



발끝의 강

피의 흐름에서 발바닥까지, 땅과 몸 사이에서 확인된 것과 아직 모르는 것

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/river-toes

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

BAREFOOT WALKING & EARTHING

발끝의 강

맨발걷기의 과학



맨발로 흙길을 걸을 때 피와 발과 땅 사이에서 일어나는 일을 연구로 읽는다

이광조 지음

 SSP 과학과영성출판사

BAREFOOT WALKING & EARTHING

발끝의 강

맨발걷기의 과학

이광조 지음

 과학과 영성출판사

발끝의 강

맨발걷기의 과학

발끝의 강

맨발걷기의 과학

지은이	이광조 박사
판본	초판 원고 · 판본 v3 · 2026-09-14
판형	신국판 152×225mm · 본문 Noto Serif CJK KR 9.8pt
근거 자료	earthing_db — 맨발·어싱 논문 7,029편(전문 1,230편)과 지구물리·혈액·보행·자연 등 31개 주제축 논문 12,413편을 합쳐 중복·철회·정정·검색 잡음을 뺀 13,689편. 인용한 논문은 모두 초록(필요하면 전문)과 대조했고 서지는 데이터베이스와 Europe PMC 기록에서 자동으로 뽑았다

이 책은 맨발걷기와 접지(어싱)에 관한 연구를 일반 독자가 이해할 수 있도록 풀어 쓴 교양서입니다. 의학적 진단이나 치료를 대신하지 않습니다. 당뇨병·말초신경병증·혈액순환 장애가 있거나 발에 상처가 있는 분, 심장박동기 등 의료기기를 쓰는 분, 항응고제를 먹는 분은 맨발걷기나 접지 제품을 시작하기 전에 반드시 담당 의사와 상의하십시오. 책 속의 인물과 장소는 설명을 위해 지어낸 것이며, 인용한 연구는 모두 실제 논문으로 각 장 끝에 출처를 밝혔습니다.

차례

이 책을 읽기 전에	7
들어가며 — 지은이와 연구소, 그리고 왜 맨발걷기 임상연구인가	11

제1장 피의 흐름과 전하

1 첫 번째 새벽 — 맨발로 걸으면 피가 맑아진다?	23
2 적혈구의 옷 — 시알산과 음전하	32
3 제타전위 — 피가 뭉치지 않는 이유	38
4 끈적한 피 — 혈액점도와 심혈관 질환	44
5 혈관 안쪽의 솜털 — 글리코칼릭스와 미세순환	50
6 땅의 '자유전자' — 항산화·상처 치유·콜라겐 전도	57

제2장 신발을 벗은 사람들

7 인류는 언제부터 발을 감쌌나	67
8 연구가 보여 준 맨발걷기의 좋은 점과, 그 좋은 점을 확인하는 연구 방법	74

제3장 발이라는 기관

9 26개의 뼈와 세 개의 아치	83
10 발 속의 작은 근육	90
11 발바닥은 감각기관이다	96
12 신발 신고 자란 발, 맨발로 자란 발	102

제4장 걷고 달리는 몸

13 걸음의 역학	113
14 맨발 달리기와 착지	119
15 미니멀 신발로 옮겨 가는 법	125
16 넘어지지 않는 몸	131
17 무릎과 허리	137
18 뇌졸중·파킨슨병 환자의 걸음과 발바닥 자극	143
19 걷기 자체의 힘	149

제5장 땅의 전기

20 지구는 거대한 축전기	160
21 번개와 슈만공명	166

22	지구자기장	172
23	자기장이 사라지면	178
24	태양 폭풍과 심장	184
25	몸에 걸리는 전압	190

제6장 어성의 과학

26	어성이란 무엇인가 — 전기공학으로 본 몸과 땅	200
27	어성과 잠·코르티솔	206
28	어성과 근육 손상	211
29	어성과 통증·기분	217
30	어성과 심장	223
31	쥐는 무엇을 말하나 — 어성 동물실험	229
32	어성 연구, 지금까지 밝혀진 것	235

제7장 자연 속의 몸

33	숲과 흙 — 산림욕과 녹지의 근거	244
34	자율신경의 저울	250
35	몸의 시계 — 새벽 햇빛과 코르티솔	256
36	흙길·모래·잔디·자갈길 — 바닥에 따라 무엇이 달라지나	262

제8장 안전하게, 오래

37	맨발의 위험 — 구충·파상풍·찢린 상처	272
38	당뇨발 — 맨발이 금기인 사람들	278
39	나의 맨발걷기 처방 — 단계별 시작법	284
40	식물성 케톤식의 염증 개선 효과 — 발바닥과 혈관, 그리고 식탁	290
41	부항사혈의 염증 개선과 다양한 질환 개선 — 음압이 여는 작은 골목	297
42	마지막 새벽 — 신발을 벗는다는 것	303

부록

부록 A 용어 사전	314
부록 B 이 책이 소개한 효과 한눈에	322
부록 C 사람 대상 어성 연구 목록	328
부록 D 발 상태 자가점검과 단계별 맨발걷기 표	332
부록 E 단위와 크기 감각	334
부록 F 맨발걷기 임상연구, 할 수 있고 해야 할 20가지	337

이 책을 읽기 전에

새벽 황톳길에서 생긴 질문

몇 해 사이 동네 공원과 산자락에 황톳길이 부쩍 늘었다. 해가 뜨기 전부터 신발을 벗어 손에 들고 걷는 사람들이 줄을 잇는다. 발바닥에 닿는 흙의 서늘함, 함께 걷는 이웃과 나누는 인사, 걷고 나서 세족장에서 발을 씻을 때의 개운함은 누구에게나 반가운 경험이다.

그 길 위에서는 이야기도 함께 오간다. 맨발로 걸었더니 잠이 깊어졌다, 몸이 가벼워졌다, 마음이 편안해졌다는 이야기가 휴대전화 대화방과 동영상에 타고 퍼진다. 그렇다면 과학자들은 맨발걷기에서 무엇을 재어 보았고, 어떤 결과를 보고했을까? 이 책은 그 물음을 따라 피와 혈관, 발과 걸음, 땅의 전기, 숲과 햇빛에 관한 연구를 차근차근 살펴본다. 연구가 보여 준 맨발걷기의 좋은 점을 “누구에게서, 얼마 동안, 무엇을 재었더니”라는 말과 함께 전하려 한다.

무엇을 근거로 삼았나

이 책의 인용은 모두 집필을 위해 모은 논문 데이터베이스에서만 뽑았다. 맨발걷기·접지(어성)·신발 연구를 모은 데이터베이스에 7,029편, 혈액의 흐름, 발과 보행, 지구의 전기와 자기, 자연 환경과 건강 같은 주제별 데이터베이스에 12,413편이 들어 있다. 두 곳에 겹친 논문, 철회되거나 정정된 논문, 주제와 상관없이 검색에 달려 온 논문을 걸러 내고 남은 13,664편이 이 책의 재료다. 맨발·접지 논문 가운데 1,230편은 전문(全文)까지 확보해, 초록만으로는 알 수 없는 연구 인원과 비교 방법을 확인했다. 수치는 초록이나 전문에 적힌 것만 옮겼고, 서지는 각 장 끝 “출처”에 APA 양식으로 모았다. 데이터베이스에 없는 논문은 아무리 유명해도 인용하지 않았다.

왜 피에서 시작하는가

맨발걷기 이야기를 발이 아니라 피에서 시작하는 데는 까닭이 있다. 맨발걷기를 즐기는 사람들이 가장 먼저 꼽는 좋은 점이 “혈액순환이 좋아진다”이기 때문이다. 그 말을 과학의 말로 바꾸면 무슨 뜻인지, 적혈구 표면의 전하와 피의

끈적임은 무엇인지, 연구자들이 무엇을 어떻게 재었는지를 먼저 알아 두면, 뒤에 나오는 발과 걸음, 땅의 전기, 접지 연구를 읽는 눈이 생긴다. 책 이름을 『발끝의 강』이라 붙인 까닭도 여기에 있다. 심장에서 나온 피는 점점 가늘어지는 혈관을 따라 발끝까지 흘러갔다가 다시 심장으로 돌아온다. 맨발이 땅에 닿는 곳은 그 강의 가장 먼 물굽이다.

네 층이 함께 만드는 좋은 점

이 책의 뼈대는 맨발걷기의 좋은 점을 네 층으로 나누어 보는 것이다. ① 걷기는 몸을 움직이는 운동 자체의 효과로, 연구가 가장 많이 쌓인 층이다. ② 맨발은 신발을 벗어 생기는 변화로, 발바닥 감각과 발 근육과 걸음새가 달라진다. ③ 접지는 몸이 땅과 전기적으로 이어져 생기는 변화로, 연구자들은 땅의 전자가 몸으로 들어와 여러 작용을 한다고 설명한다. ④ 자연 환경은 숲과 흙, 새벽 햇빛과 공기, 함께 걷는 사람이다. 새벽 숲길을 맨발로 걷는 사람은 네 층을 한꺼번에 누리고, 네 층이 함께 작용해 맨발걷기의 좋은 점을 만든다. 논문마다 어느 층을 살폈는지 알고 읽으면 그 좋은 점을 더 깊이 이해할 수 있다. 그림 1-3에서 이 네 층을 처음 그려 보이고, 책의 고비마다 다시 돌아온다.

이 책의 짜임

책은 8장 42절로 되어 있다. 제1장 “피의 흐름과 전하”에서 적혈구와 혈관을 살핀 뒤, 제2장에서 인류가 언제부터 신발을 신었는지 거슬러 올라가고, 제3장과 제4장에서 발이라는 기관과 걷고 달리는 몸을 들여다본다. 제5장은 번개와 지구자기장 같은 땅의 전기를, 제6장은 접지(어싱) 연구를 한 편씩 살핀다. 제7장은 숲과 햇빛 같은 자연 환경을, 제8장은 맨발의 위험과 안전하게 시작하는 법, 나에게 맞는 맨발걷기 처방을 다룬다. 제8장에는 맨발걷기와 함께 몸의 염증을 돌보는 생활로 식물성 케톤식(40절)과 부항사혈(41절)도 담았다. 절마다 끝에 “이 절의 핵심” 상자를 두어 되짚을 수 있게 했다. 머리말 다음의 “들어가며”에는 지은이와 두 연구소, 좋은 효과를 튼튼하게 확인하는 통계의 도구, 그리고 맨발걷기의 좋은 점을 더 많은 사람에게서 확인하려는 임상연구의 뜻을 적었다. 앞으로 해 볼 맨발걷기 임상연구 20가지는 책 끝 부록 F에 모았다.

본문을 대화로 쓴 까닭은 질문이 설명보다 먼저 오게 하기 위해서다. 중학생 서윤이 “잠깐만요, 그게 무슨 뜻이에요?” 하고 멈춰 세우는 곳에서 독자도 함께 멈추고, 맨발길을 만드는 공무원 태호가 “그 결과를 우리 맨발길에 어떻게

살릴까요?” 하고 묻는 곳에서 연구를 생활로 옮기는 요령을 익히기를 바란다. 어려운 낱말은 처음 나올 때 풀었고, 책 끝 부록 A에 용어 사전을 두었다.

연구 표지 읽는 법

연구를 소개한 문장 끝에는 어떤 종류의 연구인지 알리는 표지를 붙였다. 같은 “효과가 있었다”라도 시험관 속 세포에서 본 것인지, 여러 사람을 무작위로 나눈 시험에서 본 것인지 알고 읽으면 결과를 더 잘 이해할 수 있다.

표지	뜻	예
[세포]	시험관·접시 속 세포나 조직 실험	분리한 미토콘드리아
[동물]	쥐 같은 동물 실험	접지 매트 위에서 기른 쥐
[사람·관찰]	사람을 지켜보며 관계를 찾은 연구	코호트·단면 연구, 증례
[사람·시험]	사람에게 방법을 적용해 비교한 연구	임상시험, 무작위시험
[종합]	여러 연구를 모아 다시 분석한 연구	메타분석, 체계적 고찰
[물리]	측정·관측으로 확립된 물리량	적혈구가 락 전하

기전, 곧 몸 안에서 어떤 길을 거쳐 효과가 생기는지는 “연구자들은 ~라고 설명한다”처럼 연구자의 설명으로 전했다. 책 끝 부록 B에는 이 책이 소개한 효과를 층과 절, 연구 유형에 따라 한눈에 볼 수 있게 모았다.

함께 걷는 네 사람

이야기는 가상의 도시 한솔시, 솔매산 공원 황톳길 입구의 정자 솔바람정에서 흘러간다. 3월 개장일부터 11월 폐장일까지 일요일 새벽마다 만나는 네 사람의 대화다. 인물과 장소는 설명을 위해 지어낸 것이고, 인용한 연구는 모두 실제 논문이다.

이름	나이	누구인가
최도윤 교수	62	재활의학과 교수, 보행분석실 책임자, 전기공학도 출신
박영숙	67	퇴직 초등학교 교사, 맨발걷기 동호회 회장
정태호	43	구청 공원녹지과 주무관, 맨발길 조성 담당
정서운	15	태호의 딸, 중학교 2학년, 논문 분석 탐구 과제

읽기 전에 꼭 기억할 것

이 책은 교양서이며 진단이나 치료를 대신하지 않는다. 당뇨병이 있거나 발 감각이 둔한 사람, 발에 상처나 궤양이 있는 사람, 혈액순환 장애가 있는 사람은 맨발로 걷기 전에 담당 의사와 먼저 상의해야 한다. 걷기 전에는 유리 조각이나 날카로운 돌이 없는지 살피고, 걷고 나서는 발을 씻고 들여다보는 습관을 들이자. 깊이 찢리거나 흠이 많이 묻은 상처는 깨끗이 씻고 진료를 받는다. 접지 매트 같은 전기 제품을 쓸 때는 전기 안전을 먼저 살핀다. 병이 있는 사람은 약을 끊거나 치료를 미루지 말고, 맨발걷기를 주치의와 상의해 생활에 더하자.

맨발로 걷는 새벽이 즐겁다면 그것만으로도 충분히 소중하다. 그 즐거움이 과학의 이해와 함께 오래 이어지기를, 그리고 걷는 사람 각자가 자기 몸에 맞는 방법을 스스로 고를 수 있기를 바란다.

신발을 벗는 날에도, 신는 날에도 오래 즐겁게 걷기를 바란다.

2026년 가을, 이광조

들어가며 — 지은이와 연구소, 그리고 왜 맨발걷기 임상연구인가

지은이 이광조 박사

이 책을 쓴 이광조 박사는 서울대학교에서 식품영양학 박사 학위를 받았다. 그 뒤 30년 동안 식품영양을 연구해 왔다. 지금은 한국식품영양연구소 소장으로 일하며, 한국생활건강연구소를 세워 운영하고 있다. 과학과영성출판사의 대표이기도 하다.

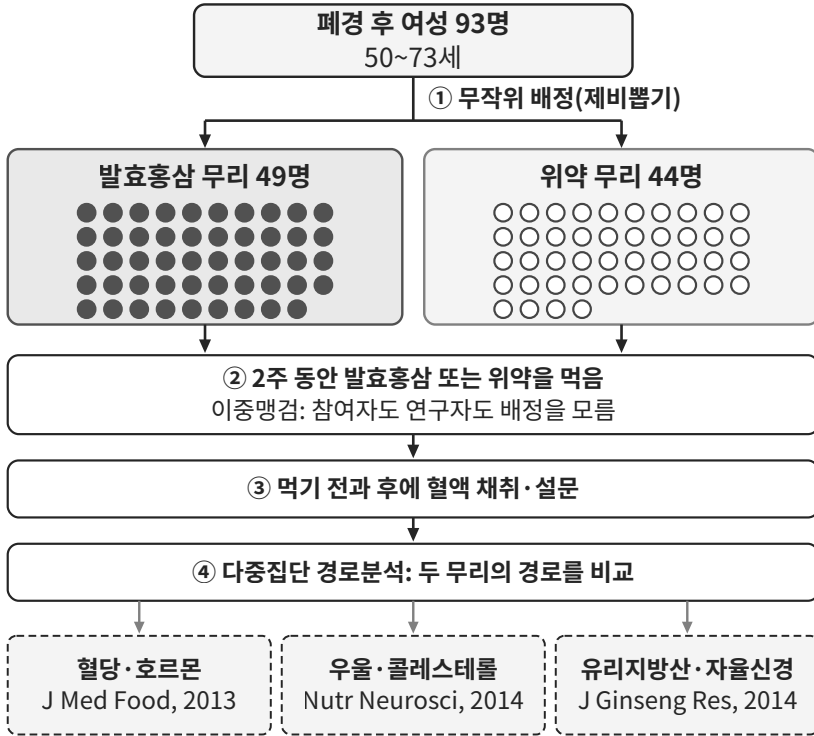
지은이가 쓴 책으로는 『채식이야기』, 『채식치유학』, 『과학과 초월의 길목에서』, 『역사 속의 채식인』, 『식물성 케톤식』이 있다. 연구 관심은 식물성 케톤식, 단식의 과학, 호흡식, 자연치유, 영양과 대사에 모여 있다.

식품영양을 연구하는 사람이 왜 맨발걷기 책을 썼을까? 먹을거리와 맨발은 멀어 보이지만, 둘 다 날마다 되풀이하는 생활습관이 몸을 바꾼다는 점에서 닮았다. 좋은 식사가 몸의 염증과 대사를 돌보듯, 새벽 흙길을 맨발로 걷는 습관도 몸과 마음을 돌본다. 식사와 단식을 연구하며 지은이가 거듭 느낀 것은, “**좋다더라**”를 “**사람에게서 확인했다**”로 바꾸어 줄 때 좋은 습관이 더 널리, 더 오래 퍼진다는 사실이다.

그 일에는 방법이 필요하다. 몸의 숫자는 가만히 두어도 날마다 오르내리고, 새 습관을 시작한 사람은 잠과 식사까지 함께 바꾸기 쉽다. 그래서 한 사람의 생생한 경험을 여러 사람에게서, 비교할 무리와 함께 재어 보면 그 좋은 점을 누구나 믿고 따를 수 있는 길잡이로 만들 수 있다. 황톳길의 흙냄새와 새벽 공기는 누구에게나 반갑다. 그 반가움을 사람에게서 켜 연구의 말로 전하는 일이 이 책의 목표다.

사람에게서 재어 본 연구 — 발효홍삼 무작위 이중맹검 시험과 SCIE 논문 3편

지은이는 동료 연구자들과 함께 사람을 대상으로 한 임상시험을 하고, 그 결과를 SCIE 국제 학술지에 논문 세 편으로 발표했다. SCIE는 일정한 기준으로 골라 모은 국제 과학 학술지 목록이다. 세 편은 시험 세 건이 아니라 한 번의 시험에서 나왔다. 그림 0-1이 그 시험의 흐름이다.



[그림 0-1] 발효홍삼 무작위 이중맹검 위약대조 시험의 흐름 폐경 후 여성 93명을 무작위로 두 무리로 나누어 2주 동안 발효홍삼 또는 위약을 먹게 하고, 먹기 전후의 측정값을 다중집단 경로분석으로 비교했다. 점 하나가 한 사람이며, 한 시험에서 논문 세 편이 나왔다(자료: 세 논문의 초록)

시험은 이렇게 진행되었다. 50~73세의 폐경 후 여성 93명을 무작위로 두 무리로 나누었다.^{1,2,3} 49명은 발효홍삼을, 44명은 위약을 2주 동안 먹었다. 먹기 전과 후에 피를 뽑고 설문에 답했다.² 누가 무엇을 먹는지 모르게 한 이중맹검 시험이었다.¹

분석에는 다중집단 경로분석을 썼다. 무엇이 달라졌는지뿐 아니라, 그 변화가 어떤 길목을 거쳐 일어났는지를 두 무리에서 따로 그려 건주는 방법이다. 버스 노선도에서 종점만 보지 않고, 어느 정류장을 거쳐 왔는지까지 비교하는 셈이다. 세 논문을 표 0-1에 모았다.

[표 0-1] 한 시험에서 나온 SCIE 논문 세 편

학술지(연도)	무엇을 보았나	주요 결과(초록)
Journal of Medicinal Food(2013)	혈당 지표와 호르몬	호르몬 증가, 혈당 지표 감소
Nutritional Neuroscience(2014)	우울과 콜레스테롤·혈당	에너지 요인→인지적 우울 경로가 두 무리에서 다름
Journal of Ginseng Research(2014)	핏속 유리지방산	코르티솔·맥박의 경로가 두 무리에서 다름

첫째 논문에서 발효홍삼 무리는 DHEAS·성장호르몬·에스트라디올이 유의하게 늘고, 당화혈색소·인슐린·인슐린 저항성 지수(HOMA-IR)가 줄었다. 당화혈색소는 지난 두세 달 혈당의 평균 성적표 같은 값이다. 저자들은 이 변화들이 모여 건강한 폐경 후 여성의 당뇨 예방에 이로운 변화를 보여 준다고 해석했다. **[사람·시험]**¹

둘째 논문은 LDL 콜레스테롤·총콜레스테롤·혈당을 묶은 ‘에너지 요인’이 인지적 우울로 가는 경로를 보았다. 경로계수는 발효홍삼 무리 0.259, 위약 무리 -0.201로 유의하게 달랐고, 이 요인은 주로 콜레스테롤이 이끌었다. **[사람·시험]**²
셋째 논문에서는 핏속 유리지방산에 대한 코르티솔과 맥박의 경로계수가 두 무리에서 유의하게 달랐다. **[사람·시험]**³

이 발효홍삼 시험을 여기 소개하는 까닭이 있다. 사람을 제비뽑기로 나누고, 위약과 견주고, 누가 어느 무리인지 가린 채 재고, 통계로 길목을 따지는 방법은 무엇을 시험하든 같다. 홍삼 자리에 흙길 맨발걷기를, 위약 자리에 신발이나 거짓 접지 매트를 놓으면 맨발걷기 시험의 뼈대가 된다. 이 책이 맨발걷기 연구를 읽는 눈도 그 경험에서 나왔다.

통계 — 좋은 효과를 튼튼하게 확인하는 방법

맨발로 걸은 뒤 잠이 좋아졌다는 말을 들으면 누구나 반갑다. 그 좋은 변화가 정말 맨발걷기 덕분이라는 것을 여러 사람 앞에서 튼튼하게 보여 주려면, 원래 좋아질 때였ад거나 기대 때문이라거나 그저 우연이라는 다른 설명을 하나씩 걸러 내야 한다. 통계는 그 일을 하는 체다. 이 책에서 자주 쓰는 도구를 차례로 살펴보자.

첫째, 무작위 배정. 새 공부법을 시험한다며 공부 잘하는 학생이 몰린 반에서만 가르치면, 성적이 올라도 공부법 덕분인지 알 수 없다. 제비뽑기로 반을 나누면 잘하는 학생과 덜 하는 학생이 두 무리에 고루 섞인다. 나이·체력·생활습관처럼 연구자가 미처 재지 못한 것까지 고루 섞인다는 점이 무작위 배정의 힘이다.

둘째, 대조군과 위약, 거짓 접지. “감기는 약을 먹으면 7일, 안 먹으면 일주일 간다”는 우스개가 있다. 비교할 무리가 있어야 저절로 나은 것과 약 덕분에 나은 것을 가릴 수 있다. 그래서 같은 기간을 함께 지나는 대조군을 둔다. 약 시험에서는 성분이 없는 위약을 쓰고, 접지 연구에서는 걸은 같지만 땅과 이어지지 않은 거짓 접지 매트를 쓴다(29절).

셋째, 맹검. 선생님이 답안지의 이름을 가리고 채점하면 아기는 학생에게 점수를 후하게 줄 수 없다. 연구에서도 참여자와 측정하는 사람이 누가 어느 무리인지 모르게 한다. 맨발은 발바닥에 흙이 닿는지 본인이 바로 알기 때문에, 측정하는 쪽을 가리는 단일 맹검을 흔히 쓴다. 발뒤꿈치 통증이 오래간 52명을 맨발 걷기와 신발 걷기로 무작위로 나눈 단일 맹검 시험에서, 두 무리 모두 통증이 줄었고 맨발 무리가 더 크게 좋아졌다. **[사람-시험]**⁴

넷째, 표본 크기와 검정력. 동전 하나가 휘었는지 알고 싶다고 하자. 그림 0-2는 공평한 동전과 앞면이 60% 나오는 흰 동전을 여러 번 던질 때, 앞면 비율이 대개 어느 범위에 들어오는지 계산한 것이다. 10번 던지면 공평한 동전은 20~80%, 흰 동전은 30~90%로 거의 겹친다. 공평한 동전도 10번 가운데 6번 이상 앞면이 나올 확률이 약 38%나 된다. 그러나 1,000번 던지면 두 범위가 47~53%와 57~63%로 갈라진다.

사람 연구도 같다. 참여자가 넉넉하면 진짜 좋은 효과를 우연의 흔들림과 뚜렷하게 가릴 수 있다. 진짜 차이가 있을 때 그것을 찾아낼 확률을 검정력이라고 한다. 흔히 검정력을 80%로 잡는데, 정말 그만한 효과가 있다면 같은 시험을 열 번 할 때 여덟 번은 찾아낸다는 뜻이다. 좋은 시험은 몇 명이 필요한지를 시작하기 전에 계산해 둔다(16·24·32절).

다섯째, P값과 신뢰구간, 효과 크기. P값은 “사실은 아무 차이가 없다고 할 때, 이만큼 또는 이보다 더 큰 차이가 우연히 나올 확률”이다. 흔히 0.05보다 작으면 ‘통계적으로 유의하다’고 말한다. 유의하다는 말이 곧 크다는 뜻은 아니다. 사람을 아주 많이 모으면 아주 작은 차이도 유의하게 나온다. 그래서 차이가 얼마나 큰지를 공통 눈금으로 잰 효과 크기를 함께 본다(8·17절).

☐ 공평한 동전(앞면 50%)

☒ 흰 동전(앞면 60%)

10번

많이 겹침



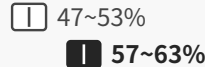
100번

절반쯤 겹침



1,000번

겹치지 않음



0% 20% 40% 60% 80% 100%

앞면이 나온 비율

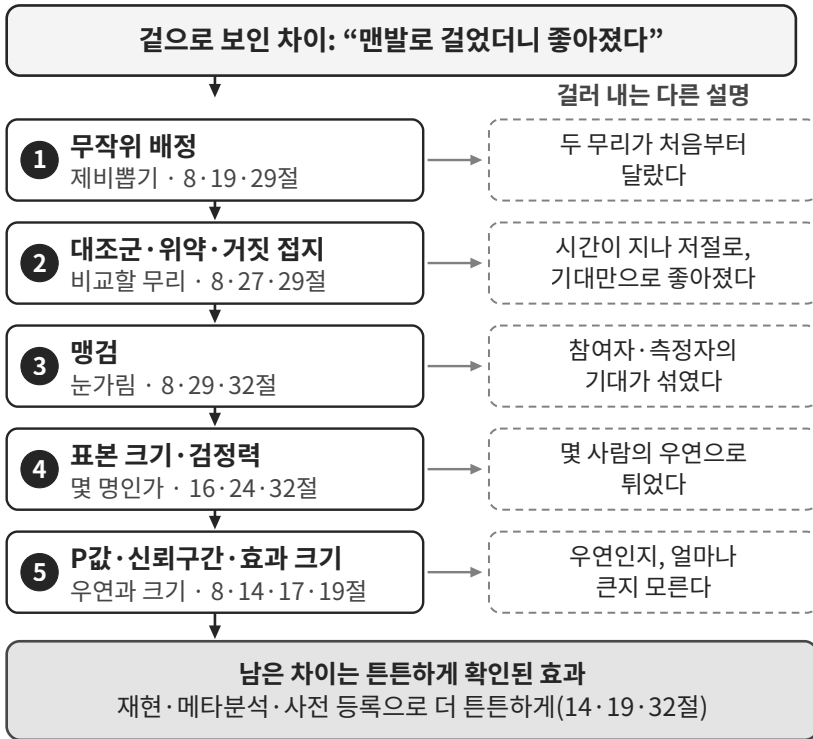
막대: 결과의 95%가 들어오는 범위(계산값)

[그림 0-2] 표본 크기와 우연 — 동전 던지기 공평한 동전(앞면 50%)과 흰 동전(앞면 60%)을 10번·100번·1,000번 던질 때 앞면 비율의 95%가 들어오는 범위를 이항분포로 계산했다. 적게 던지면 두 범위가 겹쳐 흰 동전을 가려낼 수 없고, 많이 던질수록 범위가 좁아져 갈라진다. 막대 속 세로 눈금은 기대값이다(계산값)

P값에는 흔한 오해가 두 가지 있다. 먼저, P값은 “효과가 있을 확률”이 아니다. 차이가 없다고 가정했을 때 결과가 얼마나 드문지를 알려 줄 뿐이다. 다음으로, 0.05라는 기준은 실제로 아무 차이가 없는데도 스무 번에 한 번꼴로 ‘유의하다’는 결과가 우연히 나오는 것을 받아들인다는 뜻이다. 서로 관계없는 지표를 스무 가지 재면, 아무 효과가 없어도 적어도 하나가 유의하게 나올 확률이 64%쯤 된다. 그래서 좋은 시험은 무엇을 주된 결과로 볼지 미리 정해 두고, 여러 지표의 흐름을 함께 읽는다.

신뢰구간은 참값이 들어 있을 만한 폭이다. 일기예보가 “내일 낮 기온 18~24도”처럼 폭으로 말하는 것과 비슷하다. 엄밀히 말하면, 같은 방법으로 연구를 여러 번 되풀이해 95% 신뢰구간을 구할 때 그 구간들 가운데 95%쯤이 참값을 품는다는 뜻이다. 러닝화 무작위시험을 모은 코크런 고찰에서, 쿠션 신발과 미니멀 신발을 견준 5편 766명의 부상 위험비는 0.77, 95% 신뢰구간은 0.59~1.01이었다. [종합]⁵ 폭이 ‘차이 없음’을 뜻하는 1을 걸치므로 통계적으로 유의하지 않고, 부상이 40%쯤 줄 수도, 차이가 거의 없을 수도 있다고 읽는다(14절).

여기까지의 다섯 도구를 그림 0-3에 모았다. 위에서 아래로 내려가며 다른 설명이 하나씩 걸러지고, 끝까지 남은 차이는 튼튼하게 확인된 효과가 된다.



[그림 0-3] 통계의 다섯 도구 걸음으로 보인 차이에서 다른 설명을 하나씩 걸러 내는 순서로 그렸다. 도구 이름 아래 숫자는 본문에서 그 도구가 쓰이는 절이다. 좋은 효과는 재현과 메타분석으로 거듭 확인될수록 더 튼튼해진다(개념도)

여섯째, 연관과 인과. 아이스크림이 많이 팔리는 날 물놀이 사고도 늘지만, 아이스크림이 사고를 부르지는 않는다. 둘 다 더운 날씨를 따라 움직일 뿐이다. 사람을 지켜보기만 한 관찰연구에서 맨발로 자주 걷는 사람이 건강했다면, 제비뽑기로 나눈 시험을 더해 그 좋은 점이 맨발걷기 덕분임을 한 걸음 더 확인할 수 있다(4·19·24·33절). 제비뽑기로 나누면 원래 건강한 사람이 한쪽에만 몰리지 않기 때문이다.

일곱째, 메타분석. 여러 연구의 결과를 정해진 방법으로 모아 다시 계산하는 방법이다. 한 반의 성적보다 전교 성적이 더 믿을 만한 것과 같다. 잘 설계된 연구가 여러 곳에서 모일수록 결론은 더 튼튼해진다(14·19·33절).

여덟째, 사전 등록과 출판 편향. 낚시꾼이 고기를 잡은 날만 사진을 올리면, 그 강에서는 늘 고기가 잘 잡히는 것처럼 보인다. 논문도 어떤 결과는 발표되고 어떤 결과는 서랍에 남으면 전체 모습이 한쪽으로 기운다. 이것이 출판 편향이다. 그래서 무엇을 몇 명에게서 어떻게 재고 분석할지를 시험 전에 공개하는 사전 등록을 한다. 화살을 쏘기 전에 과녁을 세워 두어야 명중이 빛나기 때문이다(8·32절).

본문에서는 최 교수와 서운이 이 도구를 하나씩 꺼내 쓴다. 8절에서 증거의 계단과 맹검을, 14·19절에서 메타분석과 신뢰구간을, 29절에서 거짓 접지와 이중맹검을, 32절에서 어싱 연구가 지금까지 밝혀 온 것을 만난다.

한국식품영양연구소와 한국생활건강연구소

한국식품영양연구소는 지은이가 소장으로 있는 연구소다. 식품·영양·대사를 연구하고, 식물성 식사와 케톤식, 단식을 연구한다. 사람을 대상으로 한 연구를 설계하고 통계로 분석하는 일도 한다.

한국생활건강연구소는 지은이가 세워 운영하는 연구소다. 생활 속 건강, 곧 걷기·식사·잠·생활습관을 교육하고 그 실천을 연구하며, 교육 과정을 운영한다. 이 책이 다루는 걷기와 생활습관도 이 연구소가 관심을 두는 주제다.

한 가지는 분명히 해 둔다. **두 연구소는 의료기관이 아니다.** 진료나 처방을 하지 않고, 병을 진단하거나 치료하지 않는다. 몸에 이상이 있으면 병원에서 진료를 받아야 한다. 연구 참여를 문의하거나 공동연구를 제안하려면 표 0-2의 연락처를 이용하면 된다.

사람을 대상으로 하는 연구에는 지켜야 할 약속이 있다. 참여자는 연구의 목적과 방법, 생길 수 있는 불편과 위험을 충분히 설명 듣고 스스로 동의해야 한다. 도중에 그만두고 싶으면 언제든지 그만둘 수 있어야 한다. 연구 계획은 연구자가 아닌 연구윤리위원회의 심사를 먼저 거친다. 좋은 통계만큼 참여자의 안전과 존중이 연구의 바탕이다.

[표 0-2] 두 연구소 연락처(연구 참여·공동연구 문의)

구분	연락처	쓰임
전화	070-4070-3369	연구 참여·공동연구 문의
이메일	contact@solmindit.com	문의와 제안
주소	충청남도 금산군 금성면 장목동길 8-18	우편
누리집	klifestyle.net	연구소 소개와 교육 과정

맨발걷기의 좋은 점을 한국인에게서, 더 많은 사람에게서 확인하고 널리 알리기 위해

황톳길은 늘어나고, 새벽마다 신발을 벗는 사람도 늘었다. 그 길에서 사람들이 느끼는 좋은 점을 사람에게서 재어 확인하고, 더 많은 이웃에게 알리는 것이 맨발걷기 임상연구의 목적이다. 이 책의 자료를 정리하며 그 길을 넷으로 나누어 보았다.

첫째, 접지 연구가 보여 준 좋은 점을 더 많은 사람에게서 확인한다. 슈발리에 연구팀은 건강한 성인 10명이 두 시간 동안 접지한 뒤 적혈구의 제타전위가 커지고 적혈구가 덜 뭉쳤다고 보고했다.^{[사람·시험]⁶} 대만의 경도 알츠하이머병 환자 연구에서는 12주 동안 접지한 무리의 수면의 질 점수가 거짓 접지 무리보다 좋아졌다.^{[사람·시험]⁷} 이런 결과를 더 많은 사람, 더 다양한 나이와 건강 상태에서 다시 재어 보면 좋은 점이 누구에게 얼마나 나타나는지 더 뚜렷해진다.

둘째, 연구가 활발한 주제의 흐름을 흠길 맨발걷기로 잇는다. 그림 0-4를 보면 걷기 주제에는 사람 시험 226편과 종합 35편이, 숲·자연 주제에는 종합 134편이 쌓였다. 맨발 주제에도 사람 시험 169편과 종합 46편이 있고, 접지 주제에서도 사람 시험 12편이 나와 연구가 이어지고 있다. 흠길 맨발걷기는 네 층이 함께 작용하는 활동이다. 같은 길에서 신발 걷기와 맨발 걷기를 견주는 시험을 더하면, 걷기와 자연의 좋은 점 위에 맨발과 접지가 보태는 뭉까지 함께 보여 줄 수 있다.



원 넓이는 논문 수에 비례 · 제목·초록 자동 분류(대략값)
한 논문이 여러 주제에 들 수 있다

[그림 0-4] 주제별 연구 현황 네 층에 해당하는 주제별로 이 책의 논문 데이터베이스를 연구 설계에 따라 세었다(원 넓이는 편수에 비례). 걷기와 숲·자연 주제에는 사람 시험과 종합 연구가 두텁게 쌓였고, 맨발 주제에도 사람 연구가 활발하다. 제목·초록 자동 분류라 대략의 모양이며 한 논문이 여러 주제에 들 수 있다(자료: 논문 데이터베이스 통계)

셋째, 한국인의 몸과 한국의 흙길에서 확인한다. 우리나라에서도 맨발걷기 시험이 나오고 있다. 도시 숲길에서 성인 62명을 운동화 무리와 맨발 무리로 나누어 5주 동안 걸은 연구에서, 처음 CRP가 높았던 사람들은 맨발 무리에서 CRP가 낮아졌고 맨발 무리의 세로토닌이 올라갔다. **[사람-시험]**⁸ 원주에서 갱년기 증상이 있는 45~65세 여성 60명을 살핀 12주 연구에서는 맨발걷기 무리의 갱년기 증상·스트레스·삶의 질이 비교 무리보다 유의하게 좋아졌고, 잠의 질에서도 두 무리의 변화가 달랐다. **[사람-시험]**⁹ 황톳길이 우리 동네 풍경이 된 만큼, 한국인에게서 얻은 자료가 쌓이면 우리 이웃에게 꼭 맞는 맨발걷기 안내를 만들 수 있다.

넷째, 안전하게 오래 걷는 방법도 함께 기록한다. 당뇨로 발 감각이 둔한 사람에게 맨발은 위험할 수 있고(38절), 찰림과 감염도 조심해야 한다(37절). 좋은 임상연구는 효과와 함께 누가 어떤 불편을 겪었는지, 어떤 사람은 신발을 신고 걷는 편이 나온지도 기록한다. 그 기록이 모이면 누구나 안심하고 따라 할 수 있는 맨발걷기 안내가 된다.

그렇다면 어떤 연구를 해 볼 수 있을까? 예를 들면 이렇다. 길이 같은 진짜 매트와 거짓 접지 매트를 무작위로 나누어 잠과 코르티솔을 재는 이중맹검 시험. 같은 길을 같은 시간 동안 신발 신고 걷는 무리와 맨발로 걷는 무리로 나누는 무작위 시험. 2013년 적혈구 전하 연구를 더 많은 사람에게서 거짓 접지와 견주어 다시 확인하는 시험. 이런 연구 스무 가지를 왜 해 볼 만한지, 누구를, 어떻게, 무엇을 재며, 어떻게 안전하게 할지로 나누어 부록 F에 정리했다.

더 많은 사람에게서 확인된 좋은 점은 새벽 황톳길을 걷는 사람, 길을 만드는 사람, 그 길에 예산을 쓰는 사람 모두에게 믿음직한 길잡이가 된다. 한국인의 발로 걸어 얻은 자료가 그 길잡이를 더 단단하게 해 줄 것이다.

이 책과 지은이의 약속

지은이는 맨발로 걷는 새벽의 즐거움을 소중히 여긴다. 걷기는 연구가 가장 많이 쌓인 건강 습관이고, 숲과 흙과 함께 걷는 이웃도 소중하다. 그 즐거움을 연구의 말로 정확하게 전하기 위해 세 가지를 약속한다.

첫째, 연구 결과를 출처와 함께 있는 그대로 전한다. 세포와 동물의 결과는 그렇다고 밝히고, 사람의 결과는 사람의 결과로 적는다. 연구마다 네 층 가운데 무엇을 살폈는지 밝힌다. 머리말에서 설명한 연구 표지는 이 약속을 문장마다 지키기 위한 장치다. 둘째, **지은이가 앞으로 맨발걷기 연구에 함께할 때, 어떤 결과는 미리 정한 방법대로 분석해 모두 발표한다.** 셋째, 맨발걷기는 표준 치료를 대신하지 않는다. 약을 줄이거나 끊는 결정은 주치의와 함께 내려야 하고, 당뇨나 혈액순환 장애가 있는 사람은 맨발로 걷기 전에 먼저 상의해야 한다.

책의 짜임과 연구 표지, 함께 걷는 네 사람의 앞의 머리말에서 소개했다. 이제 3월 첫째 일요일 새벽, 솔매산 황톳길 입구로 가 보자.

머리말과 들어가며의 출처

1. Lee, K. J., Lee, S. Y., & Ji, G. E. (2013). Diabetes-Ameliorating Effects of Fermented Red Ginseng and Causal Effects on Hormonal Interactions: Testing the Hypothesis by Multiple Group Path Analysis. *Journal of Medicinal Food*, 16(5), 383–395. <https://doi.org/10.1089/jmf.2012.2583>
2. Lee, K. J., & Ji, G. E. (2014). The effect of fermented red ginseng on depression is mediated by lipids. *Nutritional Neuroscience*, 17(1), 7–15. <https://doi.org/10.1179/1476830513y.0000000059>
3. Lee, K. J., & Ji, G. E. (2014). Free-fatty-acid-regulating effects of fermented red ginseng are mediated by hormones and by the autonomic nervous system. *Journal of Ginseng Research*, 38(2), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2013.12.003>

4. Reinstein, M., Weisman, A., & Masharawi, Y. (2024). Barefoot walking is beneficial for individuals with persistent plantar heel pain: A single-blind randomized controlled trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 67(2), 101786. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2023.101786>
5. Relph, N., Greaves, H., Armstrong, R., Prior, T. D., Spencer, S., Griffiths, I. B., Dey, P., & Langley, B. (2022). Running shoes for preventing lower limb running injuries in adults. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8, CD013368. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd013368.pub2>
6. Chevalier, G., Sinatra, S. T., Oschman, J. L., & Delany, R. M. (2013). Earthing (grounding) the human body reduces blood viscosity-a major factor in cardiovascular disease. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 19(2), 102–110. <https://doi.org/10.1089/acm.2011.0820>
7. Lin, C. H., Tseng, S. T., Chuang, Y. C., Kuo, C. E., & Chen, N. C. (2022). Grounding the Body Improves Sleep Quality in Patients with Mild Alzheimer's Disease: A Pilot Study. *Healthcare*, 10(3), 581. <https://doi.org/10.3390/healthcare10030581>
8. Kim, J. S., Lee, M. M., Kim, D. S., & Shin, C. S. (2024). Effects of Barefoot Walking in Urban Forests on CRP, IFN γ , and Serotonin Levels. *Healthcare*, 12(23), 2372. <https://doi.org/10.3390/healthcare12232372>
9. Kim, M. H., & Lee, E. Y. (2025). Effects of Barefoot Walking on Menopausal Symptoms, Sleep Quality, Stress, and Quality of Life in Middle-Aged Women Experiencing Menopausal Symptoms. *Healthcare*, 13(22), 2836. <https://doi.org/10.3390/healthcare13222836>

제 1 장

피의 흐름과 전하

- 1 첫 번째 새벽 — 맨발로 걸으면 피가 맑아진다?
- 2 적혈구의 옷 — 시알산과 음전하
- 3 제타전위 — 피가 뭉치지 않는 이유
- 4 끈적한 피 — 혈액점도와 심혈관 질환
- 5 혈관 안쪽의 솜털 — 글리코칼릭스와 미세순환
- 6 땅의 '자유전자' — 항산화·상처 치유·콜라겐 전도

01

첫 번째 새벽 — 맨발로 걸으면 피가 맑아진다?

3월 첫째 일요일 새벽 6시, 한솔시 솔매산 공원. 겨우내 닫혀 있던 황톳길 1.2km가 오늘 다시 문을 연다. 입구 정자 솔바람정 앞에 “개장” 현수막이 걸렸고, 세족장 수도에서는 하얀 김이 오른다. 흙은 아직 차갑다. 정자 계단에 앉아 운동화 끈을 풀던 흰머리 남자에게 분홍 조끼를 입은 여성이 떡 접시를 들고 다가간다.

신발 끈을 푸는 사람들

영숙 처음 뵙는 분이네요. 저는 “솔매산 맨발사랑” 회장 박영숙이에요. 오늘 개장일이라 회원들이랑 떡을 좀 해 왔어요. 하나 드세요.

최 교수 고맙습니다. 최도운입니다. 늘 신발 신고 걷던 산인데, 올봄에는 맨발로 걸어 보려고요.

영숙 어머, 잘 오셨어요. 저는 3년째 맨발로 걸어요. 밤마다 뒤척이던 잠이 달라졌고, 계단 내려갈 때 시큰하던 무릎도 한결 편해졌답니다.

최 교수 좋아하셨다니 반갑네요. 저도 올봄에는 그 좋은 변화를 몸으로 느껴 보고 싶습니다.

구청 점퍼를 입은 남자가 서류철을 끼고 계단을 오른다. 목도리를 턱까지 올린 여학생이 뒤따른다.

태호 회장님, 준비해 주셔서 고맙습니다. 구청 공원녹지과 정태호입니다. 이쪽은 제 딸 서운이고요.

서운 안녕하세요. 황톳길은 처음 와 봐요. 진짜 다들 맨발이네요? 발 안 시려요?

영숙 시려도 금방 후끈해져. 자, 여러분, 주무관님 덕분에 올해 길이 더 넓어졌어요. 박수 한번 쳐 드려요.

태호 넓히긴 했는데 걱정이 하나 있습니다. 구의회 예산 심의에서 “맨발길이 건강에 좋다는 과학적 근거를 가져오라”는 말을 들었거든요. 가을까지 설명 자료를 내야 합니다. 저도 마라톤을 하다 족저근막염을 앓아서 맨발은 좀 겁이 나고요.

영숙 근거야 넘치죠. 맨발로 걸으면 “피가 맑아진다”잖아요. 우리 대화방에 사진도 있어요.

대화방의 적혈구 사진

영숙이 휴대전화를 내민다. 위에는 붉은 동그라미가 동전 더미처럼 엉겨 있고, 아래에는 하나하나 흩어져 있다. “맨발 30분 전 / 후”라는 글씨가 붙어 있다.

영숙 보세요. 걷기 전에는 피가 뭉쳐 있다가, 걷고 나니 싹 흩어졌잖아요. 땅의 전기가 염증도 가라앉힌대요.

서윤 우와, 진짜 달라 보여요. 이 동그라미들이 피예요?

최 교수 서윤아, 동그라미 하나하나가 적혈구란다. 적혈구가 서로 떨어져 흐르느냐 뭉치느냐는 우리 몸에 아주 중요한 문제야. 이 사진 이야기를 제대로 즐기려면 피부터 알아야 하지.

태호 실례지만 어느 쪽 일을 하십니까?

최 교수 대학병원 재활의학과에서 걸음걸이를 재는 보행분석실을 맡고 있습니다. 학부 때는 전기공학을 공부하다가 의대에 다시 들어갔고요.

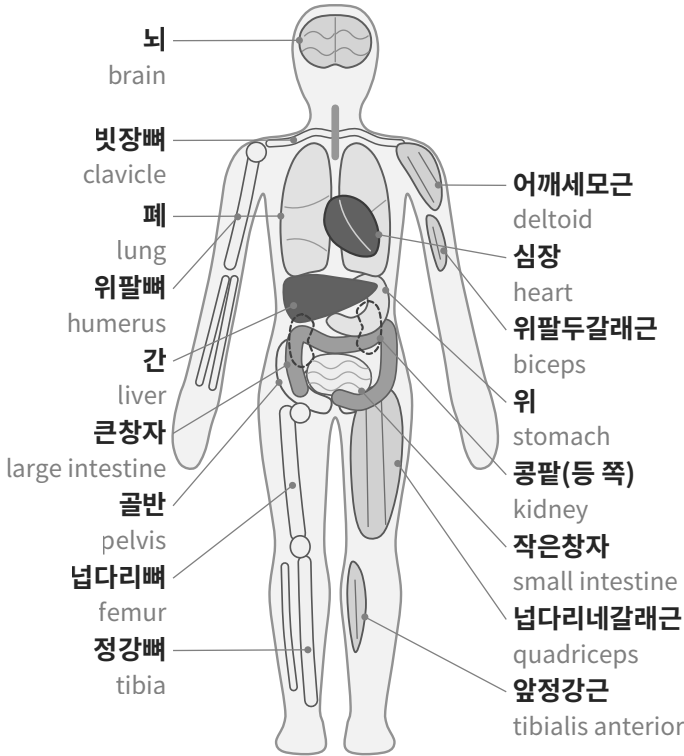
태호 발도 알고 전기도 아시는 분이네요. 그럼 이 사진 속 이야기를 구의원들께도 알기 쉽게 풀어 주실 수 있겠습니까.

영숙 그럼요. 제 몸이 좋아진 걸 과학의 말로 풀어 주시면 회원들도 더 신나서 걸을 거예요.

최 교수 회장님 경험은 소중한 출발점입니다. 몸속에서 무슨 일이 일어나는지 알고 걸으면 맨발길을 더 잘 살릴 수 있지요. 이 사진은 몇 주에 걸쳐 같이 풀어 봅시다.

피는 몸 전체를 도는 강

최 교수 사진 속 적혈구는 원래 유리판이 아니라 몸속 강물을 타고 흐르는 배입니다. 먼저 그 강이 적시는 몸부터 보시지요. 그림 1-1입니다.



[그림 1-1] 인체 전신 해부(앞모습) 마주 보고 선 사람이므로 그림의 오른쪽이 그 사람의 왼쪽이다. 심장은 가운데에서 조금 왼쪽, 간은 오른쪽 위, 위는 왼쪽 위에 있고, 콩팥은 등 쪽에 있어 점선으로 그렸다. 그림 기준 왼쪽 팔다리에는 뼈, 오른쪽 팔다리에는 근육을 그렸다. 모식도이며 기관의 비례는 대략이다

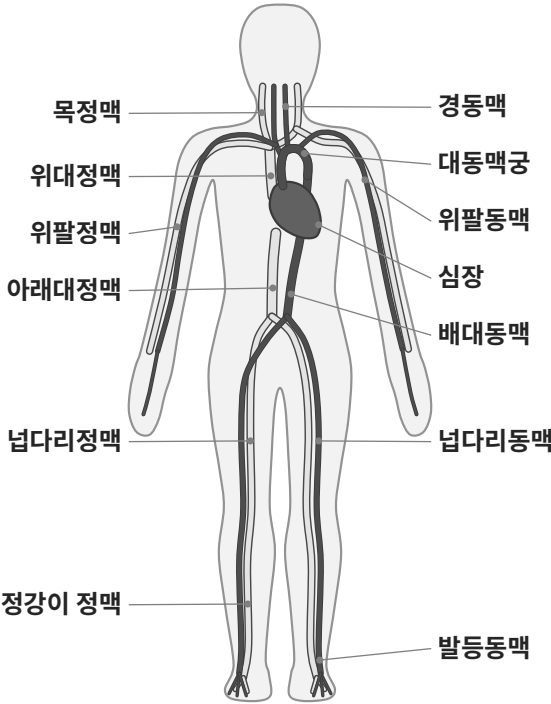
서윤 심장이 가운데가 아니라 조금 왼쪽이네요. 간은 오른쪽 위에 크게 있고요.

최 교수 그렇지. 뇌, 폐, 간, 콩팥, 창자, 근육과 뼈까지, 이 모든 곳의 세포가 피에서 산소와 영양분을 받는단다. 피가 잠깐만 끊겨도 뇌는 금세 타어나지.

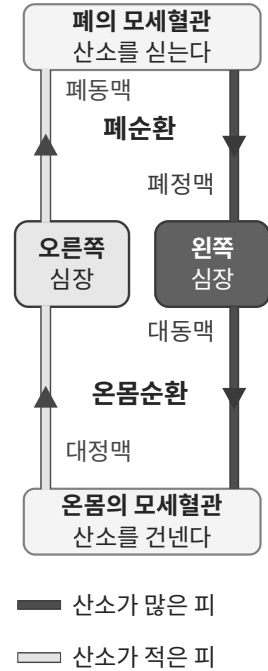
영숙 그럼 피는 어떤 길로 거기까지 다 가요?

최 교수 그림 1-2의 (가)를 보세요. 심장이 피를 대동맥으로 밀어내면, 대동맥은 활처럼 휘었다가 목·팔·배·다리로 갈라집니다. 갈라질수록 가늘어져 모세혈관이 되고, 산소를 건넨 피는 정맥으로 모여 대정맥을 타고 심장으로 돌아오지요.

(가) 온몸의 큰 혈관



(나) 순환의 두 고리



[그림 1-2] 혈관계와 순환의 두 고리 (가) 온몸의 큰 동맥과 정맥. 진한 적갈색 실선은 산소가 많은 피가 흐르는 동맥, 속이 빈 파란 관은 산소가 적은 피가 돌아오는 정맥이다(이 그림에서만 파랑을 정맥에 썼다). 동맥은 발등을 지나 발끝까지 뻗는다. (나) 오른쪽 심장에서 폐를 돌아오는 폐순환과, 왼쪽 심장에서 온몸을 돌아오는 온몸순환. 폐동맥은 동맥이지만 산소가 적은 피를 나른다. 모식도이며 혈관 굵기는 실제 비율이 아니다

서윤 잠깐만요, (나)에는 고리가 두 개예요.

최 교수 잘 봤구나. 오른쪽 심장은 피를 폐로 보내 산소를 싣고 오게 해. 이게 폐순환이야. 왼쪽 심장은 그 피를 온몸으로 보내지. 이게 온몸순환이고. 한 바퀴 도는 데 대략 수십 초에서 1분이면 된단다.

서윤 그러니까 심장은 펌프 두 개가 붙은 거고, 피는 폐 한 바퀴, 몸 한 바퀴를 번갈아 도는 강이네요.

최 교수 그래. 발끝은 심장에서 가장 먼 강 하류야. 그 강줄기를 모세혈관까지 다 이으면 흔히 10만 km쯤이라고 하는데, 계산 방법에 따라 크게 달라지는 대략값이란다. 그 길이의 대부분이 머리카락보다 가는 모세혈관이고.

태호 지구 둘레가 4만 km니까 두 바퀴 반이군요. 그런데 발끝까지 내려간 피는 어떻게 다시 올라옵니까? 심장보다 한참 아래인데요.

최 교수 심장이 미치는 힘만으로는 모자랍니다. 걸을 때마다 종아리 근육이 오므라들며 그 사이 정맥을 짜 올리고, 정맥 안의 판막이 피가 거꾸로 내려가지 않게 막지요. 그래서 종아리를 흔히 둘째 심장이라 부릅니다.

서윤 걷는 것 자체가 강물을 거슬러 올리는 펌프질이네요.

“맑은 피”를 과학의 말로 바꾸면

태호 그러면 “피가 맑아진다”는 무슨 뜻입니까? 설명서에 그 말을 그대로 쓸 수는 없어서요.

최 교수 병원에서는 “맑은 피”라는 말을 쓰지 않습니다. 바꾸면 세 가지 질문이 돼요. 피가 얼마나 끈적한가, 적혈구가 얼마나 뭉치는가, 피가 발끝까지 얼마나 잘 흐르는가.

서윤 잠깐만요, 끈적한 거랑 뭉치는 거랑 달라요?

최 교수 꿀은 물보다 천천히 흐르지? 흐르기 싫어하는 정도가 **점도**야. 적혈구가 많거나 잘 뭉치면 점도가 올라간단다.¹ 흐름은 강물이 하류까지 얼마나 가느냐, 곧 순환이고.

서윤 “맑은 피”는 점도, 뭉침, 순환으로 나뉘 볼 수 있고, 회장님 사진은 그중 뭉침을 보여 준 거네요.

최 교수 그렇지. 적혈구가 서로 떨어져 있으면 가는 혈관도 수월하게 지나가니, 뭉침은 순환과도 이어진단다.

영숙 우리 대화방 사진이 과학 공부의 첫 장이 됐네요.

태호 설명서 첫 줄에는 “점도, 응집, 순환”이라고 적겠습니다.

네 층으로 나누어 보기

최 교수 하나 더 있습니다. 맨발로 걸을 때 몸에는 여러 일이 한꺼번에 일어나요. 그림 1-3을 보시지요.

1 걷기 몸을 움직이는 운동 자체	걸음 수와 사망률·혈압 기분·인지·혈관 기능
2 맨발 신발을 벗어 생기는 변화	발바닥 감각·발 근육 걸음새·착지 방식
3 접지(어싱) 땅과 전기적 연결	접지 매트 수면·통증 적혈구 전하·코르티솔
4 자연 환경 숲·흙·햇빛·함께 걷는 사람	산림욕과 스트레스 아침 햇빛과 수면 리듬

연구 방식마다 살피는 층	걷기	맨발	접지	자연
실내에서 접지 매트 깔고 자기	○	○	●	○
흙길 맨발 걷기 프로그램	●	●	○	●
운동화 신고 숲길 걷기	●	○	○	●
실내 러닝머신 맨발 걷기	●	●	○	○

● 시험한 층 ○ 조건에 따라 함께 작용 ○ 해당 없음

[그림 1-3] 맨발걷기 효과의 네 층 ① 걷기 ② 맨발 ③ 접지 ④ 자연 환경이 함께 작용한다. 아래 표는 연구 방식마다 어느 층을 살피는지 보여 준다. 모식도다

최 교수 첫째는 걷기라는 운동 자체, 둘째는 신발을 벗어 달라지는 발바닥 감각과 걸음새입니다. 셋째는 몸이 땅과 전기적으로 이어지는 접지이고, 넷째는 숲과 햇빛과 함께 걷는 사람들이지요.

영숙 우리 동호회는 넷 다 하네요.

최 교수 그렇지요. 네 층이 함께 작용해 맨발걷기의 좋은 점을 만듭니다. 연구자들은 층을 하나씩 떼어 살피기도 해요. 접지 매트를 깔고 잠만 잔 연구는 셋째 층을 살핀 것이고요.

태호 연구마다 어느 층을 살폈는지 알면 설명하기가 한결 쉽겠군요.

최 교수 맞습니다. 한국 연구진은 도시 숲길에서 62명을 운동화 무리와 맨발 무리로 나눠 5주 동안 20번 똑같이 걷게 했어요. 처음 염증 지표 CRP가 높았던 사람들을 보니 맨발 무리의 CRP가 걷기 전보다 낮아졌고, 맨발 무리는 기분과 관련된 세로토닌도 올랐다고 보고했지요. **[사람-시험]**²

원주에서는 갱년기 증상이 있는 45~65세 여성들이 12주 동안 일주일에 세 번, 한 시간씩 맨발로 걸었더니 평소대로 지낸 무리보다 갱년기 증상·스트레스·삶의 질과 잠의 질이 나아졌다고 보고했습니다. [사람·사회]³

서윤 이거 제 자유탐구 과제로 할래요. 논문마다 어느 층을 시험했는지 나눠 보는 거요.

최 교수 좋은 생각이구나. 마침 맨발과 접지 논문을 모아 둔 데이터베이스가 있단다. 같이 해 볼까?

태호 그럼 서윤이 과제가 제 예산 설명서의 초안이 되겠네요.

몸 세포 열에 여덟은 적혈구

서윤 그런데 피는 그냥 빨간 물 아니에요?

최 교수 시험관에 담아 원심분리기로 돌리면 층이 나뉘단다. 위는 노르스름한 혈장, 아래는 붉은 적혈구, 그 사이 얇고 하얀 띠가 백혈구와 혈소판이야. 표 1-1에 정리해 볼게.

[표 1-1] 혈액 성분과 하는 일(성인 기준 대략값)

성분	차지하는 몫	크기와 수(대략)	하는 일
혈장	부피의 약 55~60%	90% 넘게 물	영양분·호르몬·단백질 운반
적혈구	부피의 약 40~45%	지름 7~8 μm , 1 μL 에 수백만 개	산소 나르기(핵 없음)
백혈구	1% 미만	1 μL 에 수천 개	병원균과 싸우기, 염증
혈소판	1% 미만	1 μL 에 15만~40만 개	상처에서 피 멈추기

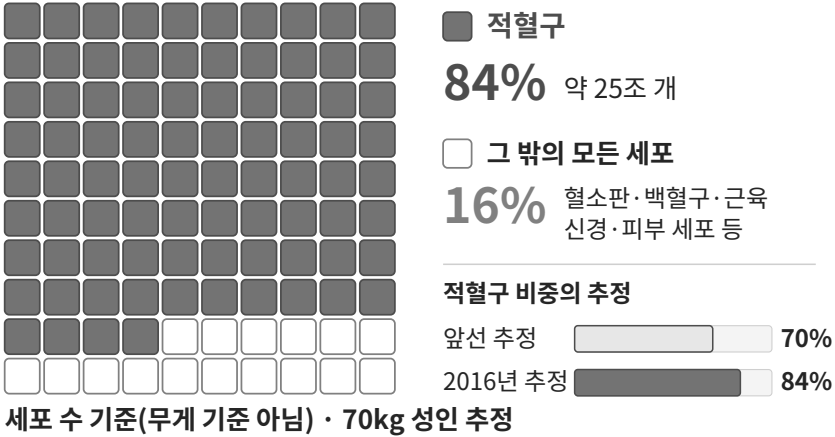
서윤 적혈구는 택배 기사, 백혈구는 병원 잡는 경비원, 혈소판은 터진 곳을 막는 수리공, 혈장은 그들이 떠다니는 강물이네요.

최 교수 그렇지. 적혈구 속 헤모글로빈이 산소를 붙잡는데, 사람 적혈구에는 핵이 없어. 핵까지 빼고 산소 가방만 챙긴 셈이지. 약 120일 일하고 나면 비장과 간에서 정리된단다.

서윤 표를 보니 적혈구가 피 부피의 거의 절반이네요.

최 교수 개수로 세면 더 놀랍지. 이스라엘 연구팀이 70 kg 성인의 세포를 다시 계산했더니 사람 세포가 약 30조 개였고, 그 약 84%가 적혈구였어. 앞선 추정에서도 70%쯤이었고.⁴ 그림 1-4를 보렴.

몸 세포 약 30조 개를 100칸으로(한 칸 약 3,000억 개)



[그림 1-4] 사람 몸 세포 수 속 적혈구의 비중 70 kg 성인의 사람 세포 약 30조 개를 100칸으로 나누면 84칸이 적혈구다(2016년 추정, 앞선 추정은 70%). 세포 수 기준이며 무게 기준이 아니다. 장내 세균은 세지 않았다

영숙 어머, 몸 세포 열에 여덟이 적혈구라고요? 근육 세포가 제일 많은 줄 알았어요.

서윤 잠깐만요, 30조가 얼마나 큰 수예요?

최 교수 1초에 하나씩 세면 90만 년 넘게 걸리는 수란다. 그 가운데 25조 개쯤이 적혈구지.

태호 몸이라는 회사의 직원 열에 여덟이 택배 기사인 셈이군요.

최 교수 다만 개수로 센 값입니다. 적혈구 한 개의 부피는 대략 $100\ \mu\text{m}^3$ 로 가장 작은 세포 가운데 하나라, 무게로 달면 근육과 지방 세포가 훨씬 무겁지요. 작은 배 25조 척이 강을 따라 쉬지 않고 도는 셈입니다.

서윤 그럼 배는 강을 벗어나지 않고, 짐을 부리는 곳은 제일 가는 물길이었네요.

최 교수 정확해. 적혈구는 혈관 밖으로 나가지 않고, 산소는 모세혈관에서 건넌단다. 거기서 적혈구가 뭉치거나 피가 끈적해 느려지면 몸

구석구석이 영향을 받지. 그래서 앞으로 적혈구 걸의 전기, 뭉침, 끈적함을 차례로 보고, 가는 혈관도 따로 보자.

영숙 우리 남편 만석 씨도 같이 걸고 싶어 해요. 당뇨가 15년째라 발 감각이 좀 무뎠거든요.

최 교수 그 이야기는 꼭 따로 자세히 나눠야 합니다. 발 감각이 둔한 분께는 맨발로 걷기 전에 살필 게 많거든요. 그때까지는 신발을 신고 오시라고 전해 주세요.

영숙 어머, 그래요? 알겠어요. 대신 매주 일요일 이 시간에 여기서 만나요. 사진 얘기 끝까지 들어야겠어요.

네 사람은 매주 일요일 새벽 6시 술바람정에서 만나기로 한다. 최 교수가 조심스럽게 첫발을 흠에 내딛는다. 차가운 황토가 발가락 사이로 스민다.

이 절의 핵심

- 피는 심장에서 대동맥·동맥·모세혈관·정맥·대정맥을 거쳐 돌아오며, 폐순환과 온몸순환 두 고리를 돈다. 발끝은 가장 먼 하류다.
- 사람 몸 세포 약 30조 개 가운데 약 70~84%가 적혈구다(세포 수 기준, 무게 기준 아님).
- “맑은 피”는 과학의 말로 점도(끈적함)·응집(뭉침)·순환(흐름)으로 나누어 볼 수 있다. 대화방 사진은 그 가운데 뭉침을 보여 준다.
- 맨발걷기에는 ① 걷기 ② 맨발 ③ 접지 ④ 자연 환경의 네 층이 있고, 네 층이 함께 작용해 좋은 점을 만든다. 숲길 맨발걷기 5주(62명)·12주 연구에서 염증 지표·기분·잠의 좋은 변화가 보고되었다.

적혈구의 옷 — 시알산과 음전하

황톳길을 한 바퀴 돌고 온 네 사람이 세족장에서 발을 씻는다. 차가운 물에 서운이 비명을 지르고, 영숙이 웃으며 수건을 건넨다. 정자에 앉자 영숙이 보온병에서 따뜻한 보리차를 따른다. 최 교수는 가방에서 태블릿을 꺼낸다.

가운데가 오목한 원반

서윤 교수님, 아까 몸 세포 옆에 여덟이 적혈구라고 하셨잖아요. 사진 속 그 동글동글한 적혈구는 그냥 공 모양이에요?

최 교수 공이 아니라 가운데가 오목하게 들어간 원반이란다. 도넛인데 구멍이 뚫리지 않고 가운데만 얇아진 모양이지. 지름은 약 7~8 μm , 머리카락 굵기의 열 분의 일쯤이야.

서윤 잠깐만요, μm 가 뭐예요?

최 교수 마이크로미터, 1 mm를 천 개로 나눈 하나야. 적혈구 130개쯤을 한 줄로 늘어놓아야 1 mm가 된단다.

서윤 그렇게 작는데 왜 굳이 가운데가 오목해요?

최 교수 두 가지 덕이 있어. 같은 부피라도 겹넓이가 넓어서 산소를 빨리 주고받고, 말랑하게 접히기 쉬워서 자기보다 좁은 모세혈관도 통과하지. 풍선에 바람을 조금 덜 넣으면 이리저리 잘 구겨지는 것과 비슷하단다.

영숙 우리 몸이 참 알뜰하게 만들어졌네요.

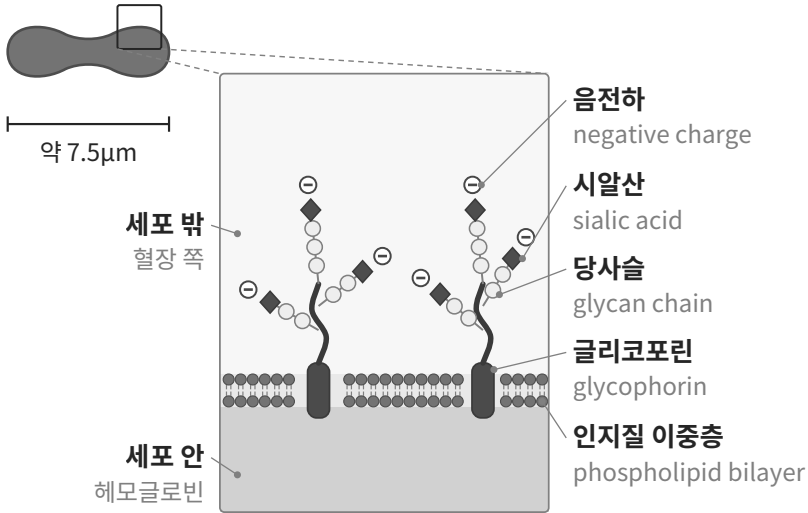
태호 자기보다 좁은 관을 억지로 지나가면 적혈구가 찢어지지 않는습니까?

최 교수 막 바로 안쪽에 단백질이 그물처럼 깔려 막을 받쳐 줍니다. 그래서 접혔다가도 넓은 곳에 나오면 원래 모양으로 돌아오지요. 적혈구 하나가 약 120일 동안 온몸을 십만 번 넘게 돌 수 있는 것도 이 덕분입니다.

서윤 접었다 펴도 멀쩡한 고무 풍선 같은 거네요. 대신 늙으면 고무가 딱딱해지겠고요.

막과 당사슬 — 적혈구가 입은 옷

최 교수 적혈구가 좁은 혈관 벽이나 이웃 적혈구와 스치는 곳은 결국 겹면입니다. 그 가장자리를 아주 크게 확대해 볼게요. 그림 2-1입니다.



[그림 2-1] 적혈구 막 표면 확대 왼쪽은 적혈구 한 개의 옆모습, 오른쪽은 네모 친 가장자리를 확대한 막이다. 인지질 이중층을 꿰뚫는 글리코포린 끝에 당사슬이 달리고, 사슬 끝의 시알산이 음전하를 띤다. 모식도이며 분자 크기와 개수는 실제 비율이 아니다

최 교수 적혈구의 막은 기름 성분인 인지질이 두 겹으로 늘어선 얇은 벽입니다. 그 벽을 꿰뚫고 단백질들이 박혀 있지요. 그중 글리코포린이라는 단백질은 바깥쪽으로 설탕 알갱이가 줄줄이 이어진 당사슬을 달고 있어요.

서윤 잠깐만요, 인지질이 두 겹으로 늘어선다는 게 무슨 뜻이에요?

최 교수 인지질은 성냥개비처럼 생긴 분자란다. 머리는 물을 좋아하고, 꼬리 두 가닥은 물을 싫어해. 그래서 물속에서는 꼬리끼리 안쪽으로 숨고 머리는 바깥 물 쪽을 보며 두 줄로 늘어서지. 비눗방울 막이 물과 기름 사이에서 저절로 생기는 것과 비슷한 원리야.

서윤 그러니까 머리는 바깥 혈장과 안쪽 세포 속 물을 보고, 꼬리끼리는 가운데서 손잡고 숨어 있는 거네요. 그림 2-1에서 동글동글한 머리가 위아래 두 줄로 있는 게 그거고요.

최 교수 맞아. 이 기름 벽은 물에 녹는 것들이 함부로 드나들지 못하게 막는단다. 그 벽을 꿰뚫은 단백질들이 문지기 노릇을 하고, 바깥으로 빠져나온 부분에 당사슬 장식을 달고 있지.

서윤 설탕이 막에 달려 있어요? 먹는 설탕이요?

최 교수 먹는 설탕과 같은 무리의 분자들이 사슬처럼 이어진 거란다. 이렇게 세포 겉을 덮은 당사슬 층을 글리코칼릭스라고 해. 세포가 입은 보송보송한 털옷이라고 생각하면 돼.

서윤 적혈구가 설탕 털옷을 입고 있다는 거네요. 귀엽다.

최 교수 그 털옷의 맨 끝, 사슬 꼭대기에 달린 분자가 오늘의 주인공 **시알산**이야. 사람 적혈구의 글리코포린 당사슬 끝에는 시알산이 붙어 있다고 정리한 종설이 있지.⁵

시알산이 띠는 음전하

태호 그 시알산이 전기와 무슨 상관입니까? 아까 회장님이 땅의 전기 이야기를 하셨는데요.

최 교수 시알산 분자 끝에는 산성을 띠는 부분이 있습니다. 피 속처럼 거의 중성인 물에서는 그 부분이 수소 이온을 하나 내놓고 음전하를 띠게 되지요. 적혈구 한 개 표면에 이런 시알산이 아주 많이 붙어 있으니, 적혈구 겉은 전체적으로 음전하를 띠니다.

서윤 잠깐만요, 음전하가 정확히 뭐예요? 건전지의 마이너스요?

최 교수 비슷해. 물체가 띠는 전기에는 플러스와 마이너스 두 종류가 있고, 같은 종류끼리는 밀어내고 다른 종류끼리는 끌어당긴단다. 겨울에 스웨터로 문지른 풍선 두 개가 서로 피하는 걸 본 적 있지?

서윤 네! 그러니까 적혈구는 모두 마이너스 옷을 입어서 서로 밀어내는 거네요.

영숙 저도 교실에서 그 실험 자주 했어요. 풍선을 머리에 문질러 벽에 붙이면 아이들이 난리가 났죠. 그게 적혈구 이야기로 이어질 줄은 몰랐네요.

최 교수 좋은 수업을 하셨네요. 몸 세포의 대부분인 적혈구 25조 개가 좁은 혈관 속에서 부딪치지 않고 흐르려면 이렇게 서로 거리를 두는 힘이 필요합니다. 혈관 안쪽 벽도 비슷한 옷을 입고 있다는 이야기는 조금 뒤에 따로 하지요.

태호 전하가 약해지면 적혈구끼리 가까워지겠군요. 그러면 지난번 사진처럼 뭉치는 겁니까?

최 교수 뭉치는 데는 전하 말고도 다른 힘이 끼어듭니다. 그 이야기는 다음 주에 사진과 함께 보시지요. 오늘은 적혈구 표면이 마이너스라는 것, 그 마이너스가 시알산에서 온다는 것만 기억해 주세요.

영숙 그럼 땅의 전자가 들어와서 그 마이너스를 채워 준다는 거죠? 대화방에서 그렇게 들었어요.

최 교수 좋은 질문입니다. 시알산의 음전하는 분자 구조에서 나오는 성질이에요. 그런데 접지한 뒤 적혈구의 표면 전하가 커지고 적혈구가 덜 뭉쳤다고 보고한 연구가 있습니다. 그 연구는 두 주 뒤에 방법과 결과까지 함께 보시지요.

태호 그 결과를 맨발길 설명서에 어떻게 담을지 벌써 기대됩니다.

늙은 적혈구는 옷이 해진다

서윤 적혈구는 120일 산다고 하셨잖아요. 늙으면 털옷도 낡아요?

최 교수 좋은 연결이구나. 38명의 피를 뽑아 밀도, 곧 무거운 정도에 따라 젊은 적혈구와 늙은 적혈구로 나누어 켜 연구가 있어. 늙은 적혈구일수록 시알산이 적고, 표면 전하를 나타내는 값도 줄어 있었지. **[사람·관찰]**⁶

영숙 사람도 나이 들면 옷이 해지듯이 말이죠.

서윤 늙은 적혈구는 그다음에 어떻게 돼요? 그냥 버려져요?

최 교수 비장이라는 기관이 거름망 노릇을 한다. 늙어서 뻣뻣해지거나 표면이 달라진 적혈구는 비장의 좁은 틈을 잘 빠져나가지 못하고, 거기 있는 청소 세포에게 먹혀 정리되지. 그 안의 철분은 다시 모아 새 적혈구를 만드는 데 쓴다.

서윤 재활용까지 하네요. 낡은 옷을 알아보는 검사원이 비장에 있는 거고요.

최 교수 비슷합니다. 이번에는 세포가 아니라 사람의 나이를 따진 연구인데, 적혈구 막의 시알산이 나이 든 사람일수록 적고, 혈장의 산화 흔적이 많을수록 시알산이 적었다는 관찰도 있어요. **[사람·관찰]**⁷ 몸의 산화 균형과 적혈구의 옷이 나란히 움직인다는 뜻이지요.

태호 산화와 시알산이 함께 가는군요. 나중에 활성산소 이야기를 들을 때 꼭 떠올려야겠습니다.

최 교수 좋습니다. 실험실에서는 시알산을 잘라 내는 효소를 적혈구에 넣으면 표면 전하 값이 뚜렷이 줄어듭니다.**[세포]**⁸ 이걸 시험관 안에서 확인한 사실이에요. 온몸에 심한 염증이 번진 패혈증에서는 적혈구의 시알산이 떨어져 나가 백혈구와의 관계가 달라진다는 보고도 나왔고요.**[세포·동물]**⁹

서운 시알산이 떨어지면 전하도 줄고, 몸이 그 적혈구를 다르게 대한다는 거네요.

최 교수 그렇게 이해하면 된다. 재미있는 건 이 털옷이 병균의 손잡이가 되기도 한다는 거야. 말라리아 원충은 글리코포린과 거기 붙은 시알산을 붙잡고 적혈구 안으로 들어간단다.**[세포]**¹⁰

서운 옷이 꼭 좋기만 한 건 아니네요. 도둑이 옷소매를 잡아당기는 것처럼요.

영숙 작은 설탕 알갱이 하나가 전기도 띠고, 나이도 알려 주고, 병균 손잡이도 되고. 오늘 공부는 알찬 떡 한 접시네요.

서운이 공책에 원반 모양 적혈구를 그리고, 가장자리에 작은 마이너스 기호를 촘촘히 적는다. 표 2-1이 태블릿에 떠 있다.

[표 2-1] 적혈구 시알산이 하는 일과 살펴본 연구의 종류

하는 일	쉬운 설명	연구 종류
표면 음전하	사슬 끝에서 마이너스를 떼다	[물리]
서로 밀어내기	같은 전하끼리 거리를 둔다	[물리]
나이 표시	늙은 적혈구일수록 적다	[사람·관찰]
염증 때 떨어짐	패혈증에서 줄어든다는 보고	[세포·동물]
병원체의 손잡이	말라리아 원충이 붙잡는다	[세포]

태호 표로 보니 정리가 되네요. 물리 법칙부터 사람 관찰, 세포 실험까지 여러 방향에서 시알산을 들여다봤군요.

서운 제 탐구 노트에도 이 칸을 그대로 만들래요. 논문을 읽을 때마다 “이건 시험관이야, 사람이야?”부터 적는 거죠. 그림 1-3의 네 층 칸이랑 나란히 두면 좋겠어요.

최 교수 좋은 습관입니다. 표 2-1의 오른쪽 칸은 어떤 방법으로 살펴본 것인지 알려 주지요. 여러 종류의 연구가 한 방향을 가리킬 때 이야기가 더 튼튼해집니다.

이 절의 핵심

- 적혈구는 지름 약 7~8 μm , 가운데가 오목한 원반이며 핵이 없고 말랑하게 접힌다.
- 적혈구 막은 인지질 이중층이고, 글리코포린 같은 단백질에 당사슬이 달려 겉을 덮는다(글리코칼릭스).
- 당사슬 끝의 시알산은 피 속에서 음전하를 띠어, 적혈구끼리 서로 밀어내게 한다. 이 전하는 시알산의 분자 구조에서 나온다.
- 늙은 적혈구일수록 시알산과 표면 전하가 적었고, 나이 든 사람·혈장의 산화 흔적이 많은 사람일수록 적혈구 막의 시알산이 적었다는 관찰이 있다.

제타전위 — 피가 뭉치지 않는 이유

3월 둘째 일요일. 밤새 서리가 내려 황톳길 가장자리가 하얗다. 오늘은 짧게 반바퀴만 돌고 정자로 돌아왔다. 영숙은 대화방 사진을 다시 띄워 놓았고, 서운은 지난주에 그린 적혈구 그림을 들고 왔다.

같은 전하끼리는 밀어낸다

서운 교수님, 적혈구가 마이너스 옷을 입어서 서로 밀어낸다는 거 친구들한테 설명했어요. 그런데 한 친구가 물었어요. 피 속에는 플러스 이온도 많은데, 그게 달라붙으면 마이너스가 없어지지 않느냐고요.

최 교수 똑똑한 친구구나. 실제로 피 속의 나트륨 같은 플러스 이온이 적혈구 둘레로 몰려와. 마이너스 표면 바로 옆에는 플러스 이온이 한 겹 붙고, 그 바깥에는 플러스가 조금 더 많은 구름이 열게 퍼지지. 이 두 겹 구조를 전기 이중층이라고 한다.

서운 잠깐만요, 그럼 결국 전하가 가려지는 거예요?

최 교수 완전히 가려지지는 않아. 운동장 한가운데 인기 많은 친구가 서 있으면 둘레에 사람이 겹겹이 모이지? 가까울수록 뻥뻥하고 멀어질수록 드문드문하잖아. 적혈구가 움직일 때 몸에 딱 붙어 함께 끌려가는 무리와, 그대로 남는 바깥 무리 사이에 경계가 있단다. 그 경계에서 남아 있는 전기의 세기를 제타전위라고 해.

서운 그러니까 제타전위는 적혈구가 이온 무리를 두르고 움직일 때, 바깥에서 느끼는 마이너스의 세기네요.

최 교수 훌륭한 정리야. 제타전위가 클수록 적혈구끼리 더 세게 밀어내고, 작아지면 서로 가까이 붙기 쉬워진단다. **[물리]**

영숙 그럼 제타전위는 클수록 무조건 좋은 거네요?

최 교수 알맞은 균형이 중요합니다. 적혈구가 적당히 모였다 흩어졌다 하는 것다가는 혈관 속에서 피가 흐르는 모양을 만드는 원래 성질이거든요. 서로 알맞게 밀어내며 좁은 혈관을 부드럽게 지나가는 게 건강한 피의 모습이지요.

태호 좋은 것에도 알맞은 정도가 있다는 말씀이군요.

제타전위는 어떻게 재나

태호 전하를 직접 볼 수는 없을 텐데, 그걸 어떻게 잽니까?

최 교수 전기공학 시간에 배운 원리를 씁니다. 피를 얇은 통로에 넣고 양쪽에 전극을 대어 전기를 걸면, 음전하를 띤 적혈구가 플러스 쪽으로 천천히 움직여요. 현미경 영상으로 그 속도를 재면 제타전위를 계산할 수 있지요. 이것을 전기영동이라고 합니다.

서운 적혈구 달리기 시합을 시키는 거네요. 마이너스가 센 적혈구가 더 빨리 달리고요.

최 교수 그렇지. 다만 사람 손으로 속도를 재면 결과가 들쭉날쭉해서, 최근에는 영상 속 적혈구를 컴퓨터로 하나하나 추적하는 방법도 나왔단다. **[세포]**⁸ 재는 방법이 정밀해질수록 작은 변화도 더 또렷하게 볼 수 있지.

태호 측정 기술도 계속 좋아지고 있군요.

동전처럼 쌓이는 연전

영숙 그럼 우리 사진에서 동전 더미처럼 붙어 있던 건 뭐예요? 전하가 약해서 붙은 거예요?

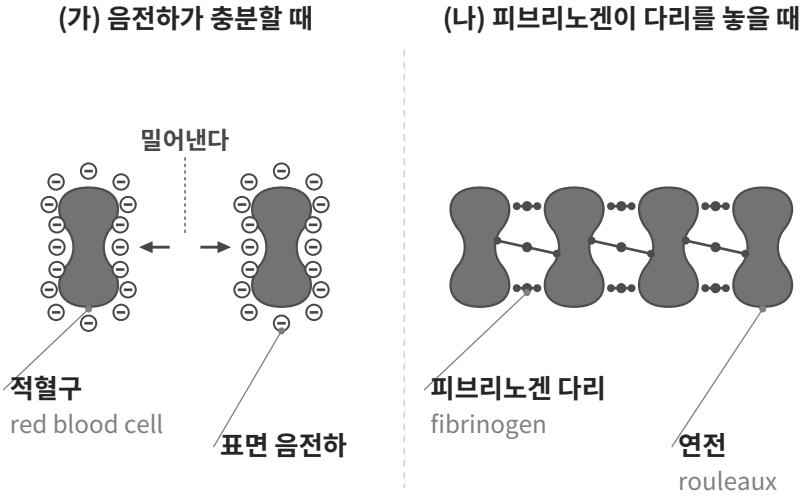
최 교수 그 모양에는 이름이 있습니다. 적혈구가 동전을 쌓아 올린 듯 포개진 것을 연전이라고 해요. 그림 3-1을 보시지요.

최 교수 왼쪽 (가)는 마이너스끼리 밀어내 떨어져 있는 모습입니다. 오른쪽 (나)에서는 혈장 속의 큰 단백질, 특히 **피브리노겐**이 적혈구 사이에 다리를 놓았어요. 밀어내는 힘보다 붙잡는 힘이 커지면 적혈구가 포개집니다. **[세포]**¹¹

서운 잠깐만요, 피브리노겐은 나쁜 거예요?

최 교수 아니, 피가 날 때 피를 굳혀 주는 꼭 필요한 단백질이야. 다만 염증이 있으면 늘어나지. 건강한 사람 수준의 피브리노겐만 있어도 가느다란 관 속에서 적혈구 뭉치가 생긴다는 실험도 있단다. **[세포]**¹²

서운 그러니까 연전은 병이 있어야만 생기는 게 아니라, 원래 피의 성질이네요.



[그림 3-1] 두 적혈구 사이에서 일어나는 일 (가) 표면 음전하가 충분하면 적혈구끼리 밀어내 떨어져 흐른다. (나) 피브리노겐 같은 큰 혈장 단백질이 다리를 놓으면 적혈구가 동전처럼 쌓인 연전이 된다. 모식도이며 크기 비율은 실제와 다르다

최 교수 맞아. 피를 시험관에 세워 두면 적혈구가 연전을 만들며 가라앉는데, 병원에서 하는 적혈구침강속도 검사가 바로 이 성질을 이용한단다. [세포]¹¹

태호 건강검진 결과지에서 본 적이 있습니다. 적혈구침강속도가 빠르면 염증이 있을 수 있다고요.

최 교수 그렇습니다. 염증으로 피브리노겐 같은 단백질이 늘면 연전이 잘 생기고, 무거운 덩어리는 더 빨리 가라앉지요. 동전을 한 닢씩 물에 떨어뜨릴 때보다 한 뭉치로 떨어뜨릴 때 더 빨리 가라앉는 것과 같습니다.

서윤 그럼 연전은 흐르는 혈관 속에서도 계속 붙어 있어요?

최 교수 대부분은 피가 빠르게 흐르면 물살에 풀려 흩어진단다. 멈추면 다시 붙고, 흐르면 다시 떨어지지. 붙었다 떨어졌다를 되풀이하는 느슨한 쌓임이라서, 연전이 보였다고 곧바로 피가 병들었다는 뜻은 아니야.

서윤 그러니까 연전은 굳은 피딱지가 아니라, 멈추면 쌓이고 흐르면 풀리는 동전 더미네요.

무엇이 멎침을 늘리고 줄이나

태호 몸 세포 대부분이 적혈구라니, 그게 가는 혈관에서 멎치면 영향이 크겠군요. 사람에 따라 잘 멎치는 피가 따로 있습니까?

최 교수 관찰 연구들이 있습니다. 510명을 조사한 연구에서는 목의 경동맥이 많이 좁아진 사람일수록 슬라이드 검사의 적혈구 응집이 컸어요. **[사람-관찰]**¹³ 제2형 당뇨병이 있는 사람이 없는 사람보다 응집 지수가 높았다는 보고도 있고요. **[사람-관찰]**¹⁴

영숙 우리 남편이 당뇨라 마음이 쓰이네요. 그럼 멎침을 줄이는 방법도 있어요?

최 교수 반가운 연구가 있습니다. 비만한 노인 남성 20명을 무작위로 둘로 나눠 12주 동안 근력·유산소 운동을 한 무리에서만 적혈구 응집과 변형 능력이 좋아졌어요. **[사람-시험]**¹⁵ 표 3-1에 모아 두었습니다.

[표 3-1] 적혈구 응집을 늘리는 요인과 줄이는 요인

요인	방향	무엇을 보았나	연구 종류
피브리노겐 등 큰 단백질	늘림	적혈구 사이 다리	[세포]
동맥이 좁아진 상태	함께 높았다	510명 슬라이드 검사	[사람-관찰]
제2형 당뇨병	함께 높았다	응집 지수 비교	[사람-관찰]
흐름이 멈춤	늘림	가만히 두면 연전	[세포]
규칙적인 운동	줄임	12주 운동 시험	[사람-시험]

태호 운동 쪽이 사람 시험이라는 게 눈에 띄네요. 그림 1-3의 첫째 층, 걷기와 운동이군요.

사진 두 장을 다시 보면

영숙 그럼 교수님, 제 사진은 어떻게 봐야 해요? 걷고 나서 흠어졌잖아요.

최 교수 사진을 만드는 과정부터 보지요. 손끝 피 한 방울을 유리판에 올리고 덮개 유리를 덮은 뒤 현미경으로 봅니다. 멎친 적혈구가 몇 개인지 세면 응집의 정도를 숫자로 나타낼 수 있어요. 다음 주에 볼 2013년 접지 연구도 손끝 피를 유리판에 올려 멎친 적혈구 수를 셧습니다.

서윤 회장님 사진이랑 같은 방법이네요!

최 교수 그렇단다. 멈춘 피에서는 연전이 저절로 생기니까, 기다리는 시간과 피를 펴는 두께를 매번 똑같이 맞추면 전후 차이가 더 또렷하게 보이지.

서윤 그럼 제가 실험을 설계해 볼게요. 사람을 여러 명 모으고, 반은 맨발로 걷고 반은 의자에 앉아 쉬게 해요. 피는 똑같은 시간에 뽑고, 유리판에 올린 뒤 기다리는 시간도 똑같이 맞추고요.

최 교수 훌륭하구나. 하나만 더하면 좋겠다. 현미경으로 뭉친 적혈구를 세는 사람은 어느 피가 걷고 온 사람 것인지 모르게 하는 거야. 그렇게 확인한 좋은 결과는 누구에게나 튼튼한 자료가 된단다.

서윤 아, 세는 사람의 마음이 끼어들 틈을 없애는 거네요.

태호 그렇게 정성껏 켜 결과라면 구의원들께도 자신 있게 보여 드릴 수 있겠습니다.

영숙 그럼 우리 동호회 회원들 피를 뽑아서 해 보면 어때요? 그 사진을 보고 걷기 시작한 회원이 많아서 자원자는 넘칠 거예요.

최 교수 마음은 고맙습니다. 다만 사람 피를 뽑아 연구하려면 병원이나 연구기관에서 연구 계획을 심사받고, 참가자에게 충분히 설명한 뒤 동의를 받아야 합니다. 뽑는 사람도 자격이 있어야 하고요. 좋은 뜻으로 시작해도 절차를 건너뛰면 참가자를 지킬 수 없거든요.

서윤 그럼 저는 피를 뽑는 대신 이미 나온 논문들이 어떤 방법으로 썼는지 정리해 보면 되겠네요. 탐구 과제 칸이 하나 더 생겼어요.

이 절의 핵심

- 적혈구 둘레에는 이온이 두 겹으로 모인 전기 이중층이 생기고, 움직일 때 남는 전기의 세기가 제타전위다.
- 제타전위는 전기를 걸었을 때 적혈구가 움직이는 속도(전기영동)로 재며, 컴퓨터로 적혈구를 하나하나 추적하는 정밀한 방법도 나왔다.
- 피브리노겐 같은 큰 단백질이 다리를 놓으면 적혈구가 동전처럼 쌓인 연전이 된다. 멈춘 피에서는 연전이 저질로 생긴다.
- 동맥이 좁아진 사람·당뇨병이 있는 사람에서 응집이 컸고, 12주 운동 시험(20명)에서는 운동한 무리에서만 응집과 변형 능력이 좋아졌다.
- 유리판 위 혈액으로 뭉친 적혈구 수를 셀 수 있다. 기다리는 시간과 방법을 똑같이 맞추고, 세는 사람이 무리를 모르게 하면 변화를 더 또렷하게 확인할 수 있다.

끈적한 피 — 혈액점도와 심혈관 질환

3월 셋째 일요일, 꽃샘추위가 매섭다. 황톳길 흙이 얼어 오늘은 걷기를 건너뛰고 정자에 모였다. 영숙이 보리차를 돌리고, 최 교수는 태블릿에 그래프 하나를 띄운다. 태호는 수첩을 펼쳤다.

꿀과 물 — 점도란 무엇인가

서윤 교수님, 지난번에 점도가 끈적한 정도라고 하셨잖아요. 피는 물보다 끈적해요?

최 교수 그럼. 피는 물보다 몇 배 끈적하단다. 빨대로 물을 빨아 먹을 때와 걸쭉한 요구르트를 빨아 먹을 때를 비교해 봐. 요구르트는 힘이 더 들지? 심장도 끈적한 피를 밀어낼수록 힘이 더 들어.

서윤 그럼 피를 끈적하게 만드는 건 뭐예요?

최 교수 가장 큰 것은 적혈구가 얼마나 많은냐야. 몸 세포 옆에 여덟이 적혈구고 피부피의 절반 가까이를 채우니 그럴 만하지. 피 부피에서 적혈구가 차지하는 비율을 **적혈구용적률**이라고 하는데, 이게 피의 점도를 정하는 가장 센 요인이라고 정리한 종설이 있단다.¹⁶

서윤 잠깐만요, 적혈구용적률이면 지난번 원심분리기에서 빨간 층이 차지하던 몫이요?

최 교수 바로 그거야. 빨간 층이 두꺼울수록 피가 걸쭉해진다. 여기에 적혈구가 얼마나 잘 뭉치는지, 얼마나 말랑한지, 혈장 속 단백질이 얼마나 많은지가 더해진단다.¹

영숙 그럼 물을 많이 마시면 피가 묽어지나요? 회원들한테 걷기 전에 물 한 컵씩 마시라고 하거든요.

최 교수 땀을 많이 흘려 몸의 물이 모자라면 혈장이 줄어 적혈구용적률이 올라가고, 피가 걸쭉해질 수 있습니다. 그러니 걷기 전후에 물을 챙기시는 건 좋은 습관이에요. 다만 물이 넉넉한 사람이 더 마신다고 피가 계속 묽어지지는 않습니다. 콩팥이 남는 물을 내보내거든요.

서윤 모자라면 걸쭉해지지만, 넘친다고 한없이 묽어지지는 않는다는 거네요.

태호 먹는 음식으로 점도가 달라진다는 연구는 없습니까? 민원 중에 그런 질문도 있어서요.

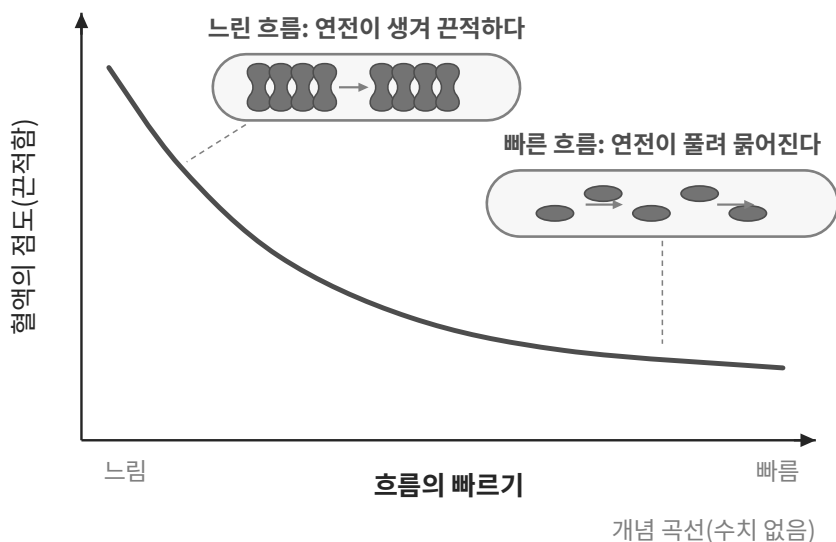
최 교수 건강한 사람을 대상으로 한 음식과 혈액 점도 무작위시험 세 편을 모은 체계적 고찰이 있습니다. 가다랑어포 국물을 4주 마신 무리는 피가 가는 통로를 지나는 시간이 짧아졌고, 채식한 무리는 6주 뒤 피의 흐름 점수가 올랐으며, 양파·올리브유 캡슐을 먹은 무리는 혈장 점도가 낮아졌다고 정리했지요. **[중략]**¹⁷

태호 식탁도 피의 흐름과 이어져 있군요. 민원 답변에 넣겠습니다.

느리게 흐르면 더 끈적해진다

영숙 피 끈적임이 늘 똑같지는 않은가 봐요?

최 교수 거기가 피의 재미있는 점입니다. 물은 빨리 흐르든 천천히 흐르든 점도가 같아요. 그런데 피는 천천히 흐를 때 더 끈적하고, 빨리 흐를 때는 묽어집니다. 그림 4-1을 보시지요.



[그림 4-1] 흐름 속도에 따른 혈액의 점도 흐름이 느린 곳에서는 적혈구가 연전을 이루어 점도가 높고, 흐름이 빠른 곳에서는 연전이 풀리고 적혈구가 길게 늘어나 점도가 낮아진다. 개념도(수치 아님)

서윤 왜 그래요? 신기하다.

최 교수 흐름이 느리면 적혈구가 서로 붙어 연전을 만들어. 큰 덩어리가 떠다니니 잘 안 흐르지. 흐름이 빨라지면 물살이 연전을 떼어 놓고, 적혈구는 흐르는 방향으로 길쭉하게 늘어나 줄지어 흐른단다. 연전이 피의 이런 성질을 만든다고 설명한 실험 연구가 있어. **[세포]**¹¹

서윤 케첩 같아요. 병을 흔들면 잘 나오고, 가만두면 안 나오잖아요.

최 교수 아주 좋은 비유구나. 이렇게 흐르는 속도에 따라 점도가 바뀌는 액체를 비뉴턴 유체라고 한단다.

서윤 그러니까 피는 빨리 흐르는 대동맥에서는 묽고, 천천히 흐르는 가는 정맥에서는 걸쭉해지는 케첩 같은 액체네요.

끈적한 피와 심장병 — 몸을 비추는 거울

태호 그러면 피가 끈적한 사람이 심장병에 더 잘 걸립니까? 그게 증명되면 설명서에 쓸 수 있을 것 같은데요.

최 교수 사람을 오래 지켜본 연구들이 있습니다. 영국에서 심장병이 없던 60~79세 남성 3,217명을 7년 동안 추적했더니, 혈장 점도가 높은 사람에게 심근경색과 관상동맥 질환 사망이 더 많았어요. 염증 수치인 CRP와 피브리노겐이 높은 사람도 마찬가지로요. **[사람-관찰]**¹⁸

태호 끈적한 피와 염증이 함께 심장 건강을 알려 주는 신호군요.

최 교수 그렇게 읽을 수 있지요. 영국의 다른 남성 코호트에서는 혈장 점도가 심혈관 사망뿐 아니라 다른 원인의 사망과도 함께 올라갔습니다. **[사람-관찰]**¹⁹ 점도가 심장만의 문제라기보다 몸 상태 전반을 비추는 거울이라는 뜻이에요.

서윤 거울이라니까 이해가 돼요. 몸 전체가 건강해지면 거울에 비치는 얼굴도 밝아지겠네요.

최 교수 멋진 표현이구나. 한국에서 292명을 조사한 연구에서는 담배를 피웠던 사람들의 혈액 점도가 피운 적 없는 사람보다 높았어. **[사람-관찰]**²⁰ 담배를 끊는 것이 피의 흐름을 위해서도 좋은 까닭이지.

태호 금연 안내문에도 한 줄 보탬 수 있겠습니다.

접지와 적혈구 전하 — 2013년 연구

영숙 교수님, 이제 그 연구 보여 주세요. 땅에 연결하면 피가 묽어진다는 논문이요.

최 교수 미국의 슈발리에 연구팀이 2013년에 낸 연구입니다. 몸을 땅에 전기적으로 연결하는 방법, 곧 접지는 나중에 따로 자세히 보기로 하고, 오늘은 설계만 보지요. 표 4-1에 정리했습니다.

[표 4-1] 2013년 접지-제타전위 연구 한눈에

항목	연구 내용(초록·전문)
대상	건강한 성인 10명
방법	발바닥·손바닥 패치를 바깥 땅에 박은 스테인리스 막대에 연결, 2시간
장소	방음 실험실의 안락의자, 조명을 낮춤
측정	손끝 피의 제타전위(전기영동), 뭉친 적혈구 수
결과	모든 시료에서 제타전위 평균 2.70배, 적혈구 응집 유의하게 감소

최 교수 참가자는 조용한 방 안락의자에 앉아 2시간 동안 접지했습니다. 발바닥과 손바닥에 전도성 패치를 붙이고, 전선을 바깥 땅에 박은 막대에 이었지요. 접지 전과 2시간 뒤에 손끝 피를 뽑아 제타전위와 뭉친 적혈구 수를 잰고, 제타전위가 모든 시료에서 평균 2.7배쯤 커지고 응집이 줄었다고 보고했습니다. **[사람·시험]**²¹

태호 모든 시료에서 올랐다는 게 인상적이네요. 연구자들은 이 결과를 어떻게 설명합니까?

최 교수 연구팀은 접지가 적혈구 표면의 전하를 키워 적혈구끼리 더 잘 밀어내게 하고, 그래서 뭉침이 줄고 피의 점도도 낮아진다고 설명했습니다. 논문 제목에 “혈액 점도”가 들어간 까닭이지요. 지난주에 본 제타전위와 연전이 여기서 하나로 이어집니다.

서윤 잠깐만요, 앉아서 패치로 연결했으니까 그림 1-3의 셋째 층 이야기네요?

최 교수 그렇지. 걷기, 맨발, 자연은 빠고 땅과의 전기 연결만 떼어 살펴본 실험이야. 황톳길에서는 여기에 걷기와 흙과 숲이 더해지니, 네 층이 함께 작용하는 셈이지.

서윤 그림 1-3의 파란 칸 하나를 떼어 자세히 들여다본 실험이네요.

영숙 그 결과를 우리 맨발길에 어떻게 살리면 좋을까요?

최 교수 참가자들은 두 시간 동안 땅과 이어져 있었습니다. 맨발길에서도 서두르지 말고 흙을 넉넉히 밟으며 걷고, 걷기 전후에는 물을 챙기시면 오늘 배운 피의 점도 이야기와도 잘 맞지요. 몸이 땅과 어떻게 이어지는지는 가을에 전기공학으로 자세히 보겠습니다.

영숙 우리 남편 같은 당뇨 환자한테 접지가 좋다는 2025년 논문도 대화방에 돌던데요.

최 교수 그 글도 읽어 봤습니다. 당뇨병에서는 산화와 염증 때문에 적혈구가 덜 말랑해지고 잘 뭉친다는 점을 짚고, 접지가 적혈구의 제타전위를 키우고 뭉침을 줄였다는 연구들을 바탕으로 당뇨병의 적혈구 문제를 돕는 안전하고 비용이 적은 보조 방법이 될 수 있다고 제안한 정리 글이네요. [종합]²² 연구자들은 임상시험으로 그 효과를 더 넓게 확인하자고 적었지요.

영숙 남편이 들으면 무척 반가워하겠네요.

최 교수 만석 씨께서는 무엇보다 발을 지키는 방법을 먼저 알려 드리고 싶습니다. 드시는 약과 치료는 주치의와 상의하시면서요. 그 이야기는 꼭 날을 따로 잡읍시다.

이 절의 핵심

- 점도는 흐르기 싫어하는 정도다. 피의 점도를 가장 크게 정하는 것은 적혈구용적률이고, 응집·변형 능력·혈장 단백질이 더해진다.
- 피는 천천히 흐르면 연전이 생겨 끈적해지고, 빨리 흐르면 묽어지는 비뉴턴 유체다.
- 영국 남성 3,217명을 7년 추적한 연구에서 혈장 점도가 높은 사람에게 심근경색과 관상동맥 질환 사망이 더 많았다. 점도는 몸 상태 전반을 비추는 거울이다.
- 2013년 슈발리에 연구팀은 건강한 성인 10명이 2시간 접지한 뒤 적혈구 제타전위가 평균 2.70배 커지고 응집이 줄었다고 보고했고, 이것이 피의 점도를 낮춘다고 설명했다.
- 2025년 정리 글은 접지를 당뇨병의 적혈구 문제를 돕는 보조 방법으로 제안했다. 질병이 있는 사람은 주치의와 상의한다.

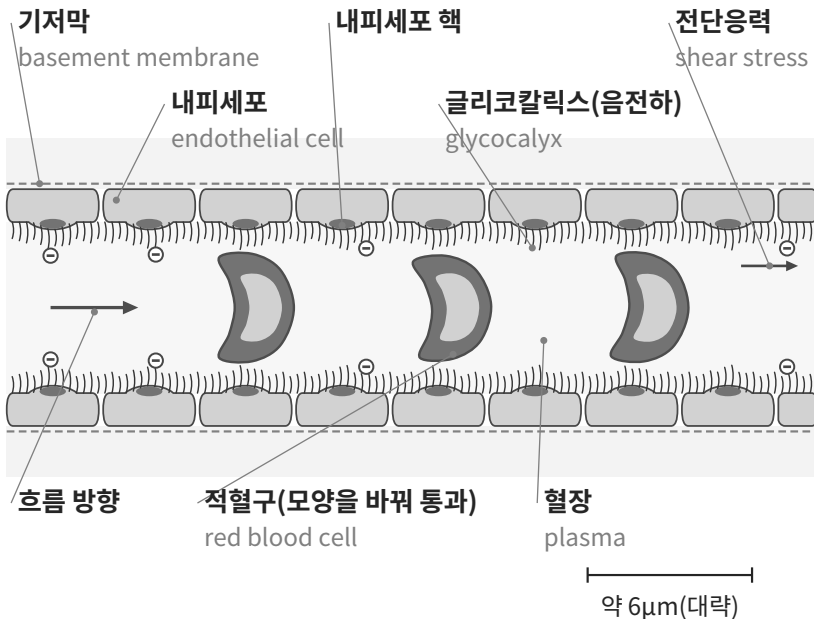
05

혈관 안쪽의 솜털 — 글리코칼릭스와 미세순환

3월 넷째 일요일. 추위가 한풀 꺾여 황톳길이 촉촉하다. 네 사람은 한 바퀴를 돌고 세족장에서 발을 씻었다. 서운이 발가락을 비비며 말한다. “발이 빨개졌어요. 피가 물린 거죠?” 최 교수가 태블릿을 켜다.

모세혈관 — 피가 일하는 곳

최 교수 서운아, 발이 빨개진 건 피부 가까운 아주 가는 혈관들로 피가 더 흘러서란다. 오늘은 첫날 본 강의 가장 가는 물줄기 이야기를 하자. 그림 5-1은 모세혈관을 길게 잘라 본 모습이야.



[그림 5-1] 모세혈관 단면 납작한 내피세포가 한 줄로 벽을 이루고, 혈관 안쪽 면은 음전하를 띤 글리코칼릭스 솜털로 덮여 있다. 적혈구는 자기 지름보다 좁은 관을 모양을 바꿔 가며 지나간다. 모식도이며 글리코칼릭스는 실제보다 두껍게 그렸다

서운 벽이 얇은 세포 한 줄이에요? 그러면 쉽게 새지 않아요?

신발을 벗으면 몸에서 무엇이 달라질까

새벽 황톳길에서 신발을 벗고 걷는 사람들이 늘고 있다. 잠이 깊어졌다, 몸이 가벼워졌다는 이야기도 함께 퍼진다. 이 책은 그 경험을 과학의 말로 옮긴다. 적혈구 표면의 전하와 피의 흐름에서 출발해 발의 뼈와 근육, 걸음의 역학, 지구의 전기와 자기장, 접지(어싱) 연구, 숲과 새벽 햇빛까지 차근차근 살핀다.

이야기는 황톳길 입구 정자에서 3월부터 11월까지 일요일 새벽마다 만나는 네 사람의 대화로 흘러간다. 재활의학과 교수, 맨발걷기 동호회 회장, 맨발길을 만드는 구청 주무관, 논문 분석 과제를 하는 중학생이 8장 42절에 걸쳐 묻고 답한다. 소개하는 연구마다 세포·동물·사람 시험 같은 표지를 붙여, 누구에게서 무엇을 재었는지 한눈에 보이게 했다.

걷기, 맨발, 접지, 자연 환경이라는 네 층으로 맨발걷기의 좋은 점을 나누어 읽고 나면, 내 몸에 맞는 단계별 시작법과 안전하게 오래 걷는 요령까지 손에 쥐게 된다.

이 책에서 만나는 것

- 적혈구의 음전하와 혈액점도로 읽는 피의 흐름
- 26개의 뼈와 세 개의 아치, 감각기관인 발바닥
- 번개와 슈만공명, 지구자기장에서 어싱 연구까지
- 당뇨발 주의점과 나에게 맞는 단계별 맨발걷기 처방

❶ 과학과 영성출판사

값 18,000원

값 18000 원

03590



9 791123 065403
ISBN 979-11-23065-40-3

이어서 읽으시려면

발끝의 강 — 전체 372쪽

ssbook.kr/book/river-toes

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 안과전두엽 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



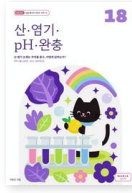
대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자
유기 화학·생체 분자·고분자 논제 해설
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



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
±8,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자
유전 정보에서 진화·생태계까지
±8,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 뒤통해질까
원자에서 힘과 에너지까지
±2,000원 → **13,200원**
ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나침반
원자에서 전자기파까지
±4,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/tonghap-06



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



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다
원자에서 암석·판·지구의 역사까지
±8,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식
이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영
양학과 분자생물학으로 다시 읽다
±1,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비
사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의
언어로 다시 읽다
±8,000원 → **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
±8,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다
콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식
±8,400원 → **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