15장 혈류와 혈압 조절

- 혈관과 혈압
- 세동맥의 저항
- 조직으로의 혈액분배
- 심혈관 기능의 조절
- 모세혈관에서 일어나는 물질교환
- 림프계
- 심혈관질환

혈관

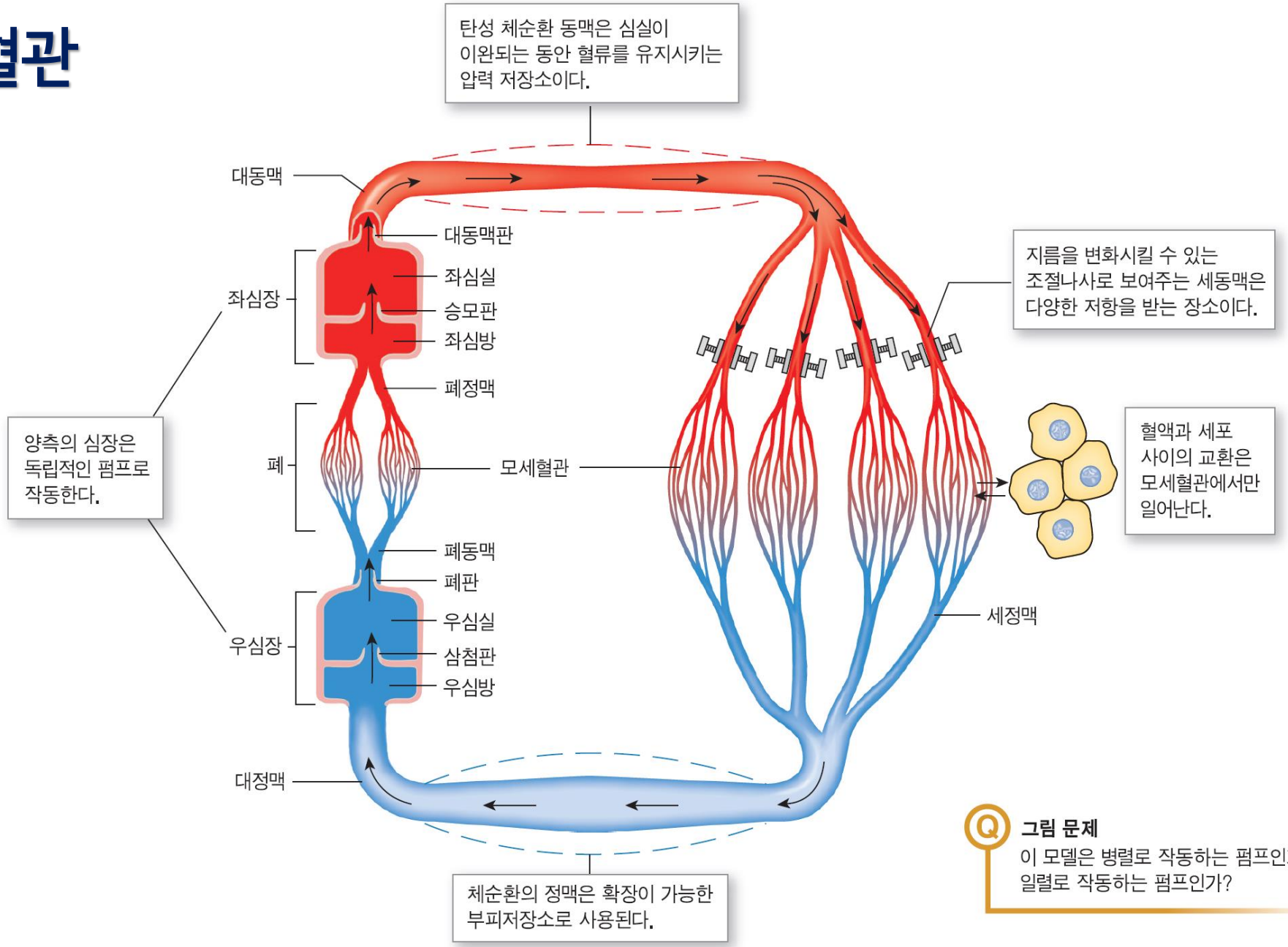
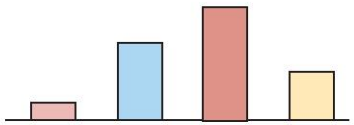
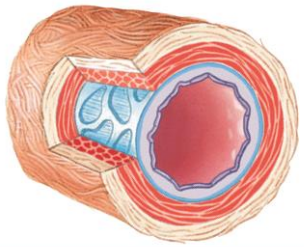
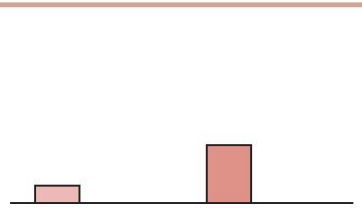
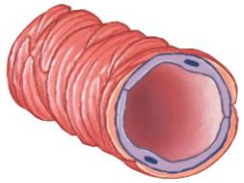
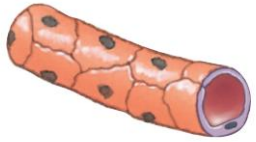
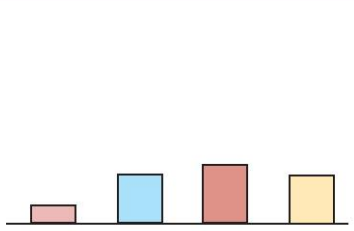


그림 문제

이 모델은 병렬로 작동하는 펌프인가? 일렬로 작동하는 펌프인가?

혈관

	평균 지름	평균 벽두께	내피층 탄성조직 평활근 섬유조직	
동맥	0.1-10+ mm	1.0 mm		
세동맥	10-100 μm	6.0 μm		
모세혈관	4-10 μm	0.5 μm		
세정맥	10-100 μm	1.0 μm		
정맥	0.1-100+ mm	0.5 mm		

혈관은 혈관평활근을 갖고 있다

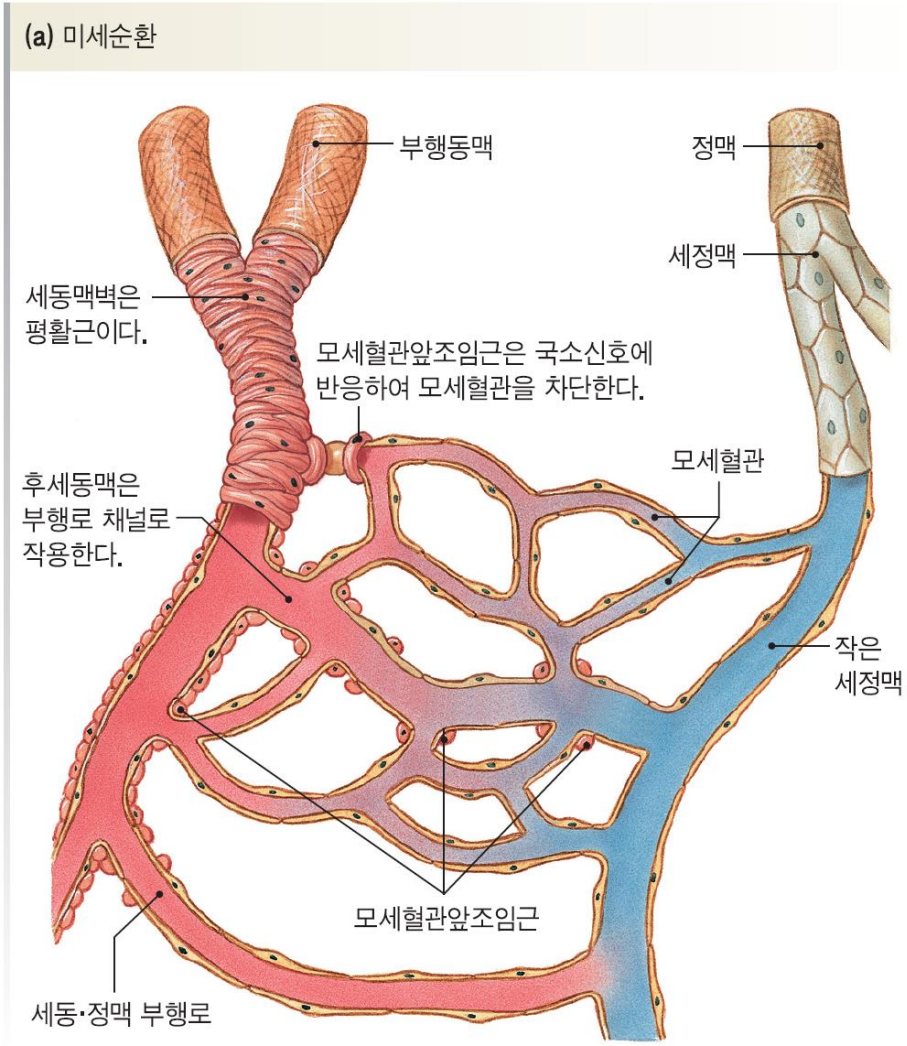
혈관평활근

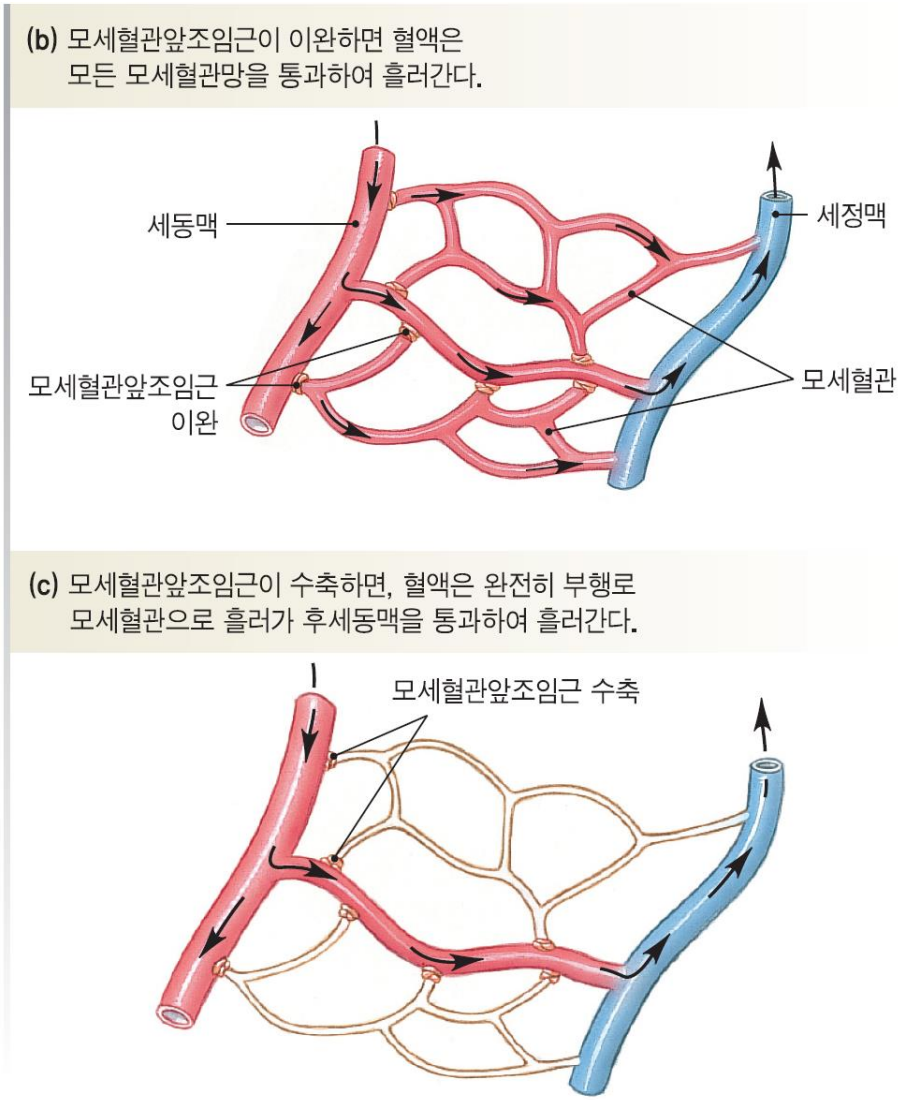
- 대부분의 혈관에는 원형 또는 나선형으로 배열된 평활근
- 혈관 수축(vasoconstriction): 혈관 내부의 지름을 좁히는 것
- 활관 확장(vasodilation): 혈관 내부의 지름을 넓히는 것
- 대부분의 혈관에서 평활근 세포는 항상 부분적으로 수축된 상태를 유지하여 근육 긴장을 현성
- Ca^{2+} 채널을 통하여 세포 외액에서 세포 내부로 들어가는 칼슘 유입에 의하여 수축
- 신경전달물질, 호르몬, 주변분비(paracrine)에 영향

동맥과 세동맥은 혈액을 심장으로부터 멀리 운반한다

- 대동맥과 주요 동맥은 단단하면서 탄력있는 벽으로 구성
- 섬유조직은 매우 단단하여 동맥벽을 팽창시키려면 상당한 에너지가 필요 (←좌심실에서 방출되는 고압력의 혈액)
- 동맥의 확장 → 에너지는 찬성 수축으로 방출
- 혈류가 가지 친 형태로 분산
- 동맥이 작아질수록 혈관의 벽의 탄성은 줄고 근육이 많아짐
- 동맥 → 세동맥 → 모세혈관

동맥과 세동맥은 혈액을 심장으로부터 멀리 운반한다





혈액과 간질액 사이의 교환은 모세혈관에서 일어난다

- 모세혈관은 심혈관계에서 가장 작은 혈관
- 혈액과 간질액의 교환: 모세혈관과 모세혈관 후세정맥
- 평활근, 탄성조직, 섬유조직 없음 → 물질교환 가능
- 기저막(기저층, basal lamina): 한 층의 편편한 내피층

- 혈관주변세포(pericyte)와 결합, 모세혈관 투과성 억제
- 혈뇌장벽(BBB)은 혈관주변세포가 밀착이음 형성
- 모세혈관 성장에 영향을 주는 인자 분비, 세포 분화 관여
- 당뇨병망막증: 망막에 있는 모세혈관 주위의 혈관주변세포 손실로 인한 시력 손실

혈류는 세정맥과 정맥으로 합류한다

- 모세혈관 → 세정맥 → 정맥
- 평활근은 큰 세정맥에서 나타나기 시작 (너무 작은 세정맥 X)
- 심장 쪽으로 갈수록 정맥의 지름↑, 대정맥은 우심방으로
- 판막: 혈액 역류 방지, 대정맥에는 판막이 없음
- 정맥은 동맥보다 多 지름↑ 부피↑→ 순환계의 혈액의 반이 정맥에 존재
- 동맥보다 벽 두께↓, 탄력성↓→ 쉽게 확장됨
- 혈액 채취할 때 정맥에서 압박붕대를 사용

혈관형성은 새로운 혈관을 형성한다

혈관형성(angiogenesis): 새로운 혈관이 발달하는 것

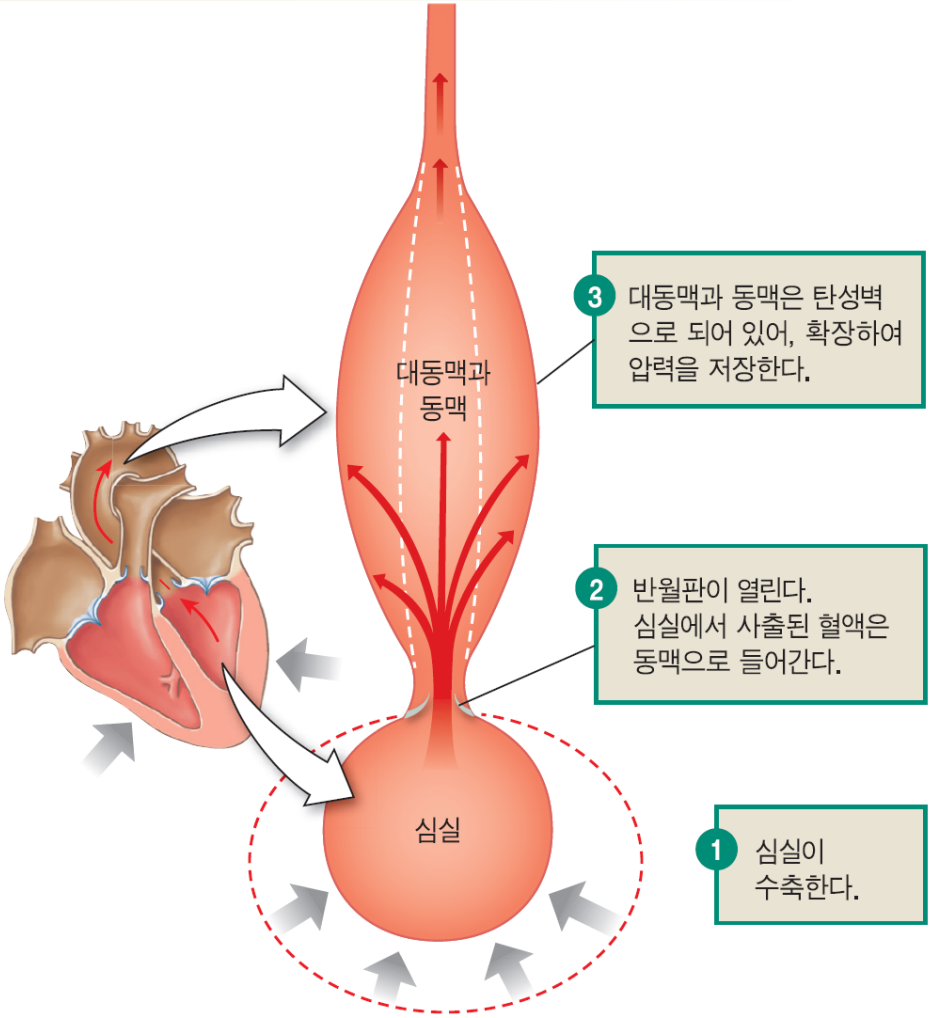
- 성장, 상처 치유, 월경 후의 자궁벽 성장 등
- 심장이나 골격근으로 가는 혈액 공급 증가
- 악성종양에서 매우 활발

혈관형성유발인자와 항혈관형성인자는 길항작용으로 조절

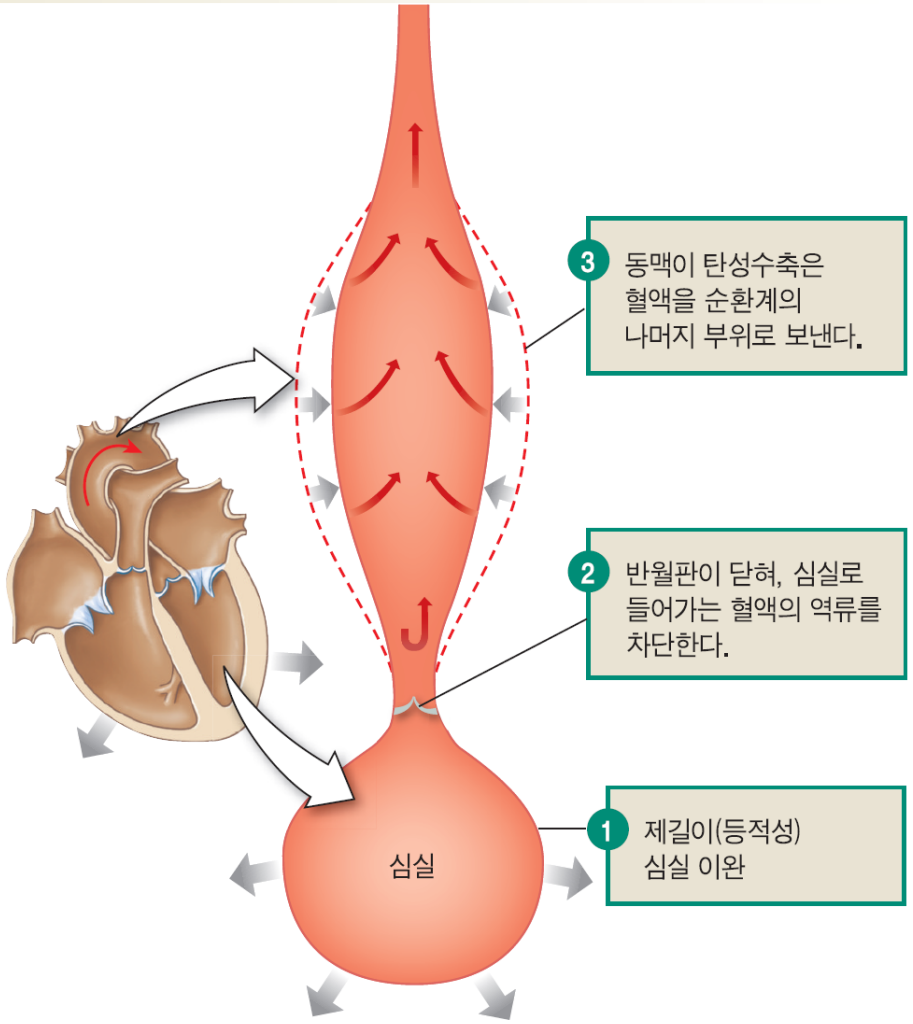
- 혈관내피성장인자(VEFG), 섬유모세포성장인자(FGF): 혈관형성 촉진, 혈관주변세포에서 생산
- 앤시오타틴, 엔도스타틴: 혈관형성 억제
- 관상심장질환: 혈관형성 유도

혈압

(a) **심실 수축.** 심실이 수축하면 혈액을 탄성동맥으로 밀어내고, 동맥이 신장하도록 한다.



(b) **심실 이완.** 심실 확장기 동안, 동맥에서 탄성수축은 추진압을 유지한다.



혈압

표 15-1 심혈관계의 압력, 유동 및 저항

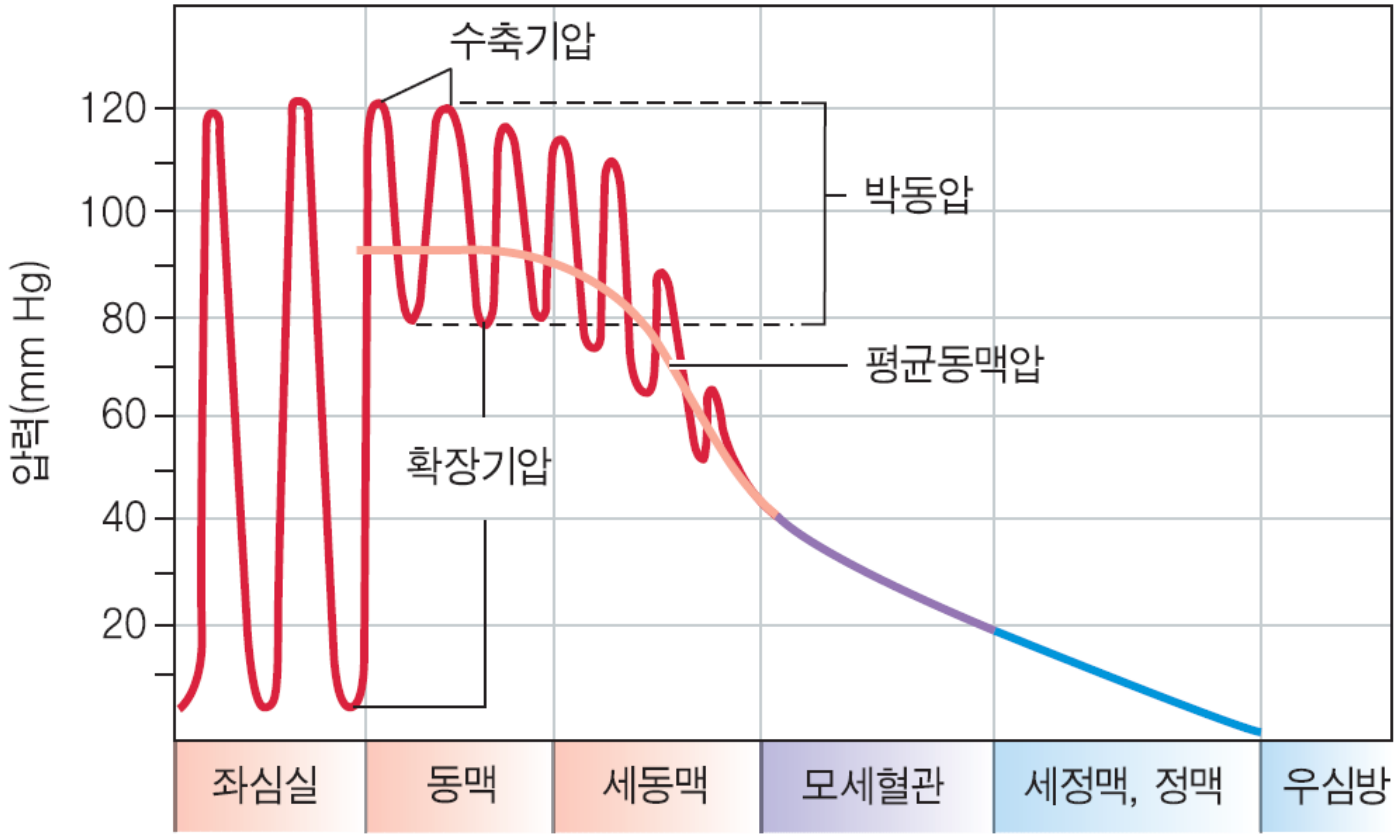
유동 ∝ ΔP/R

1. 혈액은 압력기울기(ΔP)가 존재할 때 흐른다.
2. 혈액은 압력이 높은 부위에서 낮은 부위로 흐른다.
3. 혈류는 계의 저항(R)에 반대 방향이다.
4. 저항에 영향을 주는 세 가지 요인은 순환계의 길이, 혈관의 반지름 그리고 혈액의 점도이다.
5. 유량은 일반적으로 분당 리터 또는 밀리리터(L/분 또는 mL/분)로 표현한다.
6. 유속은 일반적으로 분당 센티미터(cm/분)나 초당 밀리미터(mm/초)로 나타낸다.
7. (유량이 일정할 때) 유속을 결정하는 1차 요인은 혈관의 총 절단면이다.

혈압은 동맥에서 가장 높고 정맥에서 가장 낮다

박동압 = 수축기압 - 확장기압

평균 동맥압 = 확장기압 + 1/3(박동압)



혈압은 동맥에서 가장 높고 정맥에서 가장 낮다

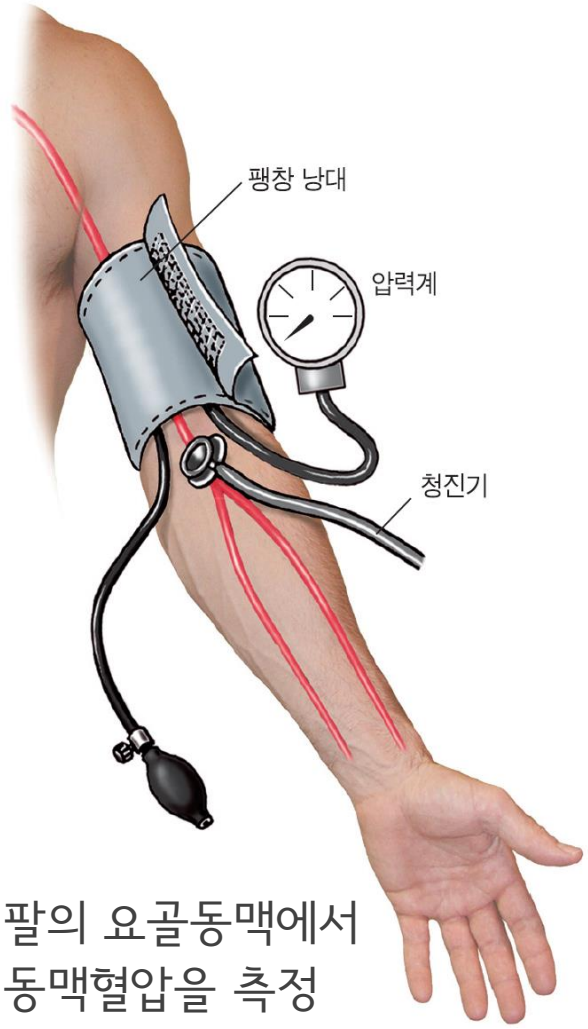
- 체순환의 최고의 압력은 대동맥, 좌심실의 압력에서 기인
- 수축기압: 심실 수축기 동안의 대동맥의 압력, 120mmHg
- 확장기압: 심실 확장기 동안의 대동맥의 압력, 80mmHg
- 박동(pulse): 좌심실에서 혈액을 대동맥으로 밀어낼 때 일어나는 커다란 압력의 상승, 압력파
- 박동압 = 수축기압 - 확장기압 (120 - 80 = 40mmHg)
- 박동은 동맥에만 있음, 모세혈관과 정맥에선 없음
- 정맥환류: 심장으로 들어가는 혁액환류는 골격근 펌프와 호흡펌프에 의해 도움을 받음

동맥혈압은 혈류의 추진압을 반영한다

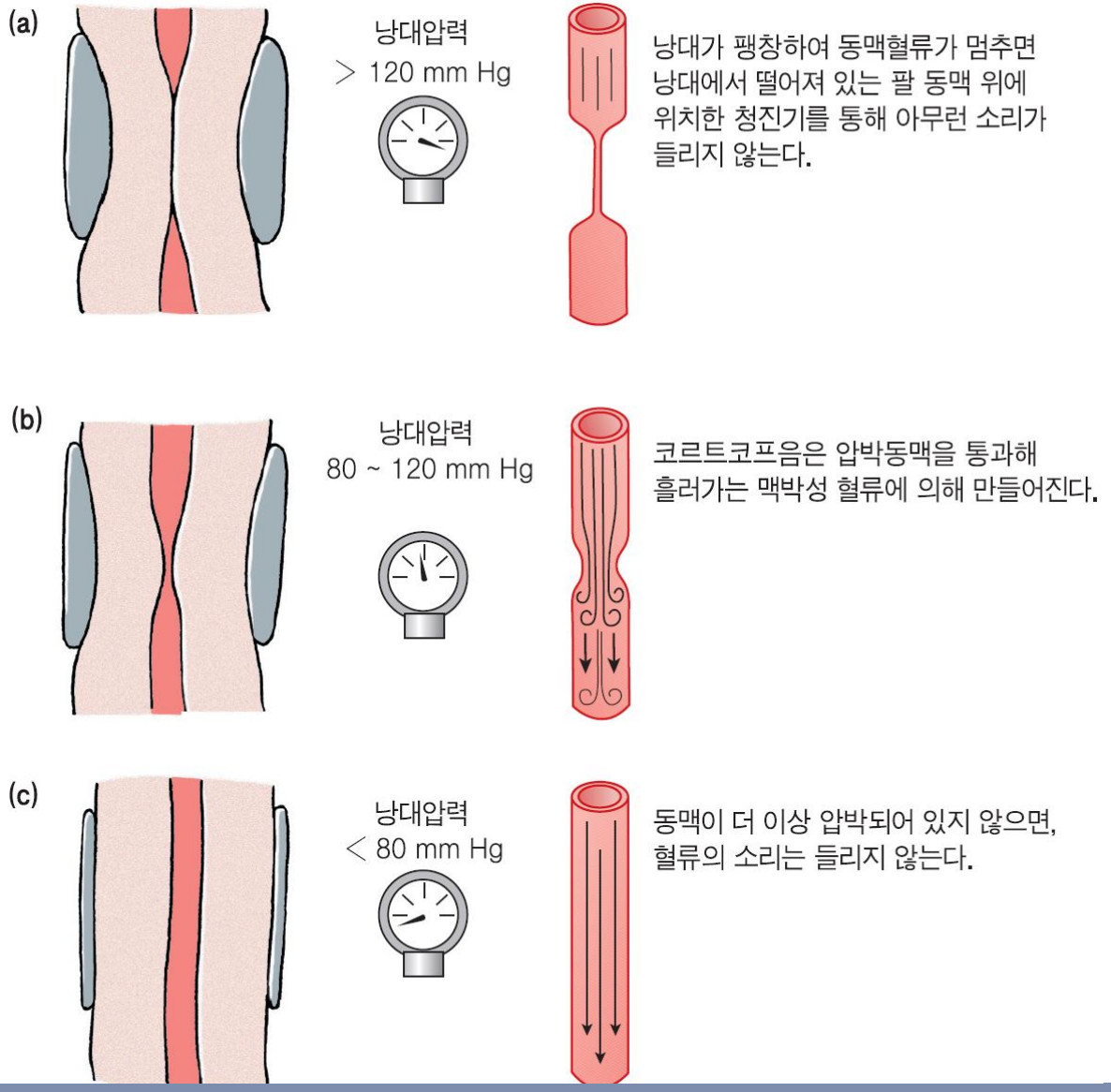
- 심실의 압력은 측정이 어려워 통상 동맥의 혈압을 통해 심실의 압력(= 추진압, 박동압X)을 추정
- 평균동맥압(mean arterial pressure, MAP)
- MAP = 확장기 혈압 + 1/3(수축기 혈압 - 확장기혈압)

  = 80mmHg + 1/3(120 - 80)mmHg = 93mmHg
- 저혈압(hypotension): 혈압 감소로 혈류가 중력 극복X → 뇌로 유입되는 혈액의 흐름과 산소 공급 부족으로 현기증
- 고혈압(hypertension): 혈관의 약한 부분이 터져 밖으로 출혈, 뇌출혈, 뇌졸중 야기, 대동맥 출혈은 매우 위험

혈압은 혈압계로 측정한다



팔의 요골동맥에서
동맥혈압을 측정



혈압은 혈압계로 측정한다

구분	수축기		이완기
정상	120↓	그리고	80↓
고혈압 전단계	120~139	또는	80~89
1단계 고혈압	140~159	또는	90~99
2단계 고혈압	160↑	또는	100↑

적어도 2회 이상, 140/90mmHg이상 나와야 고혈압

높은 혈압은 무시할 수 없으며 저절로 사라지지 않는다

조절을 잘하면 심장병, 뇌졸중, 콩팥 질환 등을 예방할 수 있다

적절한 치료로 성공적으로 조절될 수 있다

혈압 잴 때 주의사항



혈압 측정 30분 전에는 담배, 커피 금지



팔이 짧은 소매를 입고 측정하면 더 정확



화장실 미리 다녀오기 방광이 차면 측정값이 다르게 나올수도



혈압을 두 번 잴 때는 적어도 2분 이상 간격으로 평균치 계산

예방법



수시로 체크

혈압은 자주 변함 수시로 체크 필요



추운날 주의

실내온도와 몸을 따뜻하게



몸무게 조절

체중감량하면 혈압조절효과 커짐



소금 양 조절

나트륨은 혈압을 상승시킴



금연·금주

혈관 수축시킴 동맥경화증 유발



적절한 운동

일주일에 3~4일 30~45분씩



즐거운 마음

충분한 수면 과로 피하기



가족력

한쪽 부모가 고혈압 자녀 40~45% 유전

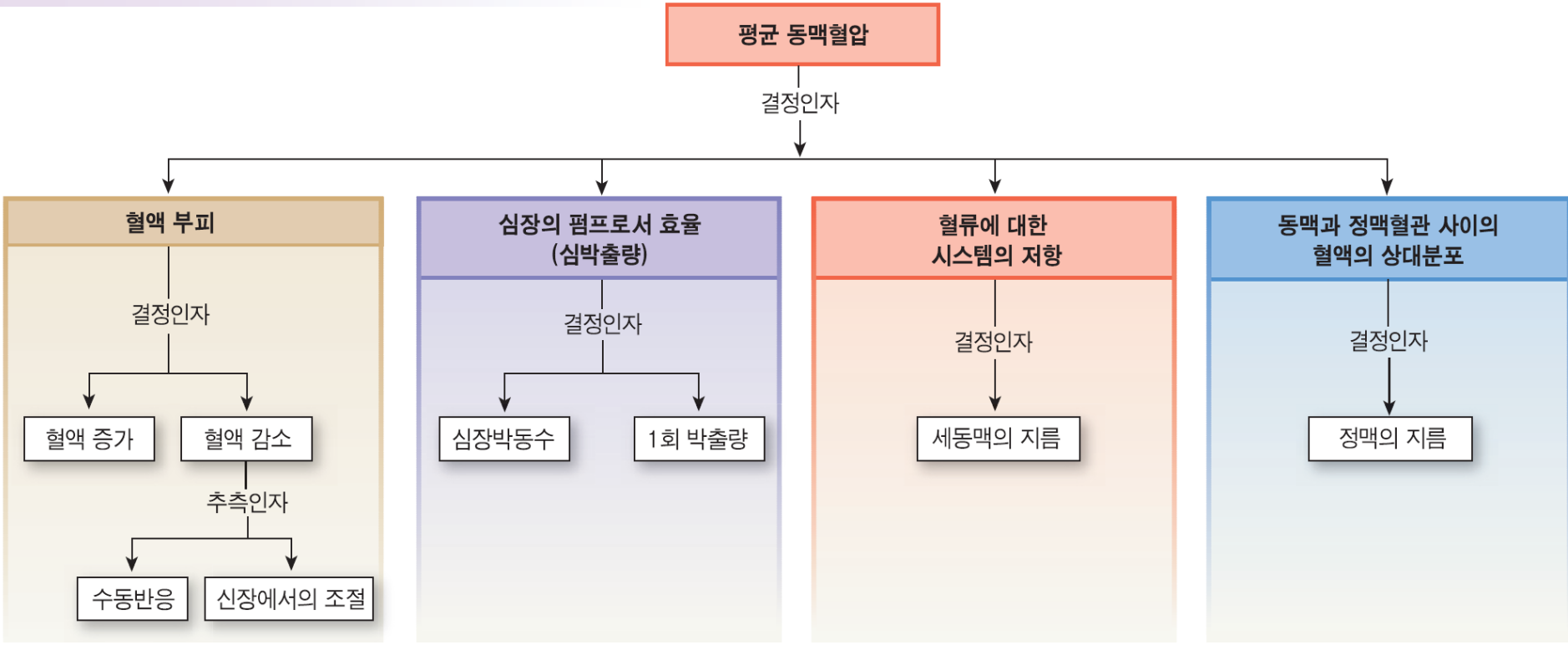
심박출량과 말초저항은 평균 동맥압을 결정한다

평균동맥압(MAP) ∝ 심박출량(CO)과 세동맥의 말초저항(R)

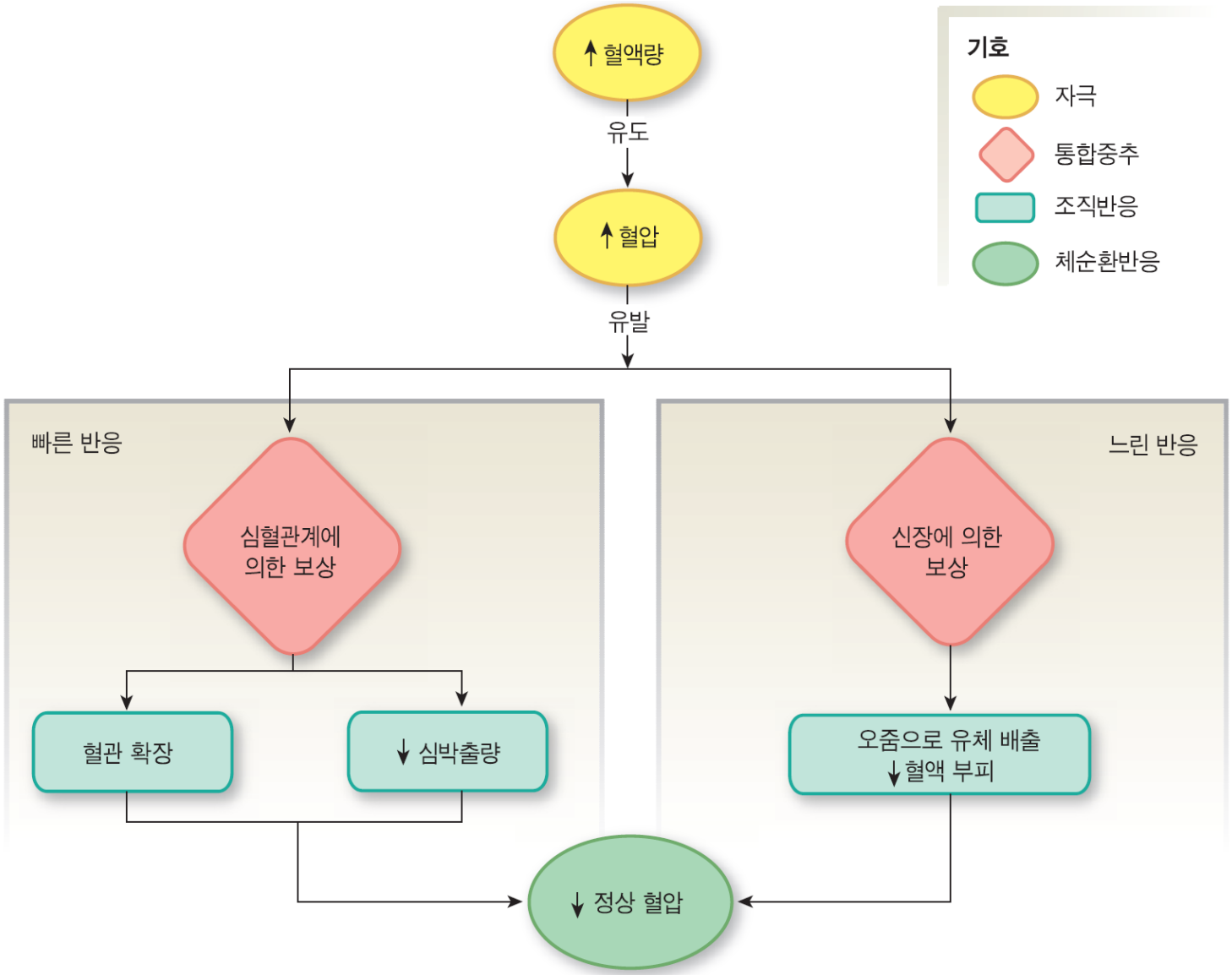
- 심박출량이 증가하고 동맥에서 혈액의 저항이 변하지 않을 때 → 동맥안의 혈액의 부피가 증가하고 혈압이 상승
- 심박출량은 변하지 않고 말초저항이 증가할 때 → 들어가는 혈류는 변하지 않고 나가는 혈류가 감소하여 혈액이 동맥안에 축적되어 혈압이 증가
- 혈액량과 체순환의 혈액분포가 동맥혈압에 영향
- 동맥은 혈액의 약 11%, 정맥은 60%를 수용 → 부피저장고
- 동맥혈압↓ → 교감신경으로 정맥 수축 → 정맥환류 통해 심장으로 혈액을 보냄 → 동맥쪽으로 혈액 재분배→ 동맥압↑

혈액량의 변화는 혈압에 영향을 미친다

(b) 평균 동맥압에 영향을 미치는 인자들



혈액량의 변화는 혈압에 영향을 미친다



세동맥의 저항

- R(저항) $\propto L\eta/r^4$, $R \propto 1/r^4$
- L:관의 길이, η: 유체의 점도, r: 관의 반지름
- 세동맥은 순환계 혈류 저항의 60%이상을 관여
- 세동맥 벽에 있는 평활근 때문에 변화가 심하며, 평활근이 수축하거나 이완할 때 세동맥의 지름이 변화
- 국소 조절
- 중추신경에 의한 교감신경반사 → 동맥압 유지, 온도 조절 같은 항상성 유지
- 신장에서 물과 염분 조절하는 호르몬은 세동맥에 직접 작용하거나 자율반사신경을 변하게 하여 혈압 조절

세동맥의 저항

표 15-2 혈관 수축과 혈관 확장을 조절하는 화학약품들

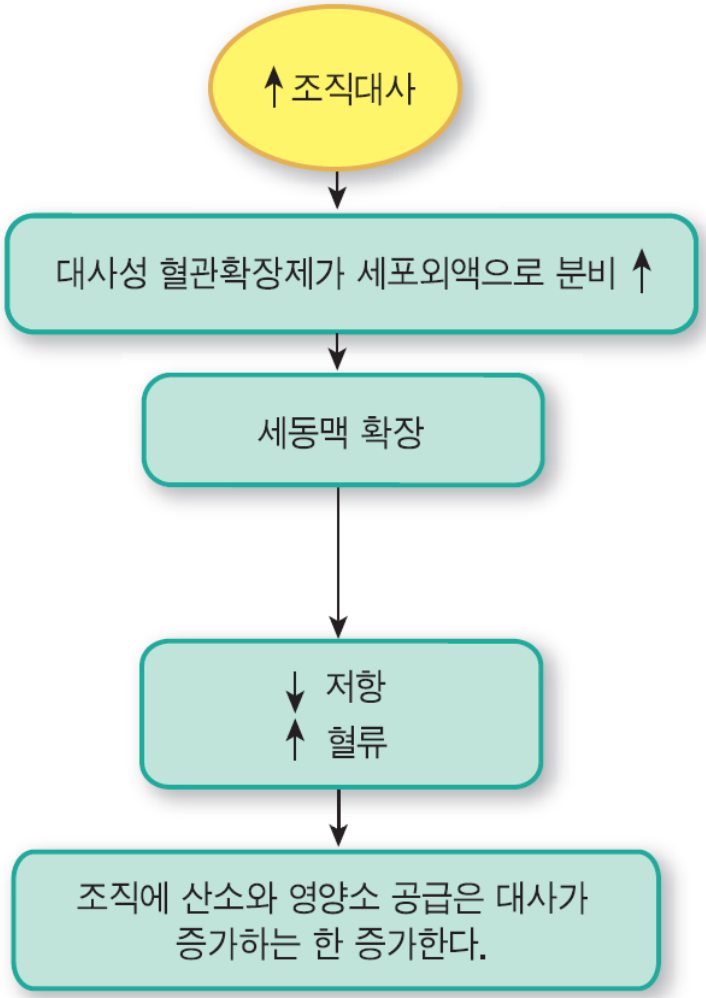
화학약품	생리적 역할	기 원	형 태
혈관 수축			
노르에피네프린(α-수용체)	압력수용기 반사	교감신경	신경전달물질
세로토닌	혈소판 응집, 평활근 수축	뉴런, 소화관, 혈소판	주변분비신호, 신경전달물질
엔도셀린	혈류의 국소 조절	혈관 내피층	주변분비
바소프레신	출혈 시 혈압 증가	뇌하수체 후엽	신경호르몬
앤지오텐신 II	혈압 증가	혈장호르몬	호르몬
혈관 확장			
에피네프린(β_2-수용체)	골격근, 심장, 간으로의 혈류 증가	부신수질	신경호르몬
아세틸콜린	(NO 생산을 통한 간접적인) 발기 반사	부교감신경	신경전달물질
산화질소(nitric oxide, NO)	혈류의 국소 조절	내피층	주변분비신호
브래디키닌(NO를 통한)	혈류 증가	다양한 조직	주변분비신호
아데노신	대사 활성에 요구되는 혈류 증가	저산소 세포	주변분비신호
$\downarrow O_2$, $\uparrow CO_2$, $\uparrow H^+$, $\uparrow K^+$	대사 활성에 요구되는 혈류 증가	세포대사	주변분비물질
히스타민	혈류 증가	비만세포	주변분비신호
심방나트륨이뇨 펩티드(예: ANP)	혈압 감소	심방 심근, 뇌	호르몬, 신경전달물질
혈관 활성 창자 내 펩티드	소화 분비, 평활근 확장	뉴런	신경전달물질, 신경호르몬

주변분비신호는 혈관평활근에 영향을 미친다

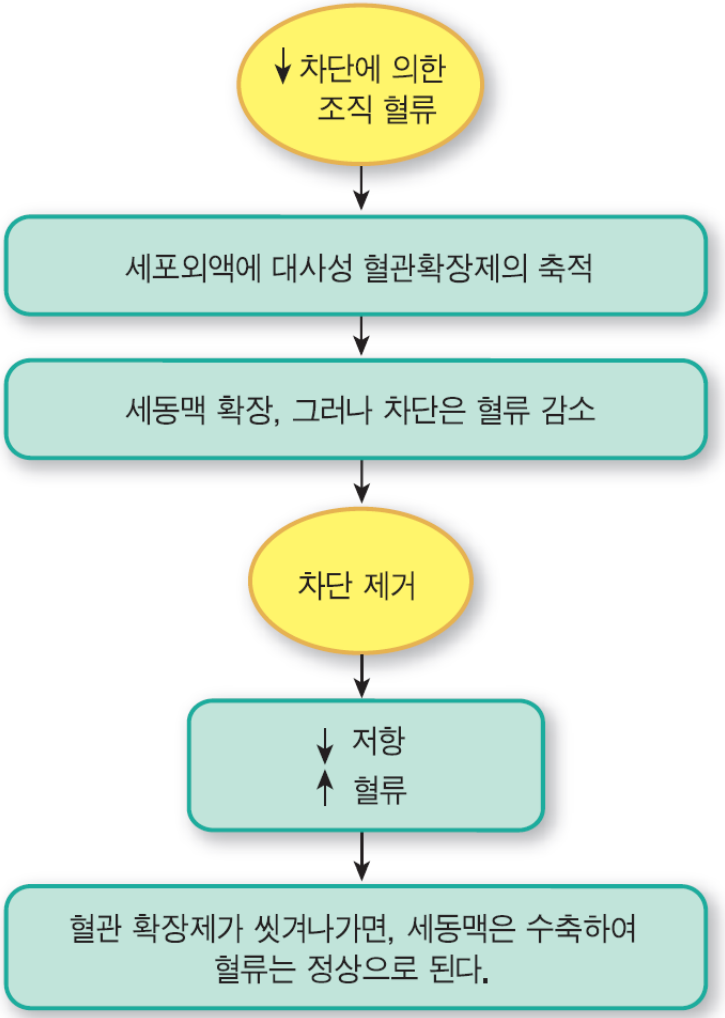
- 국소 조절은 조직이 자기 자신의 혈액 공급을 조절하는 방법
- 모세혈관앞조임금에 의하여 조절
- 모세혈관-후세동맥 연결부위의 평활근띠 수축 → 모세혈관으로의 혈류 유입 억제
- 세동맥 세포에서 분비되는 주변물질: O_2, CO_2, NO
- 아데노신: 심근에서 저산소증일 때, 낮은 조직 산소량에 반응하여 아데노신을 분비하고 관상세동맥 확장
- 키닌, 히스타민: 염증에 관여하는 혈관 확장제
- 세로토닌: 활성 혈소판에서 분비하는 주변분비물질

주변분비신호는 혈관평활근에 영향을 미친다

(a) 능동적 충혈은 증가된 대사에 맞추어 혈류를 조절한다.



(b) 반응적 충혈은 감소된 혈류기간에 뒤따라온다.



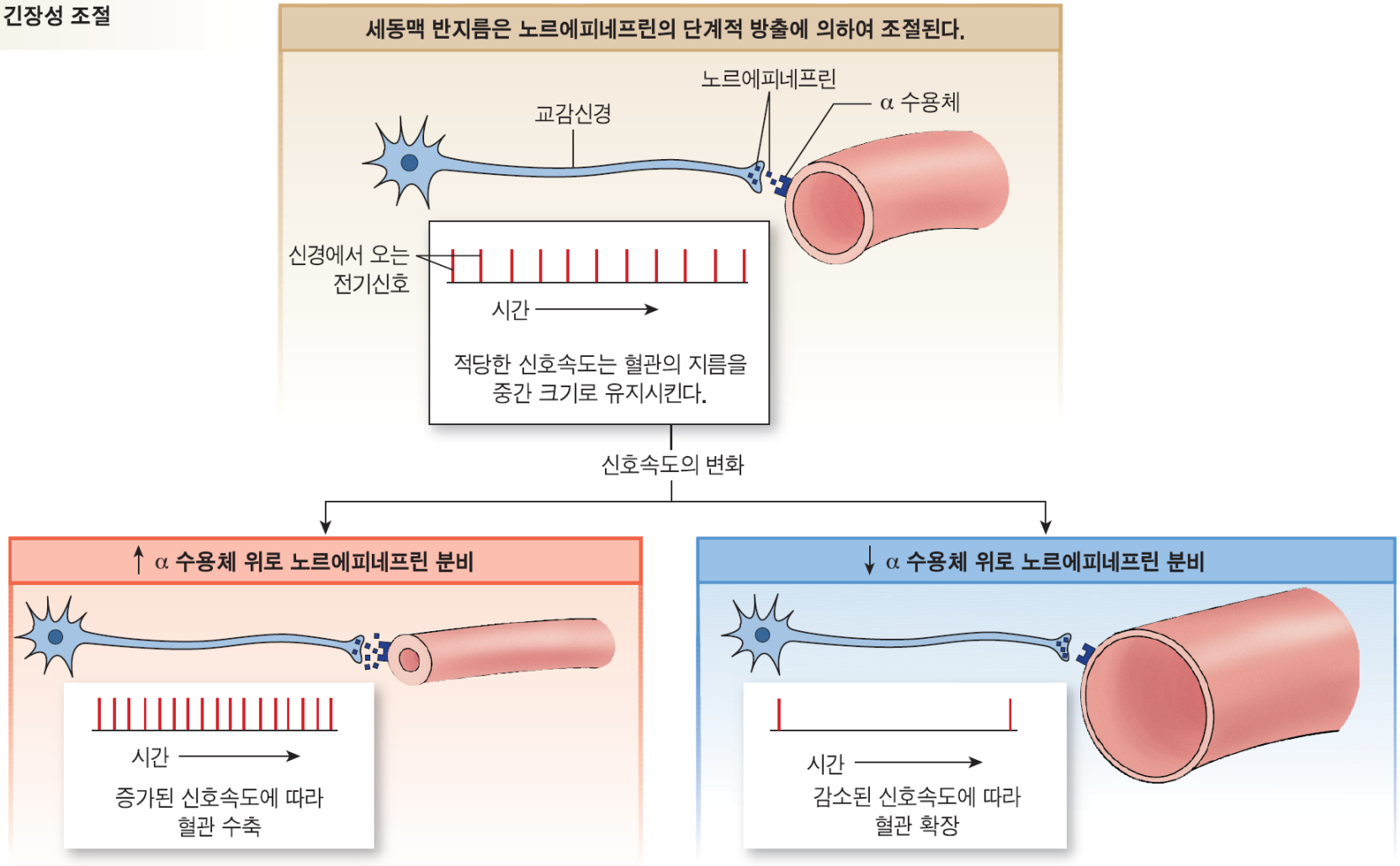
이는
것인가?

교감신경은 대부분의 혈관평활근을 조절한다

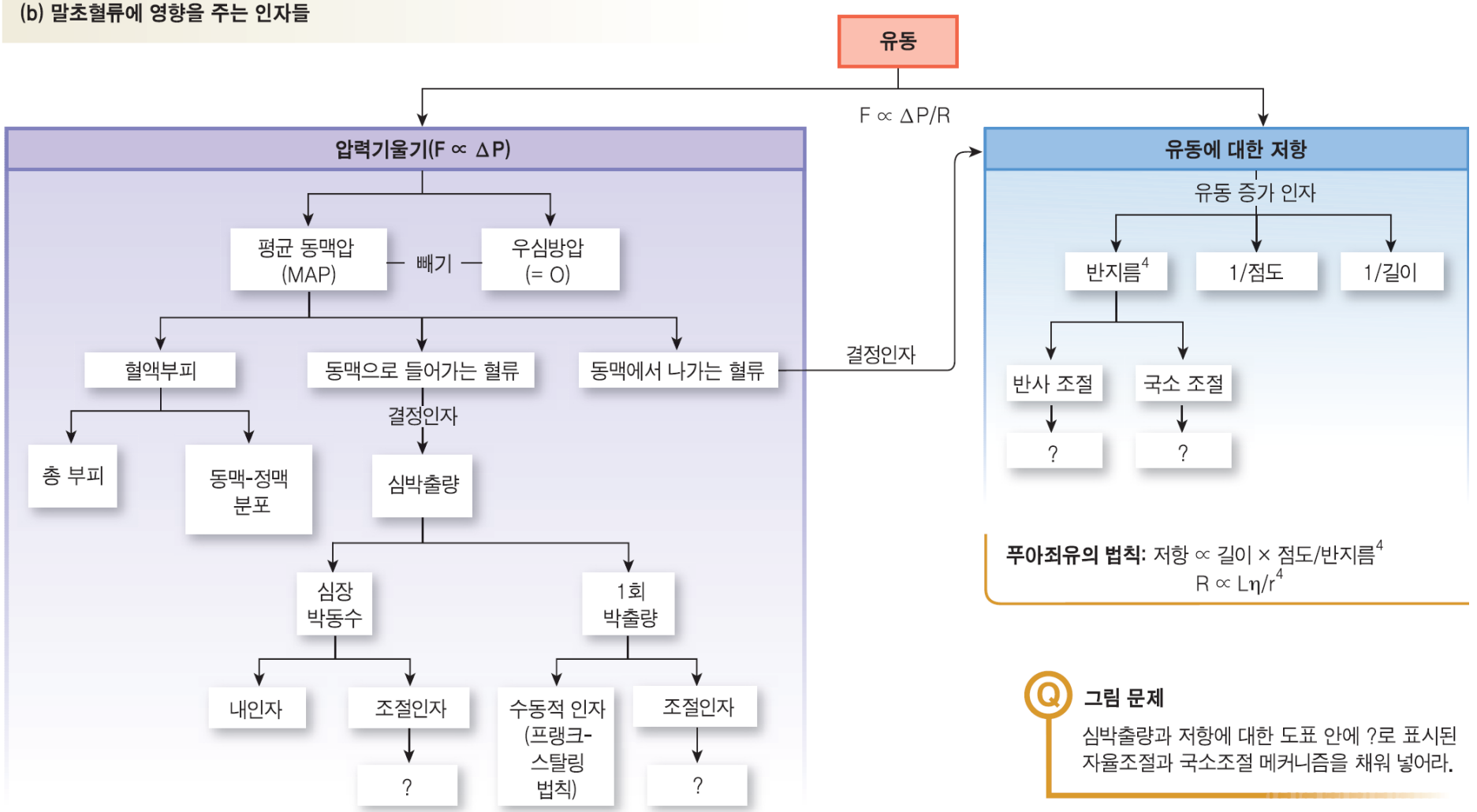
- 심방나트륨이뇨펩티드, 안지오텐신II: 혈관 활성을 갖는 호르몬으로 신장에서 이온과 물의 배뇨에 중대한 영향
- 대부분의 체순환 세동맥은 교감신경에 자극을 받음

교감신경은 대부분의 혈관평활근을 조절한다

(a) 세동맥 지름의 긴장성 조절

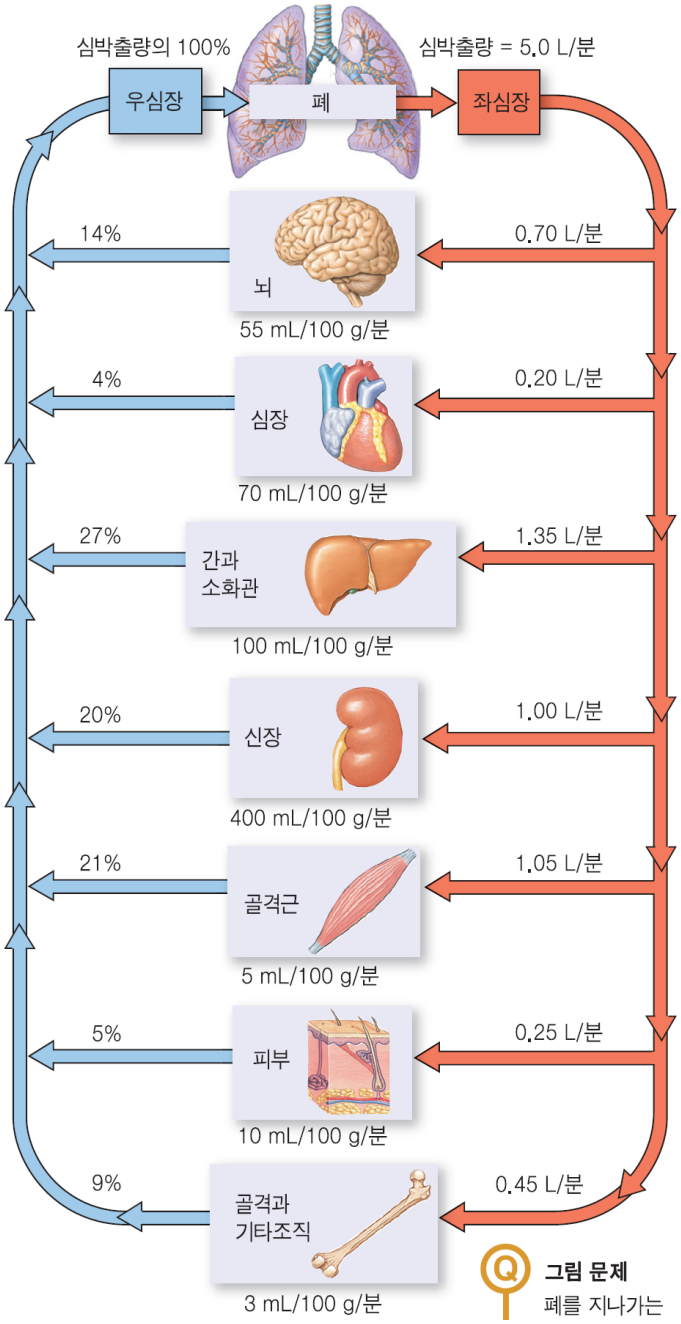


교감신경은 대부분의 혈관평활근을 조절한다



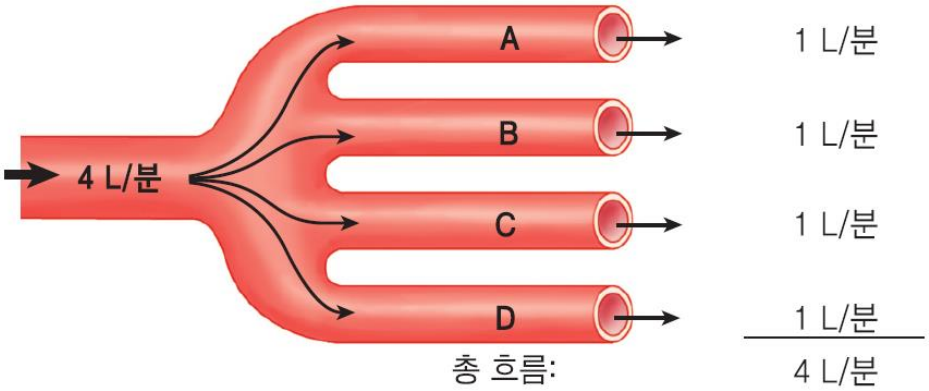
조직으로의 혈액 분배

- 모든 세동맥은 나란히 배열되어 있어 대동맥에서 동시에 혈액을 공급
- 세동맥의 저항이 클수록 지나가는 혈류가 감소
- $유동_{세동맥} \propto 1/저항_{세동맥}$
- 혈액의 흐름: 높은 저항 세동맥 → 낮은 저항 세동맥

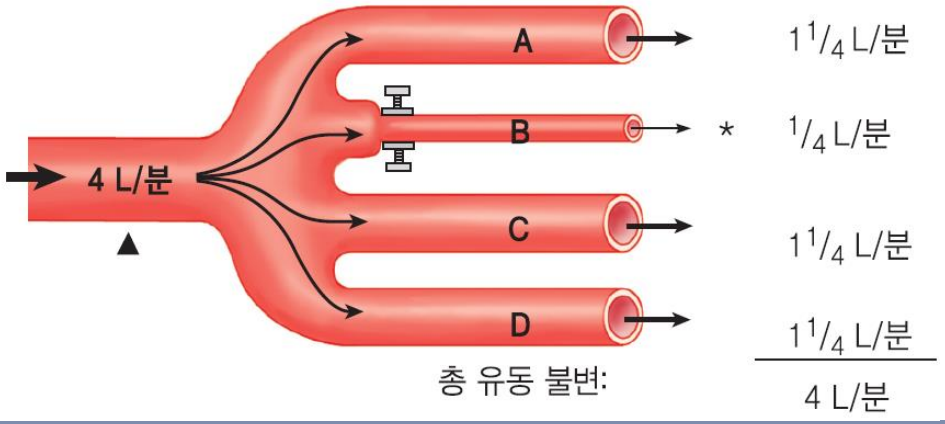


조직으로의 혈액 분배

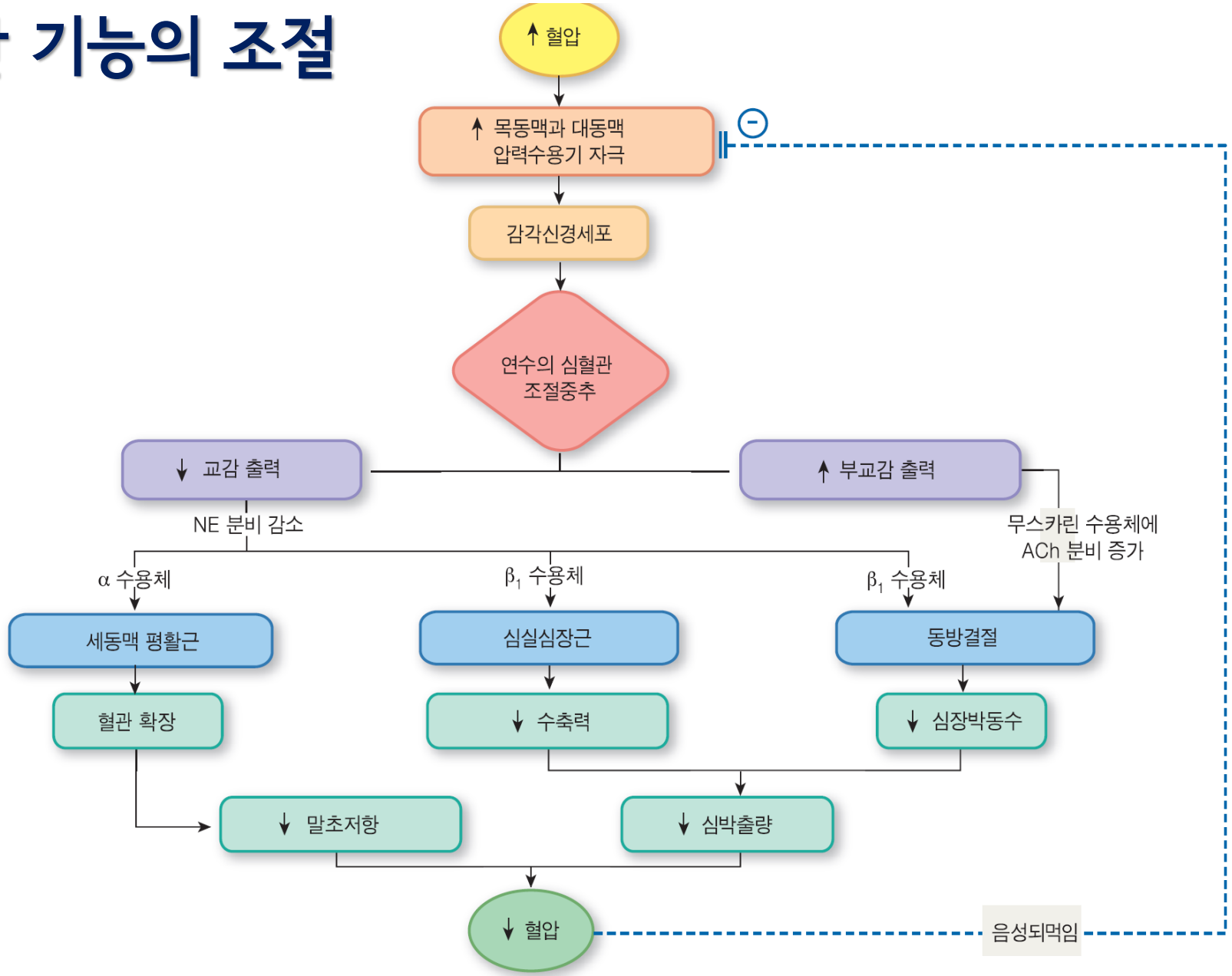
(a) 동일한 혈관(A~D)의 혈류는 동일하다. 혈관 안으로 들어가는 총 혈액량은 나오는 혈액량과 동일하다.



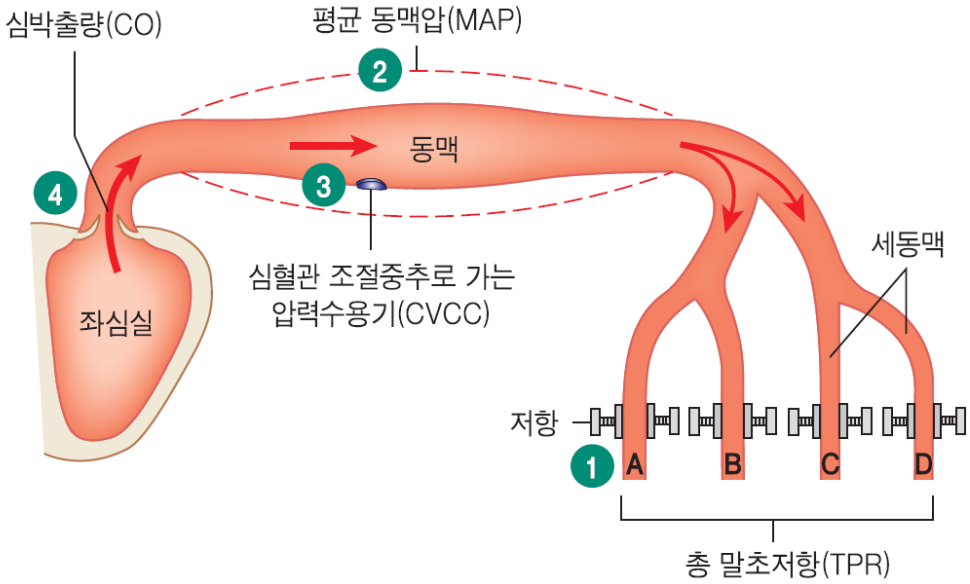
(b) 혈관 B가 수축하면, B의 저항은 증가하고 B를 통한 혈류는 감소한다. B로 들어가지 못하는 나머지 혈액은 다른 낮은 저항의 혈관 A, C, D로 나누어 흐른다.



심혈관 기능의 조절


↑ 혈압
↑ 목동맥과 대동맥 압력수용기 자극
감각신경세포
연수의 심혈관 조절중추
↓ 교감 출력
↑ 부교감 출력
NE 분비 감소
무스카린 수용체에 ACh 분비 증가
α 수용체
β_1 수용체
β_1 수용체
세동맥 평활근
심실심장근
동방결절
혈관 확장
↓ 수축력
↓ 심장박동수
↓ 말초저항
↓ 심박출량
↓ 혈압
음성되먹임

심혈관 기능의 조절



1. 세동맥 A 수축 → 저항 증가(↑ R_A) → 총 말초저항 증가(↑ TPR)

2. ↑ TPR × 심박출량(CO) → 평균 동맥압 증가(↑ MAP)

3. ↑ MAP → 압력수용기 발화 → 압력수용기 반사

조직혈류는 조직요구에 맞추어져 있어서 변하지 않는다고 가정한다:

4. 압력수용기 반사 → 심박출량 감소(↓ CO)
   ↑ TPR × ↓ CO = MAP 정상으로 회복

기립성 저혈압은 압력수용기 반사를 일으킨다

- 기립성 저혈압: 앉거나 누워있다가 갑자기 일어났을 때 혈압이 순간적으로 낮아지면서 뇌의 혈류량이 감소하는 것
- 누워있을 때는 중력이 몸에 동일하게 분포 → 서 있을 때 순간적으로 중력은 혈액을 아래로 끌어내려 정맥환류를 감소
- 수축 시에 요구되는 심실에서의 혈액이 감소

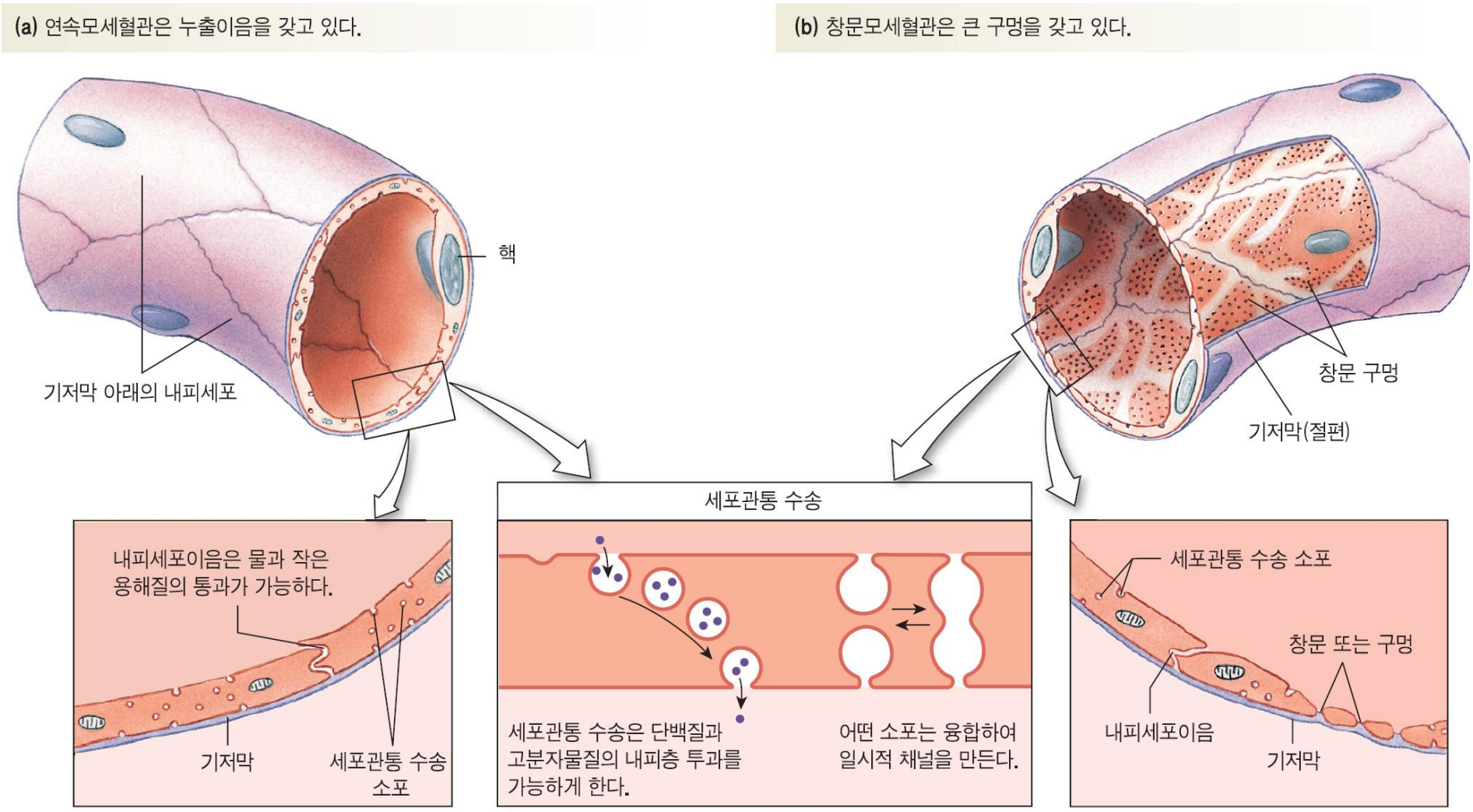
다른 기관계도 심혈관 기능에 관여한다

- 동맥의 화학수용체는 낮은 혈중 산소량에 의하여 활성화 되면 심박출량을 증가
- 일반적으로 호흡의 속도가 증가하면 심박출량도 증가
- 시상하부가 몸의 온도 조절, 싸움-도망 반응에 관여하는 혈관 반응을 조절
- 혈관미주신경성실신: 극심한 신체적/정신적 긴장으로 인해 혈관이 확장되고 심장 박동이 느려져 혈압이 낮아지며, 낮아진 혈압 때문에 뇌로 가는 혈류량이 감소하여 실신

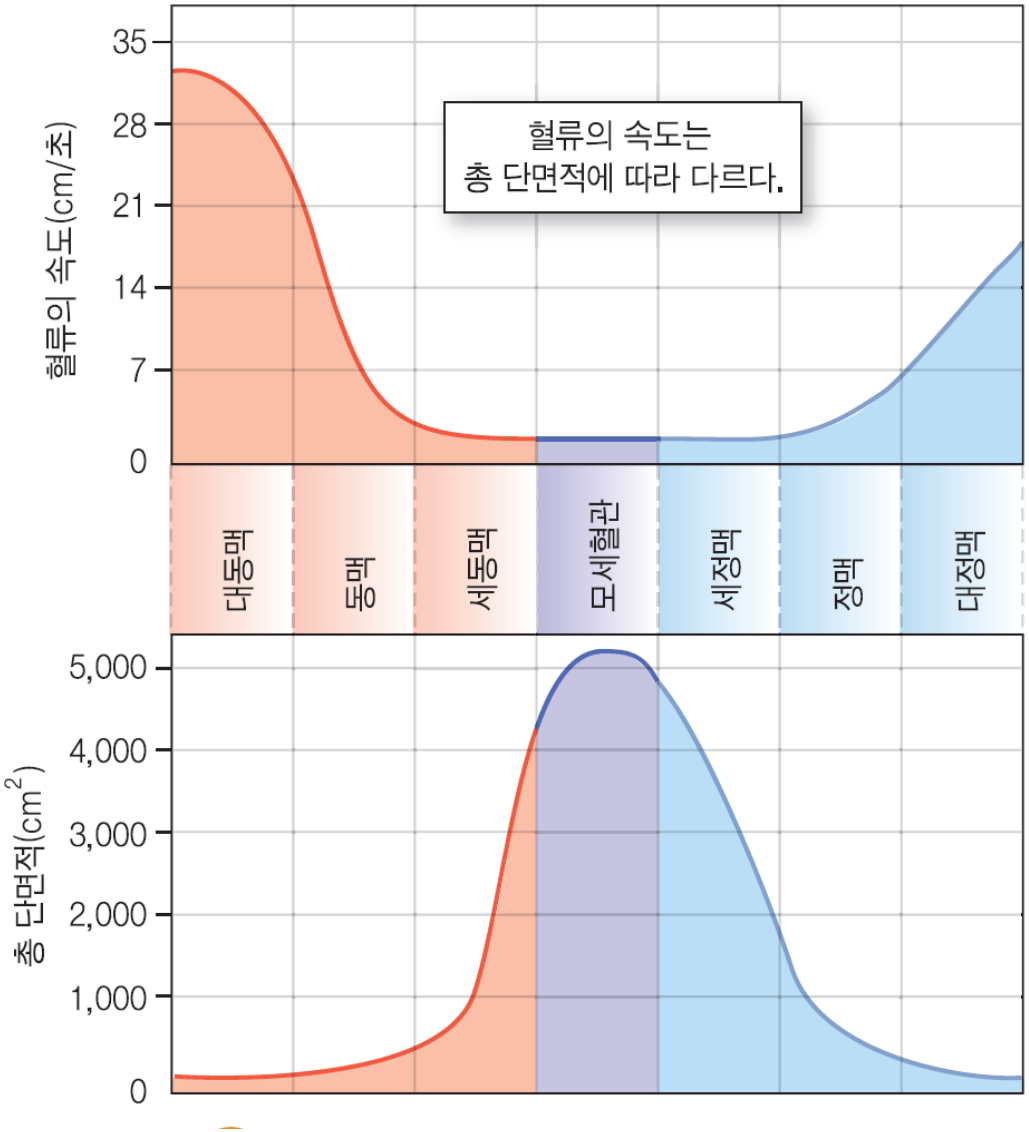
모세혈관에서 일어나는 물질교환

- 혈장과 세포는 모세혈관 (0.1mm) 벽을 가로질로 물질교환
- 대사 활성도가 높은 조직은 단위면적당 모세혈관 밀도가 높음
- 피하조직, 연골은 밀도가 낮고, 근육과 분비샘은 밀도가 높음
- 한 층의 얇은 내피세포, 직경은 적혈구 지름 크기보다 조금 큼
- 연속모세혈관, 창문모세혈관, 굴모양혈관

모세혈관에서 일어나는 물질교환

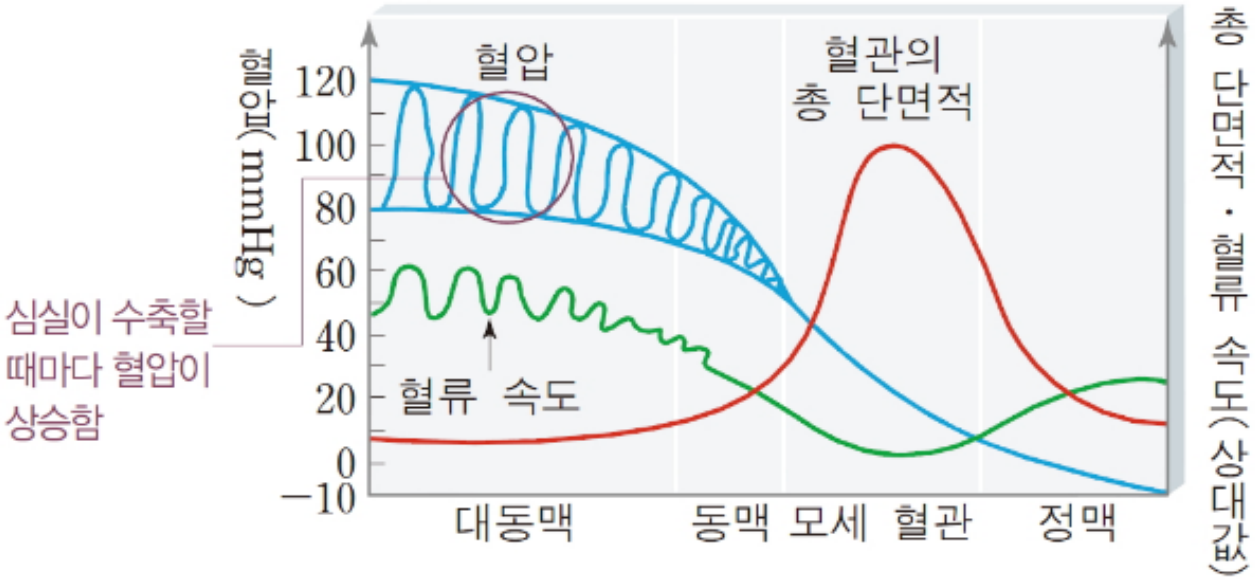


혈류의 속도는 모세혈관에서 가장 느리다



혈류의 속도는 모세혈관에서 가장 느리다

구분	비교
혈압 세기	동맥 > 모세 혈관 > 정맥
혈관 두께	동맥 > 정맥 > 모세 혈관
혈류 속도	동맥 > 정맥 > 모세 혈관
총 단면적	모세 혈관 > 정맥 > 동맥
혈관 벽의 탄력성	동맥 > 정맥



대부분의 모세혈관 교환은 확산과 세포관통 수송에 의하여 일어난다

혈장과 간질액 사이의 교환

- 내피세포 사이의 통로,내피 세포관통 수송
- 용해 되어있는 작은 용질이나 기체는 확산
- 커다란 용질이나 단백질은 혈관 수송
- 확산 속도는 일차적으로 농도 기울기에 의해 결정

모세혈관 여과나 흡수는 부피유동에 의하여 일어난다

- 부피유동: 정수압이나 삼투압의 압력 기울기로 인해 혈액과 간질액 사이에 생기는 유체의 질량 이동
- 흡수: 모세혈관 안으로
- 여과: 모세혈관 밖으로, 세포이음을 통하여

- 혈장과 간질액 사이 단백질 차이로 인해 삼투압 기울기 발생
- 콜로이드 삼투압(π)

모세혈관 여과나 흡수는 부피유동에 의하여 일어난다

(b) 체순환 모세혈관의 여과

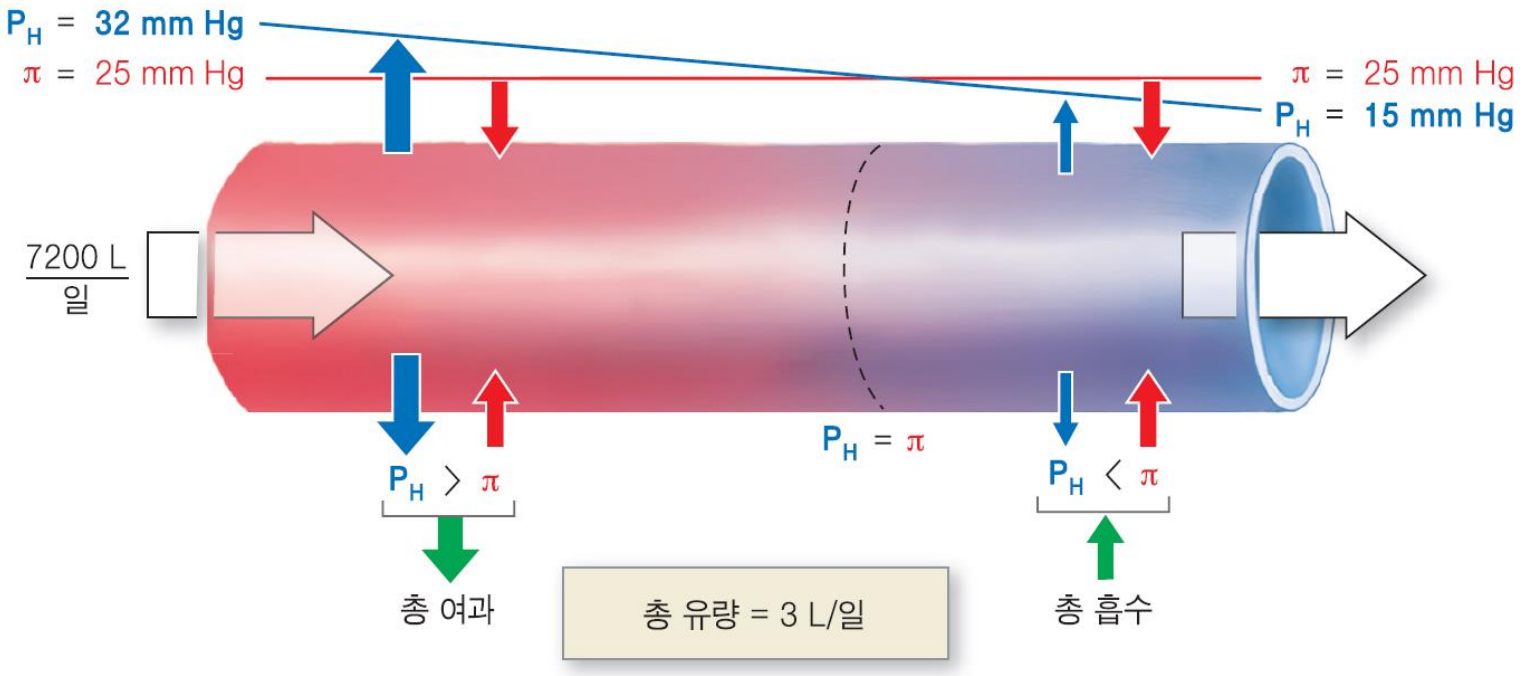
총 압력 = 정수압(P_H) − 콜로이드 삼투압(π)

총 압력이 양수이면 여과되는 것이고 총 압력이 음수이면 흡수되는 것이다.

기호

↑ P_H = 정수압은 모세혈관에서 유체를 나오도록 한다.

↓ π = 모세혈관 안에 있는 콜로이드 삼투압은 유체를 모세혈관으로 들어가게 한다.



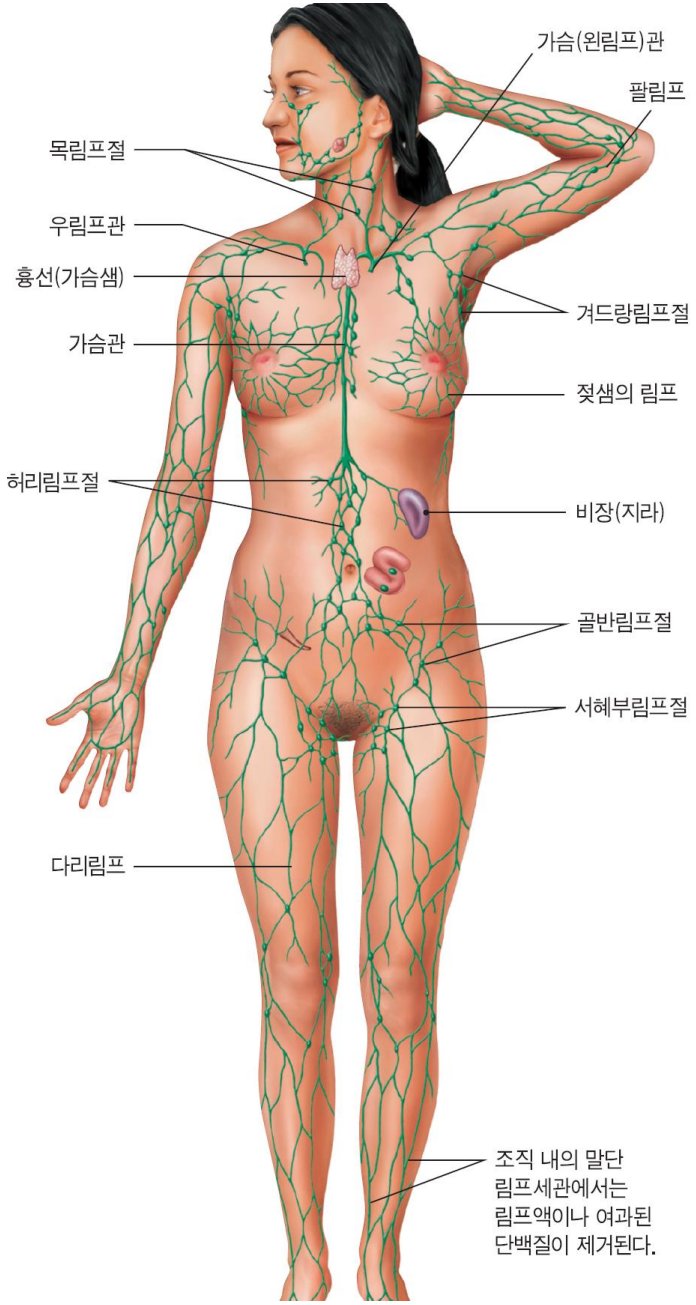
림프계

림프계의 기능

- 모세혈관을 통해서 여과되어 나온 단백질과 유체를 순환계로 복구
- 소장에서 흡수한 지방을 순환계로 전달
- 외부 병원균을 잡아서 파괴

림프계

- 림프관은 혈액의 모세혈관보다 더 얇은 편평한 내피층
- 림프: 림프계 안에 있는 맑은 유체
- 쇄골하정맥이 내부목정맥과 합쳐지는 쇄골아래에서 정맥순환과 연결
- 림프절(lymph node): 림프구, 대식세포 등 면역 세포가 있는 조직
- 손목이나 발목에 부상: 골격근 펌프가 손상, 간질 공간에 액이 축적, 부종 형성



부종은 모세혈관 교환 변화의 결과이다

부종(edema)의 원인

- 림프의 부적합한 유출: 기생충, 암, 방사선 치료 등에 의해 림프절의 파괴 된 상황
- 모세혈관 흡수량을 초과하는 모세혈관 여과
    ① 모세혈관의 정수압 증가 (=정맥압 상승)
    ② 혈장단백질 농도 감소
    ③ 간질액 단백질 증가

심혈관질환의 위험인자에는 흡연과 비만이 있다

심혈관질환(cardiovascular disease, CVD)

- 조절이 가능한 위험인자: 흡연, 비만, 운동X, 고혈압
- 조절이 불가능한 위험인자: 성별, 나이, 가족력
- 중상동맥경화(atherosclerosis): 동맥이 단단해지는 병, 당뇨, 고혈압, 고콜레스테롤혈증 등이 주된 위험인자
- HDL-콜레스테롤은 높으면, LDL-콜레스테롤은 낮으면 건강