

생명과학의 세계 · 5주차

면역은 우리 몸을 어떻게 지킬까 · 알레르기

선천면역과 호중구 · 알레르기(제1형 과민반응)의 원리와 치료

01차시 면역이 우리 몸을 어떻게 지켜낼까? (1)(2)

02차시 알레르기: 과도한 면역작용, 어떻게 극복할까? (1)(2)

용어사전 반영

01차시

면역이 우리 몸을 어떻게 지켜낼까?

학습목표: 선천면역의 특징 이해 · 선천면역세포가 병원체를 알아보는 방식 이해 · 선천면역세포의 종류 구분

1-1 면역계가 맞서는 병원체

Various infectious agents

종류	대략적 크기	예
기생충 (worms)	수 mm ~ 수 m	촌충, 메디나충, 주혈흡충, 사상충
원생동물 (protozoa)	약 0.01~0.1 mm	아메바, 리슈마니아, 트리파노소마, 말라리아 원충
곰팡이 (fungi)	약 0.01 mm	아스페르길루스, 칸디다
세균 (bacteria)	약 0.001 mm (1 μm) 안팎	결핵균, 포도상구균, 리케차-클라미디아(세포 안에 살), 마이코플라스마
바이러스 (viruses)	약 0.0001 mm (100 nm) 안팎	두창(천연두), 인플루엔자, 소아마비

- 크기가 수만 배 차이 나는 다양한 병원체를 상대해야 함
- 면역계는 기관·조직·세포·분자로 이루어지며 ① 위협을 알아내고 ② 공격을 시작해 ③ 병원체를 없애고 ④ 기억함 — 처음 감염 때 이 과정에 약 10일이 걸림. 반응이 오래 이어지기도 함

교안 사진의 H5N1은 조류 인플루엔자 바이러스. 겉의 단백질 H(헤마글루티닌)와 N(뉴라미니데이스)의 종류로 이름을 붙임

1-2 세 겹의 방어선 Three levels of defense



① 첫 번째 방어선 – 피부와 점막
 물리적: 피부·장 상피, 기도의 섬모
 화학적: 눈물의 라이소자임, 위의 낮은 pH

② 선천면역
 장벽을 뚫고 들어온 병원체를 선천면역세포와 녹아 있는 인자(보체 등)가 즉시 상대함

③ 적응면역
 선천면역이 커 줌. 특정 병원체에 맞춘 T세포·B세포(항체) 반응

적응면역의 세포와 산물(항체 등)은 다시 선천면역의 방어를 강화함 → 둘은 서로 돕는 관계

교안 그림(iiserkol.ac, osmosis.org)을 다시 그림

1-3 선천면역과 적응면역 Innate vs Adaptive immunity

immunity의 어원: 라틴어 *immunitas* = '~로부터의 자유(면제)'

	선천면역 (innate)	적응면역 (adaptive)
이전 감염의 영향	받지 않음 — 처음이든 열 번째든 똑같이 반응	받음 — 같은 병원체를 다시 만나면 더 빠르고 강해짐
속도	매우 빠름 — 수 분 안에 반응, 열이 나게 함	느림 — 처음엔 수일~1주 이상
특이성	비특이적 — 병원체 종류를 세밀히 구분하지 않고 '침입자'로 봄	특이적 — 병원체마다 맞춤형 반응
기억	없음	있음 (백신의 원리)
주요 구성	화학적·물리적 장벽, 대식세포, 호중구, 비만세포, NK세포, 보체	T세포, B세포, 항체

1-4 병원체 인식 – PAMP와 PRR Recognition of non-self

- 면역계의 기본 기능 = 외부 물질·생물을 **알아보고(recognition)**, 다양한 세포와 분자로 **없애는 것(elimination)**
- '자기가 아닌 것(non-self)'을 판단하는 방법: 감염원에 있는 특정 **분자 패턴**을 감지함
- 예: **병원체 연관 분자 패턴(PAMPs)** → 선천면역을 켜는 방아쇠

PAMP의 예	어디에 있나
지질다당류 (LPS)	그람음성 세균의 바깥 막
펩티도글리칸	세균 세포벽
지질테이코산 (LTA)	그람양성 세균의 세포벽

PAMP의 예	어디에 있나
편모 단백질 (flagellin)	세균의 편모
만난 (mannan)	곰팡이 세포벽

- 대식세포는 표면 분자로 병원체를 **빠르게** 알아봄. 죽은 세포도 알아봄. 다만 병원체끼리는 서로 구별하지 않음
- **패턴 인식 수용체(PRRs)**가 PAMP를 감지하고 면역 반응을 시작함

녹아 있는 PRR (soluble)

- 미생물에 직접 붙음
- PRR이 붙은 미생물은 식세포가 더 잘 먹음 (옵소닌화)
- 단백질 분해 연쇄반응으로 미생물을 터뜨림 (보체)

세포에 붙은 PRR (cell-associated)

- PAMP와 미생물을 식세포작용으로 삼킴
- PAMP를 만난 면역세포가 활성화됨
- 사이토카인을 내보내 반응을 키움

+ 보충

톨유사수용체(TLR)와 노벨상

- 가장 중요한 PRR 무리가 **톨유사수용체(TLR)**임. 백혈구 전체와 상피세포·내피세포에 있음. 사람에게는 10종이 있고 각각 다른 PAMP를 알아봄 (예: TLR4 – LPS, TLR5 – 편모 단백질)
- 이름은 초파리의 'Toll' 유전자에서 옴 (독일어로 '굉장한'). 초파리에서 이 유전자가 곰팡이 감염 방어에 필요함을 밝힌 호프만과, 포유류 TLR4가 LPS 수용체임을 밝힌 보이틀러가 2011년 노벨상을 받음
- 패혈증의 고열·쇼크는 LPS가 TLR4를 지나치게 자극해 사이토카인이 한꺼번에 쏟아지면서 생김

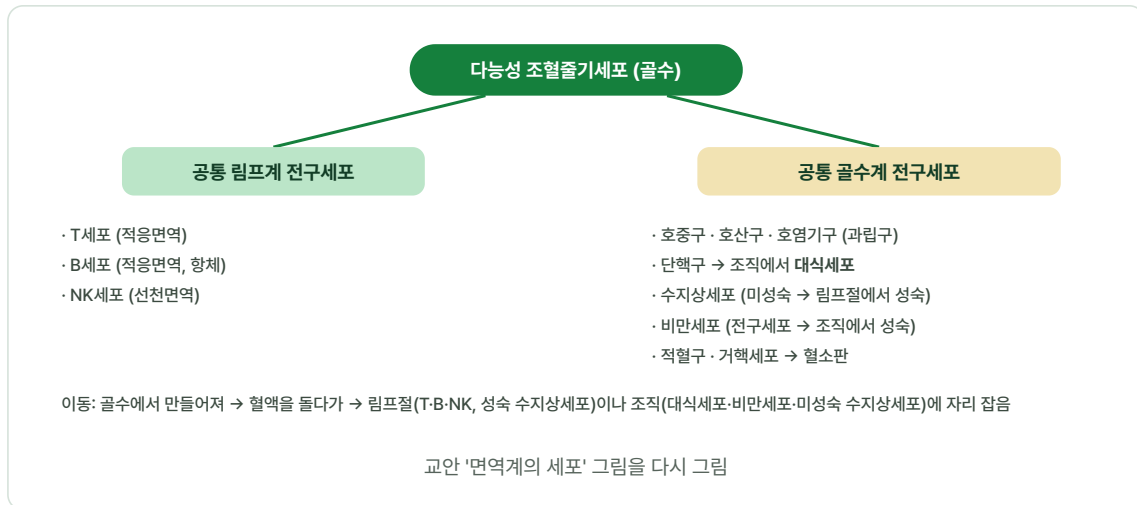
1-5 면역 반응의 조절 Proportional to infectious threat

- 면역 조절 기전이 보장하는 것: ① 반응 크기가 **위협 수준에 비례함** ② 자기 자신을 공격하지 않음 ③ 감염원을 없애고 나면 반응이 **끝남**
- 조절이 실패하면 면역 반응이 몸을 해침:

조절 실패	뜻	예
알레르기	해롭지 않은 물질에 과하게 반응	꽃가루 알레르기, 음식 알레르기 (O2차시)
만성 면역 활성화	반응이 끝나지 않고 계속 이어짐	만성 염증 질환
자가면역	자기와 자기 아닌 것을 헛갈려 자기 몸을 공격	류마티스 관절염, 1형 당뇨 (2주차와 연결)

1-6 면역세포의 계보 Cells of immune system

모든 면역세포는 골수의 **다능성 조혈줄기세포**에서 시작함.



01차시 (1) 학습정리

- 선천면역은 병원체를 알아보고 빠르게 반응해 없앴
- 선천면역세포는 병원체 연관 분자 패턴(PAMPs)을 알아보는 능력이 있음
- 선천면역세포는 식세포작용이나 독성 물질 분비로 병원체를 없앴
- 선천면역세포는 감염 시 사이토카인·케모카인을 내보내 다른 면역세포와 소통하며 병원체를 없앴

1-7 대식세포·비만세포·호중구 Macrophages, Mast cells, Neutrophils

- 병원체가 있는지 **가장 먼저 알아채는** 전담 면역세포들임
- 감염을 감지하고 면역 반응을 **키우는** 역할 → 사이토카인·케모카인, 혈관 작용 아민·지질 같은 매개 물질을 내보냄 → 호중구 같은 다른 면역세포를 불러들임

세포	출신·특징	하는 일
대식세포	혈액의 단핵구 가 조직으로 들어가 분화	식세포작용·세포 안에서 죽이기, 사이토카인 생산, 항원 제시 (적응면역에 알림), NET 형성
비만세포	결합조직에 머물. 과립이 가득함	히스타민 생산 → 혈관 확장 , 다른 세포를 부르는 주화성 인자·사이토카인 생산
호중구	혈액을 돌다가 감염 부위에 매우 빠르게 도착	식세포작용·세포 안에서 죽이기, 탈과립(세포 밖에서 죽이기), NET 형성, 사이토카인 생산

'비만세포'는 살이 찐다는 뜻이 아니라, 과립이 가득해 부풀어 보여서 붙은 이름임 (독일어 Mast = 살찌우기)

1-8 식세포작용 Phagocytosis

- ① 붙잡기 - PRR이 PAMP를 알아봄 → ② 삼키기 - 식포 형성 → ③ 리소좀과 합쳐짐 - 식리소좀 → ④ 분해
- ⑤ **찌꺼기 내보내기**

- 대식세포와 호중구가 병원체를 죽이는 대표 방법 (2주차 '세포내 섭취'의 식세포작용과 같은 과정)
- 식리소좀 안으로 과립 내용물이 쏟아짐: **특이 과립(2차)**과 **아주르친화 과립(1차)**
- **활성산소** 만들기: NADPH 산화효소가 전자를 산소에 넘겨 **슈퍼옥사이드**를 만들고 → 슈퍼옥사이드 불균등화효소(SOD)가 이를 **과산화수소**로 바꿈 → 병원체를 산화시켜 죽음

+ 보충

호흡 폭발과 만성 육아종병

- 식세포가 병원체를 삼킨 직후 산소 소비가 확 늘어 활성산소를 쏟아내는 현상을 **호흡 폭발(respiratory burst)**이라 함
- 과산화수소는 호중구의 **골수세포형 과산화효소(MPO)**에 의해 염소 이온과 반응해 차아염소산(락스의 성분)이 됨 → 더 강하게 살균함
- NADPH 산화효소 유전자에 이상이 있으면 활성산소를 못 만들어 세균·곰팡이 감염이 반복됨 = **만성 육아종병**

1-9 세균 감염에 맞서는 과정 4단계 Host defense against bacterial infection

대식세포는 선천면역 반응을 **시작**하는 데 중요함: 미생물이 들어오면 PRR이 여러 유전자를 켜 ① 미생물을 더 잘 삼키고 죽이게 되고 ② **사이토카인·케모카인**을 내보냄 → 근처 모세혈관 내피세포에 작용해 **혈관 투과성이 높아짐** → 호중구가 감염 부위로 들어올 수 있게 됨.

단계	일어나는 일
1 경보	상처로 들어온 세균의 PAMP를 대식세포·비만세포가 감지 → 비만세포 과립에서 염증 매개 물질 (히스타민, 세로토닌, 사이토카인)과 에이코사노이드 (프로스타글란딘, 류코트리엔)가 나옴 → 혈관 확장 (일산화질소)과 투과성 증가
2 호출	미생물 산물과 케모카인 이 혈관 내피세포의 부착 단백질 을 늘림 → 혈관을 지나던 백혈구가 벽에 붙었다가 혈관 밖으로 빠져나옴
3 공격	호중구가 염증 매개 물질의 농도 기울기 를 따라 감염 부위로 이동 → 세균을 삼키고 스스로도 죽음 (고름). 보체 가 백혈구를 끌어들이고, 옹소인화를 돕고, 병원체를 직접 죽음
4 복구	대식세포가 죽거나 죽어 가는 세포를 먹어 치워 자리를 만들고 성장인자를 냄 → 혈관 생성 , 섬유아세포 가 콜라겐을 만들 → 가벼운 손상은 정상으로, 심한 손상은 기능 없는 섬유성 흉터 로 남음

정리 ▪ 염증의 네 가지 증상(붉어짐, 부기, 열감, 통증)은 1단계의 혈관 확장·투과성 증가에서 나옴. 불편하지만 면역세포가 감염 부위에 닿기 위한 과정임. 4단계의 혈관 생성·섬유아세포는 4주차 암 미세환경에도 나온 세포들임

사이토카인·케모카인의 다면 효과 (pleiotropic effects)

- 하나의 사이토카인이 여러 세포에 여러 효과를 냄 → 면역 반응의 모양을 잡고 키움
- **케모카인** = PAMP를 만났을 때 나오는 **주화성 인자**. 다른 세포를 감염·손상 부위로 이끄는 '길'을 깔아 줌
- 교안 영상: 상처를 낸 뒤 0분 → 24분 → 42분 만에 형광으로 표시한 호중구(초록)가 상처 부위로 대량으로 몰려듦

1-10 호중구 자세히 – 과립과 NET Polymorphonuclear neutrophil

- 핵이 여러 조각으로 나뉜 모양(**다엽핵**) → 그래서 '다형핵 백혈구(PMN)'라고도 부름
- 혈액 속을 돌다가 **급성 염증** 부위로 모여듦
- **분열하지 않고 수명이 짧음**. 세포질에 과립이 가득함

	1차 과립 (아주르친화 과립)	2차 과립 (특이 과립)
크기·수	약 0.5 μm , 세포당 약 1,500개	약 0.2 μm , 세포당 약 3,000개
성격	전형적인 리소좀 모양	—
내용물	골수세포형 과산화효소(MPO) , 라이소자임, 엘라스테이스, 카텝신 G, 산성 가수분해효소, 디펜신, BPI 단백질 (산소를 쓰지 않는 살균 물질들)	락토페린 , 라이소자임의 대부분, 알칼리성 인산분해효소, 막에 붙은 사이토크롬 b, 비타민 B12 결합 단백질

칸디다를 잡아먹는 모습 (전자현미경)

- 호중구: 효모(칸디다 알비칸스) 벽 표면의 **만난**에 달라붙어 세포질 팔로 감싸 안음. 리소좀 과립이 많음
- 단핵구: 한 마리 주위에 식포가 거의 다 만들어졌고, 두 마리는 이미 완전히 삼킨 상태
- 삼킨 지 30분 뒤 호중구: 세포질이 일부 탈과립되고, 리소좀 과립 두 개가 식포와 합쳐지며 내용물을 쏟아냄 → **식리소좀 형성**

호중구 체외 그물 (NETs)

- 호중구와 대식세포는 **DNA를 내보내** 미생물을 잡는 세포 밖 덫을 칠 수 있음
- 활성화된 호중구가 **스스로 죽는** 경로를 밟으며 세포 안 내용물을 밖으로 쏟아냄
- **거미줄** 같은 구조로 미생물을 얹어 그 자리에서 죽임
- 구성: 호중구 DNA + 히스톤 + 단백질 분해효소(카텝신 G, 엘라스테이스, 프로테아제-3)
- 호중구가 활성화된 뒤 **1~2시간** 안에 만들어짐

+ 보충

NET은 양날의 칼

- NET은 2004년 브링크만 연구팀이 처음 보고함. NET을 만들며 죽는 방식을 **네토시스(NETosis)**라 부름
- 지나치면 해가 됨: 혈전 형성, 루푸스 같은 자가면역 질환, 중증 코로나19의 폐 손상에 NET이 관여한다는 연구가 있음
- 호중구는 백혈구 중 가장 많아 전체의 약 40~70%를 차지함

01차시 (2) 학습정리

- 선천면역은 병원체를 알아보고 빠르게 반응해 없앴
- 선천면역세포는 PAMP를 알아봄
- 선천면역세포는 식세포작용이나 독성 물질 분비로 병원체를 없앴
- 사이토카인·케모카인으로 다른 면역세포와 소통함

02차시 알레르기: 과도한 면역작용, 어떻게 극복할까?

학습목표: 알레르기의 정의 · 알레르기를 일으키는 요인 · 알레르기 증상 이해 / 학습내용: 원인 면역세포 · 비만세포와 IgE · 치료법

2-1 알레르기와 과민반응 Allergy · Hypersensitivity

면역계 → 반응 → 보호 (protection) → 손상 (damage) = 과민반응

- 알레르기 = 원래 해롭지 않아야 할 환경 항원을 위협으로 알아보고 반응하는 것
- 과민반응(hypersensitivity) = 자기 항원이나 다른 생물 종의 항원에 반응하는 것, 지나치게 열성적인 면역
- 그 결과 조직이 손상됨 = 면역병리(immunopathology)
- 대부분의 알레르기(꽃가루 알레르기, 천식, 습진, 음식 알레르기)는 제1형 과민반응으로 생김. 일부 습진은 제4형 반응

+ 보충

과민반응의 네 가지 유형 (쿤스-겔 분류)

유형	주인공	속도	예
제1형 (즉시형)	IgE + 비만세포	수 분	꽃가루 알레르기, 천식, 아나필락시스 ← 이번 강의
제2형 (세포독성형)	IgG-IgM이 세포 표면에 붙음	수 시간	혈액형이 안 맞는 수혈 반응
제3형 (면역복합체형)	항원-항체 덩어리가 조직에 쌓임	수 시간~일	루푸스 신장염 (2-2의 '관절에 쌓이는 복합체'와 같은 원리)
제4형 (지연형)	T세포	1~3일	니켈-옷 접촉성 피부염, 결핵 피부반응

2-2 알레르기 유발 물질 Allergens

① 음식

- 어린이의 약 3~8%, 성인의 약 1~3%
- 음식 알레르기의 IgE 감작(첫 노출로 IgE가 만들어지는 것)은 위장관에서 일어남
- 대표 유발 음식 10가지: 갑각류·조개류, 우유, 달걀, 견과류, 콩, 밀, 생선, 땅콩 등
- 증상: 복통, 경련성 통증, 설사, 구토
- 음식이 닿으면: 위장관 비만세포의 IgE가 반응 → 매개 물질로 장 투과성이 높아짐 → 알레르겐이 몸 안으로 들어옴 → 알레르겐-항체 복합체가 관절에 쌓이거나, 이미 감작된 피부·폐로 퍼져 그곳에서도 국소 아나필락시스를 일으킴
- 예: 딸기 → 두드러기(가렵게 부풀어 오른 피부) / 달걀 → 감작된 사람에게 천식 발작
- 땅콩 알레르기: 어린이의 약 1%. 때로 생명을 위협하거나 드물게 치명적임

아기에게 알레르기 음식을 일찍 먹여야 할까?

- 오랫동안 뜨거운 논쟁거리였음. 예전 권고: 임신·수유 중 피하고, 생후 몇 년간 아기 식단에서 빼기
- → 그런데 이렇게 피했더니 오히려 음식 알레르기가 늘어남

+ 보충

LEAP 연구 (2015) - 권고가 뒤집힌 계기

- 알레르기 위험이 높은 영아 640명을 나눠, 생후 4~11개월부터 땅콩을 꾸준히 먹인 쪽과 피한 쪽을 비교함 (Du Toit 외, *NEJM*)
- 5세 때 땅콩 알레르기: 피한 쪽 약 17% vs 먹인 쪽 약 3% → **약 80% 감소**
- 이후 미국 등은 위험이 높은 아기도 의료진과 상의해 **일찍** 땅콩을 먹이도록 지침을 바꿈. 장(입)으로 먼저 만나면 면역관용이 생기고, 습진이 있는 피부로 먼저 만나면 감작되기 쉽다는 설명(이중 노출 가설)이 유력함

음식 알레르기가 없는 사람은 왜 괜찮을까

- **IgA, IgG4 항체**가 알레르겐을 두고 IgE와 효과적으로 경쟁해 먼저 붙어 버림
- **Foxp3⁺ 조절 T세포**가 Th2 세포와 비만세포를 억제함

② 집먼지진드기와 꽃가루

- 서구화된 나라에서는 성인의 약 30%, 어린이의 약 45%가 정도의 차이는 있지만 꽃가루, 동물 비듬, 집먼지 속 진드기 배설물 등에 알레르기를 겪음
- **집먼지진드기**(*Dermatophagoides pteronyssinus*)와 그 배설물이 알레르기 질환의 주요 원인임
- 보통 더블 침대 하나에 약 **2억 마리**. 한 마리가 하루 약 20개의 배설물 알갱이를 만들고, 알갱이 하나에 알레르겐 **Der p 1**이 약 0.2 ng 들어 있음
- 알갱이가 공기 중에 떠서 폐까지 들어옴 (교안 사진 왼쪽 위의 오목한 알갱이는 비교용 꽃가루)

③ 약물

- 페니실린 같은 약물에 극적인 반응(아나필락시스)을 보이기도 함
- 약물 분자 자체는 너무 작아 면역계가 알아보지 못함. 그런데 몸의 단백질에 **공유결합으로 달라붙어(합텐화)** 새 항원이 되면 IgE 합성을 유도함
- 페니실린: **β-락탐 고리**가 단백질 속 리신 아미노산의 ε-아미노기와 결합해 '페니실로일 결정기'를 만듦
- **IgE의 특이성**: 아주 비슷한 약에도 반응할 수 있음. 반대로 아목시실린에는 알레르기가 있지만 벤질페니실린은 견디는 환자도 있음 → 두 약은 겔사슬만 아주 조금 다름 → 약물 알레르기 환자의 세균 감염 치료에 활용됨

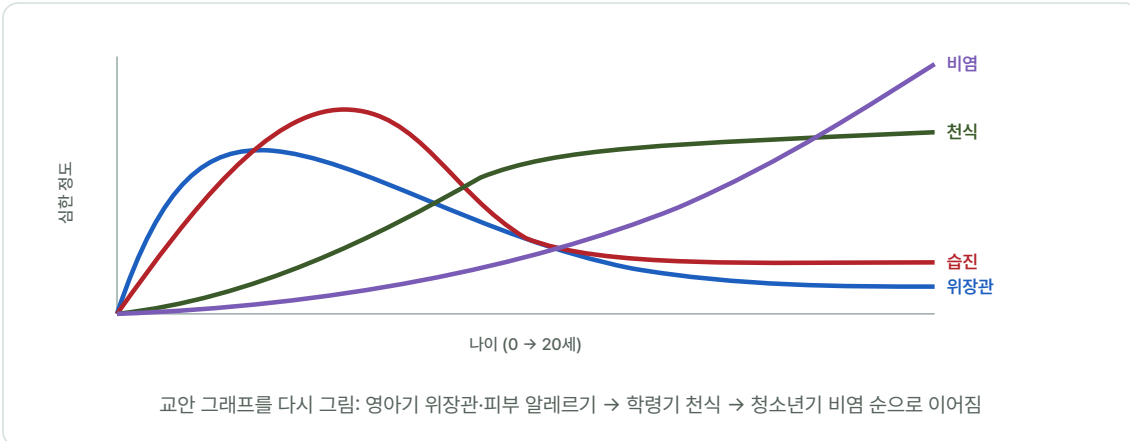
교안 확인

- 약물 알레르기 슬라이드의 두 분자 구조 위에 모두 'Amoxicillin'이라 적혀 있음. 위 구조(-OH와 -NH₂가 붙음)가 **아목시실린**, 아래 구조(겔사슬이 단순한 벤젠 고리)는 **벤질페니실린(페니실린 G)**임. 두 분자는 공통의 β-락탐 고리를 가지고 겔사슬만 다름

2-3 아토피와 알레르기 행진 Atopic allergy · Allergy march

- **아토피**: 그리스어 *atopos* = '제자리를 벗어난, 이상한'
- 외부 알레르겐에 대해 **지나치게 많은 IgE**를 만드는 성질
- 면역 반응이 일어나는 곳: 위장관, **습진(아토피 피부염)**, **천식**, **꽃가루 알레르기**(계절성 알레르기 결막염·비염)

알레르기 행진 (allergy march)



- 위장관·피부 알레르기가 있는 영아·어린이는 나중에 천식과 꽃가루 알레르기가 생길 위험이 **2~3배** 높음

2-4 피부단자검사 Clinical evaluation of allergen

- 아토피 환자의 피부에 항원을 넣으면 그 자리에 국소 아나필락시스 반응이 생김
- 즉시 반응은 약 1시간 안에 가라앉고 → 이어서 **후기 반응**(호산구가 몰려듦)이 생겨 약 **5시간**에 정점에 이름
- 교안 사진: 여름철 꽃가루 알레르기 환자에게 풀 꽃가루 알레르겐을 1:10 → 1:100 → 1:1,000 → 1:10,000으로 묶혀 찌러 넣음
- 오른쪽 **20분** 뒤 = 제1형 즉시 반응의 전형적인 **팽진(부풀어 오름)**과 **발적(붉은 테두리)**. 진할수록 크게 나타남 / 왼쪽 **5시간** 뒤 = 후기 반응

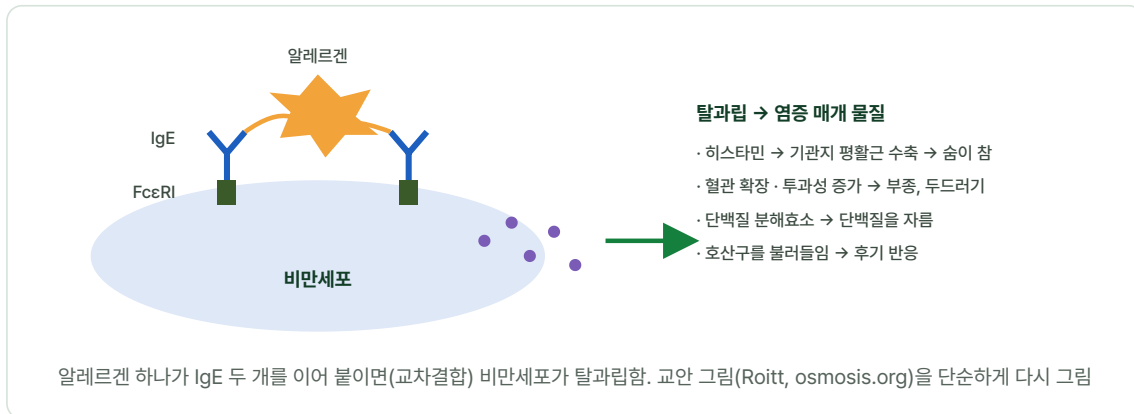
2-5 제1형 과민반응의 기전 Mechanism of Type I hypersensitivity

- 제1형 과민반응 = **IgE가 매개**하고, **즉시**(수 분 안에) 일어나는 반응
- 알레르겐이 들어오는 길: 피부 접촉(옷 같은 식물, 동물 할렘, 꽃가루, 라텍스), 주사(벌 쏘임), 섭취(약, 견과류, 갑각류), 흡입(꽃가루, 먼지, 곰팡이, 동물 비듬)
- 항체의 다섯 종류: IgG, IgA, IgM, IgD, **IgE** — 이 중 알레르기의 주인공은 IgE

단계	일어나는 일 (교안 예: 돼지풀 꽃가루)
① 첫 만남	꽃가루를 들이마심 → 기도 점막의 항원제시세포 (수지상세포, 대식세포)가 꽃가루를 붙잡음

단계	일어나는 일 (교안 예: 돼지풀 꽃가루)
① Th2 유도	항원제시세포가 림프절로 가서 보조 T세포에게 보여 줌 → 보조 T세포가 Th2 세포 가 됨 (인터루킨 IL-4, IL-5, IL-10 등이 관여)
② IgE 생산	Th2가 내는 IL-4 를 받은 B세포가 IgM 대신 돼지풀 특이 IgE 를 만들
③ 감작	IgE는 세포 표면에 붙는 항체(cytotropic)라서 비만세포의 Fcε 수용체(FcεRI) 에 꽃힌 채 대기 — 여기까지는 증상 없음
④ 재노출 → 교차결합	다시 들어온 꽃가루가 비만세포 위 IgE 두 개 이상을 다리처럼 이어 붙임(cross-link) → 세포 안 신호 전달
⑤ 탈과립	비만세포가 과립을 한꺼번에 쏟아냄 → 염증 매개 물질 → 알레르기 반응

- 교차결합의 조건: 두 IgE는 같은 알레르겐의 **서로 다른 부위(에피토프)**를 겨냥할 수 있음. 효율적인 교차결합을 위해 그 알레르겐에 대한 IgE가 비만세포 위에 **많이** 있어야 함



2-6 비만세포가 내보내는 물질 Mast cell products

- 전자현미경 사진: 혈관(BV) 옆 비만세포 과립 = **100~500 nm** 크기, 헤파린·세르글리신으로 짜인 구조. 미리 담아 둔 매개 물질이 나노 크기 입자 형태로 나옴

구분	물질
미리 만들어 과립에 저장 → 즉시 방출	히스타민, 헤파린, 트립테이스, 카이메이스, 카복시펩티데이스, 호산구·호중구·단핵구 주화성 인자, 혈소판 활성화 인자, 세로토닌
새로 합성 → 조금 늦게	류코트리엔(LTB4, LTC4, LTD4), 프로스타글란딘(PGD2), 트롬복세인
사이토카인	Th2형: IL-4, IL-5, IL-6, IL-9, IL-10, IL-13 / 그 밖에 IL-1, IL-3, IL-8, IL-11, GM-CSF, TNF, 케모카인 CCL2, CCL5, CCL11(에오타신)

정리 ▪ 이 물질들은 원래 감염에 맞서는 **방어적 급성 염증**을 일으키기 위한 것임. 그런데 해롭지 않은 알레르겐에 이 반응이 일어나면, 기관지 수축과 혈관 확장 효과가 오히려 몸을 크게 위협하게 됨

2-7 아나필락시스·천식·꽃가루 알레르기

아나필락시스 (전신의 심한 알레르기 반응)

- 기관지·세기관지가 심하게 좁아짐, 평활근 수축, 모세혈관 확장
- 벌 쏘임, 꽃가루, 음식, 약물(페니실린) 등에 매우 민감한 사람에게 생김
- 히스타민의 출처: 비만세포의 폭발적인 탈과립
- 증상은 보통 **15분 안에** 시작: 가려움·두드러기, 입술·얼굴 부종, 쌉쌀거림·호흡곤란, 메스꺼움·복통·설사, 어지러움·발작·실신, 빠른 맥박·저혈압
- **에피네프린(아드레날린)**을 제때 주사하면 평활근 수축과 모세혈관 확장을 빠르게 되돌려 **사망을 막을 수 있음**

천식

- 기관지에서 알레르겐이 세포에 붙은 IgE와 만나 생김 → 기류가 때에 따라 막히고(가변적 기류 폐쇄), 기관지가 지나치게 예민해짐
- 천식 환자의 기관지 조직·세척액: **비만세포와 호산구**가 매개 물질을 내는 주요 세포이고, **T세포**가 만성 염증을 유지하는 환경을 만들
- 유발 요인 예: 스프레이 페인트, 납땀 연기, 동물 비듬

천식의 단계	내용
초기 반응	비만세포 매개 물질에 의한 기관지 반응
후기 반응	호산구가 주도하는 염증
만성 - 기도 재형성	활성화된 Th2 세포가 IL-13 을 만들 → 기도 벽이 두꺼워짐, 바깥 결합조직·점막하 조직·평활근이 늘어남 → 만성 반응 중 손상이 쌓임

천식 기도의 조직 변화(Nature Reviews 그림): 기저막 두꺼워짐, 점액샘 증식·점액 마개, 상피 벗겨짐, 평활근 비대, 혈관 확장, 호산구·T세포 침윤

알레르기 비염·결막염 (꽃가루 알레르기)

- **비염**: 코 안 염증 → 재채기, 코막힘, 콧물 / **결막염**: 눈 결막이 붉어지고 가려움
- 알레르겐: 나무·풀·잡초의 꽃가루
- CD4⁺ T세포와 호산구가 늘어나고, 그 자리에서 IgE와 사이토카인(IL-5)이 만들어짐

2-8 알레르기의 원인 - 유전과 환경 Etiology of allergy

부모의 알레르기 병력

아토피 자녀 비율: 부모 모두 없음 약 15% → 한쪽 약 30% → **양쪽 약 48%**

혈중 IgE 농도

IgE가 높을수록 아토피 비율이 높음: 0.15 µg/ml 미만 약 10% → 1 µg/ml 초과 **약 100%**

- 아토피 알레르기는 **가족 내 소인**이 강함. 땅콩 알레르기 일치율: 일란성 쌍둥이 **64%**, 이란성 쌍둥이 7%
- 가장 분명한 요인: **IgE를 만드는 전반적 능력** — 혈중 IgE가 높을수록 아토피가 될 가능성이 큼

- 관련 유전자: HLA-DQ, 사이토카인 IL-33-TSLP, 사이토카인 수용체 IL-33R·IL-2R β사슬, 전사인자 SMAD3
- 환경 요인: 나이, 성별, 감염 이력, 영양 상태, 알레르겐 노출

정리 ▶ 3주차 다유전자 모델과 연결됨: 일란성 쌍둥이도 64%에 그친다는 것은 유전 영향이 크지만 전부가 아니며, 여러 유전자와 환경이 함께 작용한다는 뜻임

+ 보충

위생 가설과 오래된 친구 가설

- 1989년 스트라찬은 형제가 많은 집 아이일수록 꽃가루 알레르기가 적다는 관찰로 **위생 가설**을 내놓음: 어릴 때 감염이 줄면 면역이 알레르기 쪽(Th2)으로 기운다는 것
- 지금은 '감염' 자체보다 흙·가축·다양한 장내 미생물 같은 '오래된 친구'와의 접촉이 면역 조절(조절 T세포)을 길러 준다는 설명이 더 받아들여짐. 농장에서 자란 아이들의 천식·알레르기가 적다는 연구가 근거로 자주 인용됨
- 서구화된 나라에서 알레르기가 많다는 교안 수치(성인 30%, 어린이 45%)도 이 맥락에서 해석됨

2-9 치료 Treatment

아나필락시스 응급 치료

- **에피네프린 즉시 주사** (자동 주사기, 예: 에피펜 0.3 mg) — 가장 먼저
- 항히스타민제, 산소 공급 또는 기관 삽관, 정맥 수액, 기관지 수축에 β작용제, 저혈압에 혈관 수축제

치료	방법	원리·특징
알레르겐 회피	알레르겐과의 접촉을 피함	가장 기본
탈감작 면역요법	아주 적은 양의 알레르겐을 피하에 반복 주사 / 혀 밑에 녹이는 설하 면역요법 (SLIT)	곤충 독 아나필락시스나 꽃가루 알레르기를 개선. SLIT는 집에서 스스로 할 수 있고 전신 부작용 위험이 낮음. IgG '차단 항체'를 늘려, 알레르겐이 조직의 IgE와 만나기 전에 가로챈
IgE 차단	인간화 단일클론항체 오말리주맵 (졸레어)	IgE에서 FcεRI에 붙는 부분(Cε3 영역)을 겨냥해 직접 중화 → 혈중 IgE가 거의 사라짐. 심한 지속성 아토피 천식, 만성 특발성 두드러기에 FDA 승인
효과세포 억제	이소프레날린, 크로몰린 나트륨(소듐 크로모글리케이트)	비만세포 활성화를 막음
흡입 스테로이드	코르티코스테로이드 흡입	여러 염증 유전자(사이토카인)를 억제
매개 물질 길항	H1 항히스타민제: 로라타딘, 펙소페나딘 / 세티리진	비염, 아토피 피부염. 세티리진은 호산구 동원도 줄여 줌
	속효성 β2 작용제 (흡입)	가벼운~중간 정도의 천식 증상을 빠르게 완화
	류코트리엔 수용체 길항제: 몬테루카스트	천식, 알레르기 비염에 효과

치료	방법	원리·특징
IL-4/IL-13 차단	두필루맵: IL-4·IL-13 수용체의 공통 부분 (IL-4Rα)을 막는 항체	심한 아토피 피부염에 승인

사례: 6세 미만 어린이의 중증 아토피 피부염과 두필루맵

- 생후 23개월 남아: 몸 표면의 **85%**에 중증 아토피 피부염
- 강한 스테로이드, 항히스타민제, 항생제, 식이 조절로도 나아지지 않음. 헤르페스성 습진, 구강 칸디다증, 2차 세균 감염 같은 합병증이 생김
- 두필루맵을 체중 1 kg당 6~10 mg씩 2주마다 피하 주사 → **6개월 넘게** 치료한 뒤 얼굴·몸통·팔의 피부가 크게 좋아짐

정리 ▪ 2-5에서 본 기전의 각 단계(IgE 생산 → 비만세포 → 매개 물질 → Th2 사이토카인)가 그대로 약의 표적이 됨.
오말리주맵은 IgE를, 항히스타민제·몬테루카스트는 매개 물질을, 두필루맵은 Th2 사이토카인 신호를 막음

+ 보충

에피네프린 자동주사기 접근성

- 미국에서는 2016년 에피펜 가격이 10년 새 약 6배로 오르며 큰 논란이 됨
- 한국에서는 자동주사기 수입·공급이 끊기거나 품귀가 반복되어 왔고, 학교에 비치하자는 요구가 꾸준히 나옴. 음식 알레르기 아동이 많은 급식 환경에서 응급 대응 체계가 과제로 꼽힘

02차시 학습정리

- 알레르기는 해롭지 않은 환경 항원에 몸의 면역세포가 빠르게 반응하는 것임
- 견과류, 갑각류, 꽃가루, 집먼지진드기 등이 알레르기를 일으키며, IgE가 이 물질에 붙어서 생김
- Fcε 수용체에 붙은 IgE가 알레르겐과 결합하면 비만세포가 활성화되어 알레르기 증상이 생김
- 치료에는 비만세포 매개 물질, IgE, 사이토카인 등을 막는 약이 효과적임

용어 용어 정리와 용어사전 정정

「생명과과학의 세계」 5주차 용어사전 수록 용어를 이번 주 내용 기준으로 짧게 정리

영문	국문	한 줄 정리
adaptive immune system	적응면역	특정 병원체에 맞춘, 기억이 있는 면역 (T·B세포)
allergy march	알레르기 행진	영아기 위장관·피부 → 천식 → 비염 순으로 이어지는 경과
anaphylaxis	아나필락시스	항원-항체 반응으로 생기는 급격한 전신 알레르기 반응
angiogenesis	혈관 생성	기존 혈관에서 새 혈관이 뻗어 나오는 것
antibody opsonization	항체 옵소닌화	병원체에 항체가 붙어 식세포가 먹기 좋게 표시되는 것
asthma	천식	기도의 만성 염증으로 호흡근관이 생기는 질환
atopy	아토피	해롭지 않은 물질에 IgE를 지나치게 만드는 체질
autoimmunity	자가면역	면역계가 자기 몸의 성분을 공격하는 것
azurophilic granule	아주르친화 과립 (1차 과립)	MPO·디펜신 등이 든 호중구의 리소좀형 과립
basophil	호염기구	히스타민을 내는 과립 백혈구. 백혈구의 1% 미만
B cell	B세포	항체를 만드는 림프구
chemokine	케모카인	면역세포를 특정 장소로 불러들이는 사이토카인
cilia	섬모	기도 등의 세포 표면에서 움직이는 털 모양 돌기
cytokine	사이토카인	세포끼리 소통하는 작은 분비 단백질
dendritic cell	수지상세포	항원을 T세포에 제시해 선천면역과 적응면역을 잇는 세포
eczema	습진	붉어지고 가려우며 진물이 나는 피부 염증
eicosanoid	에이코사노이드	탄소 20개 지방산(아라키돈산)에서 만들어지는 신호 물질. 프로스타글란딘, 류코트리엔 등
eosinophil	호산구	알레르기 후기 반응과 기생충 방어에 관여하는 과립구
epithelium	상피	몸의 표면을 덮는 촘촘한 세포층
fibroblast	섬유아세포	콜라겐을 만들어 상처를 메우는 결합조직 세포
flagella	편모	세포가 헤엄치게 하는 채찍 모양 돌기. 세균 편모 단백질은 PAMP
gastrointestinal tract	위장관	입에서 항문까지 이어지는 소화관

영문	국문	한 줄 정리
hay fever	꽃가루 알레르기	꽃가루를 들이마셔 생기는 알레르기 비염·결막염
histamine	히스타민	비만세포가 내는 물질. 혈관 확장, 기관지 수축
innate immune system	선천면역	비특이적이고 빠르며 기억이 없는 면역
lactoferrin	락토페린	호중구 2차 과립 등에 있는 항균 단백질. 철을 붙잡아 세균 성장을 막음
leukocyte	백혈구	면역을 맡는 혈구. 골수 조혈줄기세포에서 유래
leukotriene	류코트리엔	비만세포가 새로 합성하는 에이코사노이드. 기관지 수축
ligand	리간드	(이 강의 문맥) 수용체에 특이적으로 붙는 분자
LPS	지질다당류	그람음성균 바깥 막의 성분. TLR4가 알아보는 PAMP
lipoteichoic acid	지질테이코산	그람양성균 세포벽의 성분. PAMP
lysozyme	라이소자임	세균 세포벽(펩티도글리칸)을 끊는 효소. 눈물에 많음
macrophage	대식세포	단핵구에서 분화해 조직에서 병원체를 먹고 항원을 제시하는 세포
mast cell	비만세포	히스타민 과립을 가진 조직의 면역세포. 알레르기의 핵심
mannan	만난	만노스로 된 다당류. 곰팡이 세포벽의 PAMP
megakaryocyte	거핵세포	혈소판을 만드는 골수의 큰 세포
monocyte	단핵구	혈액 속 가장 큰 백혈구. 조직에서 대식세포가 됨
myeloperoxidase	골수세포형 과산화효소 (MPO)	과산화수소로 강력한 살균 물질을 만드는 호중구 효소
neutrophil	호중구	가장 많은 백혈구. 감염 부위에 가장 먼저 도착
NETs	호중구 체외 그물	호중구가 DNA·히스톤·효소를 내보내 만든 세포 밖 덩어리
NK cell	자연살해세포	바이러스 감염 세포·종양 세포를 죽이는 선천면역 림프구
PAMPs	병원체 연관 분자 패턴	미생물에 공통으로 있고 숙주에는 없는 분자 패턴
peptidoglycan	펩티도글리칸	세균 세포벽의 그물 모양 주성분
phagocytosis	식세포작용	세포가 큰 입자를 삼켜 세포 안에서 소화하는 것
pleiotropic effect	다면적 효과	(이 강의 문맥) 사이토카인 하나가 여러 세포에 여러 효과를 내는 것
PRRs	패턴 인식 수용체	PAMP를 감지하는 수용체 (TLR 등)
prostaglandin	프로스타글란딘	염증·통증·발열에 관여하는 에이코사노이드
ROS	활성산소	슈퍼옥사이드·과산화수소처럼 반응성이 큰 산소 화합물
serotonin	세로토닌	신경전달물질이자 비만세포·혈소판의 염증 매개 물질

영문	국문	한 줄 정리
skin prick test	피부단자검사	알레르겐을 피부에 찔러 넣어 반응을 보는 검사
TLRs	톨유사수용체	가장 중요한 PRR 무리
vasoactive amine	혈관 작용 아민	혈관 평활근을 수축·이완시키는 아민 (히스타민, 세로토닌 등)
vasodilation	혈관 확장	혈관이 넓어져 그 부위로 가는 혈류가 늘어나는 것

+ 보충

용어사전에서 잘못 들어간 부분

항목	문제	바르게 읽는 법
Angiogenesis (국문)	국문 정의가 "적응면역, 후천 면역 ..."으로 적응면역의 정의가 그대로 들어가 있음	혈관 생성 = 기존 혈관에서 새 혈관이 생겨나는 과정 (영문 정의는 맞음)
Pleiotrophic effect	철자가 틀림. 정의도 '유전자 하나가 여러 형질에 영향'이라는 유전학의 뜻만 실림	바른 철자는 pleiotropic . 이 강의에서는 사이토카인·케모카인 하나가 여러 효과를 낸다는 뜻
Ligand	배위화학(금속 착물)의 정의만 실림	생물학에서는 수용체에 특이적으로 붙는 분자 (PAMP는 PRR의 리간드)
Atopy (국문)	"알레르기 항원에 대한 접촉 없이 신체가 극도로 민감해지는 반응"	아토피는 알레르겐에 노출되었을 때 IgE를 지나치게 만드는 유전적 체질 임. 접촉 없이 반응한다는 뜻이 아님
NK cell (영문)	"면역 기억을 형성할 잠재력이 있는 특수한 자연살해세포"라는 동어반복 문장	NK세포는 기본적으로 선천면역 림프구임. 일부 기억 비슷한 성질이 연구되고 있으나 핵심 특징은 아님
Gastrointestinal tract (국문)	"Glact, 소화관, 소화관", "통로 또는 통로"로 반복·오타	위장관(GI tract) = 입에서 항문까지 이어지는 소화관

교안 오탈자·확인

- "HYPERSEMSITIVITY" → HYPERSENSITIVITY / "Conjuctiva" → Conjunctiva
- "Clinical responses to allergens (1)"의 첫 문장("Taking immediate effect upon encounter with anything~ 30% of adults...")은 선천면역 슬라이드 문장이 섞여 들어간 것으로 보임. 뜻은 "서구화된 나라에서 성인 약 30%, 어린이 약 45%가 알레르기를 겪음"
- 약물 알레르기 슬라이드의 분자 이름은 2-2 '교안 확인' 상자 참고

자료 기준: 『생명과학의 세계』(고려대학교) 5주차 01차시 면역이 우리 몸을 어떻게 지켜낼까? (1)(2), 02차시 알레르기: 과도한 면역작용, 어떻게 극복할까? (1)(2) 교안 및 5주차 용어사전.

이 문서의 그림은 교안 내용을 바탕으로 새로 그린 것임. '보충' 상자의 내용은 교안에 없는 참고 내용으로, 시험 범위 여부는 강의 기준을 따를 것.