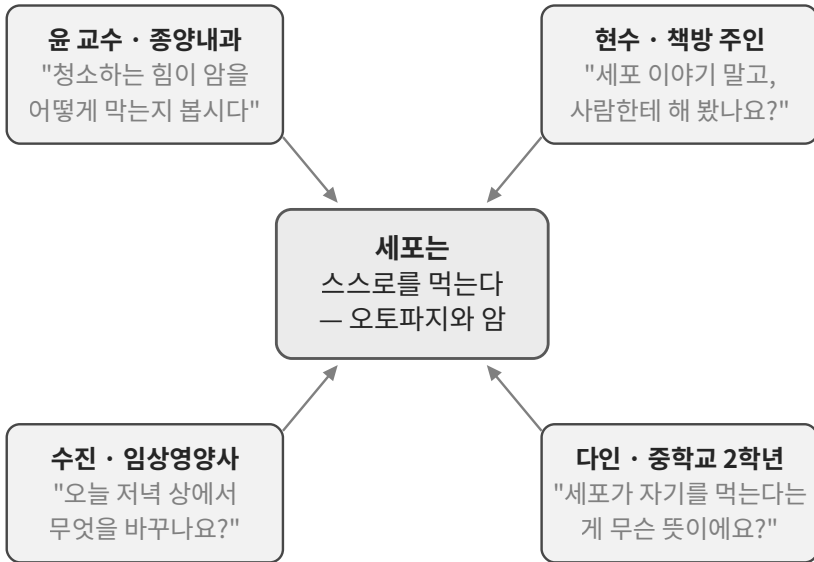
다인 저는 학교 과학 동아리에서 자유탐구를 해야 하는데요, 주제를 “세포는 왜 자기를 먹는가”로 정했어요. 교수님이 도와주시기로 했어요.

윤 교수 저는 중양내과 의사입니다. 낮에는 환자를 보고, 저녁에는 연구실에서 세포를 봅니다. 25년째 같은 것을 들여다보고 있지요. 바로 **세포가 자기를 청소하는 일**입니다.

다인 제가 그림 1-1처럼 지도로 그려 봤어요. 우리 넷이 같은 걸 다른 데서 묻는 거네요.

현수 교수님, 솔직히 말씀해 주세요. 청소니 뭐니 하는 게 제 병하고 정말 상관이 있습니까?

윤 교수 있습니다. 그것도 아주 깊이 있습니다. 다만 그 상관이라는 게 **사람들이 흔히 생각하는 방향은 아닐 수 있어요.** 그 이야기를 하려고 오늘부터 열두 번을 모이자고 한 겁니다.



네 사람이 같은 것을 서로 다른 자리에서 묻는다

[그림 1-1] 네 사람의 질문 지도 같은 주제를 네 사람이 서로 다른 자리에서 묻는다(개념도).

세포가 자기를 먹는다는 말

다인 그런데 교수님, 세포가 자기를 먹는다는 게 무슨 뜻이에요? 진짜로 먹어요?

윤 교수 말 그대로란다. 오토파지(autophagy)는 그리스말 둘을 붙인 말이야. **auto**는 ‘스스로’, **phagein**은 ‘먹다’. 우리말로로는 자가포식, 스스로 자기를 먹는다는 뜻이지.

다인 왜 자기를 먹어요? 아프잖아요.

윤 교수 아프려고 먹는 게 아니란다. **낡은 것을 먹어서 새것을 만들려고** 먹는 거야. 아빠가 예전에 인쇄소에서 일하셨다고 했지?

현수 18년 했습니다. 활자 골라서 판 짜고, 기름칠하고.

윤 교수 그 인쇄소에서 기계 부품이 하나 망가지면 어떻게 하셨습니까?

현수 뜯어서 고치죠. 못 고치면 쇳덩이는 따로 모아 났다가 고물상에 넘기고요. 그 돈으로 새 부품을 삽니다.

윤 교수 그게 바로 오토파지입니다. 세포 안에서도 똑같은 일이 일어나요. **망가진 부품을 뜯어서 잘게 녹인 다음, 그 재료로 새 부품을 만듭니다.** 밖에서 새 재료가 들어오지 않을 때는 특히 더 열심히 하지요.

수진 그래서 굶으면 세진다는 말이 나오는 거군요.

윤 교수 그렇습니다. 몸 밖에서 재료가 안 들어오면, 몸은 안에 있는 낡은 것부터 혈어서 씹니다. 아주 오래된 생존 방식이에요. 효모도 하고, 지렁이도 하고, 사람도 합니다.

다인 그럼 우리 몸은 하루에 몇 번이나 그걸 해요?

윤 교수 쉬지 않고 한단다. 우리 몸에서는 하루에 단백질 수백 그램이 새로 만들어지고 또 그만큼 부서져. 그 부서지는 쪽 일의 상당 부분을 오토파지가 맡고 있지. 다만 **세기가 달라진단다.** 배부를 때는 약하게, 배고플 때와 운동할 때는 세게.

청소와 암이 만나는 자리

현수 여기까지는 알겠습니다. 그런데 그게 암하고 무슨 상관입니까?

윤 교수 이렇게 생각해 보세요. 인체에서 쓰레기를 안 치우면 어떻게 됩니까?

현수 기름 먹은 걸레가 쌓이면 불납니다. 실제로 옆 공장에서 그렇게 났어요.

윤 교수 세포도 똑같습니다. **청소가 멈추면 망가진 부품이 쌓이고, 그 부품에서 나온 독한 찌꺼기가 DNA를 상하게 합니다.** DNA(디옥시리보핵산, deoxyribonucleic acid)는 세포의 설계도입니다. DNA가 상한 자리가 쌓이고 쌓이면 어느 날 세포 하나가 멈추라는 신호를 안 듣게 되지요. 그게 암의 시작입니다. **[종합]**³

다인 그러니까 청소를 잘하면 암이 덜 생긴다는 거예요?

윤 교수 그 방향이 맞단다. 실제로 청소에 필요한 유전자를 한쪽만 남긴 생쥐에서는 종양이 더 많이 생겼어. **[동물]**⁴ 사람에게서도, 청소에 필요한 유전자 한쪽이 잘려 나간 암 조직이 많이 발견됐지. **[사람-관찰]**⁵ 이 이야기를 4부에서 자세히 할 참이다.

수진 그런데 교수님, 인터넷에는 반대 이야기도 있던데요. “오토파지가 암을 키운다”는 글이요.

윤 교수 기다리고 있었습시다, 그 질문. **20장 한 장을 통째로 거기에 쓸 겁니다.** 미리 한 줄만 말씀드리면 이렇습시다. 그 이야기는 **실험실 접시와 유전자를**

조작한 생쥐에서 나온 이야기이고, 사람에게서는 **약으로 청소를 막아 보는 연구**로 이어졌습니다. 우리가 이 책에서 이야기할 단식·섬유·물·운동과는 **자리가 다른 이야기**예요.

현수 다르다는 게 무슨 뜻입니까?

윤 교수 사람을 대상으로 한 연구에서, **청소를 켜는 생활을 했더니 암이 커졌다는 보고는 없습니다**. 오히려 항암치료와 함께 식사를 조절한 시험에서는 결과가 더 좋아졌다는 보고가 나왔지요. 이 이야기는 6부에서 숫자와 함께 보여 드리겠습니다.

이 책이 먼저 하는 약속

윤 교수 시작하기 전에, 제가 의사로서 꼭 못 박아 둘 것이 셋 있습니다.

윤 교수 표 1-1에 한눈에 보게 정리해 두었습니다.

[표 1-1] 이 책이 먼저 하는 세 가지 약속

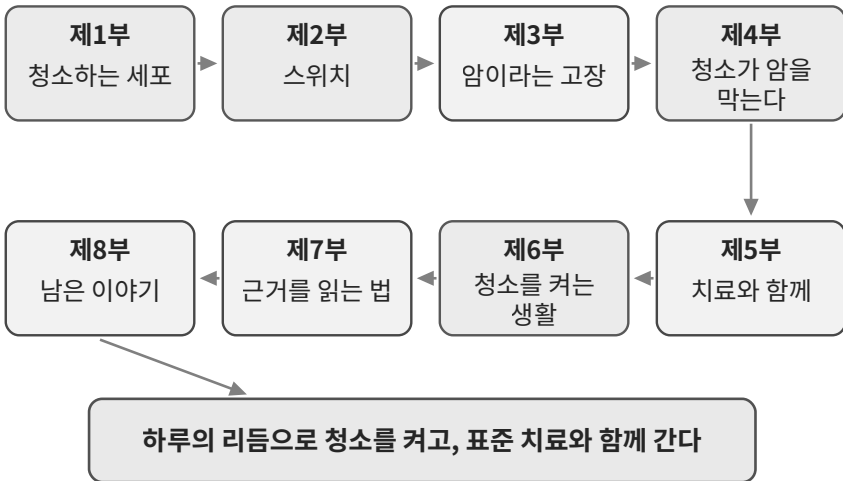
약속	무슨 뜻인가	어디서 다시 말하나
치료를 대신하지 않는다	수술·항암제·방사선·면역치료가 먼저다. 이 책은 그 곁에 선다	26·38장
굶는 것은 혼자 하지 않는다	치료 중 단식은 의료진이 관리한 시험에서만 안전했다	28·29장
숫자를 지어내지 않는다	이 책의 모든 수치는 실제 논문 초록에서 가져왔다	35·36장

수진 세 번째는 제가 특히 부탁드리고 싶었어요. 상담실에서 제일 힘든 순간이 “인터넛에서 90퍼센트가 나왔던데요” 하실 때거든요. 그 숫자가 어디서 왔는지 아무도 모르니까요.

윤 교수 그래서 이 책은 문장 끝마다 출처를 답니다. 각 장 끝에 논문 목록이 붙을 겁니다. 다인이가 발표할 때도 그렇게 하면 돼.

다인 알겠어요. 그럼 이제 뭐부터 배워요?

윤 교수 먼저 **세포 한 채를 구경**하자꾸나. 청소가 어디서 일어나는지 알려면 집 구조를 먼저 봐야 하니까. 그다음에 청소하는 방법, 청소를 켜고 끄는 스위치, 그리고 암. 우리가 걸어갈 길은 이렇단다.



[그림 1-2] 이 책이 걸어갈 길 여덟 부를 차례로 지나면서 세포에서 시작해 하루의 식탁에서 끝난다(여정도).

다인 그림 1-2에 여덟 부가 다 나와 있네요. 석 달 동안 이 길을 걷는 거예요?

현수 열두 번이면 석 달이네요. 그 사이에 제 추적검사도 한 번 있습니다.

윤 교수 그 결과도 같이 봅시다. 다만 미리 말씀드리면, 이 석 달 동안 우리가 바꿀 것은 **약이 아니라 하루의 리듬**입니다. 먹지 않는 시간, 섬유, 물, 걷기, 잠. 그 다섯 가지예요.

다인 그게 다예요? 뭔가 굉장한 게 나올 줄 알았는데.

윤 교수 (웃으며) 굉장한 것은 그 다섯 가지가 세포 안에서 하는 일이란단다. 다음 주에 그 세포부터 열어 보자.

이 장의 핵심

- 오토파지(자가포식)는 세포가 **낡은 부품을 스스로 먹어 녹인 뒤 그 재료로 새것을 만드는 일**이다. 2016년 노벨생리의학상 주제였다.
- 청소가 멈추면 망가진 부품과 찌꺼기가 쌓이고, 그것이 DNA를 상하게 해 암의 시작이 된다.
- “3일 굶으면 암세포가 사라진다”는 말은 참말과 건너뛴 말이 섞인 문장이다. 치료 중의 단식은 혼자 하면 위험하다.
- 이 책은 표준 치료를 대신하지 않으며, 모든 수치는 실제 논문에서 가져온다.

이 장의 출처

1. Tsukada, M., & Ohsumi, Y. (1993). Isolation and characterization of autophagy-defective mutants of *Saccharomyces cerevisiae*. *FEBS Letters*. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(93\)80398-e](https://doi.org/10.1016/0014-5793(93)80398-e)
2. Ashrafizadeh, M. (2026). Autophagy in gastrointestinal cancers: Therapeutic and biological perspectives. *Arab Journal of Gastroenterology : the Official Publication of the Pan-Arab Association of Gastroenterology*. <https://doi.org/10.1016/j.ajg.2026.06.011>
3. Liu, H., Liu, W., Zhang, X., Jiang, Y., Xu, H., Wang, N., Liu, B., & Lin, N. (2026). Integrating the hallmarks of cancer into autophagy: a perspective from underlying mechanisms to therapeutic strategies. *Theranostics*. <https://doi.org/10.7150/thno.135134>
4. Qu, X., Yu, J., Bhagat, G., Furuya, N., Hibshoosh, H., Troxel, A., Rosen, J., Eskelinen, E. L., Mizushima, N., Ohsumi, Y., Cattoretti, G., & Levine, B. (2003). Promotion of tumorigenesis by heterozygous disruption of the beclin 1 autophagy gene. *The Journal of Clinical Investigation*. <https://doi.org/10.1172/jci20039>
5. Liang, X. H., Jackson, S., Seaman, M., Brown, K., Kempkes, B., Hibshoosh, H., & Levine, B. (1999). Induction of autophagy and inhibition of tumorigenesis by beclin 1. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/45257>

세포 한 채 — 무엇이 들어 있나

다음 주 토요일. 비가 그치고 바람이 잦다. 다인이 책방 한쪽 화이트보드를 끌어다 놓고, 윤 교수가 가방에서 낡은 세포생물학 교과서를 꺼낸다. 표지가 테이프로 붙여져 있다.

37조 채의 집

윤 교수 다인아, 사람 몸에 세포가 몇 개나 있을 것 같니?

다인 음... 백만 개요?

윤 교수 훨씬 많단다. **대략 37조 개**로 어림한다. 1조가 1만 억이니까, 상상이 잘 안 되는 숫자지.

현수 그 하나하나가 다 살아 있는 겁니까?

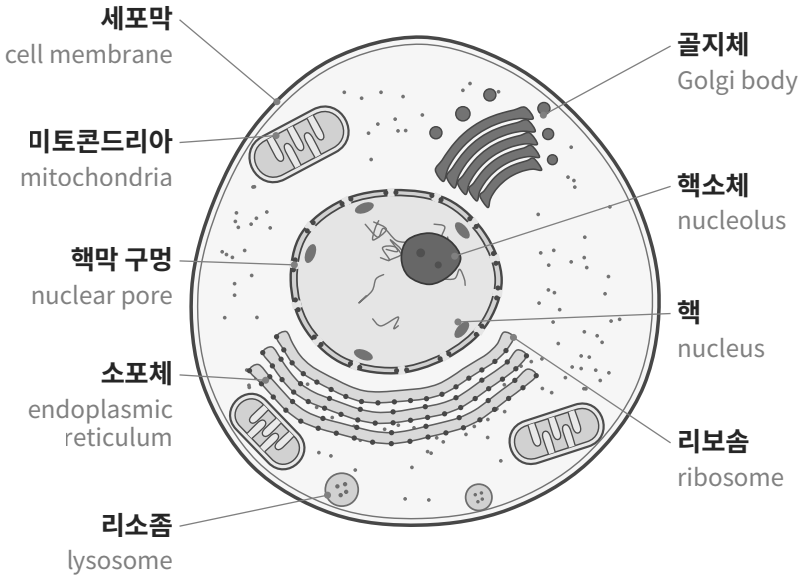
윤 교수 살아 있습니다. 그리고 **하나하나가 작은 공장이자 집**이에요. 안에 방이 있고, 발전기가 있고, 창고가 있고, 쓰레기 처리장까지 있습니다.

수진 환자분들께 설명할 때 저는 늘 “세포는 집이다” 하고 시작해요. 그런데 그다음에 늘 막혀요.

윤 교수 그럼 오늘 그 다음을 채워 봅시다. 현수 씨, 인쇄소를 한 채 떠올려 보세요. 문이 있고, 사장실에 설계도 금고가 있고, 조판대가 있고, 인쇄기가 있고, 발송실이 있고, 전기실이 있고, 폐지 압축기가 있지요?

현수 정확히 그랬습니다.

윤 교수 세포 안에도 그게 다 있습니다. 이름만 다를 뿐이에요.



[그림 2-1] 동물세포의 단면 세포막 안에 핵·소포체·골지체·미토콘드리아·리소좀·리보솜이 들어 있다(모식도).

방마다 하는 일

윤 교수 그림 2-1을 보면서 하나씩 갑시다. 먼저 바깥 테두리, **세포막**입니다.

다인 벽이네요.

윤 교수 벽이면서 문이란다. 기름 성분이 두 겹으로 깔린 막인데, 아무나 못 들어오지만 필요한 것은 문지기 단백질이 열어 준다. 포도당도 그 문으로 들어오고, 약도 그 문으로 들어가지.

수진 항암제가 잘 듣고 안 듣고도 그 문하고 관계가 있나요?

윤 교수 있습니다. 어떤 암세포는 그 문에 **밖으로 퍼내는 펌프**를 잔뜩 달아 놓습니다. 약이 들어오는 족족 퍼내 버리지요. 그 이야기는 22장에서 하겠습니다.

윤 교수 가운데 둥근 것이 **핵**입니다. 설계도, 그러니까 DNA가 들어 있는 금고예요. 막이 두 겹이고, 구멍이 뚫려 있습니다.

다인 금고에 왜 구멍을 뚫어요?

윤 교수 설계도를 베낀 쪽지가 나가야 하거든. 원본은 절대 밖에 안 나간단다.
필요한 쪽만 베껴서 내보내고(그 쪽지가 RNA, 리보핵산 ribonucleic acid란다), 원본은 금고 안에 그대로 둔다. 그 쪽지가 나가는 문이 핵막 구멍이야.

현수 그럼 저 안쪽에 진하게 보이는 덩어리는 뭐니까?

윤 교수 **핵소체**입니다. 조립대 부품을 찍어 내는 자리예요. 여기서 만든 부품이 리보솜이 됩니다.

만드는 쪽과 부수는 쪽

윤 교수 핵 둘레를 주름처럼 감싼 것이 **소포체**입니다. 그 위에 점점이 박힌 것이 **리보솜**이고요.

다인 점이 엄청 많아요.

윤 교수 조립대란다. 핵에서 나온 쪽지를 받아서 **아미노산을 순서대로 꿰어 단백질을 만드는 자리**야. 세포 하나에 리보솜이 수백만 개씩 있단다.

수진 단백질이 그렇게 많이 필요한가요?

윤 교수 우리 몸에서 일하는 것이 거의 다 단백질입니다. 소화 효소도, 근육도, 항체도, 아까 말한 문지기과 펌프도 전부 단백질이에요. **사람 몸에서는 하루에 수백 그램의 단백질이 새로 만들어집니다.** 만드는 일과 부수는 일의 균형을 단백질 항상성(프로테오스타시스)이라고 부릅니다(종합)¹.

현수 그렇게 많이 만들면 몸이 계속 커져야 하는 거 아닙니까?

윤 교수 바로 그 질문이 오늘의 핵심입니다. **만드는 만큼 부십니다.** 새로 만든 양과 부순 양이 거의 같아요. 그래서 몸무게는 그대로인데, 몸을 이루는 단백질은 계속 새것으로 갈립니다.

다인 그럼 우리 몸은 계속 새로 지어지는 거예요?

윤 교수 그렇단다. 단백질마다 수명이 다른데, 몇 분짜리도 있고 몇 달짜리도 있어. **낡은 것을 제때 부수지 못하면 그게 그대로 쌓인다.** 그 부수는 일이 오늘 이야기의 끝에 있단다.

윤 교수 소포체에서 만든 단백질은 **골지체**로 갑니다. 그림에서 활처럼 흰 주머니가 겹쳐 있는 자리요. 여기서 포장하고 주소를 붙입니다.

현수 발송실이네요.

윤 교수 정확합니다. 어떤 것은 세포 밖으로 내보내고, 어떤 것은 세포막에 붙이고, 어떤 것은 **분쇄기로 보냅니다**.

발전소와 분쇄기

윤 교수 길쭉한 콩처럼 생긴 것이 **미토콘드리아**입니다. 발전소예요.

다인 안에 구불구불한 줄이 있어요.

윤 교수 그게 **크리스타(cristae)**란다. 안쪽 막이 주름처럼 접힌 거야. 왜 접었을까?

다인 음... 넓이를 늘리려고요?

윤 교수 맞았다. 전기를 만드는 장치가 그 막에 줄줄이 박혀 있거든. 막을 접으면 같은 부피에 장치를 더 많이 넣을 수 있지. 여기서 우리가 쓰는 에너지, **ATP**(아데노신삼인산, adenosine triphosphate — 세포가 쓰는 에너지 화폐)를 만든단다.

수진 환자분들이 “기운이 없다”고 하실 때 제가 늘 떠올리는 게 이 미토콘드리아예요.

윤 교수 좋은 감각입니다. 그리고 이 발전소는 **낡으면 위험해집니다**. 전기를 만들다 새는 불꽃이 생기거든요. 그 불꽃이 **활성산소**(reactive oxygen species, ROS)입니다. 낡은 발전소일수록 더 많이 새고, 그 활성산소가 미토콘드리아 자신의 DNA까지 상하게 합니다(**종합**)².

현수 그럼 낡은 건 갈아야겠네요.

윤 교수 그래서 마지막 방이 있는 겁니다. 그림 아래쪽의 작은 공, **리소좀**(lysosome, ‘녹이는 몸’)이에요. 이 책에서 가장 중요한 방입니다.

다인 왜요?

윤 교수 **분쇄기이자 재활용장**이거든. 안에 소화 효소가 60가지 넘게 들어 있고, 속이 위장처럼 시큼하단다. 그 시큼함이 열어지면 분해가 잘 되지 않는단다(**세포**)³. 여기 들어간 것은 거의 다 잘게 녹아. 그 녹은 재료가 다시 나가서 새 부품이 되고.

수진 그런데 그 효소가 세포 안에 그냥 돌아다니면 큰일 나겠는데요.

윤 교수 그래서 막으로 단단히 싸 두었습니다. **분쇄기를 열어 놓지 않고, 부슬 것을 봉투에 담아 분쇄기로 가져가는 방식**이에요. 그 봉투에 담아 가져가는 일이 바로 오토파지입니다.

수진 표 2-1로 정리해 볼게요.

[표 2-1] 세포 속 방과 하는 일 — 인체소에 견주면

세포 속 이름	인체소에 견주면	하는 일
세포막	벽과 문	들어오고 나가는 것을 가린다
핵	설계도 금고	DNA를 지키고 필요한 쪽만 베껴 내보낸다
리보솜	조판대	아미노산을 꿰어 단백질을 만든다
소포체·골지체	포장·발송실	단백질을 접고 포장해 주소대로 보낸다
미토콘드리아	전기실	ATP를 만든다. 낡으면 활성산소가 샌다
리소좀	폐지 압축기·재활용장	낡은 것을 녹여 재료로 되돌린다

청소가 멈춘 집

현수 교수님, 아까 “제때 못 부수면 쌓인다”고 하셨잖아요. 쌓이면 어떻게 됩니까?

윤 교수 집이 어떻게 되는지 생각해 보시면 됩니다. 쓰레기봉투를 한 달 안 내놓으면요?

현수 냄새나고, 벌레 꼬이고, 나중엔 방을 못 씁니다.

윤 교수 세포도 같습니다. 망가진 단백질이 덩어리로 엉기고, 낡은 발전소가 불꽃을 계속 흘리고, 그 불꽃이 금고 속 설계도를 굵습니다. **설계도가 굵힌 자국이 쌓이는 것, 그게 돌연변이입니다.**

다인 그게 암이 되는 거예요?

윤 교수 한 번 굵었다고 바로 되지는 않는단다. 몸에는 고치는 장치도 여럿 있거든. 다만 **굵히는 속도가 고치는 속도보다 빨라지면** 언젠가 한 세포가 선을 넘어. 그 과정은 12장에서 차근차근 보자꾸나.

수진 그러니까 청소는 암이 생기기 **전에** 일하는 거네요.

윤 교수 정확합니다. 오늘 기억하실 문장은 이겁니다. **청소는 병이 생긴 뒤에 치우는 일이 아니라, 병이 생기지 않게 하는 일이다.**

다인 그럼 다음 주에는 그 봉투 이야기예요?

윤 교수 그렇단다. 봉투가 어떻게 생기고, 어떻게 분쇄기까지 가는지. 네 단계로 나누어 보여 주마.

집집마다 다른 살림

수진 교수님, 세포가 다 똑같이 생겼나요? 간세포하고 근육세포하고요.

윤 교수 기본 방은 같은데 **살림살이의 비율이 다릅니다.** 간세포는 해독과 대사를 맡으니 소포체가 아주 발달해 있고, 리소솜도 많아요. 근육세포는 미토콘드리아가 뻘뻘하고요. 심장은 쉬지 않고 뛰어야 하니 발전소 비율이 더 높습니다.

다인 그럼 청소도 세포마다 다르게 해요?

윤 교수 그렇단다. **심장·근육·간·신경세포처럼 한 번 만들면 오래 쓰는 세포일수록 청소에 더 많이 기댄다.** [종합]⁴ 피부나 장 점막처럼 며칠 만에 통째로 새로 갈리는 세포는 낡은 부품을 안고 살 일이 적거든. 그런데 신경세포는 태어날 때 받은 그 세포를 평생 쓴단다.

현수 그러면 신경세포는 청소가 막히면 큰일이겠네요.

윤 교수 실제로 그렇습니다. 파킨슨병이나 알츠하이머병에서 신경세포 안에 단백질 덩어리가 쌓이는 것도 그 이야기와 이어집니다. 다만 우리 책의 주제는 암이니, 오늘은 “**오래 쓰는 세포일수록 청소가 중요하다**”만 기억해 두시면 됩니다.

수진 대장 점막은 빨리 갈리는 쪽이죠?

윤 교수 사나흘이면 새것으로 갈립니다. 그만큼 **나누는 횟수가 많다**는 뜻이고, 나눌 때마다 설계도를 베껴 쓰니 베끼다 틀릴 기회도 많다는 뜻입니다. 대장암이 흔한 이유 가운데 하나지요 [종합]⁵.

현수 (웃으며) 제 병 이야기가 벌써 나오네요.

윤 교수 12장에서 제대로 다루겠습니다. 오늘은 집 구경까지만 하지요.

다인 제가 정리해 볼게요. 세포는 집이고, 방마다 하는 일이 있고, 단백질은 계속 만들고 계속 부수고, 부수는 곳이 리소좀이고, 오래 쓰는 세포일수록 청소가 중요하다. 맞아요?

윤 교수 아주 잘 정리했다. 거기에 한 줄만 더 보태자꾸나. **부술 것을 리소좀까지 데려가는 방법이 오토파지다.**

이 장의 핵심

- 사람 몸은 약 37조 개의 세포로 되어 있고, 세포 하나가 작은 공장이다.
- 단백질은 **만드는 만큼 부순다**. 부수는 일이 늦어지면 망가진 부품이 그대로 쌓인다.
- **미토콘드리아**는 에너지를 만들지만 낡으면 활성산소가 새고, 그것이 DNA를 상하게 한다.
- **리소좀**은 세포의 분쇄기이자 재활용장이다. 부술 것을 봉투에 담아 리소좀으로 가져가는 일이 오토파지다.

이 장의 출처

1. Borlepawar, A., Neu, M., Ma, Z., Deshpande, A., Bühringer, H., Hajieva, P., Frey, N., & Rangrez, A. Y. (2026). Emerging perspectives in proteostasis: bridging mechanisms and therapeutics for human diseases. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. <https://doi.org/10.1038/s41392-026-02714-4>
2. Quan, Y., Xin, Y., Tian, G., Zhou, J., & Liu, X. (2020). Mitochondrial ROS-Modulated mtDNA: A Potential Target for Cardiac Aging. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. <https://doi.org/10.1155/2020/9423593>
3. Lakshmanan, D. K., Thilagar, S., Shanmugam, A., Kalidass, B., & Ravichandran, G. (2026). Defective lysosomal acidification promotes chondrocyte senescence and autophagic flux stagnation in geriatric osteoarthritis. *Tissue & Cell*. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2026.103767>
4. Goyal, A., Kumari, A., Agrawal, N., & Yadav, H. N. (2026). Autophagy decline during ageing: Molecular regulation, tissue specificity, and therapeutic potential. *Pathology, Research and Practice*. <https://doi.org/10.1016/j.prp.2026.156568>
5. Han, C., Wu, F., & Xu, J. (2024). Effectiveness of sigmoidoscopy or colonoscopy screening on colorectal cancer incidence and mortality: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trial. *Front Oncol*, 14, 1364923. <https://doi.org/10.1007/s00384-020-03518-w>

03

스스로를 먹는다는 말 — 오토파지 네 단계

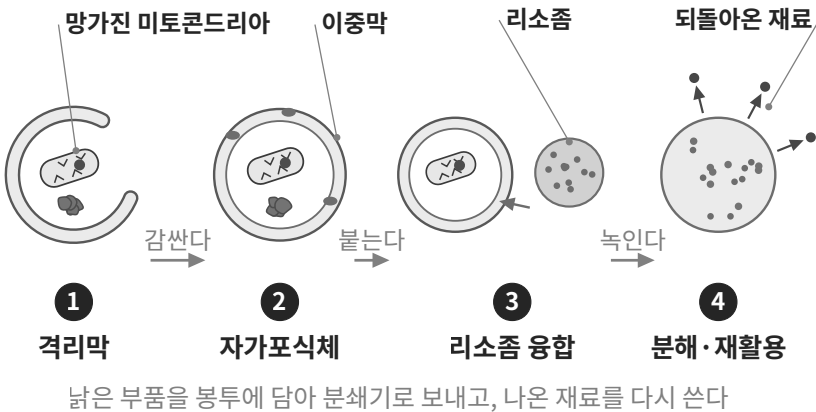
같은 저녁, 책방 안쪽. 윤 교수가 종이컵 두 개와 비닐봉지 하나를 탁자에 올려놓는다. “오늘은 준비물이 있습니다.” 다인이 공책을 펼친다.

봉투와 분쇄기

윤 교수 지난주에 리소좀을 분쇄기라고 했지요. 오늘은 그 분쇄기까지 어떻게 가는지를 봅시다. 다인아, 집에서 쓰레기 버릴 때 어떻게 하니?

다인 봉투에 담아서 묶어서 내놔요.

윤 교수 그대로란다. 세포도 부של 것을 그냥 두지 않고 **막으로 감싸서 봉투를 만든 다음**, 그 봉투를 분쇄기에 붙여. 크게 네 단계로 나눌 수 있지.



[그림 3-1] 오토파지 네 단계 격리막이 생겨 낡은 부품을 감싸고(①②), 리소좀과 붙여(③) 녹인 재료를 되돌린다(④)(모식도).

윤 교수 그림 3-1의 ①번부터 봅시다. 초승달처럼 생긴 것이 보이시죠. 이것이 **격리막**(phagophore, 아직 닫히지 않은 열린 막)입니다.

현수 접시 모양인데요. 아직 안 닫혔네요.

윤 교수 아직 자라는 중입니다. 세포 안 어딘가에서 작은 막 조각이 하나 생겨나 점점 자라면서 **부슬 것을 두 팔로 감싸듯 둘러쌌습니다.**

다인 그 막은 어디서 와요? 그냥 생겨요?

윤 교수 좋은 질문이다. 세포 안에 막을 가진 방이 여럿 있었지? **소포체 근처, 미토콘드리아 겉면, 세포막 조각**에서 재료를 받아 온다고 알려져 있단다 [종합]¹. 새 막을 처음부터 짓는 게 아니라 **있던 막에서 떼어다 이어 붙이는** 셈이야.

수진 재활용을 하려고 만드는 봉투도 재활용이네요.

윤 교수 (웃으며) 그렇습니다. 세포는 놀랄 만큼 알뜰합니다.

두 겹인 까닭

윤 교수 ②번을 보세요. 막이 완전히 닫혔습니다. 이 닫힌 봉투를 **자가포식체** (autophagosome, 자가포식 + 몸)라고 부릅니다. 그림에서 보시면 테두리가 **두 겹**이지요?

현수 정말 두 줄이네요. 왜 두 겹입니까?

윤 교수 격리막이 납작한 주머니 모양이기 때문입니다. 납작한 주머니로 물건을 감싸면 어떻게 되겠습니까?

현수 아... 안쪽 벽하고 바깥쪽 벽이 생기죠.

윤 교수 바로 그겁니다. **자가포식체는 반드시 이중막**입니다. 이게 중요한 이유가 있어요. 연구자들이 현미경으로 세포를 볼 때, **막이 두 겹인 주머니가 보이면 “아, 오토파지가 일어나고 있구나”** 하고 알아봅니다. 이 책에 나올 많은 연구가 바로 그 두 겹을 세어서 나온 것입니다.

다인 봉투에 이름표도 붙어요?

윤 교수 붙는단다. 그림에서 막에 박힌 작은 알갱이 보이지? 그게 **LC3**(microtubule-associated protein 1 light chain 3, 미세소관 결합 단백질 1 경사슬 3)라는 단백질이야. 격리막이 자랄 때 막에 콕콕 박히는데, 봉투가 완성되면 표면에 쭉 남아 있지.

수진 그게 왜 중요한가요?

윤 교수 **셀 수 있기 때문**입니다. LC3에 형광 색을 입히면 현미경에서 초록 점으로 보입니다. 점이 많아지면 봉투가 많아진 것이고, 곧 청소가 세졌다는

뜻이지요. 우리가 앞으로 읽을 논문에서 “LC3-II가 늘었다”는 문장이 나오면 “**봉투가 늘었다**”로 읽으시면 됩니다.

현수 그 말 하나 알아 두니까 논문 제목이 좀 덜 무섭네요.

붙고, 녹고, 되돌아온다

윤 교수 ③번입니다. 봉투가 분쇄기, 그러니까 리소좀을 찾아갑니다. 그림에서 오른쪽 작은 공이 리소좀이에요. 알갱이가 점점이 박힌 것은 소화 효소입니다.

다인 봉투가 알아서 찾아가요?

윤 교수 세포 안에는 **레일이 깔려 있단다**. 미세소관이라는 가느다란 관이 길처럼 뻗어 있고, 봉투는 그 길을 따라 끌려간다. 도착하면 두 막이 맞닿아 **하나로 합쳐진다**(동물)².

수진 문이 열리듯이요?

윤 교수 비누 거품 두 개가 만나 하나가 되는 장면을 떠올리시면 됩니다. 이때 **SNARE**(soluble NSF attachment protein receptor, 두 막을 맞물려 하나로 만드는 단백질 무리)라는 단백질들이 두 막을 맞물려 줍니다. 여기까지 걸리는 시간은 몇 분에서 몇십 분 사이예요. 생각보다 빠릅니다.

윤 교수 ④번, 합쳐진 것을 **자가리소좀**(autolysosome)이라고 부릅니다. 이제 막이 한 겹이지요. 안에서 효소가 일을 시작합니다.

다인 녹으면 뭐가 남아요?

윤 교수 단백질은 **아미노산**으로, 지방은 **지방산**으로, 당은 단당으로 잘게 쪼개진단다. 그리고 그 재료가 **다시 세포질로 나와서** 새 단백질을 만드는 데 쓰인다. 그림 오른쪽 위로 튀어나가는 파란 점들이 그거야.

현수 그러니까 쓰레기가 아니라 부품 창고였네요.

윤 교수 정확합니다. 그래서 **끓을 때 이 일이 세지는 것**입니다. 밖에서 아미노산이 안 들어오면, 세포는 안에서 낡은 것을 털어 아미노산을 만들어 씁니다. 사람이 며칠 굶어도 버티는 이유 가운데 하나가 이겁니다.

윤 교수 표 3-1을 보시지요.

[표 3-1] 오토파지 네 단계

단계	이름	일어나는 일	연구에서 보는 표지
①	격리막	막 조각이 생겨 부술 것을 감싼다	격리막 단백질(ATG)
②	자가포식체	이중막 봉투가 닫힌다	LC3-II, 이중막 주머니
③	융합	봉투가 리소좀과 하나가 된다	봉투와 리소좀 표지의 겹침
④	분해·재활용	효소가 녹이고 재료가 되돌아간다	p62 감소, 아미노산 증가

한 번 도는 데 걸리는 시간

다인 이게 한 번 도는 게 오래 걸려요?

윤 교수 놀랄 만큼 빠르단다. 봉투 하나가 만들어져서 녹아 없어지기까지 **대체로 십여 분에서 수십 분** 사이야. 지금 우리가 이야기하는 동안에도 네 몸의 세포 안에서는 이 일이 수없이 돌고 있지.

현수 그럼 하루 종일 돌아가는 겁니까?

윤 교수 늘 조금씩 돌아갑니다. 이것 **기본 청소**라고 불러요. 그러다 배가 고프거나, 운동을 하거나, 세포가 스트레스를 받으면 **세기가 확 올라갑니다**. 반대로 배부르게 먹으면 툭 떨어지고요.

수진 그 스위치 이야기가 다음 부군요.

윤 교수 그렇습니다. 2부 전체가 그 스위치 이야기입니다. 무엇이 청소를 켜고 무엇이 끄는지, 그리고 그것이 왜 **우리 하루의 리듬**과 이어지는지.

다인 그런데 궁금한 게 있어요. 봉투가 아무거나 막 감싸면 멸종한 것도 녹는 거 아니에요?

윤 교수 아주 날카로운 질문이구나. 그래서 세포는 **표를 붙인다**. 치울 것에 표를 붙여 두면 봉투가 그것만 골라 감싸지. 그 이야기는 10장에서 자세히 하자꾸나. 오늘은 네 단계만 확실히 기억하면 된다.

현수 격리막, 자가포식체, 융합, 분해. 이렇게 넷.

윤 교수 이 책 끝까지 이 네 단계가 계속 나옵니다. 약도 이 네 단계 중 어딘가를 건드리고, 단식도 어딘가를 건드립니다. **어디를 건드리는지**만 알면 어려운 논문 제목도 절반은 읽힙니다.

봉투에 무엇이 담기나

수진 그 봉투 안에는 주로 뭐가 들어가나요? 환자분들이 “몸속 노폐물”이라고 뭉뚱그려 말씀하시거든요.

윤 교수 뭉뚱그리면 오해가 생깁니다. 구체적으로 말씀드리지요. 크게 넷입니다. 첫째 **납거나 망가진 미토콘드리아**, 둘째 **영겨 붙은 단백질 덩어리**, 셋째 **지방방울**, 넷째 **세포 안까지 들어온 세균**입니다(**종합**)³.

다인 세균도 먹어요?

윤 교수 먹는단다. 세포 안으로 침입한 결핵균 같은 것을 봉투에 싸서 녹여 버리지. 이걸 따로 **제노파지**(xenophagy, ‘남의 것을 먹는다’)라고 불러.(**종합**)⁴

현수 그럼 기름 덩어리를 녹인다는 건, 살이 빠진다는 얘깁니까?

윤 교수 그렇게 단순하지는 않습니다. **지방방울을 녹여 지방산을 꺼내 쓰는** 일을 리포파지(lipophagy)라고 하는데, 주로 간세포에서 활발합니다(**종합**)⁵. 지방간 연구에서 자주 나오는 이야기지요. 몸무게가 줄고 느는 것은 훨씬 여러 가지가 얹힌 일이라, 오토파지 하나로 설명하면 틀립니다.

수진 그 말씀을 꼭 책에 적어 주세요. “오토파지 다이어트”라는 말이 하도 돌아다녀서요.

윤 교수 적겠습니다. 이 책은 **살을 빼는 책이 아니라 청소 이야기를 정확히 하는 책**입니다.

녹이지 못하면 쌓인다

현수 반대로, 이 네 단계 중에 어디가 막히면 어떻게 됩니까?

윤 교수 아주 중요한 질문입니다. **어디가 막히느냐에 따라 세포 안 풍경이 달라집니다**. 봉투가 안 만들어지면 치울 것이 그냥 굴러다니고, 봉투는 만들어졌는데 리소좀과 못 붙으면 **봉투만 잔뜩 쌓입니다**.

다인 쓰레기봉투가 현관에 쌓인 거네요.

윤 교수 딱 그 모습이란다. 그래서 연구자들은 LC3 점이 늘었다고 무조건 “청소가 잘된다”고 읽지 않아. 점이 는 게 **봉투를 많이 만들어서인지, 못 치워서 쌓인 것인지** 반드시 갈라 본단다.

수진 어떻게 가르나요?

윤 교수 일부러 리소좀을 막는 약을 넣어 보고 비교합니다. 막았을 때 점이 더 늘면 원래는 잘 흘러가고 있었다는 뜻이고, 막으나 안 막으나 같으면 이미 막혀 있었다는 뜻이지요. 이 방법을 **자가포식 흐름 검사**(autophagic flux assay — 봉투가 만들어져 녹아 없어지기까지의 흐름을 재는 검사)라고 합니다. [종합]⁶ 이 책 뒤쪽에서 논문을 읽을 때 한 번 더 나올 말입니다.

현수 논문이 그렇게까지 따진다는 건 몰랐습니다.

윤 교수 제대로 한 연구는 거기까지 따집니다. 그리고 **그 차이를 안 따진 연구는 결론이 뒤집히기도 합니다.** 우리가 20장에서 읽을 논문들이 바로 그 지점에서 갈립니다.

다인 그런데 못 치운 봉투가 쌓이면 세포는 어떻게 돼요?

윤 교수 그 안에 든 것이 그대로 남으니, 망가진 발전소도 남고 영건 단백질도 남는단다. **그 상태가 오래가면 세포가 잘못된 길로 들어서기 쉬워진다.** 17장에서 p62라는 단백질을 가지고 그 이야기를 자세히 하자꾸나.

이 장의 핵심

- 오토파지는 ① 격리막이 생겨 ② 이중막 봉투(자가포식체)를 만들고 ③ 리소좀과 합쳐져 ④ 녹여 재료를 되돌리는 네 단계다.
- 자가포식체는 **반드시 막이 두 겹**이다. 현미경과 LC3 표지가 이것을 잡아낸다.
- 논문에서 “LC3-II가 늘었다”는 말은 **봉투가 늘었다**는 뜻이다.
- 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간은 대체로 십여 분에서 수십 분이며, 굵거나 운동할 때 세진다.

이 장의 출처

1. Wei, Y., Liu, M., Li, X., Liu, J., & Li, H. (2018). Origin of the Autophagosome Membrane in Mammals. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2018/1012789>
2. Hargitai, D., Nagy, A., Bodor, I., Szenci, G., Laczkó-Dobos, H., Bhattacharjee, A., Neuhauser, N., Takáts, S., Juhász, G., & Lőrincz, P. (2025). HOPS-dependent vesicle tethering lock inhibits endolysosomal fusions and autophagosome secretion upon the loss of Syntaxin17. *Science Advances*. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adu9605>
3. Liu, H., Liu, W., Zhang, X., Jiang, Y., Xu, H., Wang, N., Liu, B., & Lin, N. (2026). Integrating the hallmarks of cancer into autophagy: a perspective from underlying mechanisms to therapeutic strategies. *Theranostics*. <https://doi.org/10.7150/thno.135134>
4. Ansari, O., Ahmed, F., Siddiquee, N., Mursaleen, A., Rushna, S., Sheikh, J. A., & Shariq, M. (2026). The molecular arms race: Xenophagy, pathogen evasion, and emerging host-directed therapies. *Microbiological Research*. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2026.128460>

5. Zhao, R., Dai, E., Kang, R., Liu, J., Klionsky, D. J., Tang, D., Qu, Y., Lin, Y., & Zhang, X. (2026). Mammalian lipophagy: process and function. *Autophagy*. <https://doi.org/10.1080/15548627.2026.2632256>
6. Lee, C. H., & Lee, K. W. (2026). Spatial autophagy failure as a pharmacodynamic endpoint for autophagy-targeted dermatological interventions. *Pharmacological Research*. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2026.108422>

리소좀, 세포의 위장 — 드 뒤브에서 오스미까지

셋째 주 토요일. 이번에는 윤 교수의 연구실이다. 복도 끝 방에 현미경 두 대와 세포배양기가 놓여 있고, 벽에는 빛바랜 흑백 사진이 붙어 있다. 사진 속 노인이 웃고 있다.

우연히 만난 방

다인 저 사진 누구예요?

윤 교수 **크리스티앙 드 뒤브**. 벨기에 의사였단다. 이 방 이야기의 시작이 저 사람이야.

현수 세포 속 방을 찾아낸 사람입니까?

윤 교수 그렇습니다. 그런데 재미있는 건, **그걸 찾으려고 한 게 아니었다**는 점입니다. 드 뒤브는 원래 인슐린이 간에서 어떻게 작용하는지 연구하던 사람이예요.

다인 그런데 어떻게 찾았어요?

윤 교수 간을 갈아서 시험관에 넣고 효소 활성을 켜는데, **숫자가 이상했단다**. 갓 갈았을 때는 활성이 낮는데, 며칠 두었다가 재면 활성이 확 올라갔어.

수진 효소가 늘어난 건가요?

윤 교수 그럴 리가 없지요. 죽은 조직에서 효소가 새로 생길 수는 없으니까요. 드 뒤브는 이렇게 생각했습니다. **“효소가 늘어난 게 아니라, 갇혀 있던 효소가 풀려난 것이다.”**

현수 봉지에 들어 있다가 봉지가 터진 거네요.

윤 교수 바로 그겁니다. 1955년, 그는 그 봉지에 **리소좀(lysosome)**이라는 이름을 붙였습니다. ‘녹이는 몸’이라는 뜻입니다. 나중에 전자현미경으로 실제 모습이 확인되었고, 그는 1974년에 노벨상을 받았습니다.

다인 그럼 오토파지라는 말은요?

윤 교수 같은 사람이 붙였다. **1963년**이었어. 전자현미경 사진을 보다가, 리소좀 안에 **세포 자신의 부품**이 들어 있는 장면을 발견한 거야. 미토콘드리아 같은 것이 반쯤 녹은 채로 말이지.

현수 자기 발전기가 자기 분쇄기 안에 들어 있었다는 거네요.

윤 교수 그래서 이름이 “스스로 먹는다”가 된 겁니다.

삼십 년의 정체

수진 그렇게 일찍 알려졌는데, 노벨상은 2016년에 또 나왔잖아요. 그사이에 뭘 한 건가요?

윤 교수 좋은 질문입니다. **본 사람은 많은데, 어떻게 일어나는지 아무도 몰랐습니다.** 사진으로 봉투를 보는 것과, 그 봉투를 만드는 부품 목록을 아는 것은 전혀 다른 일이거든요.

다인 왜 몰랐어요?

윤 교수 도구가 없었단다. 동물 세포는 너무 복잡하고, 오토파지는 너무 빨리 일어나서 보기가 어려웠어. **연구가 막힐 때는 대개 질문이 나빠서가 아니라 도구가 없어서란다.**

현수 그래서 오스미라는 분이 뭘 했습니까?

윤 교수 **도구를 바꿨습니다.** 사람 세포 대신 **효모**를 썼어요. 빵과 술을 만드는 그 효모입니다.

수진 효모요? 사람하고 너무 다르지 않나요?

윤 교수 다르지만, 세포 살림의 기본은 놀랍도록 같습니다. 그리고 효모에는 큰 장점이 셋 있어요. **빨리 자라고, 유전자를 마음대로 건드릴 수 있고, 액포라는 큰 방이 있습니다.** 이 액포가 사람의 리소좀에 해당합니다.

흔들리는 알갱이

윤 교수 1992년, 오스미는 효모를 굼겼습니다. 그리고 현미경으로 액포 안을 들여다보았지요.

다인 뭐가 보였어요?

윤 교수 **알갱이들이 춤을 추고 있었단다.** 액포 안에서 작은 알갱이 여러 개가 부르르 떨면서 돌아다녔어.

현수 그게 봉투입니까?

윤 교수 봉투의 안쪽 막 부분입니다. 액포 안으로 들어간 뒤 아직 안 녹은 상태였지요. 오스미는 여기서 아주 영리한 수를 씁니다. **녹이는 효소가 고장 난 효모**를 쓴 겁니다.

수진 아... 안 녹으니까 계속 쌓이겠네요.

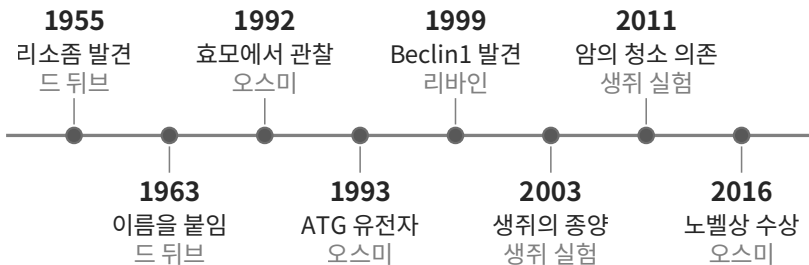
윤 교수 그렇습니다. 쌓여야 눈에 보입니다. 굵긴 지 몇 시간 만에 액포가 알갱이로 가득 찼습니다. **삼십 년 동안 잡히지 않던 현상을, 현미경 하나로 눈앞에서 보게 된 순간**이었습니다.

다인 그다음엔요?

윤 교수 그다음이 더 중요하단다. 오스미는 효모에 무작위로 돌연변이를 일으킨 다음, **굵겨도 알갱이가 안 생기는 놈만 골라냈어**[**동물**]¹. 알갱이가 안 생긴다는 건 그 일에 꼭 필요한 유전자가 망가졌다는 뜻이거든.

현수 부품이 빠진 기계를 찾아낸 거군요.

윤 교수 정확합니다. 그렇게 1993년에 **열몇 개의 유전자**를 찾아냈고, 이것들에 **ATG**(autophagy-related gene, 자가포식 관련 유전자)라는 이름이 붙었습니다.[**동물**]² 오토파지 유전자라는 뜻입니다.



세포 속 청소를 눈으로 보고, 유전자를 찾고, 암과 이어 보기까지

[그림 4-1] 오토파지 연구의 이정표 리소좀 발견에서 노벨상까지, 그리고 암 연구와 이어진 해(연표).

효모에서 사람으로

수진 그런데 효모 유전자가 사람하고 무슨 상관인가요?

윤 교수 여기가 이 이야기에서 가장 짜릿한 대목입니다. 연구자들이 사람 유전체에서 같은 유전자를 찾아보았더니, **거의 다 있었습니다.**

다인 진짜요? 사람이랑 효모가 같아요?

윤 교수 모양이 조금씩 다르지만 하는 일이 같은 것들이 줄줄이 나왔단다. 수십억 년 전 공통 조상에서부터 **한 번도 버리지 않고 물려 온 살림살이**인 셈이지. 그만큼 없으면 안 되는 일이라는 뜻이기도 해.

현수 그럼 효모에서 알아낸 걸 사람 병에 바로 써먹을 수 있었겠네요.

윤 교수 문이 열린 겁니다. 1990년대 후반부터 신경과, 감염내과, 그리고 **종양내과**가 이 문으로 들어왔습니다. 그림 4-1의 1999년 표시를 보세요.

다인 “Beclin1 발견”이라고 적혀 있어요.

윤 교수 미국의 베스 리바인이라는 연구자가 찾아낸 유전자란다. **Beclin1**(유전자 이름 BECN1)이라고 하는데, 효모의 ATG6에 해당하는 사람 유전자야., **유방암·난소암 조직에서 이 유전자가 한쪽 잘려 나가 있는 경우가 많다**는 것이 보고되었지. **[사람-관찰]**³ 오토파지와 암이 정면으로 만난 첫 자리였어.

현수 그러니까 청소 유전자가 없어진 곳에서 암이 있더라, 이 말씀이군요.

윤 교수 그 발견이 19장의 주인공입니다. 오늘은 **어떻게 여기까지 왔는지**만 보시면 됩니다.

다인 제가 표 4-1처럼 표로 만들어 봤어요.

[표 4-1] 오토파지 연구의 이정표

해	일어난 일	누가	왜 중요한가
1955	리소좀 발견	드 뒤브	세포에 분쇄기가 있다는 것을 알았다
1963	‘오토파지’ 이름	드 뒤브	세포가 제 부품을 녹인다는 것을 보았다
1992	효모에서 눈으로 관찰	오스미	삼십 년 만에 현상을 재현해 보였다
1993	ATG 유전자 발견	오스미	부품 목록이 생겼다
1999	Beclin1과 암	리바인	암 연구와 이어졌다
2016	노벨생리의학상	오스미	이 분야가 의학의 중심으로 들어왔다

과학이 나아가는 방식

다인 교수님, 저 발표에 이 이야기 써도 돼요? 뭔가 멋있어요.

윤 교수 얼마든지. 그런데 발표에 이 한 줄을 꼭 넣으렴. “오스미는 암을 연구한 사람이 아니다.”

다인 네? 그럼요?

윤 교수 그는 효모가 굶으면 무슨 일이 생기는지 궁금했을 뿐이란다. 암 치료를 하겠다고 시작한 게 아니야. 그런데 그 기초 연구가 삼십 년 뒤에 암·치매·감염병 연구의 바탕이 되었지.

수진 당장 쓸모를 묻지 않은 연구가 결국 제일 쓸모 있었네요.

윤 교수 그리고 이 이야기에는 우리에게 필요한 교훈이 하나 더 있습니다. 현수 씨가 늘 하시는 질문 말입니다.

현수 “사람한테 해 봤어요?”요.

윤 교수 예. 효모에서 알아낸 것이 사람에게 그대로 통하는지는 다시 확인해야 합니다. 유전자가 같다고 몸이 같지는 않으니까요. 이 책은 그 확인이 어디까지 되었는지를 계속 따져 볼 겁니다.

분쇄기가 고장 나면

수진 교수님, 리소좀이 고장 나는 병도 있나요?

윤 교수 있습니다. 그것도 꽤 여러 가지예요. **리소좀 축적병(lysosomal storage disease)**이라고 부릅니다. 리소좀 안 효소 하나가 유전적으로 빠져 있으면, 그 효소가 맡던 물질이 녹지 않고 세포 안에 그대로 쌓입니다.

다인 그럼 어떻게 돼요?

윤 교수 쌓인 세포가 있는 장기부터 탈이 난단다. 간과 지라가 커지고, 뼈가 약해지고, 신경이 상하지. 고셔병이나 폼페병 같은 이름을 들어 보았을지 모르겠구나. 대부분 아주 드문 병이고, 어릴 때 나타나는 경우가 많단다.

[종합]⁴

현수 치료가 됩니까?

윤 교수 병에 따라 다르지만, **빠진 효소를 정맥으로 넣어 주는 치료**가 개발된 것이 몇 가지 있습니다. 완치는 아니어도 진행을 늦춥니다.

수진 그런데 그 이야기가 우리 주제하고 이어지나요?

윤 교수 아주 중요하게 이어집니다. **리소좀이 멈추면 오토파지 전체가 멈추기 때문**입니다[종합]⁵. 봉투를 아무리 잘 만들어도 마지막에 녹이지 못하면 아무 소용이 없지요. 그림 3-1의 ④번이 막히는 셈입니다.

현수 아까 말씀하신 “현관에 쌓인 봉투”네요.

윤 교수 그렇습니다. 그리고 이 사실이 암 치료에서 아주 중요한 자리를 차지하게 됩니다. **암세포의 청소를 막고 싶을 때, 연구자들이 노리는 곳이 바로 이 마지막 단계**거든요. 클로로퀸이라는 약이 하는 일이 그것입니다.

다인 클로로퀸이요? 말라리아 약 아니예요?

윤 교수 맞다. 원래 말라리아 약이지. 그런데 이 약이 리소좀 안의 산성을 누그러뜨려서 효소가 일을 못 하게 만든단다[종합]⁶. 그래서 암 연구에서 “**청소를 막아 보는 도구**”로 쓰여 왔어. 20장과 22장에서 다시 만날 이름이니 기억해 두렴.

현수 그 약을 사서 먹으면 안 되는 겁니까?

윤 교수 **절대로 안 됩니다.** 처방약이고, 오래 쓰면 눈 망막이 상할 수 있습니다. 임상시험에서는 의료진이 눈 검사를 함께 하면서 씁니다. 이 이야기도 37장에서 다시 하겠습니다.

이 장의 핵심

- 드 뉘브가 1955년에 리소좀을 찾고 1963년에 ‘오토파지’라는 이름을 붙였다.
- 현상은 알려졌지만 삼십 년 동안 기전을 몰랐다. **오스미 요시노리**가 효모라는 도구로 그 문을 열었다(1992~1993, ATG 유전자).
- 효모의 ATG 유전자는 사람에게도 거의 그대로 있다. 그래서 효모 연구가 의학으로 이어졌다.
- 1999년 **Beclin1**이 지방암·난소암 조직에서 한쪽 잘려 있다는 보고로, 오토파지와 암이 처음 정면으로 만났다.

이 장의 출처

1. Matsuura, A., Tsukada, M., Wada, Y., & Ohsumi, Y. (1997). Apg1p, a novel protein kinase required for the autophagic process in *Saccharomyces cerevisiae*. *Gene*. [https://doi.org/10.1016/s0378-1119\(97\)00084-x](https://doi.org/10.1016/s0378-1119(97)00084-x)
2. Tsukada, M., & Ohsumi, Y. (1993). Isolation and characterization of autophagy-defective mutants of *Saccharomyces cerevisiae*. *FEBS Letters*. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(93\)80398-e](https://doi.org/10.1016/0014-5793(93)80398-e)
3. Liang, X. H., Jackson, S., Seaman, M., Brown, K., Kempkes, B., Hibshoosh, H., & Levine, B. (1999). Induction of autophagy and inhibition of tumorigenesis by beclin 1. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/45257>
4. Lee, C. L., Chuang, C. K., Chang, Y. H., Chiu, H. C., Tu, Y. R., Lo, Y. T., Wu, J. Y., Lin, H. Y., & Lin, S. P. (2026). Autophagy-Lysosomal Dysfunction as a Converging Mechanism of Cardiomyopathy in Lysosomal Storage Disorders: From Pathobiology to Targeted Therapy. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms27146418>
5. Zhu, Y., Liu, F., Jian, F., & Rong, Y. (2024). Recent progresses in the late stages of autophagy. *Cell Insight*. <https://doi.org/10.1016/j.cellin.2024.100152>
6. Duffy, A., Le, J., Sausville, E., & Emadi, A. (2015). Autophagy modulation: a target for cancer treatment development. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*. <https://doi.org/10.1007/s00280-014-2637-z>

세 갈래 청소 — 거대·미세·샤페론 매개

연구실 한쪽, 세포배양기 문이 열리며 따뜻한 바람이 나온다. 윤 교수가 배양접시 하나를 꺼내 현미경에 올린다. 화면에 회색 세포들이 떠오른다. 다인이 숨을 참는다.

살아 있는 세포를 보다

다인 저게 진짜 살아 있는 거예요?

윤 교수 살아 있단다. 사람 대장암 세포주야. 수십 년 전 어떤 환자에게서 떼어 낸 세포를 계속 나누며 길러 온 거지. 실험실에서 쓰는 세포의 상당수가 이렇단다.

현수 (잠시 말이 없다가) …제 것도 저렇게 생겼겠네요.

윤 교수 비슷했을 겁니다. 그리고 지금 저 세포 안에서도 청소가 돌아가고 있습니다. 오늘은 그 청소가 **한 가지 방식이 아니라는 것**을 보시겠습니다.

수진 세 가지라고 하셨죠?

윤 교수 예. 크게 **거대자가포식, 미세자가포식, 샤페론 매개 자가포식** 셋입니다. 이름이 어렵지만 뜻은 간단합니다.



세 갈래 모두 마지막에는 리소좀에서 녹아 재료가 된다

[그림 5-1] 세 갈래 청소 길 셋 모두 마지막에는 리소좀에서 녹아 재료가 된다(모식도).

첫째, 봉투에 담아 보낸다

윤 교수 그림 5-1의 왼쪽이 **거대자가포식**입니다. 우리가 3장에서 본 그 방식이지요. 봉투를 만들어 담아서 분쇄기로 보냅니다.

다인 왜 ‘거대’예요?

윤 교수 한 번에 큰 것을 옮길 수 있어서란다. 미토콘드리아 한 개를 통째로 싸기도 하고, 세균 한 마리를 통째로 싸기도 하지. 봉투를 따로 만드는 수고를 하는 대신, 덩치 큰 화물을 나를 수 있는 셈이야.

현수 이삿짐 트럭 같은 거군요.

윤 교수 좋은 비유입니다. 그리고 이 책에서 “오토파지”라고 하면 **대개 이 방식**을 가리킵니다. 연구도 여기에 가장 많이 몰려 있고, 암과 관련된 이야기도 대부분 여기서 나옵니다.

둘째, 분쇄기가 직접 베어 문다

윤 교수 가운데가 **미세자가포식**입니다. 이건 봉투를 안 만듭니다.

다인 그럼 어떻게 해요?

윤 교수 그림을 보렴. **리소좀 막이 안쪽으로 쏙 들어가면서 옆에 있는 것을 그대로 삼킨단다.** 컵 가장자리가 안으로 말려 들어가면서 물을 한 모금 머금은 모습을 떠올리면 돼.

수진 훨씬 간단해 보이는데요.

윤 교수 간단하고 빠릅니다. 대신 **작은 것만** 됩니다[종합]¹. 세포질에 떠 있는 작은 단백질이나 액체 성분을 조금씩 퍼 담는 식이에요. 늘 조금씩 돌아가는 기본 청소의 한 부분입니다.

현수 그럼 이건 별로 안 중요하니까?

윤 교수 덜 알려졌을 뿐입니다. 연구하기가 어렵거든요. 봉투처럼 눈에 띄는 구조물이 안 생기니 세기도 어렵고, 표지 단백질도 마땅치 않습니다. **연구가 적다는 것이 중요하지 않다는 뜻은 아닙니다.** 이 구분은 앞으로도 여러 번 쓰게 될 겁니다.

셋째, 한 개씩 끌어들인다

윤 교수 오른쪽이 가장 독특합니다. **샤페론 매개 자가포식(chaperone-mediated autophagy)**, 줄여서 CMA라고 부릅니다.

다인 샤페론이 뭐예요?

윤 교수 단백질을 도와 주는 단백질이란다. 원래 뜻은 무도회에 따라가는 보호자야. 갓 만들어진 단백질이 제대로 접히도록 돕고, 잘못 접힌 것을 붙잡아 주지.

수진 그 보호자가 청소도 하나요?

윤 교수 여기서는 **안내자**를 합니다. 순서가 이렇습니다. ① 세포질에 낡은 단백질 하나가 떠다닙니다. ② 그 단백질에는 특별한 **다섯 글자 암호**가 적혀 있습니다. ③ 샤페론이 그 암호를 알아보고 붙잡습니다. ④ 리소좀 막에 있는 **LAMP2A(lysosome-associated membrane protein 2A, 리소좀 결합 막단백질 2A)**라는 문으로 데려갑니다. ⑤ 그 단백질을 **실처럼 풀어서** 문으로 밀어 넣습니다.[종합]²

현수 통째로 넣는 게 아니라 실로 풀어서요?

윤 교수 문이 좁기 때문입니다. 접힌 덩어리 그대로는 못 들어갑니다. 그래서 풀어서 한 가닥으로 만들어 집어넣습니다.

다인 완전 다르네요. 봉투도 안 쓰고, 한 개씩만 넣고.

윤 교수 그래서 이 방식의 가장 큰 특징이 **정확함**이란다. 아무거나 싸 가는 게 아니라 **암호가 적힌 것만 골라서** 처리하거든. 대신 한 번에 하나씩이라 느리고, 단백질만 된단다. 미토콘드리아 같은 덩어리는 이 길로 못 가.

윤 교수 표 5-1에 적어 두었습니다. 함께 보시지요.

[표 5-1] 세 갈래 청소 비교

갈래	어떻게	무엇을	특징
거대자가포식	이중막 봉투에 담아 보낸다	소기관·단백질 덩어리·세균 등 큰 것	이 책에서 말하는 ‘오토파지’ 대부분
미세자가포식	리소좀 막이 직접 베어 문다	작은 단백질·세포질 성분	늘 조금씩, 연구는 적다
샤페론 매개	암호가 적힌 단백질을 풀어 문으로 넣는다	단백질 한 개씩	가장 정확하다. 덩어리는 못 간다

프로테아솜이라는 또 하나의 길

현수 그럼 세포가 뭘 부숴 때는 무조건 리소좀으로 갑니까?

윤 교수 아닙니다. 하나 더 있습니다. **프로테아솜(proteasome)**이라는 통 모양 기계예요. 세포질에 아주 많습니다.

수진 그건 리소좀하고 뭐가 다른가요?

윤 교수 (고쳐 앉으며) 분업이 분명합니다. 이렇게 기억하시면 됩니다. **프로테아솜은 단백질 한 개를, 리소좀은 덩어리와 소기관을** 맡습니다.

다인 어떻게 나뉘요?

윤 교수 표를 붙여서 나눈단다. **유비퀴틴(ubiquitin, ‘어디에나 있다’는 뜻)**이라는 작은 꼬리표가 있는데, 이게 짧게 몇 개 달리면 프로테아솜으로 가고, 길게 줄줄이 달리거나 덩어리에 잔뜩 붙으면 오토파지 쪽으로 간단다.

현수 우체국이란 택배회사 나누듯 하는군요. 편지는 우체국, 냉장고는 택배.

윤 교수 그보다 나은 설명을 저도 못 하겠습니다. 정확히 그 그림입니다.

수진 그런데 한쪽이 막히면 다른 쪽이 대신 해 주나요?

윤 교수 어느 정도는 그렇습니다. **프로테아솜을 막으면 오토파지가 세지는 것이** 여러 실험에서 관찰되었습니다[**세포·동물**]³. 실제로 혈액암 치료에 쓰는 프로테아솜 억제제가 있는데, 그 약을 쓰면 암세포가 오토파지에 더 기대게 된다는 연구가 이어졌지요.[**세포·동물**]³ 이 이야기는 22장에서 다시 하겠습니다.

오늘 기억할 한 문장

다인 그럼 셋 중에 뭐가 제일 중요해요?

윤 교수 상황마다 다르단다. 다만 이 책의 주제인 암과 식사, 단식, 운동 이야기에서는 **거대자가포식이 주인공**이야. 앞으로 “청소”라고만 하면 그걸 가리킨다고 생각하면 돼.

현수 그럼 나머지 둘은 왜 배운 겁니까?

윤 교수 두 가지 이유가 있습니다. 첫째, 논문이나 기사에서 이름이 섞여 나올 때 **헛갈리지 않으시라고요**. 둘째, 나중에 “오토파지를 막았는데도 세포가 버텼다” 같은 결과를 만날 텐데, 그때 **다른 길이 남아 있다는** 걸 알아야 이해가 됩니다.

수진 몸은 길을 하나만 두지 않는군요.

윤 교수 그게 오늘의 한 문장입니다. **몸은 중요한 일일수록 길을 여러 갈래로 낸다**. 그래서 약 하나로 그 일을 완전히 멈추기가 어렵고, 반대로 생활로 조금씩 밀어 주는 일이 뜻을 갖습니다.

암세포는 어느 길을 즐겨 쓰나

수진 그럼 암세포도 세 갈래를 다 쓰나요?

윤 교수 다 씹니다. 그런데 **어느 쪽에 더 기대는지**가 암마다 다릅니다. 여기가 연구자들이 아주 흥미롭게 보는 지점이에요.

현수 어떻게 다릅니까?

윤 교수 예를 들어 **샤페론 매개 자가포식**을 보지요. 여러 암 조직에서 이 길의 문에 해당하는 **LAMP2A 단백질이 정상 조직보다 많이 보인다**는 보고가 있습니다. [**사람·관찰**]^{4,5} 문을 넓혀 놓았다는 뜻이지요.

다인 왜 넓혀요?

윤 교수 암세포는 늘 급하게 나누느라 잘못 만든 단백질이 많이 나온단다. 그것들을 빨리빨리 치워야 건디거든. **바쁜 공장일수록 쓰레기 치우는 사람을 더 많이 쓰는 것과** 같아.

현수 그럼 그 문을 막으면 암세포가 힘들어지겠네요.

윤 교수 그 발상으로 실험이 이루어졌고, 세포와 생쥐에서 **암세포 쪽이 더 크게 타격을 받았다**는 결과가 나왔습니다. 다만 여기서 제가 늘 붙이는 단서가 있습니다.

수진 사람에게서는 아직이라는 말씀이시죠.

윤 교수 그렇습니다. **이것은 아직 실험실과 동물의 이야기이고, 약으로 만들어 사람에게 쓰는 단계까지는 가지 않았습니다.** 이런 구분을 이 책에서는 꺾쇠로 표시해 둘 겁니다. **[세포] [동물] [사람-시험]** 이런 식으로요.

다인 표시가 있으면 읽기 편하겠어요.

윤 교수 발표할 때도 그렇게 하렴. “**세포에서 그랬다**”와 “**사람에서 그랬다**”를 한 문장에 섞지 않는 것, 그게 이 분야에서 제일 중요한 습관이란단다.

세 갈래는 서로 돕는다

현수 세 갈래가 따로따로 돌아갑니까?

윤 교수 서로 봐 가며 돌아갑니다. 한쪽이 막히면 다른 쪽이 세지는 일이 자주 관찰돼요. 샤페론 매개 쪽을 막으면 봉투 쪽이 세지고, 봉투 쪽을 막으면 샤페론 매개가 세지는 식입니다.

수진 몸이 참 끈질기네요.

윤 교수 끈질깁니다. 그리고 이것이 **암 치료에서 늘 부딪치는 벽**이기도 합니다. 길 하나를 막으면 다른 길로 돌아가니까요. 그래서 요즘 연구는 **두 길을 함께 막거나, 막는 대신 다른 방향으로 미는** 쪽으로 갑니다.

다인 오늘 제가 정리해 볼게요. 청소하는 길이 세 개 있고, 큰 건 봉투에 담고, 작은 건 리소좀이 바로 먹고, 정확하게 할 땐 한 개씩 풀어서 넣고. 단백질 한 개짜리는 프로테아솜도 하고. 맞죠?

윤 교수 완벽하다. 다음 주부터는 **그 청소를 켜고 끄는 스위치**로 들어가자. 배부를 때 꺼지는 스위치와 배고플 때 켜지는 스위치, 딱 두 개만 알면 된단다.

현수 그 두 개가 제 식탁하고 연결되는 겁니까?

윤 교수 정확히 그렇습니다. 2부가 이 책에서 세포와 식탁이 처음 만나는 자리입니다.

이 장의 핵심

- 청소에는 세 갈래가 있다. **거대자가포식**(봉투에 담아 보냄), **미세자가포식**(리소좀이 직접 삼킴), **사페론 매개**(단백질을 한 개씩 풀어 넣음).
- 이 책에서 “오토파지”라고 하면 대개 **거대자가포식**을 가리킨다.
- 단백질 한 개는 **프로테아솜**이, 덩어리와 소기관은 **리소좀**이 맡는다. 한쪽이 막히면 다른 쪽이 세진다.
- 몸은 중요한 일일수록 길을 여러 갈래로 낸다.

이 장의 출처

1. Sakai, Y., Behrends, C., Debnath, J., Izumi, M., Jenny, A., Molinari, M., Nakamura, S., Oku, M., Otegui, M. S., Santambrogio, L., Shen, H. M., Taguchi, T., Thumm, M., Ushimaru, T., Xie, Z., Cuervo, A. M., & Reggiori, F. (2026). Microautophagy: current understanding of its molecular mechanisms and functions. *Autophagy Reports*. <https://doi.org/10.1080/27694127.2026.2626661>
2. Berenger, E., Maestri, A., Vaz, D. R., Kochetkova, E., Norberg, E., Kaminsky, V. O., Endicott, S. J., & Vakifahmetoglu-Norberg, H. (2026). Pharmacological strategies targeting chaperone-mediated autophagy. *Trends in Pharmacological Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2026.03.008>
3. Wang, W., Zhang, R. J., Ma, M. S., Shi, X. M., Zhang, Q., Li, C., Zhang, Z. H., & Hao, C. L. (2026). miR-1248 enhances bortezomib-induced autophagy by targeting MEF2C/p38-MAPK signaling in multiple myeloma. *Frontiers in Oncology*. <https://doi.org/10.3389/fonc.2026.1847922>
4. Tiwari, M., Sharma, L. K., Chakravarti, B., Singh, V. K., Singh, S., & Shrivastava, A. (2026). Chaperone-mediated autophagy as a regulator of hallmarks of cancer. *Frontiers in Oncology*. <https://doi.org/10.3389/fonc.2026.1927298>
5. Han, K., Han, W., Xie, W., Zhang, Z., & Han, Y. (2026). Dynamic evolution of chaperone-mediated autophagy is associated with tumor microenvironment remodeling and prognostic stratification in lung adenocarcinoma: insights from single-cell transcriptomics, ensemble machine learning, and experimental validation. *Translational Oncology*. <https://doi.org/10.1016/j.tranon.2026.102919>

제 2 부

스위치

배부를 때 꺼지는 스위치 — mTOR

넷째 주 토요일. 책방으로 돌아왔다. 탁자에 수진이 싸 온 찐 고구마와 두유가 놓여 있다. 윤 교수가 고구마를 하나 집으며 말한다. “이걸 먹는 순간부터 이야기를 시작하지요.”

세포는 배부를 줄 어떻게 아나

윤 교수 다인아, 지금 이 고구마를 먹으면 삼십 분쯤 뒤에 네 몸속 세포들은 무엇을 알게 될까?

다인 음... 먹을 게 들어왔다는 거요?

윤 교수 그렇지. 그런데 세포에는 입도 눈도 없단다. 세포가 어떻게 “지금 밖에 먹을 게 많다”는 걸 알까?

현수 혈액에 뭐가 늘어나니까 알겠죠.

윤 교수 정확합니다. 세 가지가 늘어납니다. 아미노산, 포도당, 그리고 인슐린입니다. 세포에는 이 셋을 감지하는 장치가 있고, 그 장치의 이름이 오늘의 주인공입니다.

수진 mTOR죠.

윤 교수 예. 이름이 길지만 뜻은 간단합니다. 원래 이름은 mTOR(mechanistic target of rapamycin), 곧 ‘라파마이신이 달라붙는 표적’이라는 뜻입니다. 그냥 ‘배부를 감지기’라고 생각하시면 됩니다.

감지기는 분쇄기 위에 앉아 있다

윤 교수 그런데 이 감지기가 어디에 앉아 있는지 아십니까? 참 알곳은 자리입니다.

다인 어디요?

윤 교수 리소좀 표면이란다.

현수 분쇄기 위예요? 왜 하필 거기에?

윤 교수 생각해 보면 기가 막히게 합리적입니다. 세포 안에서 아미노산이 어디서 나오니까? 밖에서 들어오거나, 리소좀에서 낡은 단백질을 녹여 나오거나 둘 중

“굶으면 암세포가 사라진다”, 어디까지가 사실일까?

세포는 쉬지 않고 자기 안을 치웁니다. 이 청소, 오토파지(자가포식)가 멈추면 망가진 발전소가 쌓이고 그 찌꺼기가 세포의 설계도인 DNA를 상하게 합니다. 청소 유전자가 한쪽 잘려 나간 사람의 암 조직이 여럿 발견되었고, 청소를 못 하게 만든 생쥐에서는 종양이 더 잘 생겼습니다. 이 책은 “오토파지가 암을 키운다”는 반대쪽 이야기도 한 장을 통째로 써서 정면으로 다룹니다.

무대는 전주 한옥마을 곁 헌책방 ‘비움책방’. 종양내과 교수, 대장암 치료를 마치고 3년째 추적 중인 책방 주인, 암병원 임상영양사, 과학 동아리 중학생이 9월부터 11월까지 열두 번의 토요일을 함께합니다. 8부 40장을 지나며 세포 한 채에서 시작해 하루의 식탁에서 끝납니다.

이 책은 치료를 대신하지 않고 표준 치료 곁에 섭니다. 먹지 않는 시간, 섬유, 물, 걷기, 잠처럼 하루에 넣을 수 있는 일을 실제 논문의 수치와 함께 보여 주고, 광고와 인터넷 글을 가려 읽는 눈을 길러 줍니다.

이 책에서 만나는 것

- 청소가 암을 막는 방법: 미토파지·p62·DNA 보호
- “청소가 암을 키운다”는 실험실 연구를 읽는 법
- 항암치료와 함께한 단식모방식단, 사람에게서 본 것
- 섬유·물·운동·잠으로 설계하는 하루

① 과학과 영성출판사

값 17,000원



이어서 읽으시려면

오토파지와 암 — 전체 320쪽

ssbook.kr/book/autophagy-cancer

판매가 **10,200원** (POD 정가 17,000원)

- 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 흠인형 · 우하량의 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 콩
팥까지 항상성
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-08



대입 과학논술 09 — 면역·백신
몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역
까지
~~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



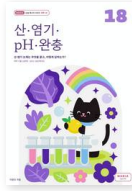
대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자
유기 화학·생체 분자·고분자 논제 해설
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



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 논제는 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 × 르샤틀리에로 읽는 화학 평형
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



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



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



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



대입 과학논술 25 — 화학 전자·전기 분해
화학 전자·전기 분해 논제는 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 뒤통질까
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