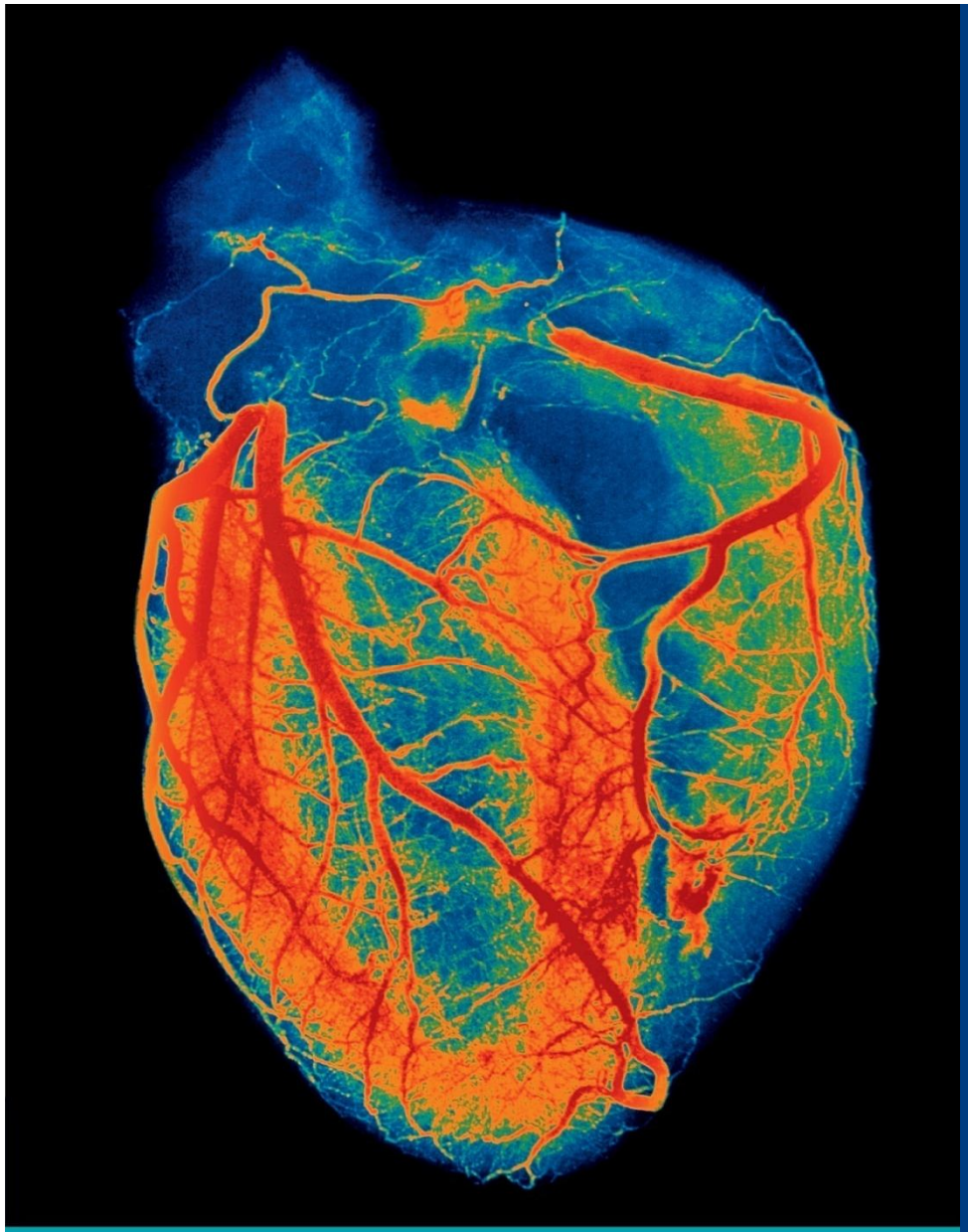


관상동맥 혈관조영도

13

심장혈관계: 심장기능

Part A

Copyright © 2012 Biosciencepublishing, Inc

개요

I. 심장혈관계의 개요

II. 혈액이 심장과 혈관계를 통해 흐르는 경로

III. 심장의 해부학적 구조

IV. 심장의 전기적 활성

V. 심장주기

VI. 심박출량과 조절

I. 심장혈관계의 개요

- 심장
- 혈관
- 혈액

심장혈관계 의 개요

물질의 수송

- 세포로 산소와 영양물질 공급
- 세포로 부터 노폐물을 간과 신장으로 보냄
- 호르몬, 면역세포, 응고단백질을 특정표적세포로 수송

심장의 해부학적 구조

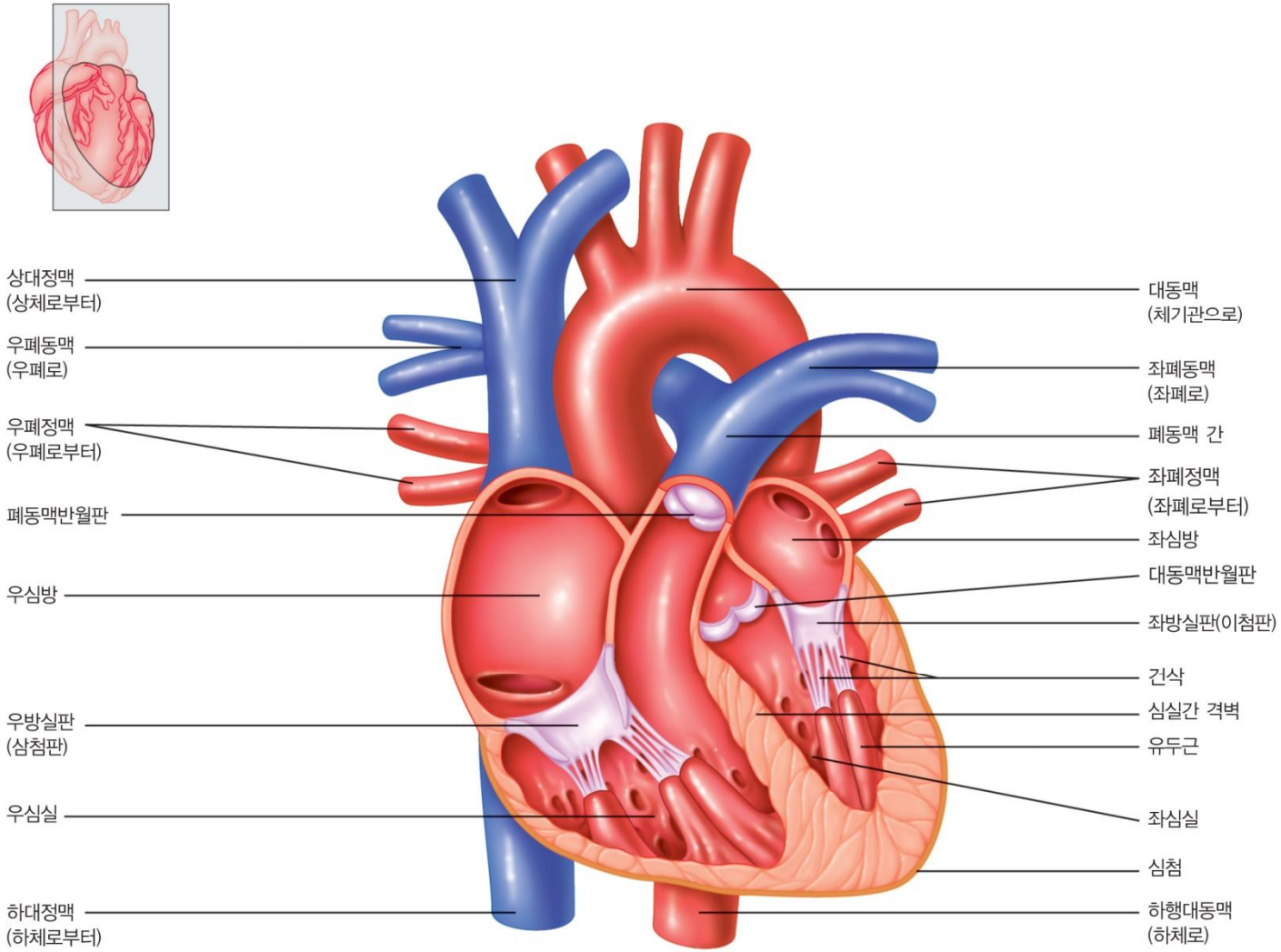
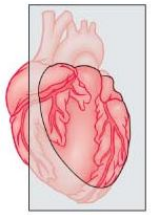
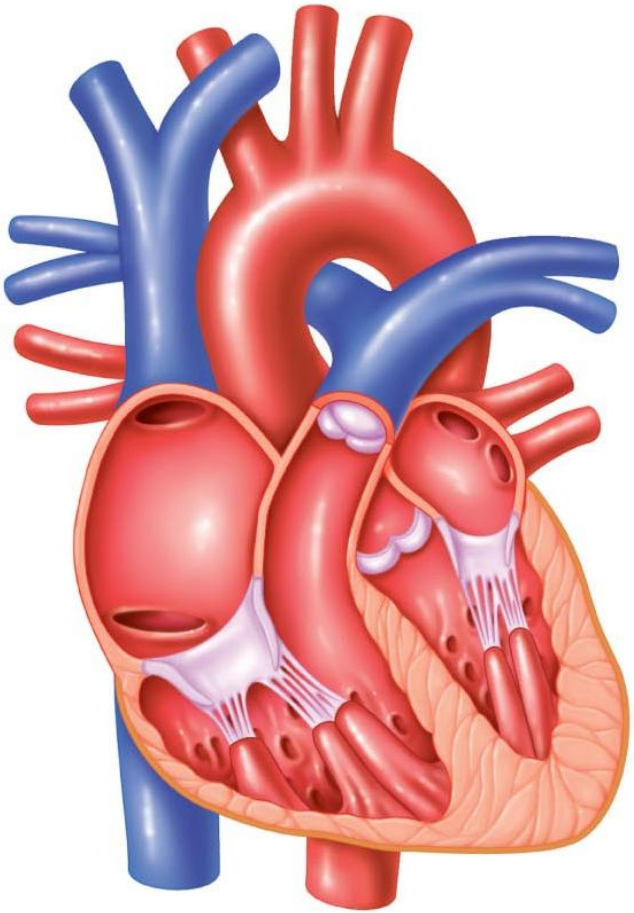


그림 13.1 심장의 절단면으로 심방, 심실, 방실판, 주요 혈관 등이 보인다.

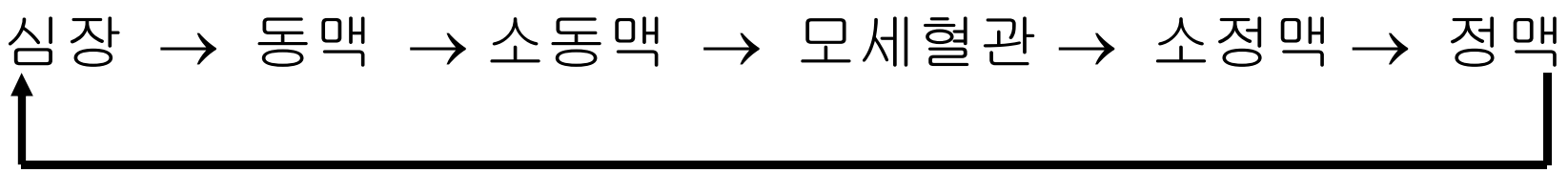
심장의 해부학적 구조





- 4개의 방
  - 2개의 심방
  - 2개의 심실
- 판막(Valves)
  - 방실판
  - 반월판
- 심실간격벽
- 심저(Base)
- 심첨(Apex)

혈관



- 혈관계(Vasculature)
- 동맥—비교적 크며 혈액이 심장을 떠날 때 여러 가지로 운반
- 소동맥(Arterioles)—높은 저항을 받는 동맥의 가지
- 모세혈관(Capillaries)—혈액과 조직사이의 교환을 하는 부위

혈관s

- 소정맥(Venules)—작은 혈관이 모임
- 정맥(Veins)—혈액을 심장으로 보내는 비교적 큰 혈관의 모임
- 폐쇄혈관계(Closed system)

혈액

- 적혈구(Erythrocytes)—RBC
  - 산소와 이산화탄소 운반
- 백혈구(Leukocytes)—WBC
  - 미생물에 대항하여 몸을 방어하는 일
- 혈소판(Platelets)—세포절편
  - 혈액응고에 중요한 역할
- 혈장(Plasma)—체액과 용질

II. 혈액이 심장과 혈관계를 흐르는 경로

- 심장혈관계를 통한 직렬혈류
- 체순환이나 폐순환 내에서의 병렬혈류

II. 혈액이 심장과 혈관계를 흐르는 경로

- 폐순환(Pulmonary circuit)
  - 우심장에서 공급
  - 심장->폐로, 폐-> 심장으로 공급하는 혈관
- 체순환(Systemic circuit)
  - 좌심장에서 공급
  - 심장에서 체조직으로, 체조직에서 심장으로 공급하는 혈관

혈액의 산화

- 혈액과 조직간의 교환이 모세혈관에서 일어난다
- 폐모세혈관
  - 폐로 들어가는 혈액 =산소가 부족한 혈액
  - 산소는 조직에서 혈액으로 확산됨
  - 폐를 떠나는 혈액 =산화혈액

혈액의 산화

- 체모세혈관
  - 조직으로 들어오는 혈액 =산화혈액
  - 산소가 혈액에서 조직으로 확산됨
  - 조직을 떠나는 혈액 =산소가 부족한 혈액

혈류의 경로

- 심장혈관계 =폐쇄혈관계
- 체순환과 폐순환이 연속으로 흐름
- 좌심실 → 대동맥 → 체순환 →
  대정맥 → 우심방 → 우심실 →폐동맥 → 폐순환 →
  폐정맥 →좌심방 → 좌심실

혈류의 경로

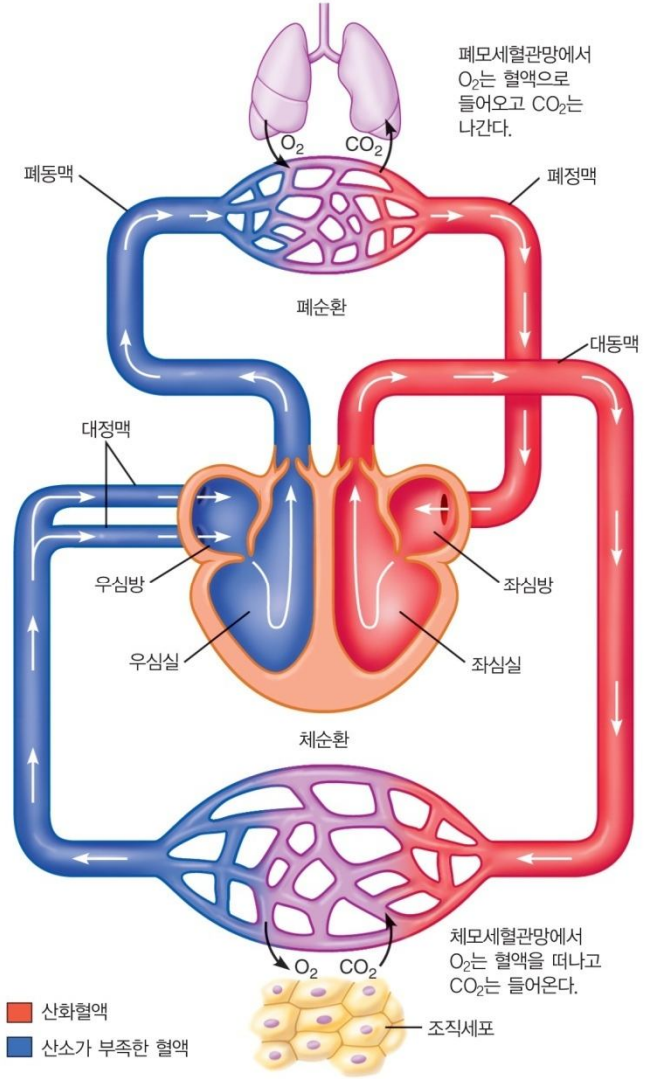


그림 13.2 장혈관계를 통한 혈류의 경로. 체순환과 폐순환, 주요혈관이 나타나 있다. 화살표는 혈류의 방향을 보여준다.

체순환이나 폐순환 내에서의 병렬혈류

- 대동맥 →동맥 → 소동맥 → 모세혈관
- 산화혈액이 각 모세혈관망으로 들어감
- 병렬혈류는 혈액이 기관으로 흐르는 것을 독립적으로 조절 가능
- 모세혈관 → 소정맥 → 정맥

혈류형태

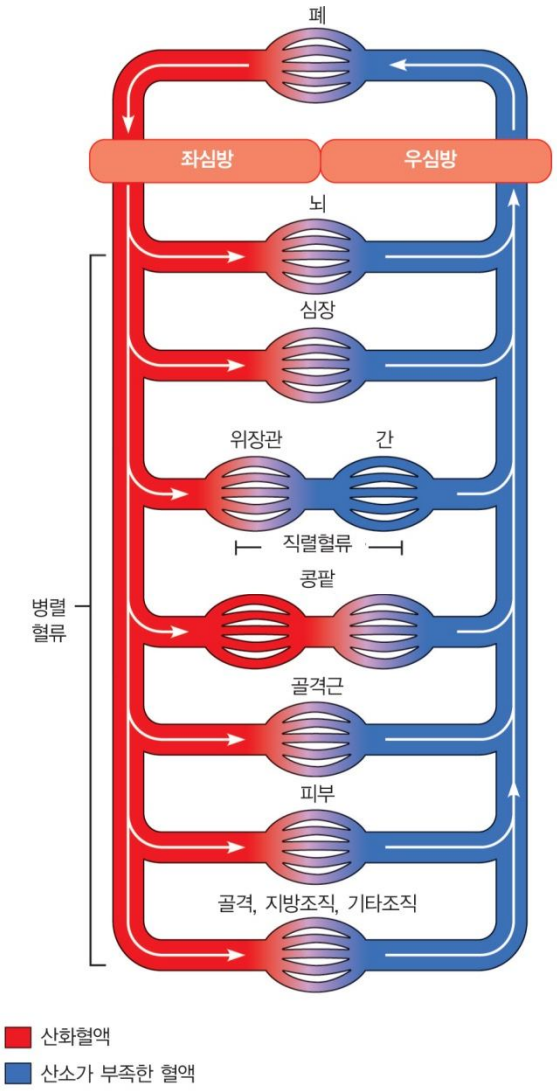


그림 13.3 심장혈관계의 혈류 형태. 체순환을 통한 각 기관으로의 혈류를 병렬 혈류라 한다.

관상동맥 순환

- 체순환에서 다른 기관들과 병렬로 연결됨
- 심장내 혈액은 심장근육에는 영양물질을 공급하지 않는다
- 심장은 자체 모세혈관을 가짐
- 대동맥에서 갈라져 생긴 관상동맥(좌우)이 심장모세혈관에 공급됨

관상동맥

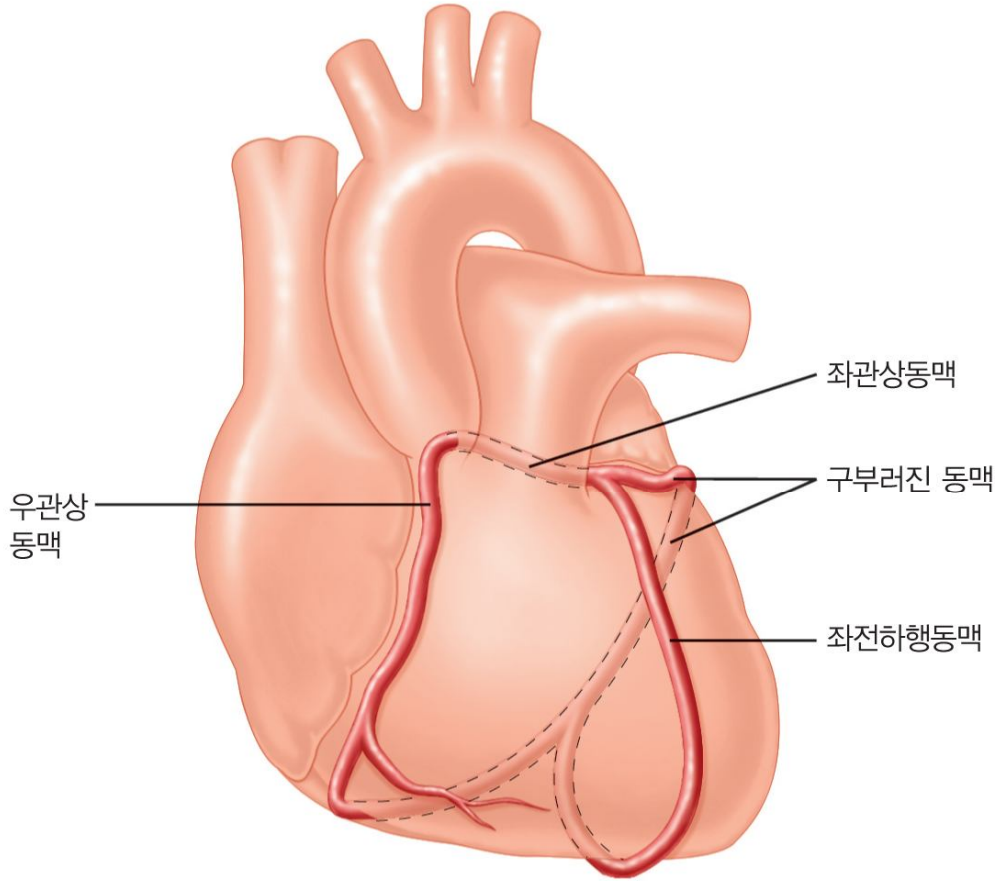
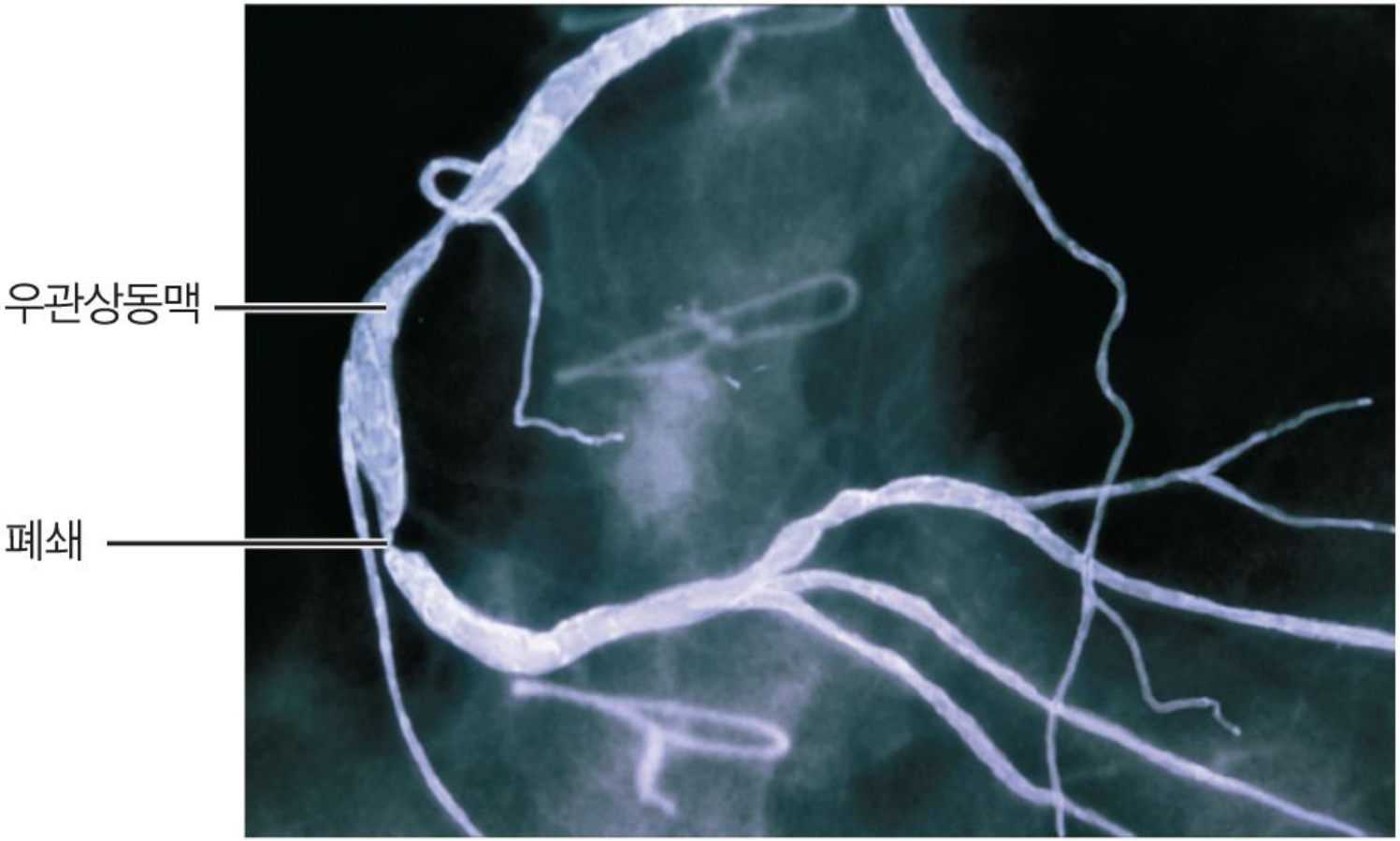


그림 13.4 관상동맥.

관상동맥



우관상동맥이 차단된 심장의 혈관조영도

III. 심장의 해부학적 구조

- 심근층과 심장벽
- 판막과 단일방향성 혈류

심장

- 흉강에 위치
  - 황격막이 흉강과 복강을 분리
- 주먹만한 크기
- 약 250–350 그램

심장의 위치

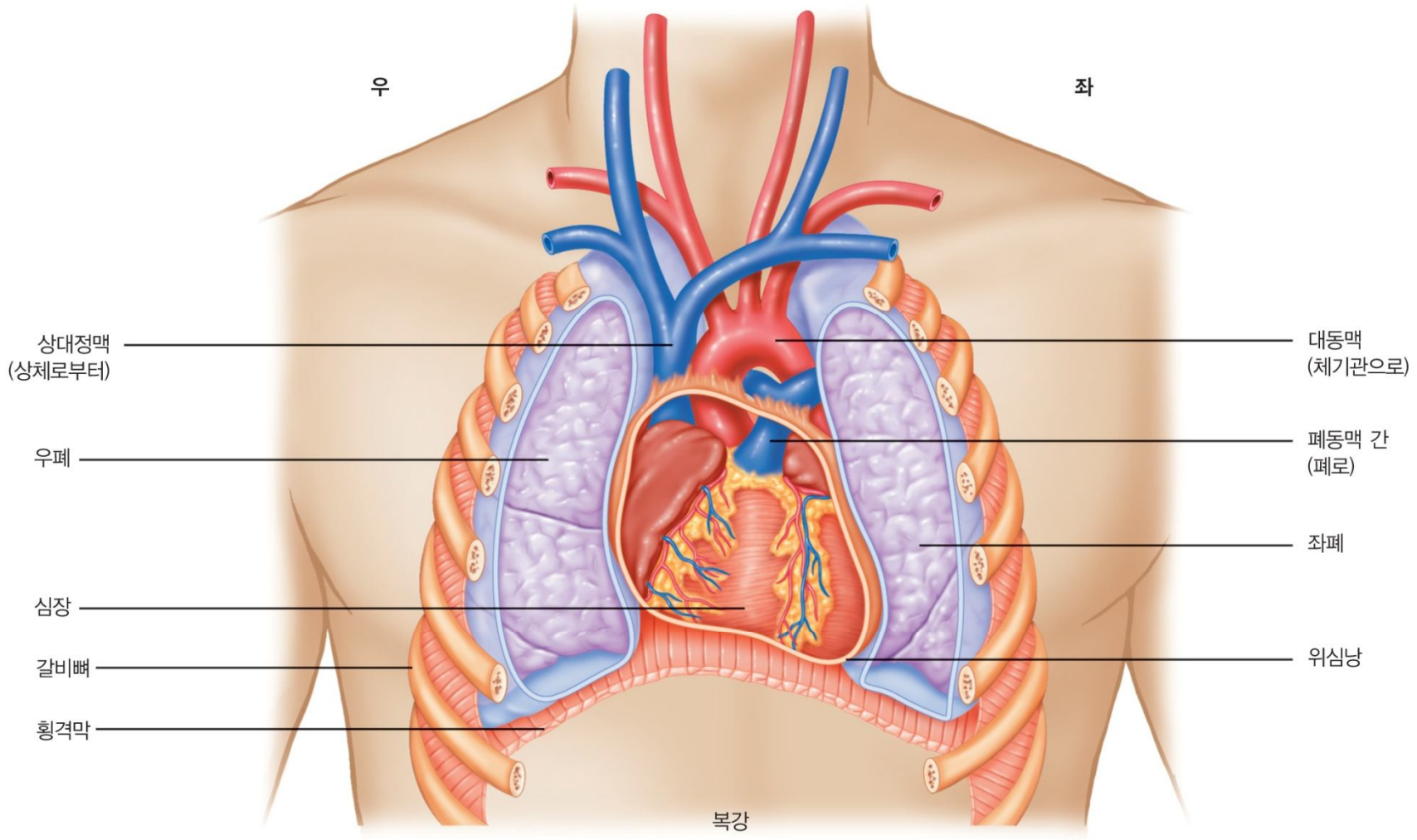


그림 13.5 흉강 안의 심장 위치. 심장, 갈비뼈, 횡격막 등의 상대적인 위치와 폐 및 심장과 연결된 주요혈관이 나타나 있다.

심장막

- 심장을 둘러싸는 막성 주머니
- 윤활액을 분비하여 마찰을 줄임
- 심막염(Pericarditis) =심장막의 염증

심근층과 심장벽

3층의 심근층

- 내막 (안쪽)
  - 내피층
- 심근층(중간)
  - 심장근
- 외막 (외부)
  - 외부의 막

심실근

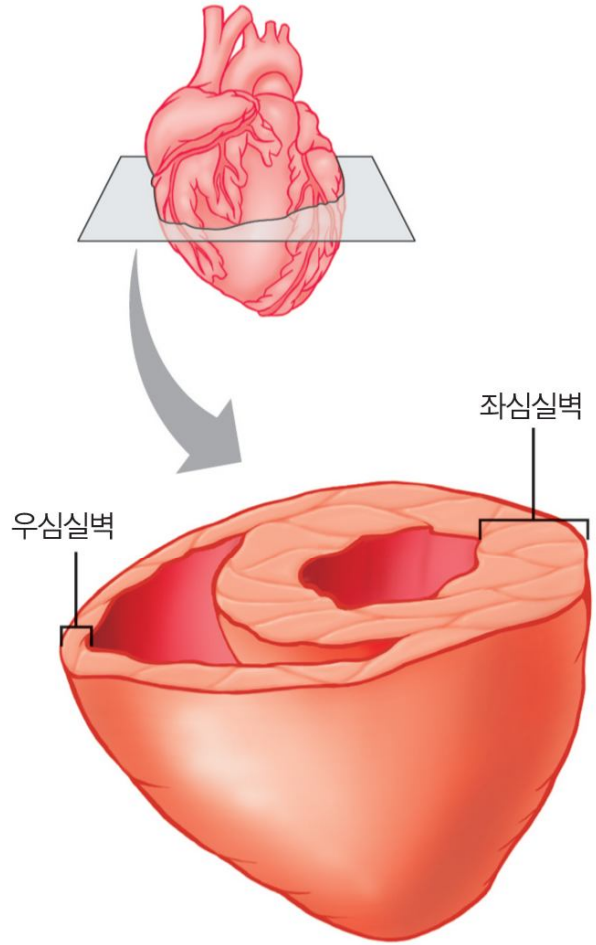


그림 13.6 좌심실근과 우심실근의 두께. 좌심실이 우심실보다 더 두껍기 때문에 혈액을 몸 전체로 내보내는 데 필요한 힘을 발생시킬 수 있다.

심장근육의 특징

- 골격근 세포보다 작다
- 가지가 많다
- 줄무늬가 있다

심장근육의 특징

- 개재판(Intercalated disks)
  - 간극연접(Gap junctions)
    - 심장이 하나의 단위로 수축을 하게함
  - 데스모좀(Desmosomes)
    - 장력을 견디게 함
- 심방과 심실
  - 분리되어 있음

심장근육의 특징

- 유산소성 근육
- 유아기 이후 세포분열을 안함—비대에 의한 성장
- 99% 수축성세포
- 1% 자동율동세포

심장근육의 기능

- 율동성 수축과 이완으로 심장의 펌프작용이 생긴다
- 수축으로 심장에서 혈액이 나와 혈관으로 들어감
- 이완은 심장이 혈액으로 채울 수 있는 공간이다

심박동

- 심장근의 수축파
- 심방은 한 단위로 수축
- 심실도 한 단위로 수축
- 심방수축이 심실수축으로 이어짐

판막과 단일방향성 혈류

- 심장 각방의 압력은 심박동에 따라 다양해진다
- 압력의 차이가 혈류를 흐르게 함
  - 높은 압력-> 낮은 압력
- 정상 혈류방향
  - 심방-> 심실
  - 심실-> 동맥
- 판막은 혈액의 역류 방지
- 모든 판막은 압력경사에 따라 수동적으로 열림

심장판막

- 방실판(AV valves)
  - 우측 방실판 =삼첨판(tricuspid valve)
  - 좌측 방실판 =이첨판(bicuspid valve, 승모판)
  - 유두근(Papillary muscles)과 건삭(chordae tendinae)
    - Keep AV valves from everting
- 반월판(Semilunar valves)
  - 대동맥판(Aortic valve)
  - 폐동맥판(Pulmonary valve)

방실판의 작용

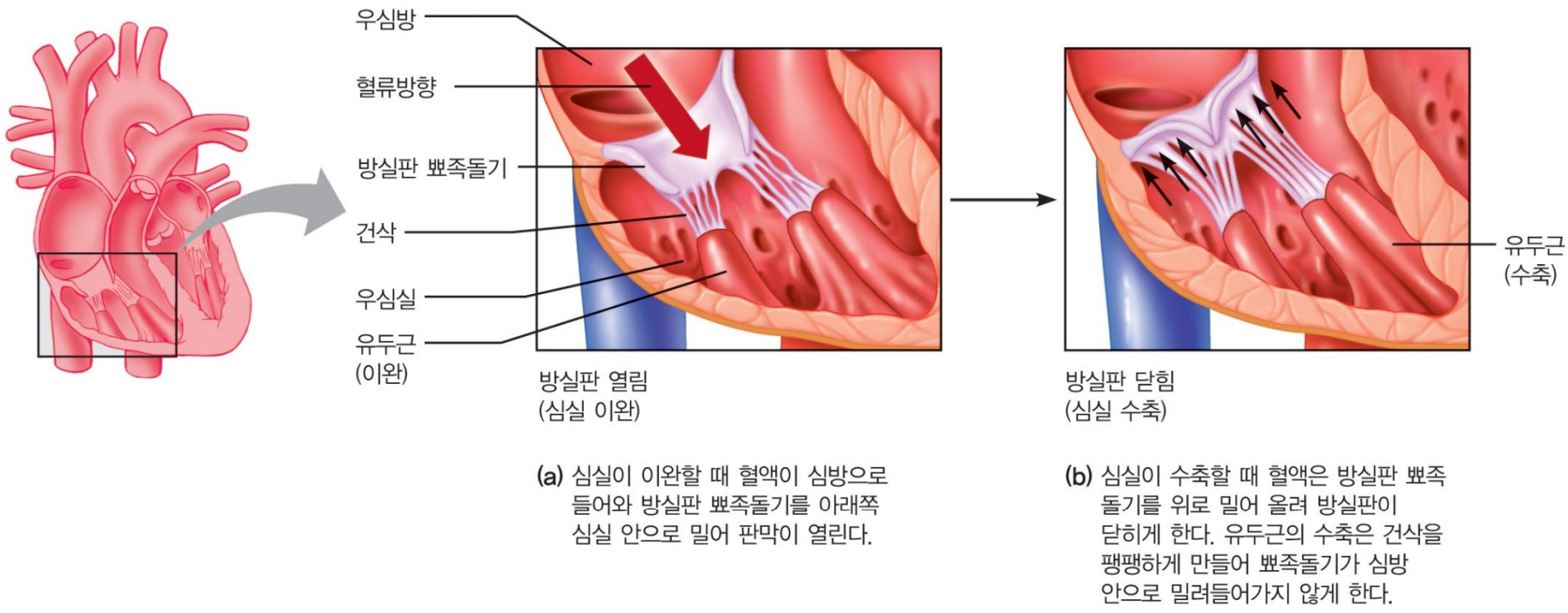


그림 13.7 방실판의 작용

반월판의 작용

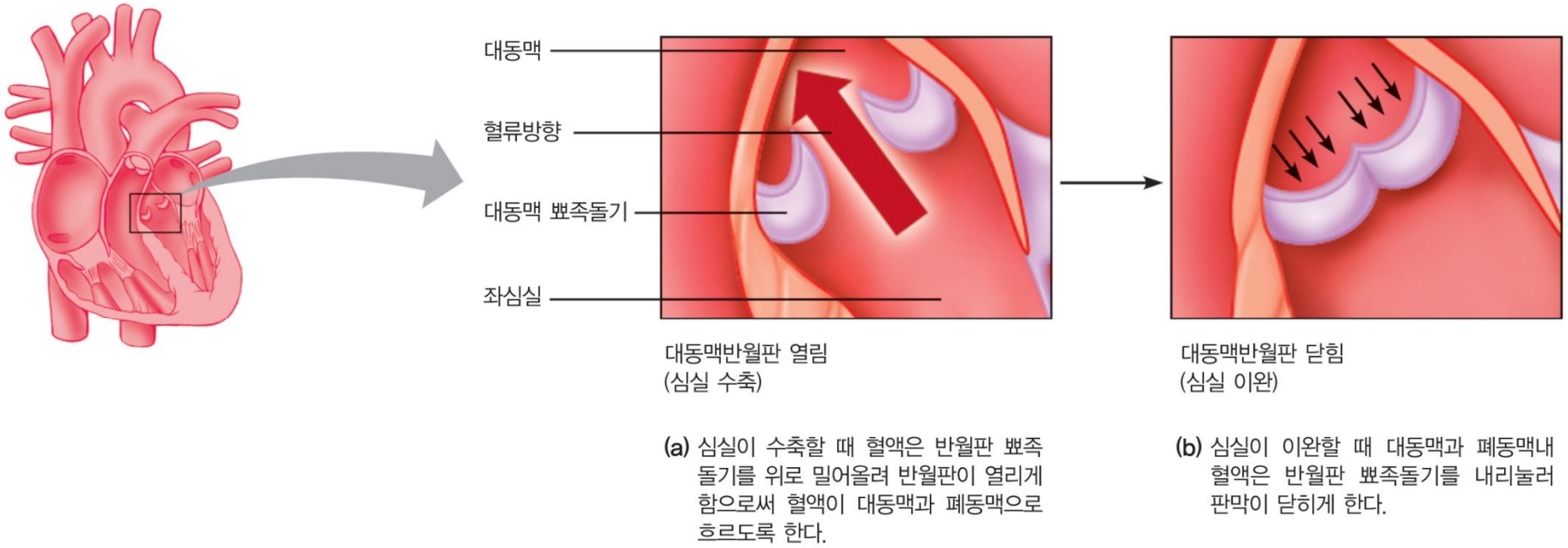


그림 13.8 반월판의 작용.

IV. 심장의 전기적 활성

- 심장의 전도계
- 심장근육을 통한 흥분의 전개
- 심장의 전기적 활성을 일으키는 이온의 이동
- 심장의 수축성 세포의 전기적 활성
- 심전도에 의한 심장의 전기적 활동의 기록

자동율동세포

자동율동성(Autorhythmicity): 심장이 주기적인 수축을 일으키는 신호를 발생시키는 능력

심장의 전도계

심장을 통해 흥분을 전달하는 자동율동세포로 구성된다

심장의 전도계

- 박동원세포(Pacemaker cells)
  - 막전위의 탈분극을 자발적으로 일으켜 활동전위를 발생시키는 세포
  - 조화롭게 심장의 리듬을 정함
- 전도섬유(Conduction fibers)
  - 박동원세포에서 시작된 활동전위를 빠르게 심근층으로 전달함
  - 전도속도 = 4 미터/초
  - 대부분의 심근섬유의 전도속도: 0.4 미터/초

심근층의 박동원세포

- 동방결절(Sinoatrial node)
  - 심장의 박동원세포
- 방실결절(Atrioventricular node)

심근층의 전도섬유

- 결절간 경로
- 방실속(히스속)
- 푸르키네섬유(Purkinje fibers)

자동율동세포

위치	안정시 신호발생율
동방결절	70–80 APs/min*
방실결절	40–60 APs/min
방실속	20–40 APs/min
푸르키네섬유	20–40 APs/min

Aps(활동전압/분)

- 심근세포는 간극연접(gap junction)에 의해 연결됨
- 가장 빠르게 탈분극된세포가 다른 세포를 조절함
- 가장 빠른 세포 =박동원세포

세포사이의 흥분전파

- 심방 수축 후 심실로 이어짐
- 간극연접이 있어 흥분파가 조화롭게 전도된다
- 개재판(Intercalated disks)
  - 인접한 근섬유 사이에 존재하는 연접장치
  - 기계적 압력을 견딜수 있는 데스모좀을 포함하고 있다
  - 전기신호전달을 위한 간극 연접

신근세포 사이의 전기적 연접

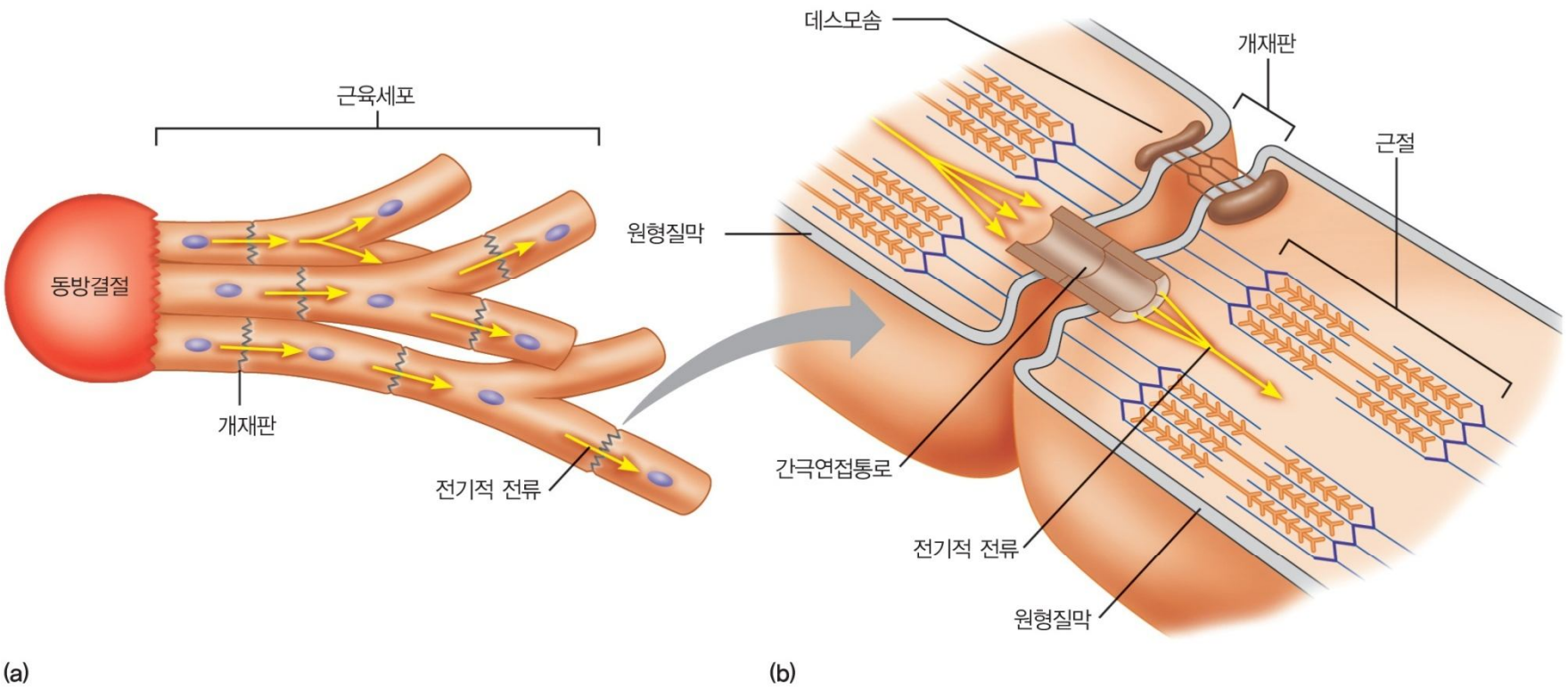


그림 13.9 심근세포 사이의 전기적 연접. **(a)** 동방결절세포에서 자발적으로 발생한 활동전위는 개재판에 있는 간극연접을 통해 전류의 형태로 인접한 근육세포에 퍼져나간다. **(b)** 두 인접한 근육세포 사이의 연접률을 나타내는 그림으로 간극연접과 데스모솜이 보인다.

심장의 전도계

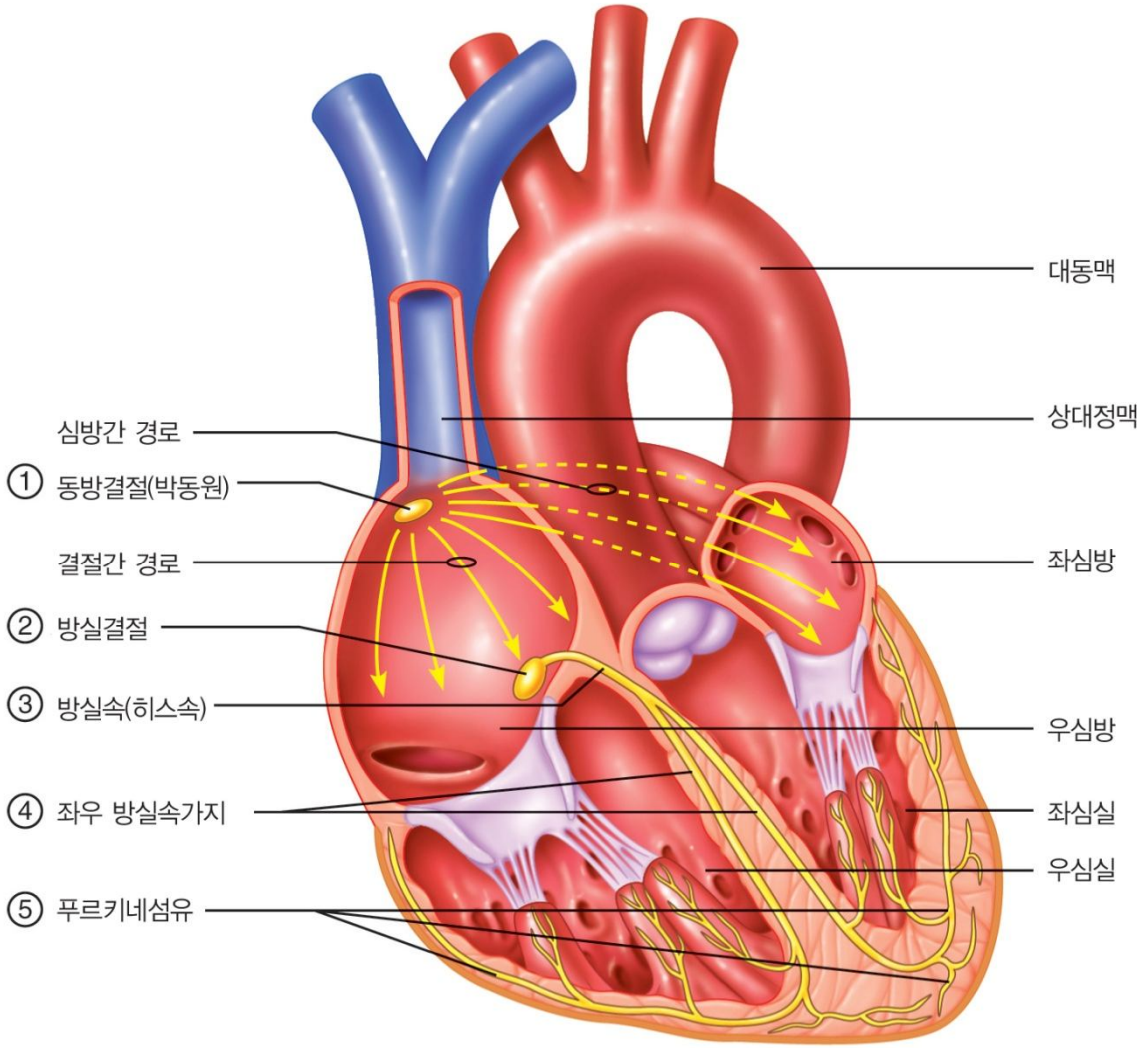


그림 13.10 심장의 전도계. 심장을 통해 충격이 전도되는 경로가 나타나 있다.

충격전도

- 심방간 경로
  - 동방결절 → 우심방→ 좌심방
  - 신속함
  - 좌우심방이 동시에 수축
- 결절간 경로
  - 동방결절 → 방실결절
- 방실결절로 전달
  - 심방에서 심실로 전도되는 것
  - 느린 전도 – 방실결절 지연 = 0.1초
  - 심실로 전달되기 전 심방수축

충격전도

심실의 충격전도

- 방실속으로 내려가
- 푸르킨예 섬유로 올라감
  - 푸르킨예 섬유는 심실수축세포와 연결됨
  - 충격이 심첨으로 부터 위쪽으로 퍼져나가 심실이 수축

탈분극의 전파경로

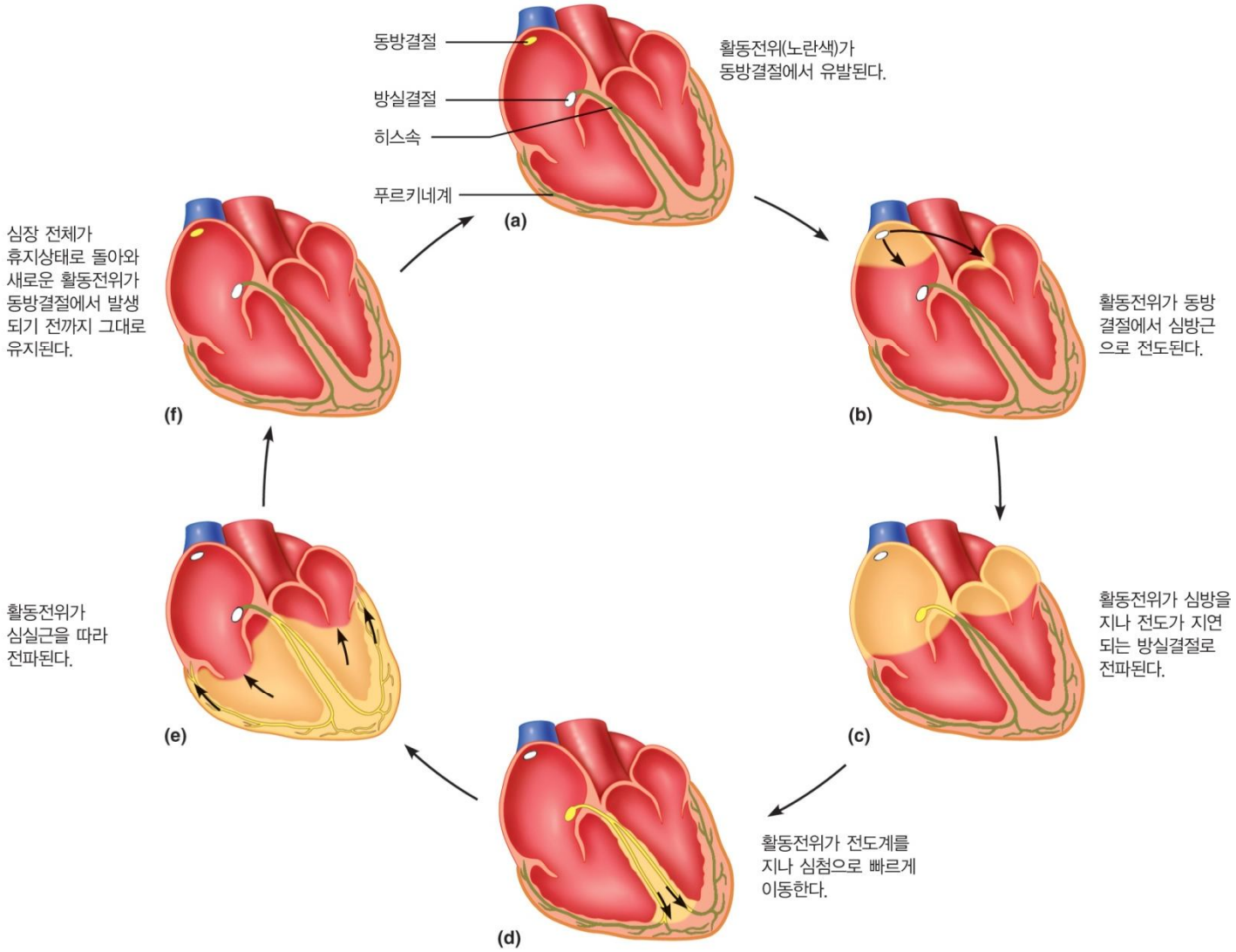


그림 13.11 **심장을 통한 활동전위의 전파.** 단일 심박동이 일어나는 동안 전기적으로 흥분되는 순서가 **(a)** 동방결절의 탈분극으로부터 시작하여 **(f)** 휴지상태로 돌아온다.

박동원에 의한 심박동의 조절

- 자율율동세포는 박동원전위를 갖고있다
- 칼륨통로가 닫히고 2종류 통로가 열리면서 자발적탈분극이 일어남
  - 2종류의 열리는 통로
    - : Na^+ 와 K^+일 경우 탈분극이 일어남
    - Ca^{2+} 통로의 경우: 탈분극의 효과 증가

박동원에 의한 심박동의 조절

- 역치까지의 탈분극
  - 빠른 Ca^{2+} 통로를 열어—활동전압유발
- 재분극
  - K^{+} 통로가 열림

전기적 활성: 박동원세포

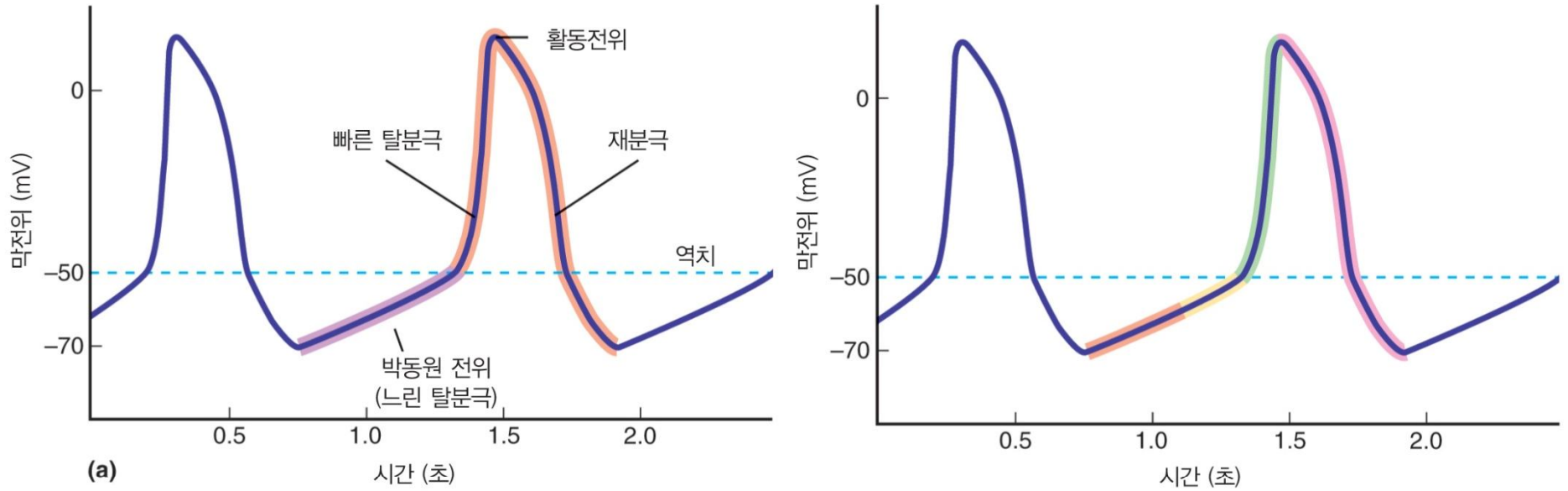


그림 13.12 **박동원세포의 전기적 활성.** **(a)** 활동전위와 박동원 전위를 나타낸 막전위 기록. **(b)** 박동원세포에서 전위변화를 초래하는 막투과성의 변화. 자발적 탈분극의 초기 동안(오렌지색) P_K는 감소하고 P_{Na}는 감소한다. 자발적 탈분극의 후기 동안(노란색) P_{Ca}는 증가하고 P_{Na}는 감소한다. 빠른 탈분극(초록색) 동안 P_{Ca}는 더욱 증가한다. 재분극기간(분홍색) 동안 P_{Ca}는 감소하고 P_K는 증가한다.

전기적 활성: 박동원 세포

표 13.1 자동율동성 세포의 활동전위에서 이온의 이동

자동율동성 세포의 전위변화	이온통로의 개폐	이온의 이동
박동원 전위		
준역치에 이르는 자발적 탈분극의 초기	기묘한 통로 열림	나트륨 유입, 칼륨 유출
역치에 이르는 자발적 탈분극의 후기	T형 칼슘통로 열림	칼슘 유입
활동전위의 빠른 탈분극기	L형 칼슘통로 열림	칼슘 유입
활동전위의 재분극기	칼륨통로 열림	칼륨 유출

수축성 세포의 활동전위

- 5단계
  - 0단계—나트륨에 대한 투과성 증가
  - 1단계—나트륨에 대한투과성 감소
  - 2단계—칼슘에 대한 투과성 증가, 칼륨에 대한 투과성 감소
  - 3단계—칼륨에 대한 투과성 증가, 칼슘에 대한 투과성 감소
  - 4단계—휴지막전위

수축성 세포의 활동전위

- 활동전위의 지속시간 = 250–300 밀리초
  - (골격근만 1–2 밀리초)

수축성 세포의 활동전위

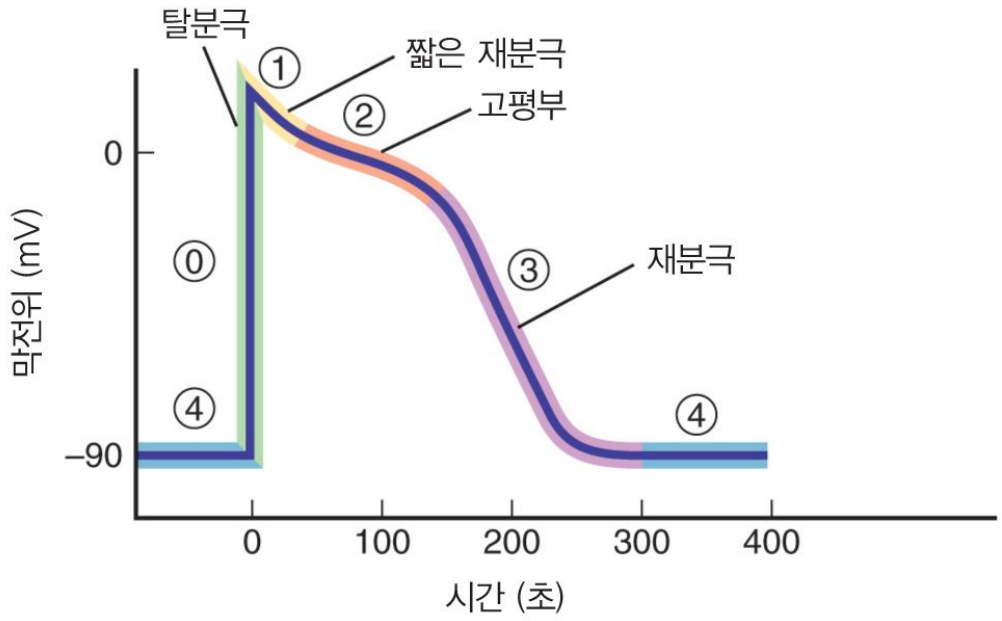


그림 13.13 심장의 활동전위. 심실근세포에서 기록된 활동전위. P_{Na}는 0기(녹색) 동안 증가하고, 1기(노란색) 동안 감소한다. 2기(오렌지색) 동안 P_{Ca}는 증가하고 P_K는 감소한다. 3기(보라색) 동안 P_{Ca}는 감소하고 P_K는 감소한다. 4기(파란색) 동안 모든 이온통로는 휴지상태(P_K는 높고 P_{Ca}와 P_{Na}는 낮다)다.

수축성 세포의 전기적 활성

표 13.2 수축성 세포의 활동전위에서 이온의 이동

수축성 세포의 활동전위의 각 시기	이온 통로의 개폐	이온의 이동
0 빠른 탈분극	나트륨 통로 열림	나트륨 유입
1 작은 재분극	나트륨 통로 불활성화	나트륨 유입 감소
2 고평기	칼륨 내향성 정류기 통로 닫힘	칼륨 유출 감소
	칼슘 L형 통로 열림	칼슘 유입
3 재분극	칼륨 내향성 정류기 통로 열림	칼륨 유출
	칼슘 L형 통로 닫힘	칼슘 유입 감소
4 휴지전위	칼륨통로 열림	칼륨 유출
	나트륨 통로와 칼슘통로 닫혀 있음	나트륨과 칼슘이온 거의 유입되지 않음

심장 수축성 세포에서의 흥분-수축 짝지음

- 골격근과 비슷한 특징
  - T소관
  - 근소포체의 칼슘
  - 트로포닌-츠로포미오신의 조절
- 평활근과 비슷한 특징
  - 간극연접
  - 세포외액의 칼슘

흥분-수축 짝지음의 단계

1. 심근의 수축성 세포의 탈분극 전류가 간극연접을 통해 역치까지 전파
2. 원형질막의 칼슘통로가 열림
3. AP가 T소관으로 내려감

Steps of Excitation-Contraction Coupling

4. 근소포체에서 칼슘이 방출됨
    - 칼슘-유도 캄슘방출에 의해
    - T소관의 활동전위에 의해
5. 칼슘이 트로포닌과 결합하여 트로포미오신의 변화를 유도
6. 액틴의 미오신 결합부위가 노출됨
7. 교차다리의 주기가 일어남

흥분-수축 짝지음

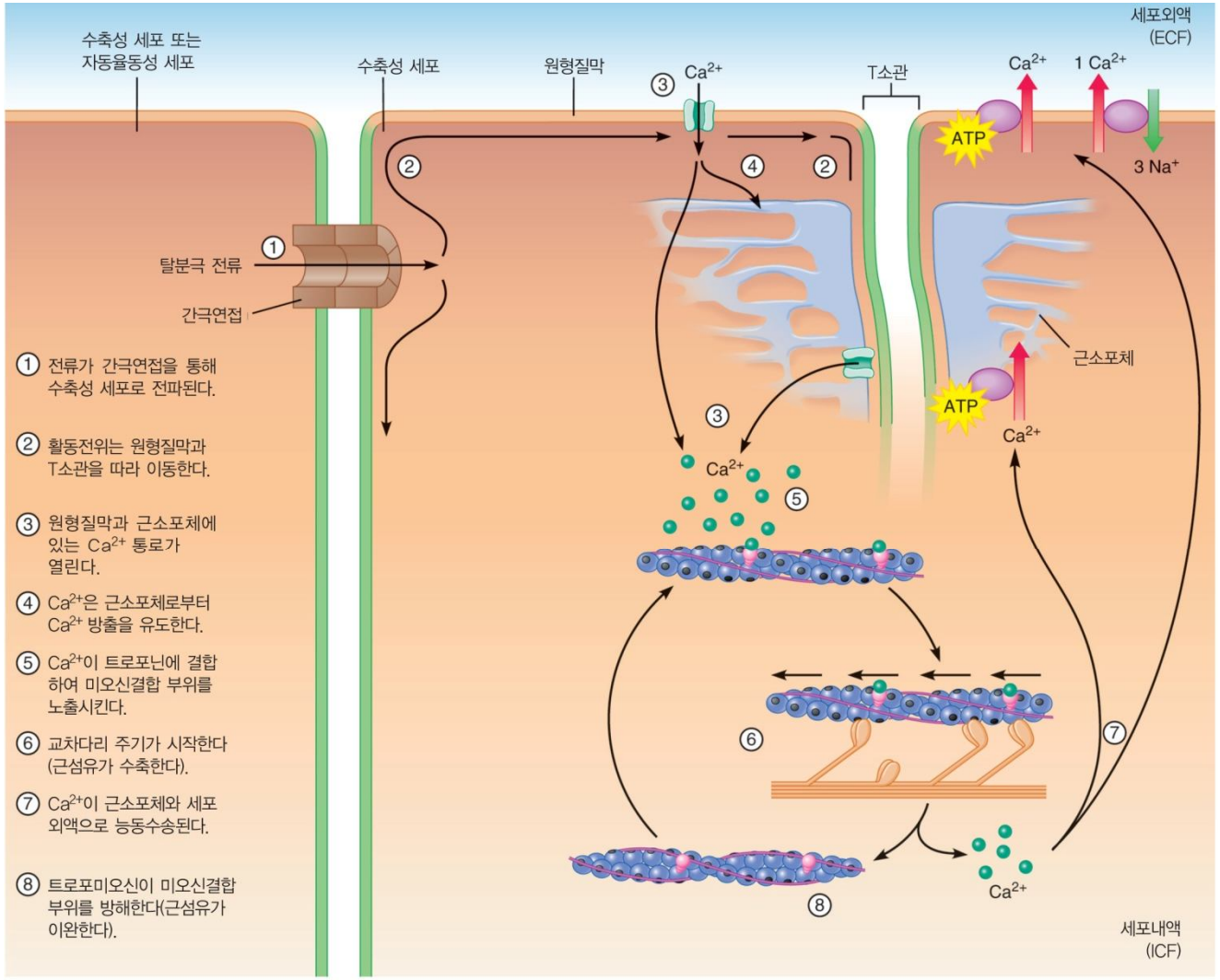


그림 13.14 흥분-수축 짝지음. 심근은 간극연접을 통하여 탈분극전류가 전파되어 흥분된다. 탈분극은 원형질막과 근소포체에서 칼슘통로의 개방을 일으킨다. 칼슘은 트로포닌에 결합하여 교차다리 주기가 일어날 수 있도록 한다. 칼슘이 세포질로부터 근소포체와 간질액으로 이동하여 수축을 끝낸다.

심장근의 이완

- 세포질에서 칼슘이 제거되어 이완된다
  - 근소포체의 Ca^{2+} ATP분해효소에 의해
  - 원형질막의Ca^{2+} 분해효소에 의해
  - 원형질막의 Na^{+}-Ca^{2+} 교환기에 의해
- 트로포닌과 트로포미오신은 액틴의 미오신 결합부위를 다시 덮는다

심장의 전기적 활동

- 피부에 올려놓은 전극에 의해 기록됨
- 비침습성 방법
- 심장의 전기적 활동에 문제가 있는지 임상적으로 측정하는데 이용

심전도

심장의 적기적 활동을 피부표면에서 측정하는 것

- 신체 =전도체
  - 몸에 흐르는 전류는 피부를 통해 퍼져나감 (ECG, EMG, EEG)
- 퍼져나가는 거리와 크기는 전기적 활성과 동시성에 달려있다
- 심장의 전기적 활성—큰 동시성을 가짐

에인트호벤 삼각형

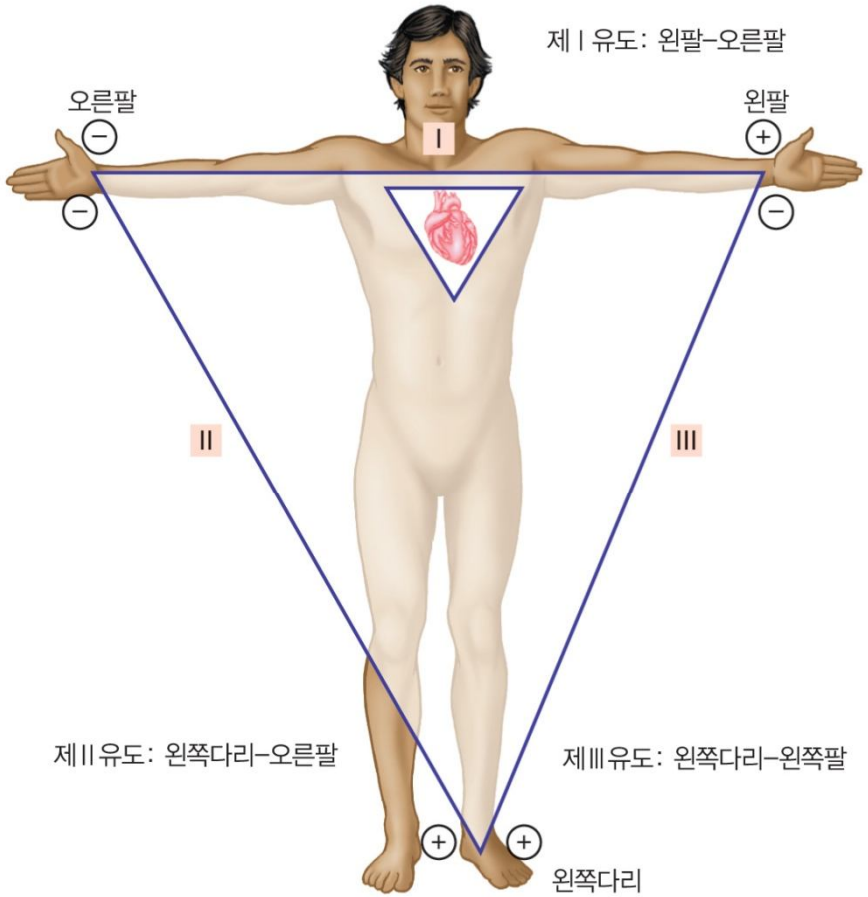
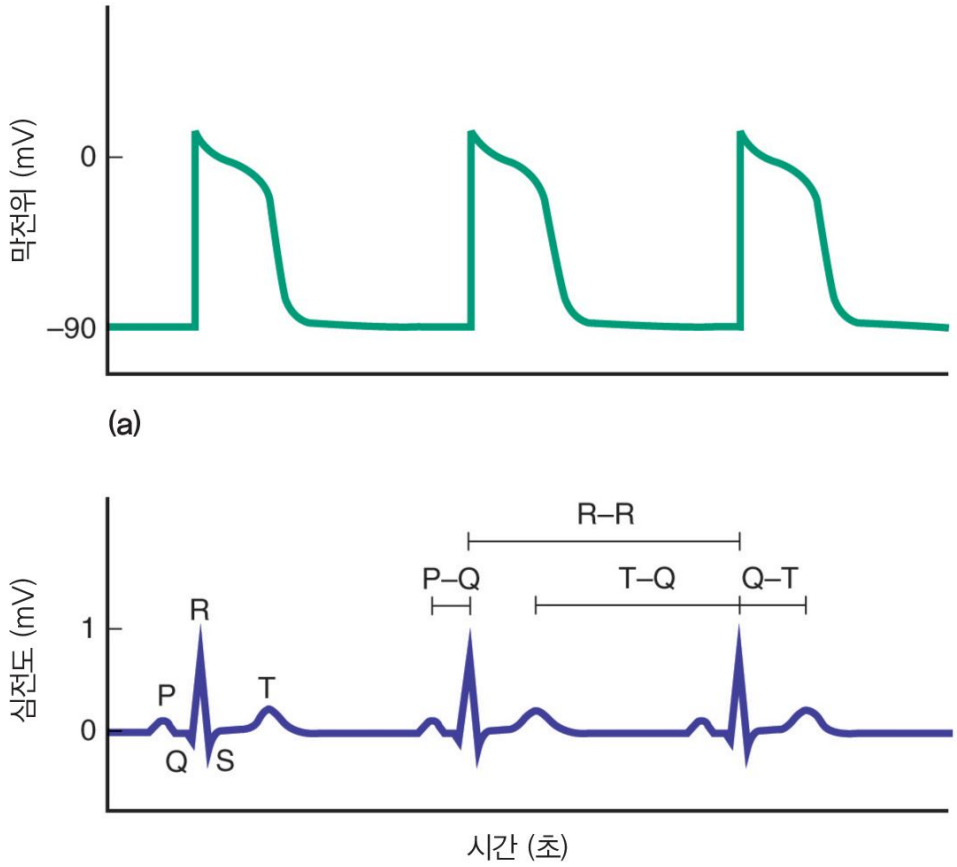


그림 13.15 **에인트호벤 삼각형.** 세 개의 전극을 심장을 중심으로 등변삼각형이 되도록 팔다리에 장치한다.

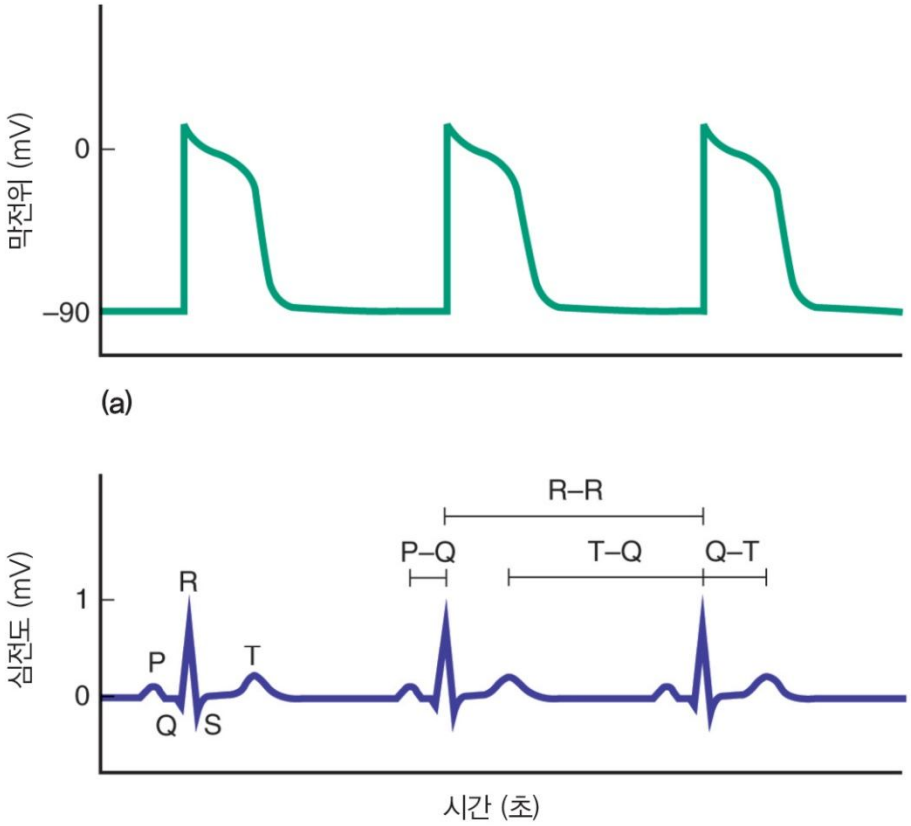
- 제 I유도: LA (+) and RA (-)
- 제 II유도:LL (+) and RA (-)
- 제 III유도: LL (+) and LA (-)

심장의 전기적 활동

- P 파: 심방의 탈분극
- QRS 복합파: 심실의 탈분극과 심방의 재분극
- T 파: 심실의 재분극
- PQ 간격: 방실결전 지연
- QT 간격: 심실의 수축시간
- TQ분절:심실의 이완기



심장의 전기적 활동



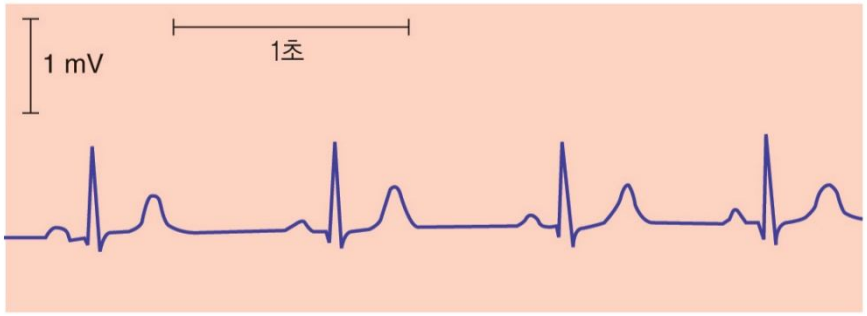
구성요소	크기(mV)	기간(초)
P파	0.2	0.10
QRS 복합파	1.0	0.08~0.12
T파	0.2~0.3	0.16~0.27
P–Q 간격	N/A	0.12~0.21
Q–T 간격	N/A	0.30~0.43
T–Q 분절	N/A	0.55~0.70
R–R 간격	N/A	0.85~1.00

(b)

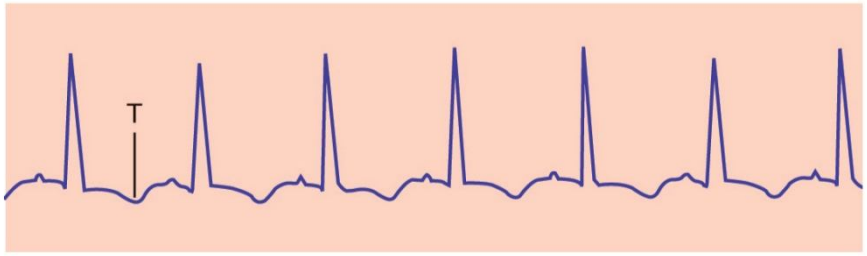
그림 13.16 심장의 전기적 활동. (a) 심실수축성 세포에서 막전위기록. **(b)** 제 II 유도 심전도 기록. 표에 심전도의 파, 간격, 분절 등의 정상값이 나타나 있다.

부정맥: 비정상적 심전도

정상



동빈맥(T파가 거꾸로 됨)



동서맥



- 동빈맥=
  동방결절에서 생김
- 비정상 맥
  - 빈맥(Tachycardia)
    = 박동이 빠름
  - 서맥(Bradycardia)
    =박동이 느림

제1도 방실차단

방실결절을 통한 전도가 늦어져 다양한 방실차단이 나타날 수 있다

제1도 방실차단

- PQ 간격의 증가
- 심방과 심실 수축사이의 지연이 길어짐

제2도 방실차단

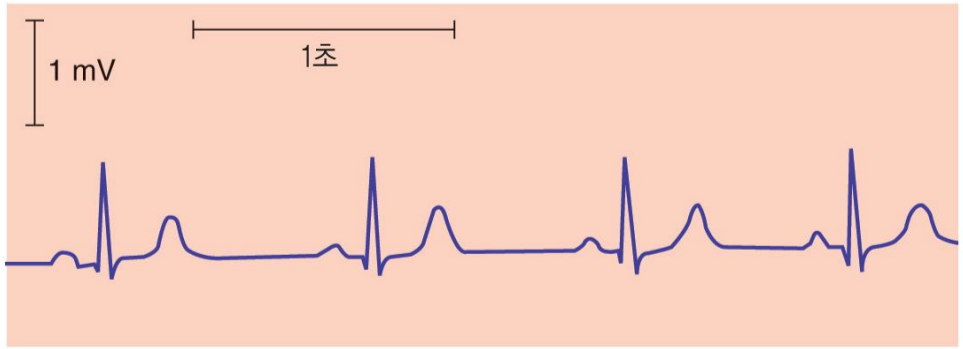
방실결절을 통한 전도가 느리거나 일어나지 않음

제2도 방실차단

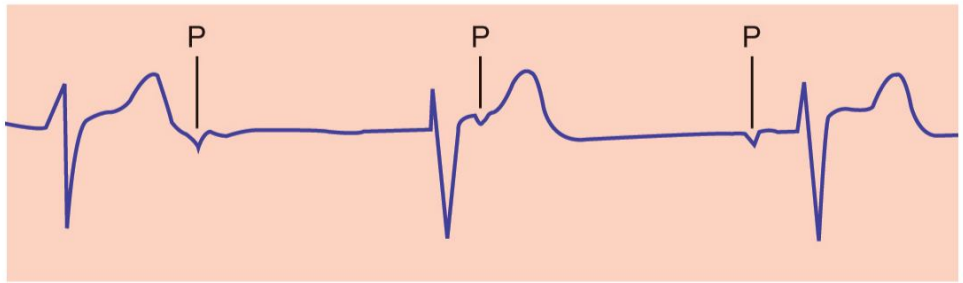
- P파와 QRS복합파 간의 1:1 관계 소실
- 심방수축과 심실수축사이의 1:1관계 소실

제3도 방실차단

정상



제3도 방실차단



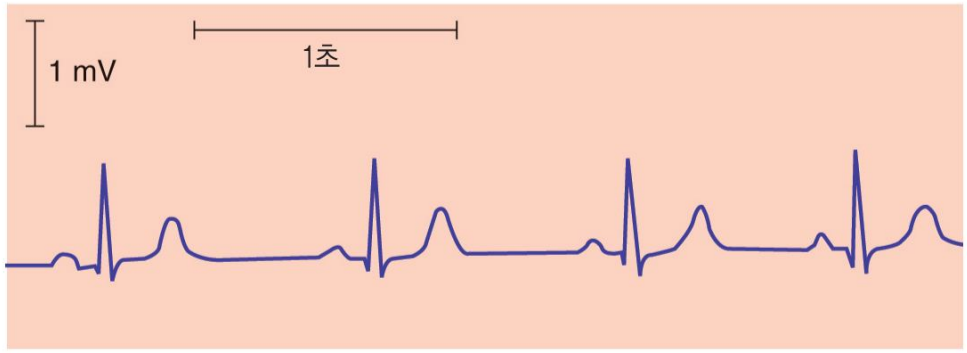
제3도 방실차단

방실경절을 통한 전도가 일어나지 않음

- P파가 QRS와 완전 분리되어
- 심방과 심실 수축이 분리된다

부정맥:주기외수축

정상



조기심방수축(PAC)

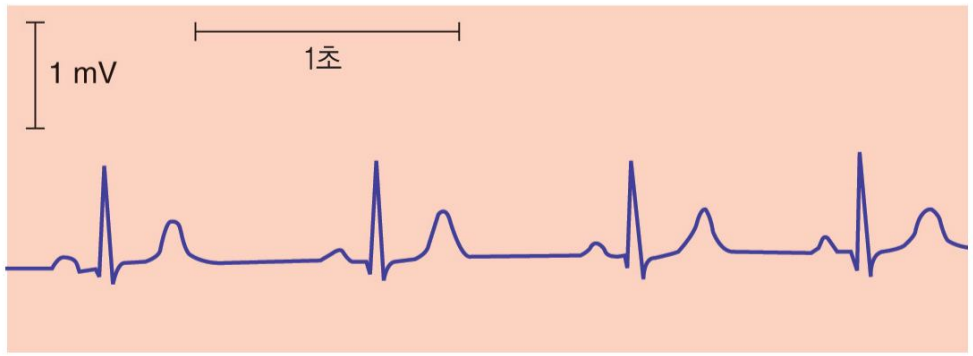


주기외수축

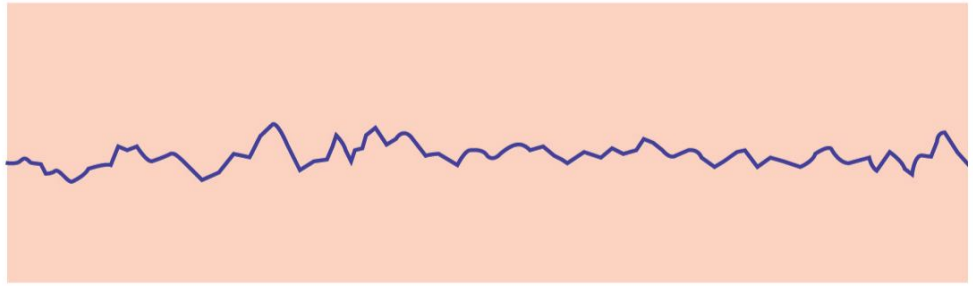
- 전도경로 밖에서 일어나는 수축
- PAC(조기심방수축) = 너무 이른 심방수축으로, 이어서 심실수축이 나타남

부정맥: 심장질환

정상



심실세동



심실세동

- 심장의 전기신호를 잃는것
- 죽음:세동이 제거되지 않으면 수분 내 죽음