



순환, 호흡계통

제1장 심장의 해부학적 구조 (Anatomy of the Heart)

1. 심장의 개요 및 위치

심장은 흉강 내 좌우 허파 사이의 공간인 가슴세로칸(mediastinum)에 위치하며, 전체 크기의 약 3분의 2가 정중선에서 왼쪽으로 치우쳐 있다. 해부학적으로 제3갈비연골에서 제6갈비연골 높이에 걸쳐 비스듬히 놓여 있다. 심장의 뾰족한 아랫부분인 심장꼭대기(apex)는 왼심실의 끝부분으로 이루어져 있으며, 위쪽의 넓은 부분인 심장바닥(base)은 대동맥, 위대정맥, 허파동맥 등 주요 큰 혈관들이 연결되는 부위다.

2. 심장벽과 심장막의 구성

심장을 감싸고 있는 막과 심장 자체를 이루는 벽은 다층 구조로 되어 있어 심장을 보호하고 효율적인 수축을 돕는다.

2.1. 심장벽 (Heart Wall)

심장벽은 안쪽에서부터 바깥쪽으로 다음 세 층으로 구성된다.

- 심장속막 (Endocardium):** 심장의 가장 안쪽을 덮고 있는 층으로, 심장 내면과 판막을 덮고 있다. 혈액과 직접 접촉하는 부위로 매끄러운 단층편평상피로 이루어져 마찰을 줄인다.
- 심장근육층 (Myocardium):** 심장벽의 가운데 층이자 가장 두꺼운 부분이다. 실제 수축 기능을 담당하는 층으로, 심근경색 발생 시 손상을 입는 주된 부위다. 좌심실의 근육층은 우심실보다 약 3배 정도 두꺼운데, 이는 전신으로 혈액을 보내기 위해 더 강한 압력을 견뎌야 하기 때문이다.
- 심장바깥막 (Epicardium):** 심장의 가장 바깥층으로, 장막심장막의 내장쪽 층(visceral layer)과 동일하다. 심장에 영양을 공급하는 심장 혈관들이 이 층과 근육층 사이를 주행한다.

2.2. 심장막 (Pericardium)

심장은 심장막이라는 이중막 주머니에 싸여 있다.

- 섬유심장막 (Fibrous Pericardium):** 가장 바깥쪽의 질기고 탄력이 없는 아교섬유 막이다. 심장이 지나치게 팽창하는 것을 방지하고 주변 구조물에 심장을 고정시키는 역할을 한다.
- 장막심장막 (Serous Pericardium):** 두 겹으로 된 얇은 막이다. **벽쪽심장막**(parietal layer)은 안쪽에 붙어 있고, **내장쪽심장막**(visceral layer)은 바깥쪽을 덮는다. 이 두 층 사이의 공간인 심장막안(pericardial cavity)에는 소량의 **심장막액**이 존재하여 심장 박동 시 마찰을 줄이는 **윤활 작용**을 한다.



3. 심장의 내부 구조 (Chambers and Internal Structures)

심장은 2개의 심방(atrium)과 2개의 심실(ventricle)로 나뉜다.

구분	구조적 특징 및 기능
오른심방 (Right Atrium)	위대정맥, 심장정맥굴, 아래대정맥을 통해 전신의 정맥혈을 받아들인다. 내벽에는 빗살근육(pectinate muscles)이 발달해 있으며, 심방사이막에는 태아기 타원구멍의 흔적인 타원오목(fossa ovalis)이 존재한다. 분계능선은 대정맥굴과 심방귀를 나누는 경계가 된다.
오른심실 (Right Ventricle)	오른심방에서 혈액을 받아 허파동맥으로 내보낸다. 내벽에는 불규칙한 근육 기둥인 살기둥(trabeculae carneae)이 있다.
왼심방 (Left Atrium)	4개의 허파정맥을 통해 산소가 풍부한 동맥혈을 받아들인다. 심방귀(auricle)가 존재한다.
왼심실 (Left Ventricle)	심장 내에서 가장 두꺼운 근육벽을 가진다. 대동맥을 통해 전신으로 혈액을 박출한다. 심장꼭대기를 형성하는 주된 부분이다.

4. 심장 판막 (Heart Valves)

판막은 혈액의 역류를 방지하여 일정한 방향으로 흐르게 한다. 판막은 결합조직으로 구성되며, 심장근육의 수축과 이완에 따른 압력 차이에 의해 수동적으로 개폐된다.

- **방실판막 (Atrioventricular Valves):** 심방과 심실 사이에 위치한다. 심실 수축 시 혈액이 심방으로 역류하는 것을 막는다. 판막의 끝은 힘줄끈(chordae tendineae)을 통해 심실벽의 꼭지근(papillary muscle)에 연결되어 있어, 판막이 심방 쪽으로 뒤집히는 것을 방지한다.
 - **삼첨판 (Tricuspid valve):** 오른심방과 오른심실 사이.
 - **이첨판 (Bicuspid/Mitral valve):** 왼심방과 왼심실 사이. (승모판이라고도 함)
- **반달판막 (Semilunar Valves):** 심실과 대동맥/허파동맥 사이에 위치한다. 3개의 반달 모양 주머니로 구성되며, 심실 이완 시 혈액이 심실로 역류하는 것을 막는다.
 - **허파동맥판막 (Pulmonary valve):** 오른심실과 허파동맥 사이.
 - **대동맥판막 (Aortic valve):** 왼심실과 대동맥 사이.



5. 심장 혈관 (Coronary Circulation)

심장 자체에 산소와 영양분을 공급하는 혈관을 심장동맥(관상동맥)이라 하며, 대동맥판막 바로 뒤쪽의 대동맥 시작 부위(대동맥굴)에서 분지한다.

- **오른심장동맥 (Right Coronary Artery):** 오른심방, 양쪽 심실의 일부, 심장 전도계(굴심방결절 등)에 혈액을 공급한다.
 - **왼심장동맥 (Left Coronary Artery):** 앞심실사이가지와 휘돌이가지로 나뉘며, 왼심방, 왼심실의 대부분, 심실사이막 전면에 혈액을 공급한다.
 - **심장정맥 (Cardiac Veins):** 심장 근육을 순환한 정맥혈은 대부분 심장정맥굴(coronary sinus)로 모여 오른심방으로 직접 들어간다.
-



제2장 심장의 생리적 기능 (Physiology of the Heart)

1. 심장 전도계통 (Conduction System)

심장은 신경의 자극 없이도 스스로 박동할 수 있는 자동능(automaticity)을 가진다. 흥분 전도 경로는 다음과 같다.

1. **굴심방결절 (Sinoatrial node, SA node):** '박동조율기(pacemaker)' 역할을 한다. 위대정맥과 오른심방의 경계 부위에 위치하며 가장 빠르게 활동전위를 발생시킨다.
2. **방실결절 (Atrioventricular node, AV node):** 오른심방 하부, 심장정맥굴 입구 근처에 위치한다. 이곳에서 흥분 전도 속도가 약 0.1초 지연되는데(**방실지연**), 이는 심방이 완전히 수축한 뒤 심실이 수축하도록 하여 심실의 혈액 충만을 돕는다.
3. **방실다발 (Atrioventricular bundle / Bundle of His):** 심방과 심실을 전기적으로 연결하는 유일한 통로다.
4. **다발갈래 (Bundle branches):** 심실사이막을 타고 내려가며 좌우로 갈라진다.
5. **푸르킨예 섬유 (Purkinje fibers):** 심장 전도 근육섬유로, 심실벽 전체로 흥분을 빠르게 전달하여 심실의 강력한 수축을 유발한다.

2. 심전도 (Electrocardiogram, ECG)

심장의 전기적 활동을 그래프로 기록한 것이다.

- **P파:** 굴심방결절의 흥분 직후 시작되는 심방의 탈분극(수축)을 의미한다.
- **QRS 복합파:** 심실의 탈분극(수축)을 나타낸다. 이 시기에 심방의 재분극도 일어나지만 QRS파에 가려 보이지 않는다.
- **T파:** 심실의 재분극(이완)을 의미한다.
- **PR 간격:** P파 시작부터 QRS파 시작까지의 시간으로, 흥분이 심방에서 심실로 전달되는 데 걸리는 시간을 반영한다. 이 간격이 연장되면 방실차단을 의심할 수 있다.



3. 심장 주기와 심음

심장 주기는 심방 수축기, 심실 수축기, 심실 이완기로 구성된다.

- **제1심음 (S1):** 심실 수축기 초기에 방실판막(이첨판, 삼첨판)이 닫히면서 나는 소리다. 낮고 긴 음조를 띤다.
- **제2심음 (S2):** 심실 이완기 초기에 반달판막(대동맥판막, 허파동맥판막)이 닫히면서 나는 소리다. 높고 짧은 음조를 띤다.

4. 심장 기능의 조절

심박동과 심박출량은 자율신경계와 다양한 수용기에 의해 조절된다. 심장 조절 중추는 숨뇌(medulla oblongata)에 위치한다.

- **신경성 조절:**
 - **교감신경:** 심박수 증가, 심근 수축력 강화, 전도 속도 증가. (아드레날린/노르에피네프린)
 - **부교감신경(미주신경):** 심박수 감소, 전도 속도 지연. (아세틸콜린)
 - **화학적 조절 (Chemoreceptors):** 목동맥토리와 대동맥토리에 위치한 화학수용기는 혈액 내 O₂ 감소, H⁺ 증가(pH 감소), CO₂ 증가를 감지한다. 이 신호는 숨뇌로 전달되어 교감신경을 흥분시키고 심박출량과 혈압을 상승시킨다.
 - **압력수용기 반사 (Baroreceptor reflex):** 목동맥팽대와 대동맥활에 위치한 압력수용기는 혈압 변화를 감지한다. 혈압이 상승하면 심박수를 감소시키는 반사가 일어난다.
 - **베인브리지 반사 (Bainbridge reflex):** 오른심방으로 환류되는 혈액량이 증가하여 심방벽이 신전되면, 심박수가 반사적으로 증가한다.
-



제3장 혈관과 순환 생리 (Blood Vessels and Circulation)

1. 혈관의 구조와 종류

혈관벽은 안쪽부터 속막, 중간막, 바깥막의 3층 구조를 기본으로 한다.

- **동맥 (Artery):** 심장에서 나가는 혈액을 운반한다. 높은 압력을 견디기 위해 중간막(민무늬근육과 탄력섬유)이 매우 발달해 있다. 대동맥과 같은 탄력동맥은 심장 수축 시 늘어났다가 이완 시 복원되는 탄력반동을 통해 혈압 급강하를 막는다.
- **정맥 (Vein):** 심장으로 들어오는 혈액을 운반한다. 동맥에 비해 벽이 얇고 탄력막이 없으며 내강이 넓다. 혈압이 낮아 혈액의 역류를 막기 위한 판막(valve)이 존재한다(대정맥, 허파정맥 등 일부 제외).
- **모세혈관 (Capillary):** 동맥과 정맥을 연결하며, 단층의 내피세포로만 구성되어 있어 물질 교환(가스, 영양분, 노폐물)에 최적화되어 있다. 혈관 중 총 단면적이 가장 넓고 혈류 속도가 가장 느리다.

2. 순환의 경로

2.1. 온몸순환 (Systemic Circulation, 체순환)

좌심실에서 뿜어져 나온 산소가 풍부한 동맥혈이 대동맥을 통해 전신 조직의 모세혈관으로 이동하여 물질 교환을 한 뒤, 대정맥을 통해 우심방으로 돌아오는 경로다.

2.2. 허파순환 (Pulmonary Circulation, 폐순환)

우심실에서 나온 정맥혈이 허파동맥을 통해 허파로 이동하여 이산화탄소를 내보내고 산소를 받아들인 뒤, 허파정맥을 통해 좌심방으로 돌아오는 경로다. (주의: 허파동맥은 정맥혈을, 허파정맥은 동맥혈을 운반한다.)

2.3. 태아 순환 (Fetal Circulation)

태아는 폐를 사용하지 않으므로 태반을 통해 물질 교환을 하며, 이를 위한 특수한 구조물들이 존재한다.

- **타원구멍 (Foramen ovale):** 우심방에서 좌심방으로 혈액을 직접 보내 폐를 우회한다. (출생 후 타원모퉁이 됨)
- **동맥관 (Ductus arteriosus):** 허파동맥의 혈액을 대동맥으로 직접 보내 폐를 우회한다. (출생 후 동맥관인대가 됨)
- **정맥관 (Ductus venosus):** 배꼽정맥의 혈액을 간을 거치지 않고 아래대정맥으로 직접 보낸다. (출생 후 정맥관인대가 됨)
- **배꼽정맥:** 태반에서 산소가 풍부한 혈액을 태아에게 공급한다. (1개)
- **배꼽동맥:** 태아의 노폐물이 담긴 혈액을 태반으로 보낸다. (2개)



3. 혈압과 혈류 역학

- **혈압 (Blood Pressure):** 혈관벽에 가해지는 혈액의 압력으로, 심장박출량과 말초저항의 곱으로 결정된다.
 - **혈류 저항:** 혈관의 직경, 혈액의 점성, 혈관 길이에 영향을 받는다. 혈관 직경이 좁을수록 저항이 급격히 증가한다. 저항은 세동맥에서 가장 크다.
 - **스타링의 가설 (Starling's Hypothesis):** 모세혈관에서의 물질 이동 원리를 설명한다. 혈관 밖으로 밀어내는 힘인 액압(정수압)과 혈관 안으로 끌어당기는 힘인 혈장교질삼투압(주로 알부민에 의한)의 균형에 의해 결정된다.
 - 동맥단: 액압 > 교질삼투압 (여과 발생)
 - 정맥단: 액압 < 교질삼투압 (재흡수 발생)
 - **부종 (Edema):** 모세혈관 내압(정수압)의 증가, 혈장 교질삼투압의 감소(단백질 부족 등), 림프관 폐쇄, 모세혈관 투과성 증가 등의 원인으로 조직 사이질에 체액이 과도하게 축적되는 현상이다.
-



제4장 호흡계의 해부학적 구조 (Anatomy of the Respiratory System)

1. 호흡계의 개요

호흡계통은 산소를 받아들이고 이산화탄소를 배출하는 가스 교환 기능을 수행한다. 구조적으로는 코안, 인두, 후두로 이루어진 위기도(Upper Respiratory Tract)와 기관, 기관지, 허파로 이어지는 아래기도(Lower Respiratory Tract)로 구분된다. 기능적으로는 공기가 단순히 지나가는 통로인 전도영역(Conducting zone)과 실제 가스 교환이 일어나는 호흡영역(Respiratory zone)으로 나뉜다.

2. 위기도의 구조

2.1. 코 (Nose)

코는 호흡기계의 첫 관문으로, 바깥코와 코안으로 나뉜다.

4. **구조적 특징:** 코의 윗부분은 코뼈와 이마뼈, 위턱뼈가 이루는 단단한 뼈대이며, 아랫부분은 콧방울연골과 코중격연골 등 유연한 연골로 구성된다.
5. **코안 (Nasal Cavity):** 코중격(비중격)에 의해 좌우로 나뉘며, 내벽에는 위, 중간, 아래 코선반(nasal concha)이 돌출되어 있어 공기가 지나가는 표면적을 넓힌다.
6. **기능:**
 - **공기 정화:** 콧털과 점액이 먼지와 이물질을 걸러낸다.
 - **가온 및 가습:** 풍부한 혈관망과 점막이 차고 건조한 공기를 따뜻하고 습하게 만든다.
 - **후각 감지:** 코안 윗부분의 후각상피세포가 냄새를 감지한다.
 - **공명 작용:** 코결굴(부비동)이 소리를 울리게 하여 목소리의 음색을 풍부하게 한다.

2.2. 인두 (Pharynx)

머리뼈바닥에서 식도 입구까지 이어지는 깔때기 모양의 근육관으로, 호흡기계와 소화기계의 공통 통로다.

- **코인두:** 코안 뒤쪽에 위치하며, 귀인두관(유스타키오관)이 개구하여 중이와 압력을 조절한다. 아데노이드(인두편도)가 위치한다.
- **입인두:** 입안 뒤쪽으로 음식물과 공기가 모두 통과한다. 목구멍편도가 위치한다.
- **후두인두:** 후두 뒤쪽에 위치하며 식도와 연결된다.

2.3. 후두 (Larynx)

'울림통'이라고도 하며, 인두와 기관을 연결한다.

- **구조:** 갑상연골(방패연골), 반지연골(윤상연골), 후두개(후두덮개) 등 여러 연골로 이루어져 기도를 유지한다. 특히 **후두개**는 음식물을 삼킬 때 후두 입구를 덮어 음식물이 기도로 들어가는 것을 막는다.
- **성대:** 후두 내부에 위치하며 공기의 흐름에 따라 진동하여 소리를 낸다.



3. 아래기도의 구조

3.1. 기관 및 기관지 (Trachea and Bronchi)

- **기관:** 후두 밑에서 시작하여 가슴안으로 내려가는 관이다. C자 모양의 **기관연골**이 앞쪽과 옆쪽을 지지하여 기도가 찌그러지지 않게 하며, 뒤쪽은 민무늬근육으로 되어 있어 식도로 음식물이 넘어갈 때 팽창할 수 있게 한다.
- **기관지:** 기관은 좌우 주기관지로 갈라져 허파로 들어간다. 오른쪽 주기관지는 왼쪽보다 더 굵고, 짧으며, 수직에 가깝게 경사져 있어 이물질이 흡인되기 쉽다. 이후 엽기관지, 구역기관지, 세기관지로 계속 분지하며 가늘어진다.

3.2. 허파 (Lung)

가슴안의 좌우에 위치하며, 갈비뼈에 의해 보호된다.

- **형태:**
 - **오른허파:** 3개의 엽(위, 중간, 아래엽)으로 나뉘며 왼쪽보다 크고 무겁다.
 - **왼허파:** 2개의 엽(위, 아래엽)으로 나뉘며, 심장이 위치한 공간 때문에 심장패임(cardiac notch)이 존재하여 오목하다.
 - **가슴막 (Pleura):** 허파를 감싸는 이중막이다. 허파 표면에 밀착된 **내장쪽가슴막**과 가슴벽 안쪽을 덮는 **벽쪽가슴막** 사이에는 가슴막안(흉막강)이라는 좁은 공간이 있다. 이곳은 대기압보다 낮은 음압을 유지하여 허파가 팽창된 상태를 유지하게 하며, 소량의 윤활액이 있어 호흡 시 마찰을 줄인다.
 - **허파꽂리 (Alveolus):** 기관지의 맨 끝에 달린 포도송이 모양의 공기주머니로, 실제 가스 교환이 일어나는 단위다. 단층편평상피로 되어 있고 모세혈관망에 둘러싸여 있어 확산이 용이하다.
-



제5장 호흡 생리 (Physiology of Respiration)

1. 호흡의 원리 (Ventilation Mechanics)

공기의 이동은 압력 차이에 의해 발생하며, 이는 가슴안의 부피 변화로 조절된다.

- **들숨 (Inspiration):** 능동적인 과정이다. 가로막(횡격막)이 수축하여 아래로 내려가고, **바깥갈비사이근**이 수축하여 갈비뼈를 들어올린다. 이로 인해 가슴안의 부피가 증가하면 허파 내 압력이 대기압보다 낮아져 공기가 안으로 들어온다.
- **날숨 (Expiration):** 정상시에는 수동적인 과정이다. 수축했던 근육들이 이완하고 허파의 탄력반동에 의해 원래 크기로 줄어든다. 가슴안 부피가 감소하면 허파 내 압력이 높아져 공기가 밖으로 나간다. (강제 날숨 시에는 속갈비사이근과 배근육이 개입한다.)

2. 가스 교환 (Gas Exchange)

기체는 분압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 확산(Diffusion)에 의해 이동한다.

- **외호흡 (External Respiration):** 허파꽂리와 모세혈관 사이의 가스 교환이다. 산소는 허파꽂리(O₂ 고)에서 혈액(O₂ 저)으로, 이산화탄소는 혈액(CO₂ 고)에서 허파꽂리(CO₂ 저)로 이동한다.
- **내호흡 (Internal Respiration):** 모세혈관과 조직 세포 사이의 가스 교환이다. 산소는 혈액에서 조직으로, 이산화탄소는 조직에서 혈액으로 이동한다.

3. 가스 운반 (Gas Transport)

3.1. 산소의 운반

혈액 내 산소의 약 98.5%는 적혈구의 헤모글로빈(Hb)과 결합하여 산화헤모글로빈(HbO₂) 형태로 운반되며, 나머지 1.5%만이 혈장에 용해되어 운반된다.



3.2. 산소해리곡선 (Oxygen-Hemoglobin Dissociation Curve)

산소 분압에 따른 헤모글로빈의 산소 포화도 변화를 나타낸 곡선이다. 곡선은 S자 형태를 띠며, 특정 환경 변화에 따라 곡선이 이동하여 산소 결합력(친화력)이 변한다.

구분	곡선의 이동 방향	산소 친화력 변화	주요 원인 및 환경 (보어 효과)
오른쪽 이동	우측 하방	감소 (산소를 조직에 쉽게 해리함)	CO2 증가, H+ 증가 (pH 감소/산성), 체온 상승, 2,3-DPG 증가. (운동 중인 근육 조직과 같은 환경)
왼쪽 이동	좌측 상방	증가 (산소와 강하게 결합함)	CO2 감소, H ⁺ 감소 (pH 증가/알칼리성), 체온 하강, 2,3-DPG 감소. (허파와 같은 환경)

3.3. 이산화탄소의 운반

이산화탄소는 주로 **중탄산이온(HCO3)** 형태로 혈장에 용해되어 운반된다(약 70%). 일부는 헤모글로빈과 결합하거나(약 23%), 혈장에 직접 용해되어(약 7%) 운반된다.

4. 호흡의 조절

- **신경성 조절:** 숨뇌(Medulla)와 다리뇌(Pons)에 위치한 호흡중추가 호흡의 리듬과 깊이를 조절한다.
 - **화학적 조절:** 말초 화학수용기(대동맥/목동맥토리)와 중추 화학수용기(숨뇌)가 혈액 및 뇌척수액의 CO2, O2, H+ 농도를 감지한다. 특히 동맥혈 이산화탄소 분압(CO2)의 상승은 호흡을 자극하는 가장 강력한 요인이다.
-



제6장 혈액과 면역 (Blood and Immunity)

1. 혈액과 림프계통

순환계는 혈관을 흐르는 혈액뿐만 아니라 림프관을 흐르는 림프를 포함한다.

1.1. 림프계의 구조와 기능

- **림프관:** 조직액(사이질액)의 일부가 림프모세관으로 유입된 것을 림프라 한다. 림프관은 맹관으로 시작하며, 판막이 있어 림프의 역류를 막는다. 특히 소장 of 융모에는 유미림프관(lacteals)이 있어 지방 소화 산물(암죽)을 흡수하여 운반한다.
- **림프절 (Lymph Node):** 림프관 도중에 위치한 강낭콩 모양의 기관으로, 목, 겨드랑이, 서혜부 등에 많이 분포한다.
 - **여과 작용:** 림프가 통과하는 동안 거름망 역할을 하여 세균, 바이러스, 암세포 등 이물질을 걸러내고 큰포식세포가 이를 식작용으로 제거한다.
 - **면역 작용:** 림프구(B세포, T세포)가 밀집되어 있어 항원 유입 시 면역 반응을 일으키고 증식하는 장소다.

2. 면역 생리 (Immunology)

인체는 병원체로부터 자신을 보호하기 위해 선천성 면역과 후천성 면역 체계를 가동한다.

2.1. 항원과 항체

- **항원 (Antigen):** 체내에서 면역 반응을 유발하는 외부 물질이나 병원체다.
- **항체 (Antibody):** 항원에 대항하여 형질세포가 생성하는 단백질로, 주로 감마글로불린(Immunoglobulin, Ig)에 속한다. Y자 모양을 띠며, 항원 결합 부위의 입체 구조가 특정 항원과 딱 맞는 경우에만 결합하는 **특이성**을 가진다.



2.2. 적응 면역 (Adaptive Immunity)

특정 병원체를 기억하고 효율적으로 대응하는 후천적 면역 반응으로, 림프구가 주도한다.

구분	세포성 면역 (Cell-mediated Immunity)	체액성 면역 (Humoral Immunity)
주요 세포	T 림프구 (세포독성 T세포, 보조 T세포)	B 림프구
작용 기전	병원체에 감염된 세포나 암세포를 T세포가 직접 공격 하여 파괴한다.	B세포가 형질세포(Plasma cell)로 분화하여 항체 를 생산 및 분비한다. 항체는 체액을 타고 돌아다니며 항원과 결합해 무력화시킨다.
기억 작용	일부 T세포는 기억 T세포로 남아 재감염 시 신속히 반응한다.	일부 B세포는 기억세포(Memory cell)로 남아 동일 항원 침입 시 빠르고 강력하게 항체를 생산한다.

2.3. 면역 반응의 과정

- **항원 제시:** 큰포식세포가 병원체를 잡아먹고 그 조각(항원)을 세포 표면에 제시한다.
- **보조 T세포 활성화:** 제시된 항원을 인식한 보조 T세포가 활성화되어 사이토카인을 분비한다.
- **공격 및 분화:** 활성화된 보조 T세포는 세포독성 T세포를 자극하여 감염 세포를 죽이게 하거나(세포성), B세포를 자극하여 형질세포로 분화시켜 항체를 만들게 한다(체액성).

3. 물질의 이동 원리

세포막을 통한 물질 이동은 에너지를 사용하지 않는 수동 운반과 에너지를 사용하는 능동 운반으로 나뉜다.

- **확산 (Diffusion):** 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 물질이 이동하는 현상이다. (예: 허파파리의 가스 교환)
 - 단순 확산: 지용성 물질이나 작은 분자가 세포막을 직접 통과한다.
 - 촉진 확산: 포도당이나 이온과 같이 세포막을 직접 통과하기 어려운 물질이 막 단백질(운반체, 통로)의 도움을 받아 이동한다.
- **삼투 (Osmosis):** 반투과성 막을 경계로 용질 농도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 물(용매)이 이동하는 현상이다. 체내 수분 균형과 혈장량 유지에 중요하다.