

사구체의 주사전자현미경 사진

18

비뇨계; 신장기능

Copyright © 2012 Biosciencepublishing, Inc

개요

I. Functions of the Urinary System(비뇨기계의 기능)
II. Anatomy of the Urinary System(비뇨기계의 해부구조)
III. Basic Renal Exchange Processes(신장의 기본 교환 과정)
IV. Regional Specialization of the Renal Tubules(신세뇨관의 부위별 특징)
V. Excretion(배설)

I. Functions of the Urinary Syste(비뇨기계의 기능)

- 혈장 이온 조성의 조절
- 혈장 부피의 조절
- 혈장 삼투의 조절
- 혈장의 pH 조절
- 혈장에서 대사 노폐물과 이물질의 제거

Other Functions of the Kidneys(신장의 그 외 기능)

- 에리트로포이에틴의 분비
- 레닌의 분비
- 비타민 D_3를 칼시트리올로 활성화
- 포도당 신생합성

II. Anatomy of the Urinary System(비뇨기계의 해부구조)

- 비뇨기계의 구조
- 신장의 육안 해부구조)
- 신장의 현미경적 해부구조
- 신장으로의 혈액공급

Structures of the Urinary System(비뇨기계의 구조)

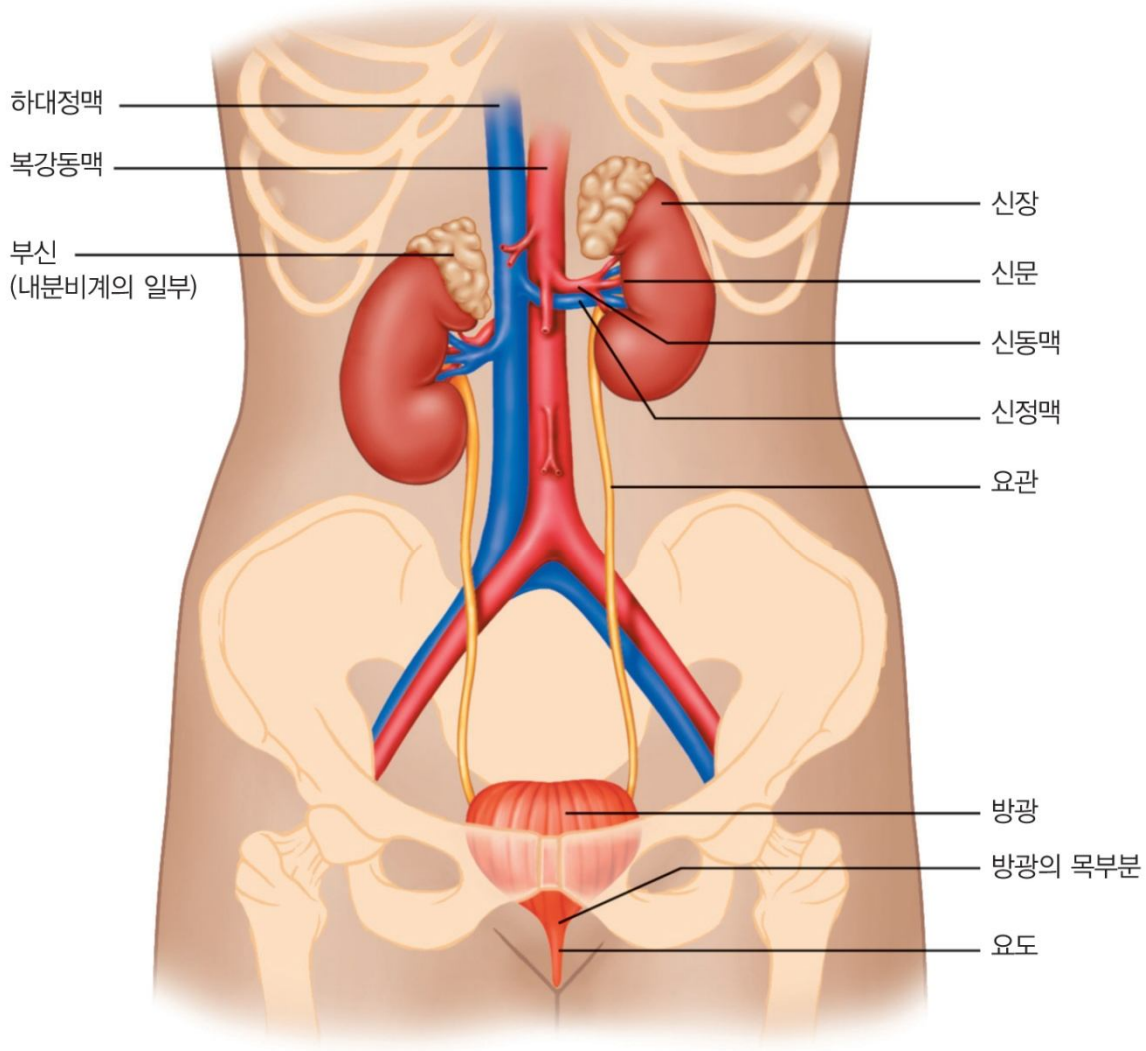


그림 18.1 비뇨계의 구조.

Urinary System(비뇨기계)

- 신장-소변 생성
- 수뇨관- 신장으로부터 방광으로 소변 운반
- 방광-소변 저장
- 요도-소변을 방광으로부터 체외로 배설

Anatomy of the Kidneys(신장의 해부구조)

- 한 쌍으로 강낭콩 모양
- 대략 주먹크기로, 115-170g
- 복막 뒤

Blood Supply(혈액공급)

- 신문에서 신장동맥이 신장으로 들어감
- 안정상태에서 심박출량의 20%를 받아들임
  - 몸무게의 1% 미만
  - 신체가 이용하는 ATP의 16%를 사용
  - 기능은 혈액 여과
- 신장정맥이 신문에서 나옴

Anatomy of the Kidney(신장의 해부구조)

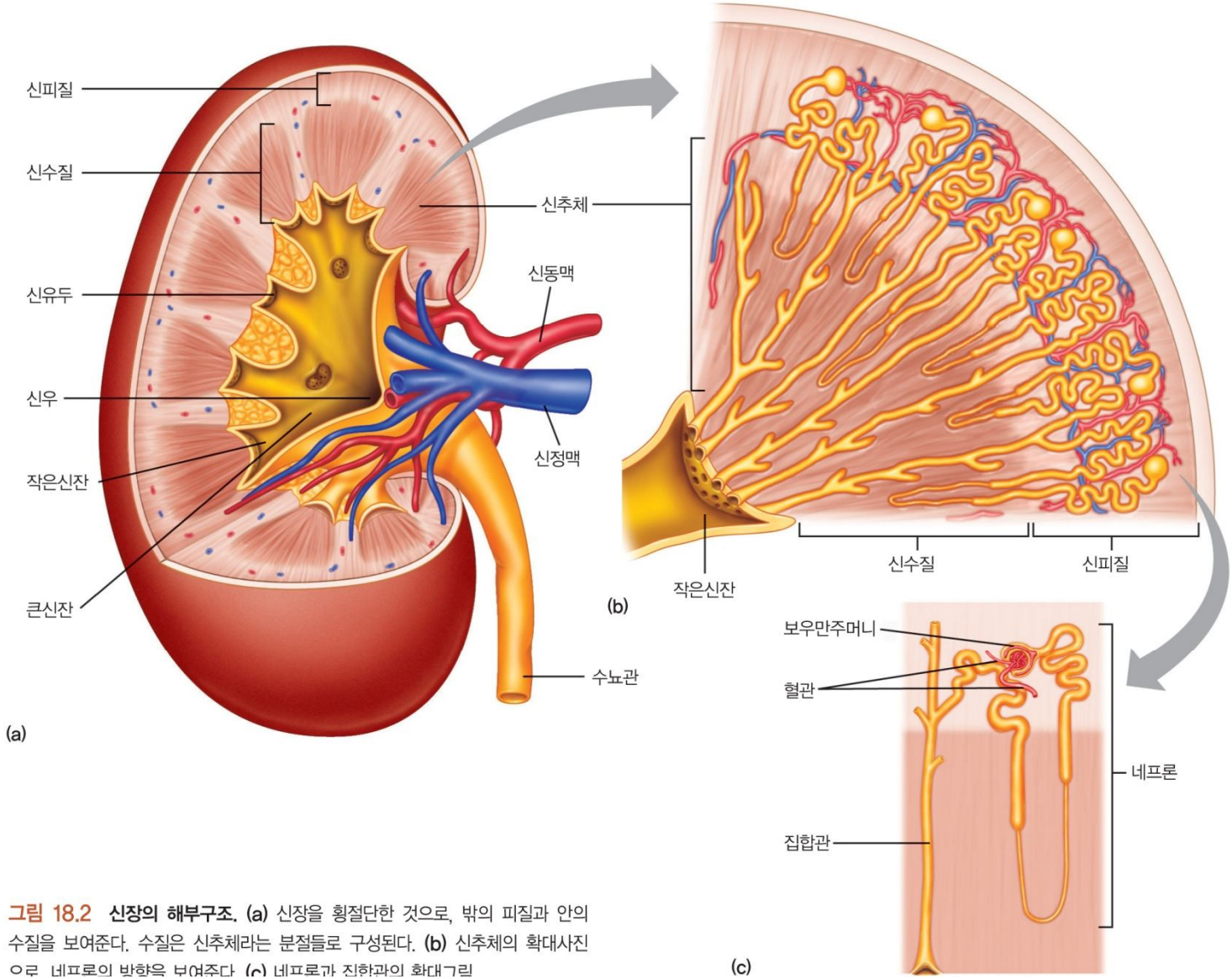


그림 18.2 신장의 해부구조. (a) 신장을 횡절단한 것으로, 밖의 피질과 안의 수질을 보여준다. 수질은 신추체라는 분절들로 구성된다. (b) 신추체의 확대사진으로 네프론의 방향을 보여준다. (c) 네프론과 집합관의 확대그림

Microscopic Anatomy of the Kidney(신장의 현미경적 해부구조)

- 네프론=기능적 단위
- 신소체와 신세뇨관

Anatomy of the Nephron(네프론의 해부구조)

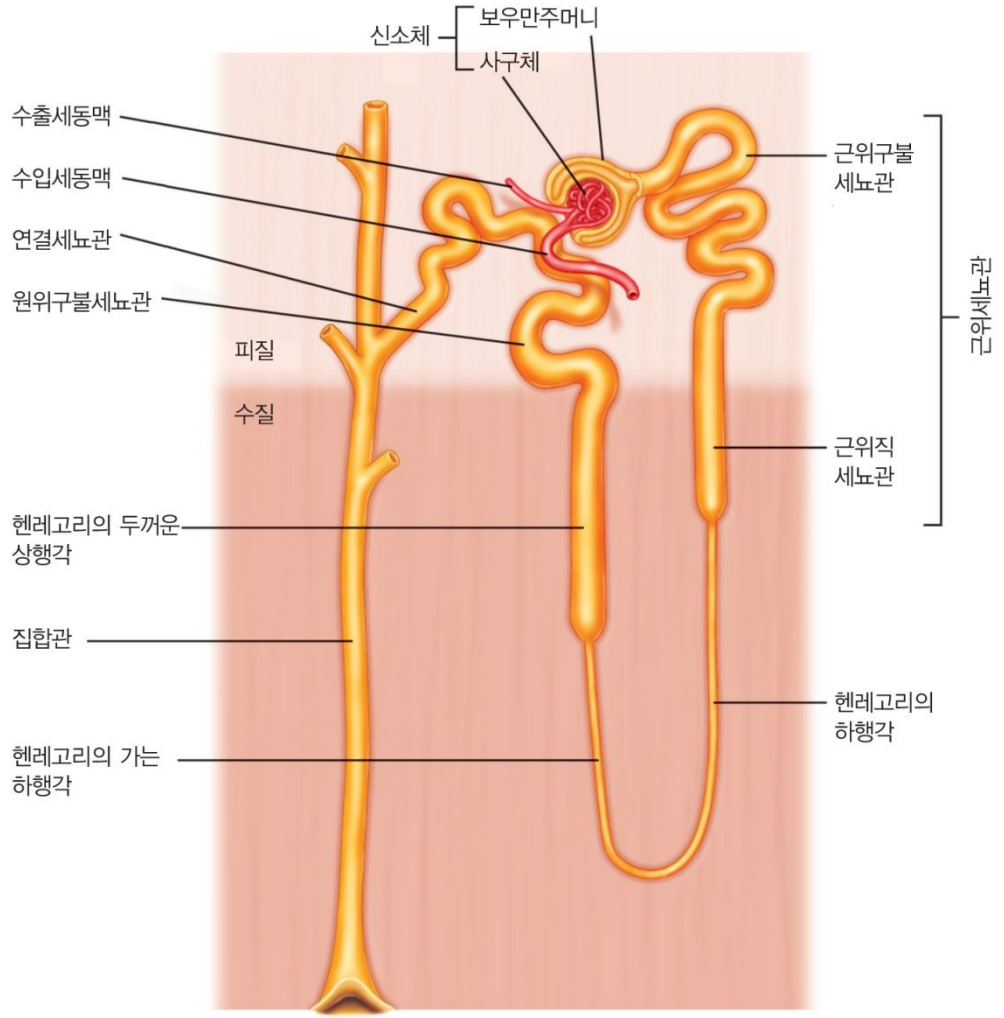
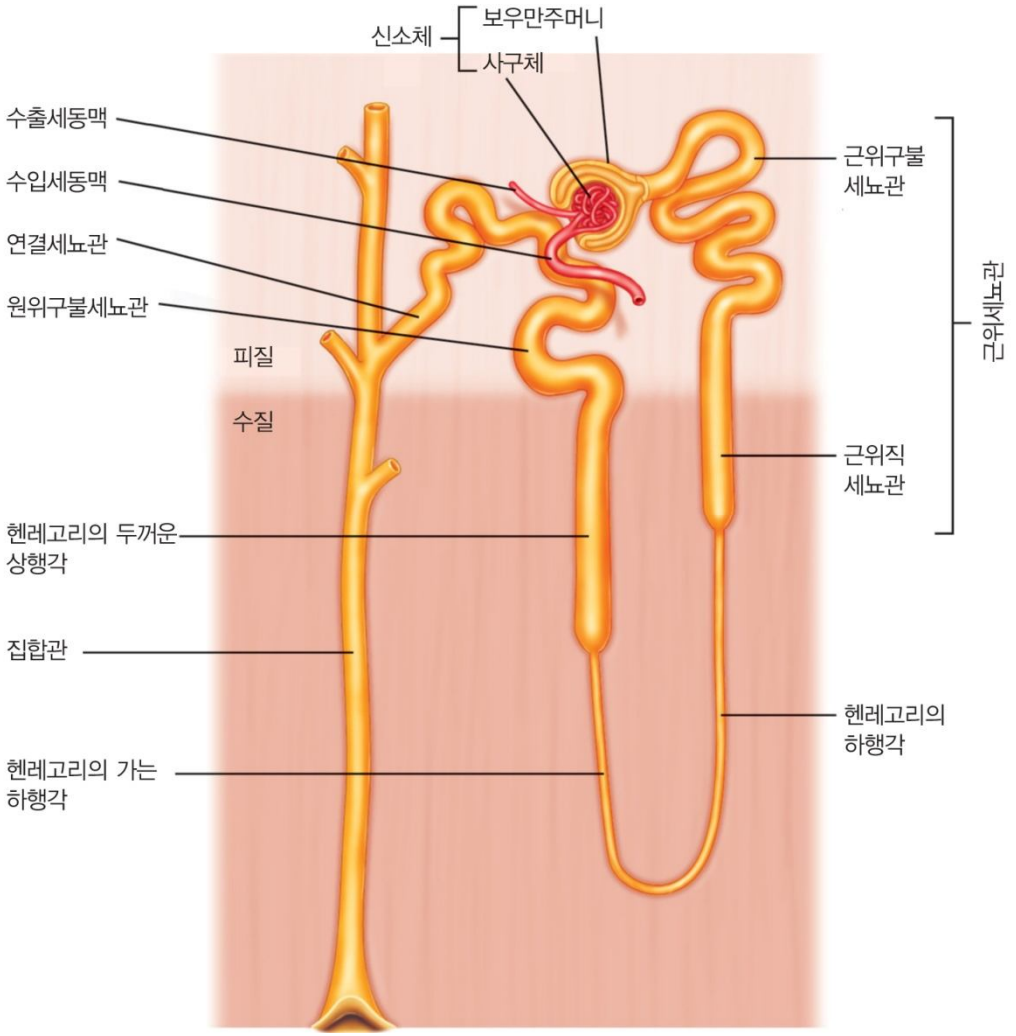


그림 18.3 네프론의 해부구조. 네프론은 신소체와 세뇨관의 두 부분으로 구성된다. 신소체마다 보우만주머니와 사구체가 있으며 각 사구체는 많은 세뇨관의 분절이 연속된 것으로 이루어져 있다. 또한 네프론에 연결된 신소체와 집합관에 혈액이 공급되는 것을 보여준다.

Anatomy of the Nephron(네프론의 해부구조)



신소체

- 사구체=여과를 위한 모세혈관망
- 보우만주머니
  - 여액을 받음
  - 신세뇨관으로 유입

Renal Tubules(신세뇨관)

- 근위세뇨관
  - 근위구불세뇨관
  - 근위직세뇨관
- 헨레고리
  - 하행각
  - 가는 상행각
  - 굵은 상행각

Renal Tubules(신세뇨관)

- 원위구불세뇨관
  - 집합관
- 집합관

Cortical Versus Juxtamedullary Nephrons(피질과 수질근접부 네프론)

- 수질근접부 네프론
  - 긴 헨레고리가 수질까지 뻗어있음
  - 수질의 삼투기울기에 필요
- 피질 네프론
  - 짧은 헨레고리
  - 대부분을 차지, 80-85%
- 두 종류 모두 소변 생성

Cortical/Juxtamedullary Nephrons(피질/수질근접부 네프론)

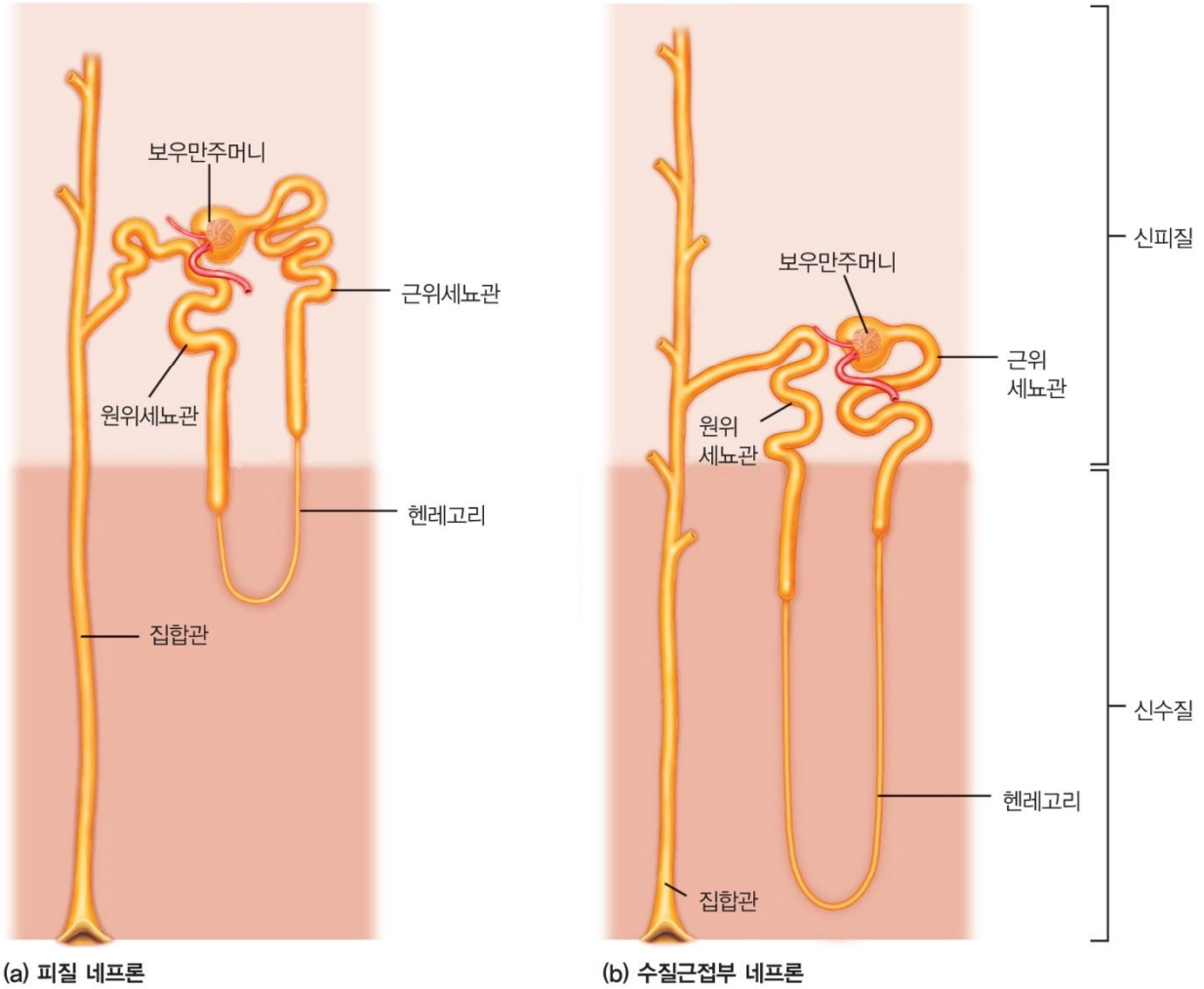


그림 18.4 피질과 수질근접부 네프론의 위치. **(a)** 피질 네프론은 신피질에 주로 존재하며, 헨레고리 끝부분만 신수질에 묻혀 있다. **(b)** 수질근접부 네프론은 피질과 수질 모두에 있고, 보우만주머니, 근위세뇨관, 원위세뇨관은 신피질에, 헨레고리는 신수질에 깊이 묻혀 있다.

Juxtaglomerular Apparatus(사구체옆장치)

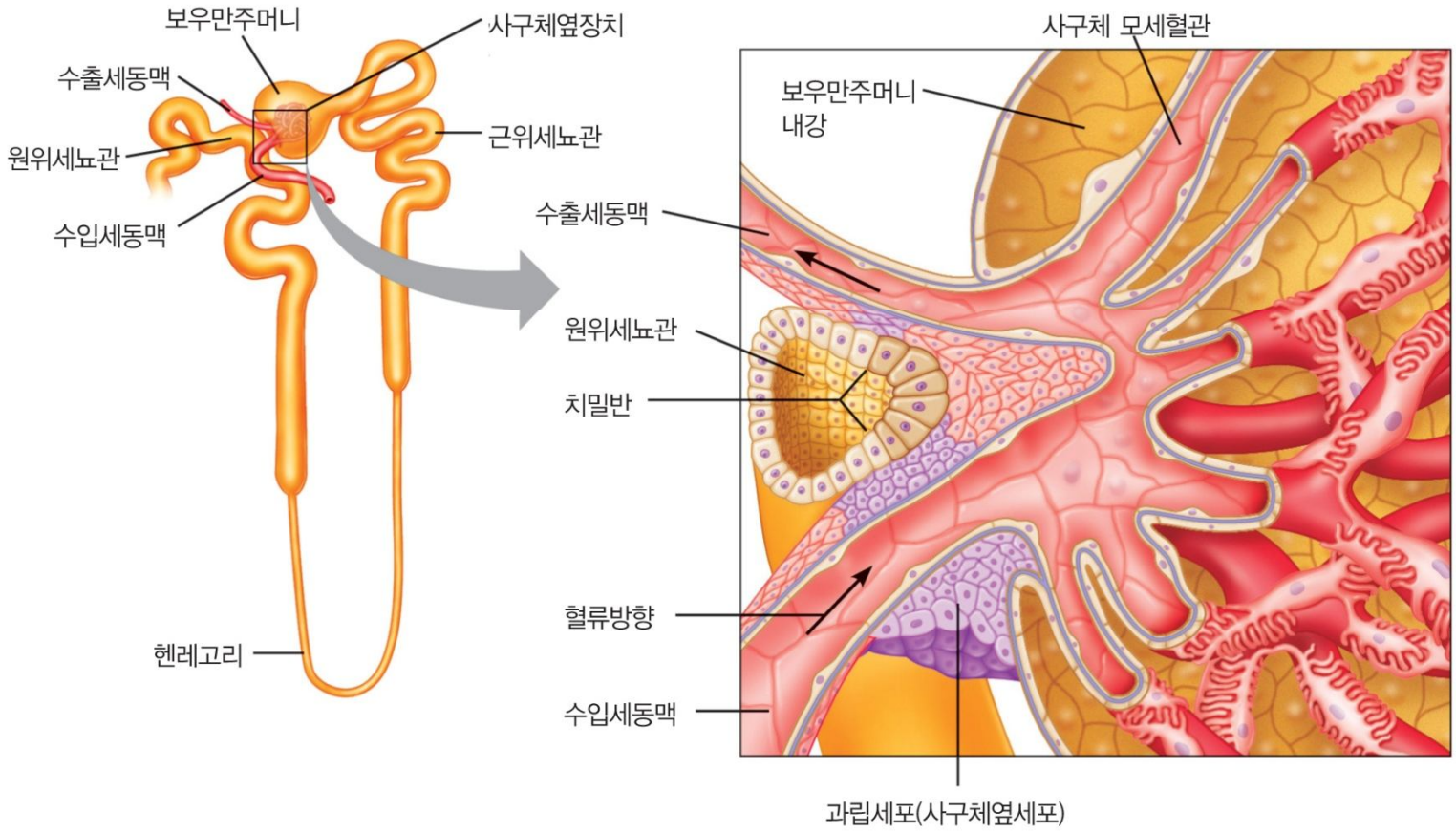
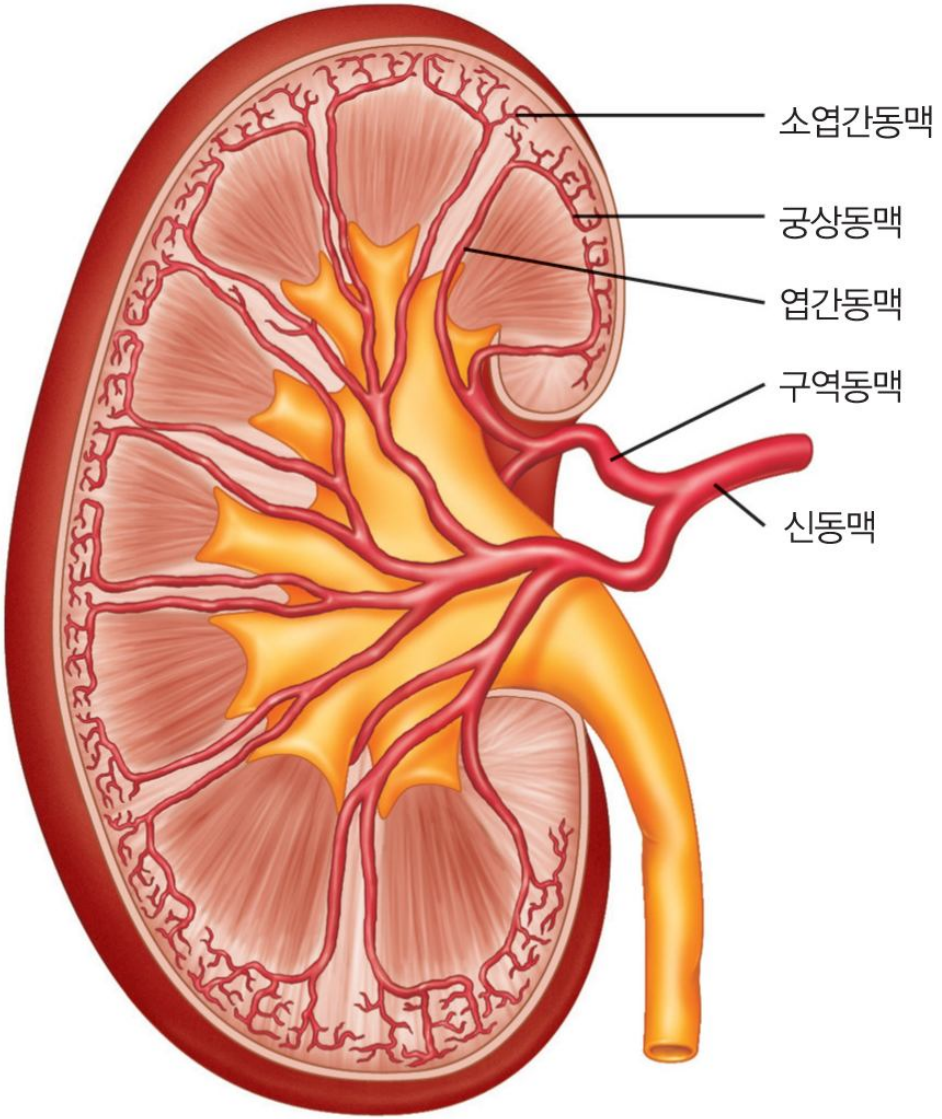
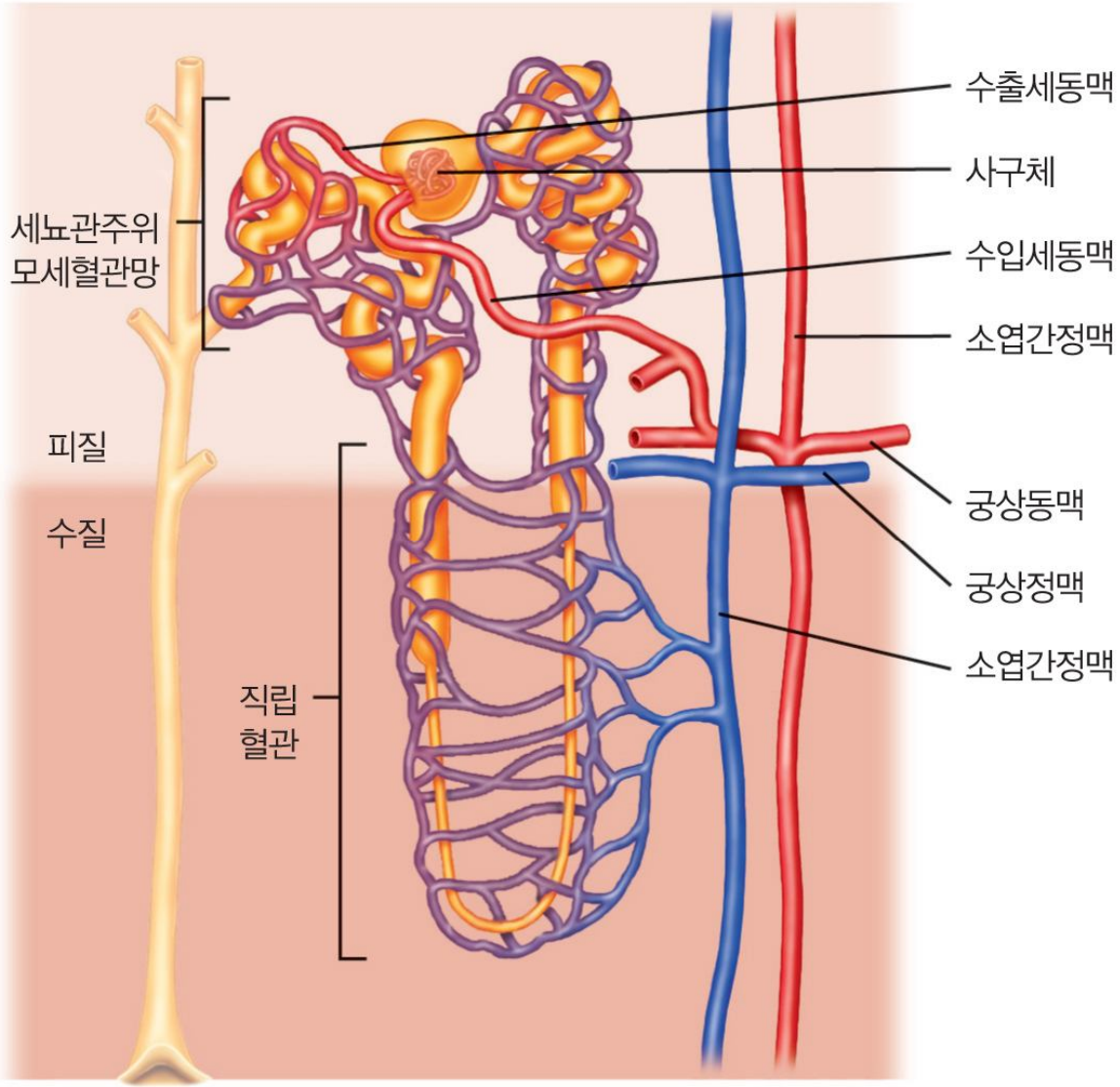


그림 18.5 사구체옆장치. 수입세동맥과 수출세동맥이 갈라지는 부분에 있는 원위세뇨관의 시작 부위에 있다. 사구체옆장치는 수입세동맥과 수출세동맥의 과립세포 및 원위세뇨관의 치밀반 등으로 이루어진다.

Kidney Blood Supply(신장으로의 혈액공급)



Nephron Blood Supply(네프론 혈액공급)



III. Basic Renal Exchange Processes(기본적인 신장의 교환 과정)

- Glomerular filtration(사구체 여과)
- Reabsorption(재흡수)
- Secretion(분비)

Basic Renal Processes(신장의 기본 과정)

- 사구체 여과-사구체로부터 보우만 주머니로
- 재흡수-세뇨관으로부터 세뇨관주위 모세혈관으로
- 분비-세뇨관주위 모세혈관으로부터 세뇨관으로
- 배설-세뇨관으로부터 체외로

Renal Exchange Processes(신장 교환 과정)

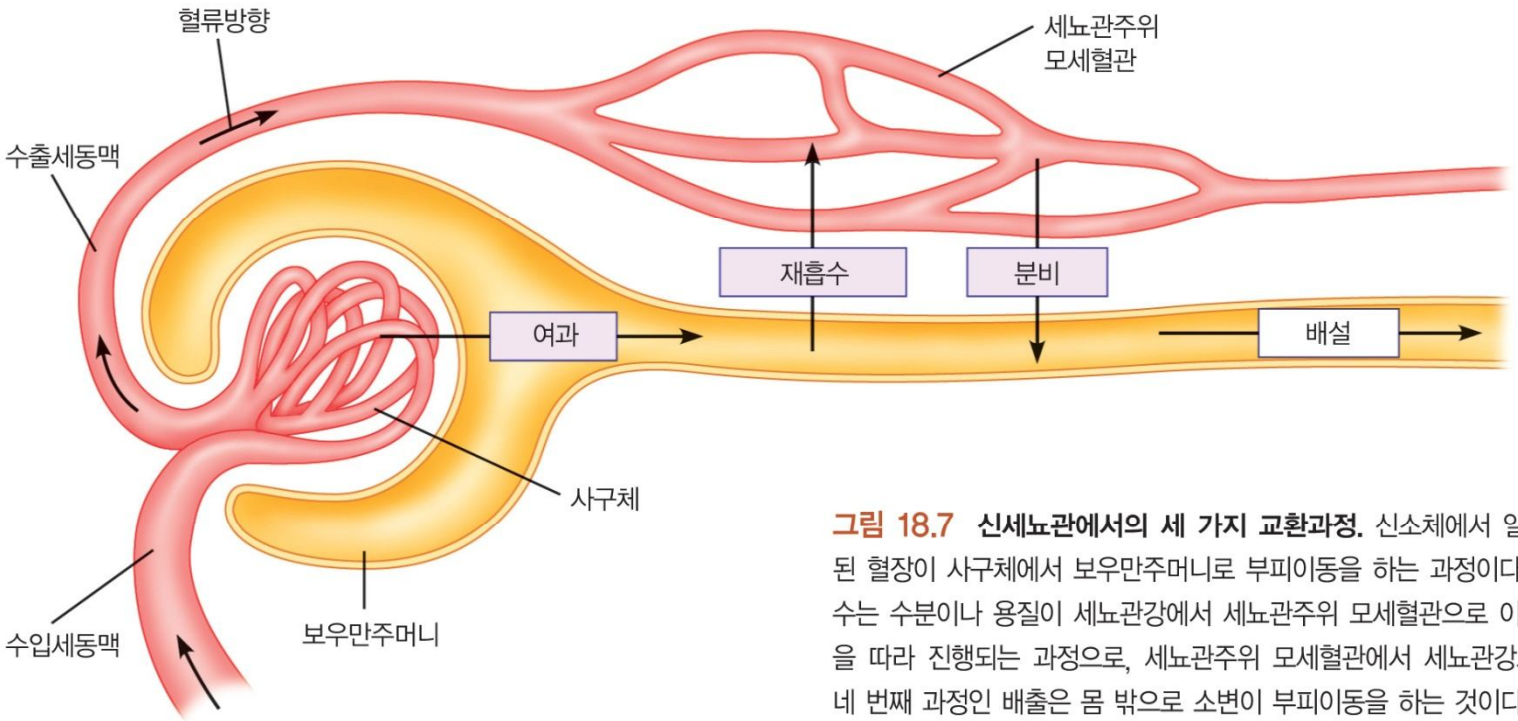


그림 18.7 신세뇨관에서의 세 가지 교환과정. 신소체에서 일어나는 여과는 단백질이 제거된 혈장이 사구체에서 보우만주머니로 부피이동을 하는 과정이다. 신세뇨관에서 일어나는 재흡수는 수분이나 용질이 세뇨관강에서 세뇨관주위 모세혈관으로 이동하는 것이다. 분비는 세뇨관을 따라 진행되는 과정으로, 세뇨관주위 모세혈관에서 세뇨관강으로 용질이 이동하는 것이다. 네 번째 과정인 배출은 몸 밖으로 소변이 부피이동을 하는 것이다.

Filtration(여과)

- 혈장의 덩어리 흐름
  - 사구체 모세혈관으로부터 신소체로

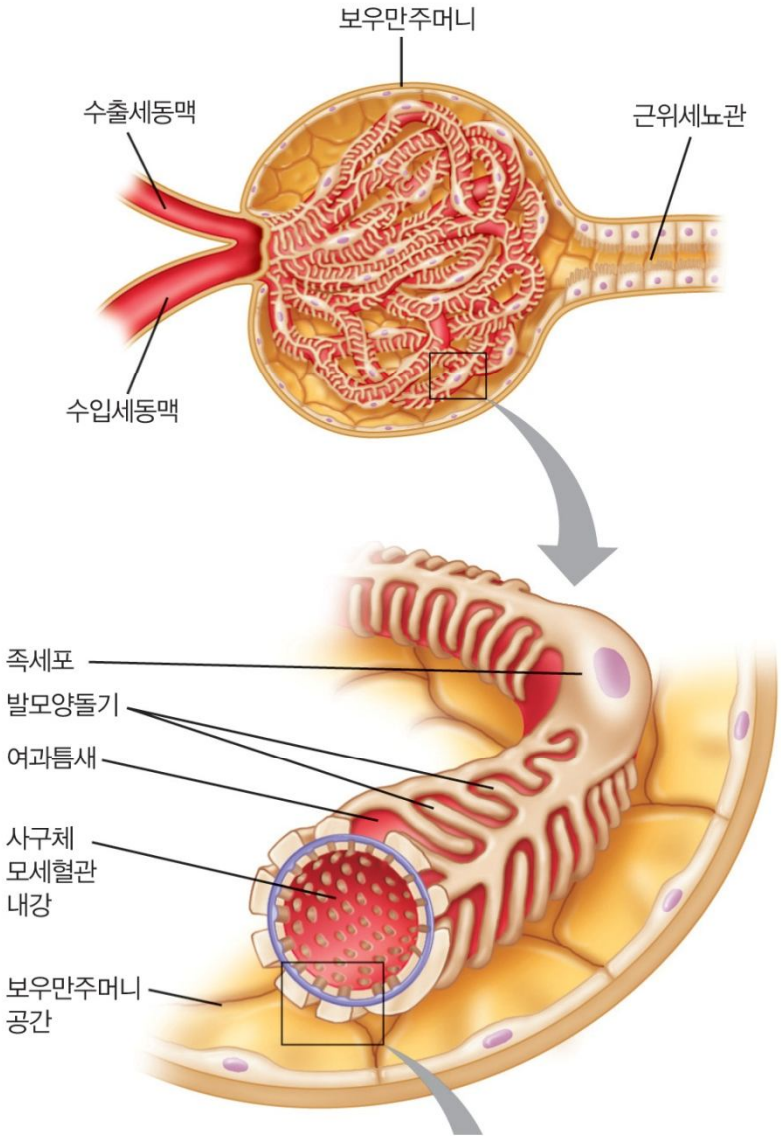
Glomerular Filtration(사구체 여과)

사구체로부터 보우만 주머니로 단백질을 제외한 혈장 이동

GFR(사구체 여과율)

= 125 mL/분 또는 180 L/일

Renal Corpuscle(신소체)



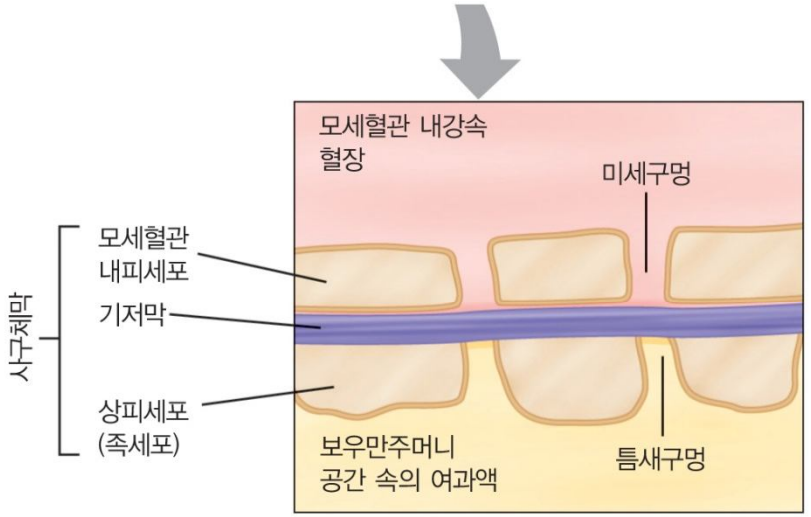


그림 18.8 신소체의 해부구조. 가장 크게 확대한 그림은 모세혈관의 내피세포, 기저막, 보우만주머니의 내피세포가 포함된 사구체막을 보여준다. 미세구멍이나 여과틈새는 혈장의 부피이동을 도와준다.

Starling Forces for Glomerular Filtration(사구체 여과를 위한 스탈링 힘)

- 사구체의 모세혈관 정수압
- 보우만주머니 교질삼투압
- 보우만주머니 정수압
- 사구체 교질삼투압

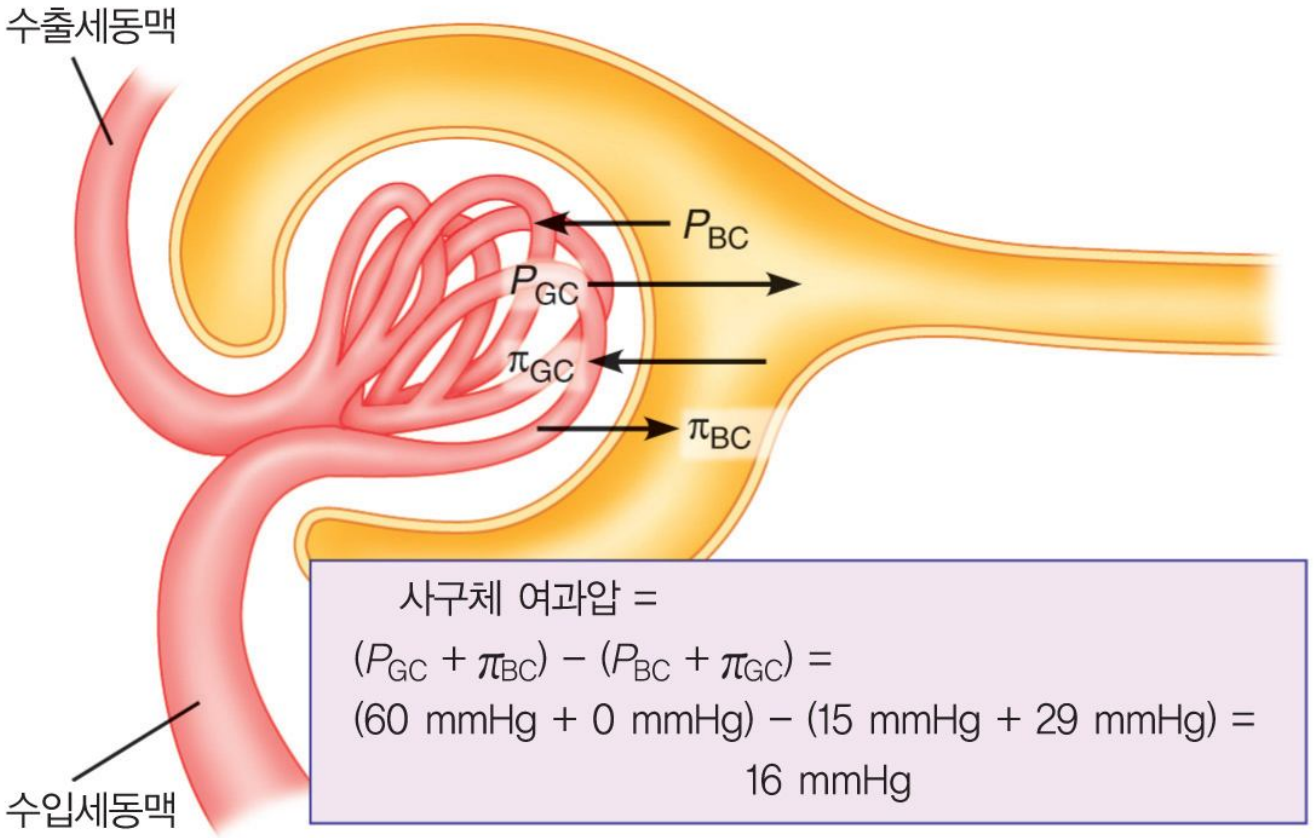
Starling Forces Favoring Filtration Across Glomerulus(사구체 여과를 촉진하는 스탈링힘)

- 사구체 모세혈관 정수압
  - 60 mm Hg
  - 수출소동맥의 저항으로 높음
- 보우만주머니 교질삼투압
  - 0 mm Hg
  - 여액내 단백질이 부족하여 낮음

Starling Forces Opposing Filtration Across the Glomerulus(사구체 여과를 반대하는 스탈링 힘)

- 보우만 주머니 정수압
  - 15 mm Hg
  - 폐쇄공간내 여액량이 많아 상대적으로 높음(체모세혈관과 비교 시)
- 사구체 교질삼투압
  - 29 mm Hg
  - 적은 양의 혈장내에 혈장단백질때문에 체모세혈관보다 높음

Glomerular Filtration Pressure(사구체 여과압)



(a) 사구체 여과압

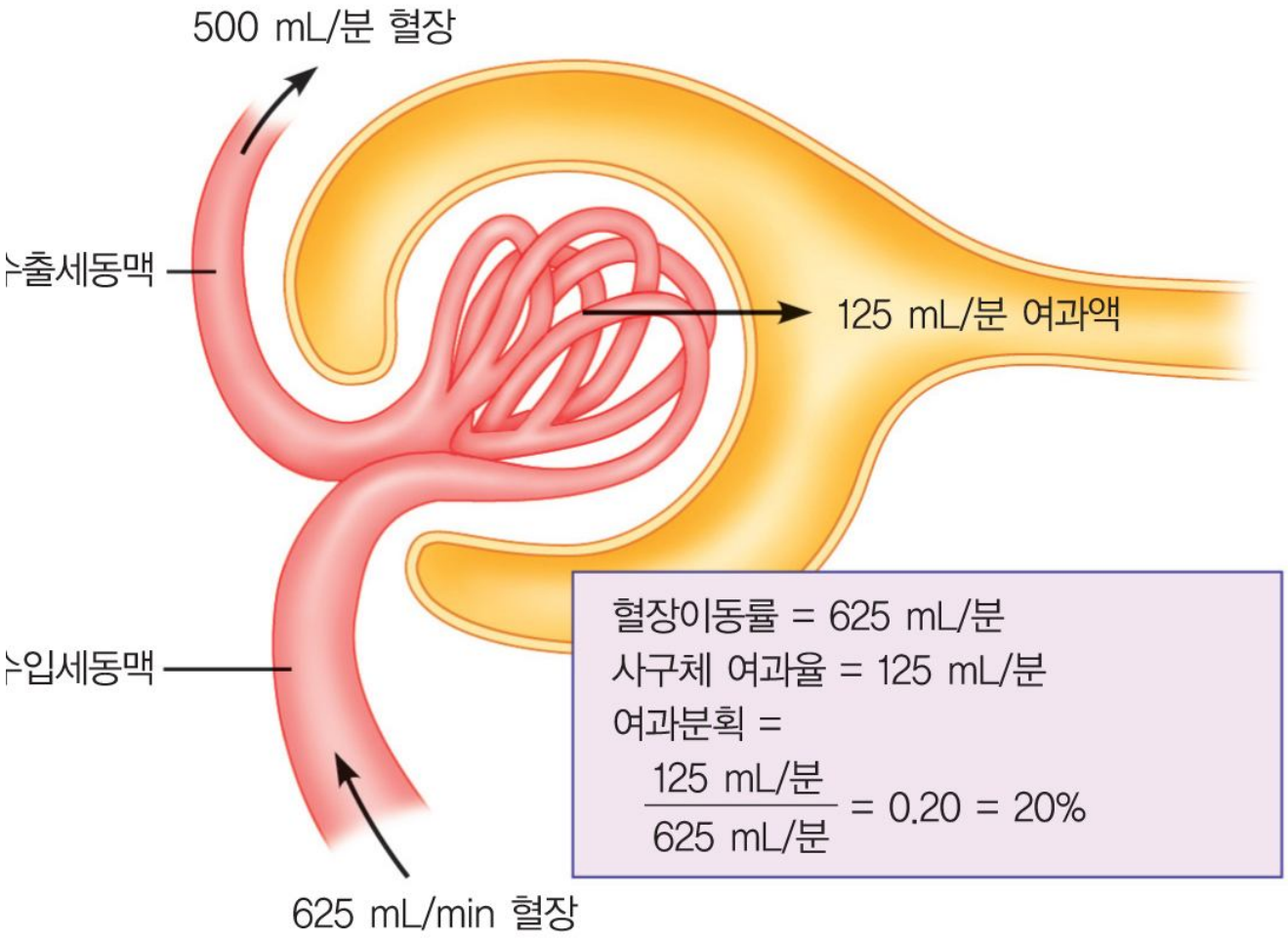
Glomerular Filtration Rate(사구체 여과율)

- 여과압 $= (P_{GC} + \pi_{BC}) - (P_{BC} + \pi_{GC})$
  $= (60 + 0) - (15 + 29) = 16$ mm Hg
- 신혈장량 = 625 mL/분
- GFR(사구체 여과율) = 125 mL/분 = 180 L/일
- 체 모세혈관과 비교시
  - 여과압 = 2 mm Hg
  - 여과율 = 3 L/일

Filtration Fraction(여과 분율)

- 분당 625mL 혈장이 신장으로 들어감
- 보우만주머니로 125mL가 여과됨
- 125/625= 여과 분율= 20%

Glomerular Filtration Rate(사구체 여과율)



(b) 사구체 여과율과 여과분획

Filtered Load(여과된 부하량)

여과된 부하량=사구체 여과율 × x의 혈장농도

- 별 제한없이 여과되는 작은 물질은 자유롭게 여과될 수 있음
- 여과량=여과된 부하량
  - 용질의 혈장농도와 사구체 여과율에 의존

Filtered Load of Glucose(포도당의 여과된 부하량)

- GFR = 125 mL/min
- 혈장 포도당 농도 =100 mg/dL = 1 mg/mLa

포도당의 여과된 부하량 =
(125 mL/min) × (1 mg/mL) = 125 mg/min

Regulation of GFR(사구체여과율의 조절)

- 1일 180 L의 액체가 여과됨
  - 1일 1.5 L만의 소변이 배설 (<1%)
  - 여과액의 99%이상이 재흡수
- 사구체 여과율의 작은 증가 →여과량과 배설량의 큰 증가
- 사구체 여과율은 매우 잘 조절됨

Regulation of GFR(사구체 여과율의 조절)

내인성, 외인성 기작

Intrinsic Regulation of GFR(사구체여과율의 내인성 조절)

- 근원성 조절
- 세뇨관사구체 피드백

Effect of MAP on GFR(사구체 여과율에 대한 평균동맥압의 효과)

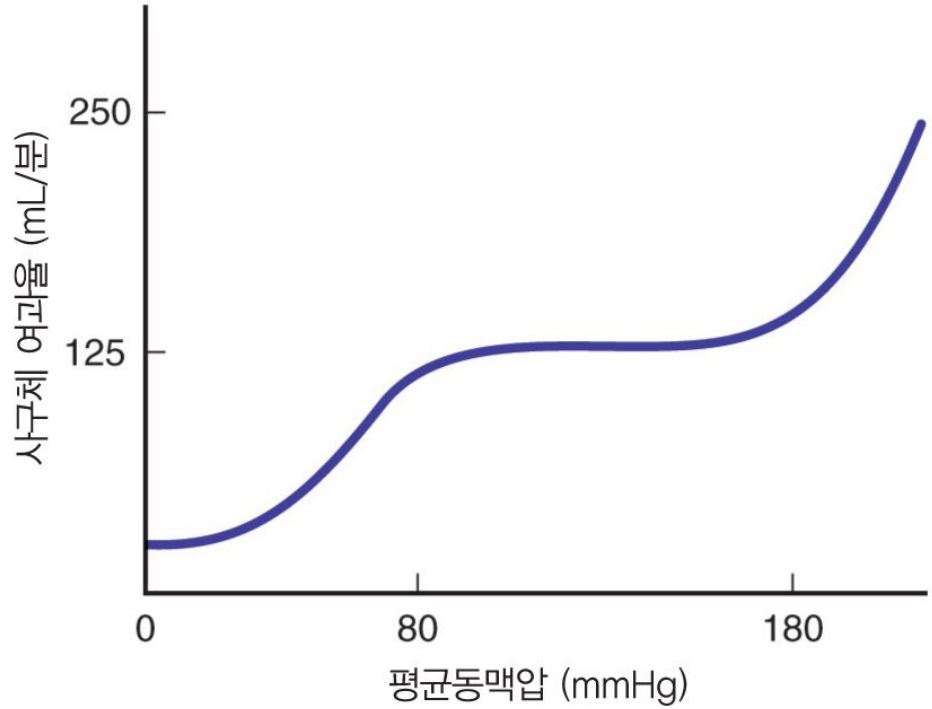
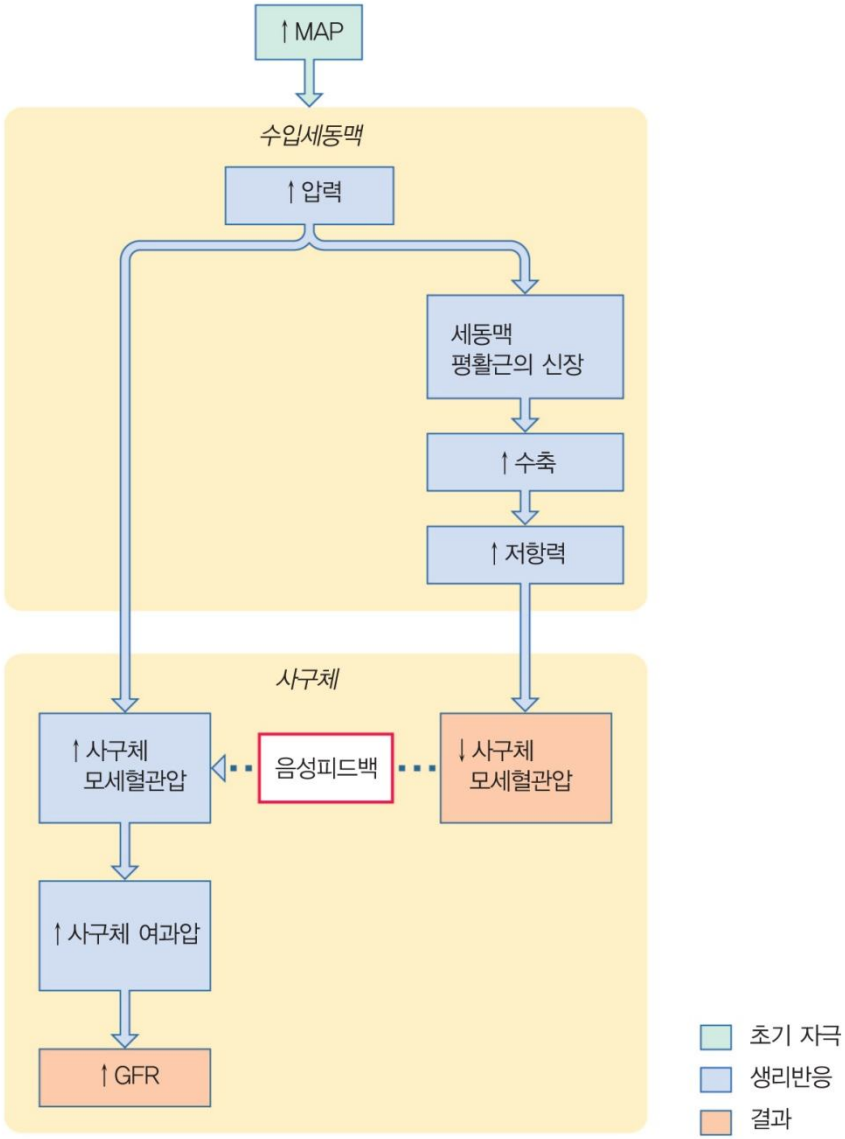


그림 18.10 사구체 여과율에 대한 평균동맥압의 효과. 80 mmHg와 180 mmHg 사이에서는 평균동맥압이 변화해도 내인성 조절 기전의 작용으로 인해 사구체 여과율에 별 변화가 없다.

Myogenic Regulation(근원성 조절)

- 수입소동맥벽의 평활근
- 신장에 반응하여 수축

GFR: Myogenic Regulation(사구체 여과율: 근원성 조절)

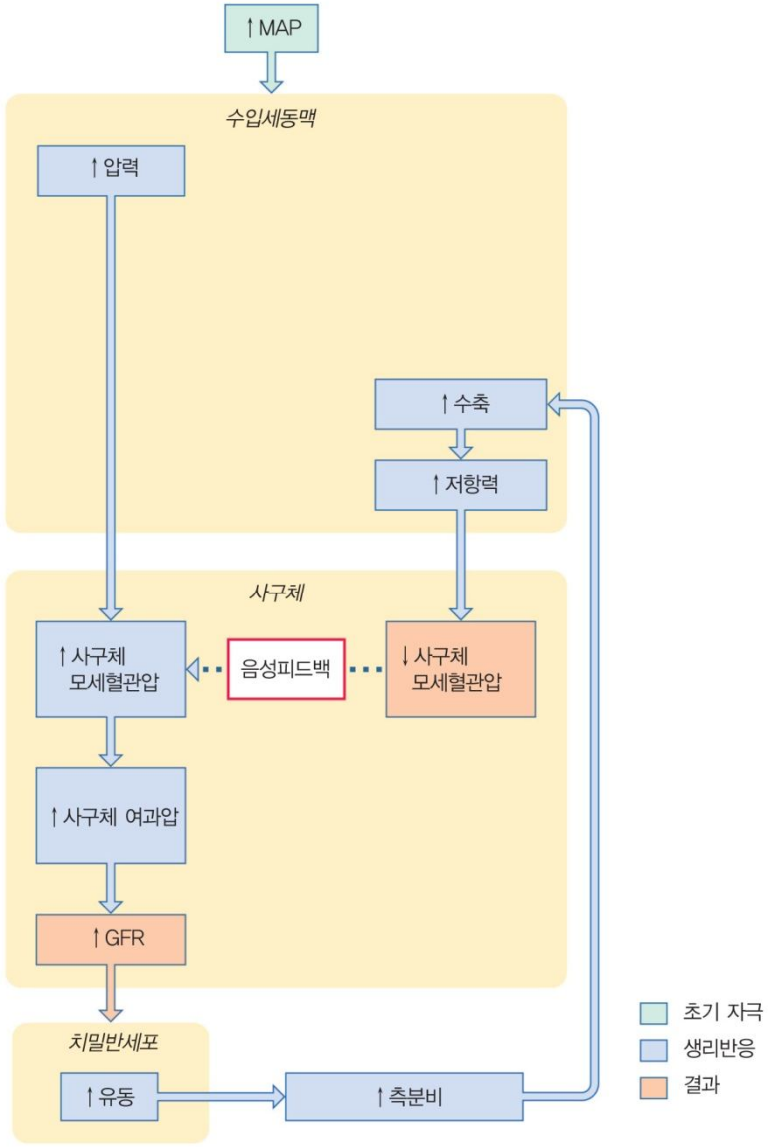


(a) 근원성 조절

Tubuloglomerular Feedback(세뇨관사구체피드백)

- 치밀반세포는 그 주위를 지나는 액체 의 흐름이 증가하면 이에 반응하여 측분비물을 분비
- 이 측분비물에 의해 소동맥의 평활근이 수축

GFR: Tubuloglomerular Regulation(사구체 여과율: 세뇨관사구체 조절)



(b) 세뇨관 사구체의 피드백

Extrinsic Control of GFR(사구체여과율의 외인성 조절)

- 혈압의 감소는 사구체 여과율을 감소시킬 수 있음
  - 직접적(여과압 감소)
  - 외인성 조절을 통해 간접적

Extrinsic Control of GFR(사구체여과율의 외인성 조절)

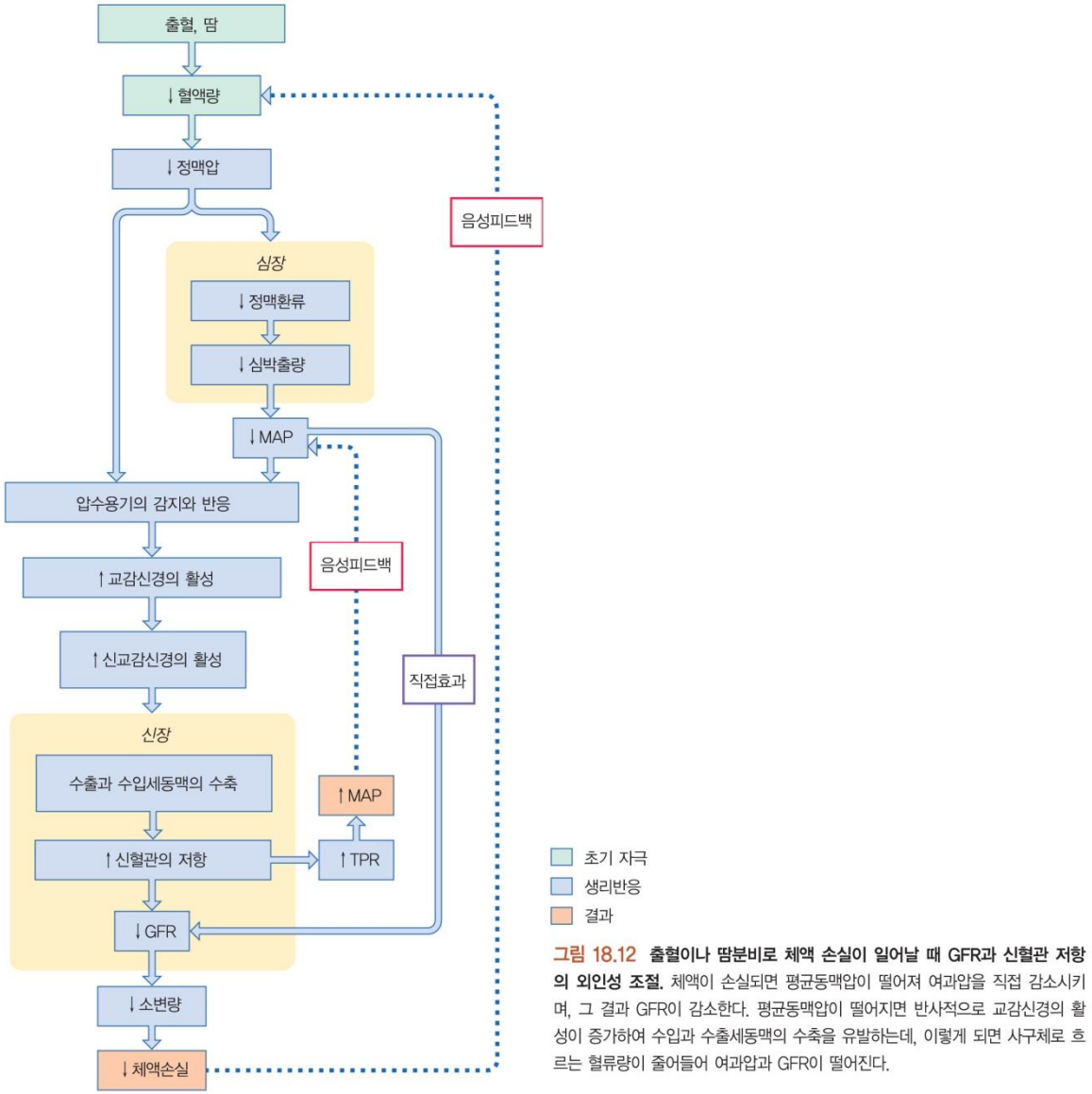


그림 18.12 출혈이나 땀분비로 체액 손실이 일어날 때 GFR과 신혈관 저항의 외인성 조절. 체액이 손실되면 평균동맥압이 떨어져 여과압을 직접 감소시키며, 그 결과 GFR이 감소한다. 평균동맥압이 떨어지면 반사적으로 교감신경의 활성이 증가하여 수입과 수출세동맥의 수축을 유발하는데, 이렇게 되면 사구체로 흐르는 혈류량이 줄어들어 여과압과 GFR이 떨어진다.

Reabsorption(재흡수)

선택적 수송: 세뇨관에서 간질액으로

Reabsorption(재흡수)

세뇨관으로부터 세뇨관주위 모세혈관으로 이동

- 대부분은 근위세뇨관에서 일어남
- 대부분은 조절되지 않음

Normal Rates of Filtration and Reabsorption(정상 여과율과 재흡수율)

표 18.1 물과 특정 용질의 정상 여과율과 재흡수율

물질	여과율	재흡수율	여과된 부하량의 재흡수율
물	180 L/일	178.5 L/일	99.2%
포도당	800 millimoles/일	800 millimoles/일	100%
요소	933 millimoles/일	467 millimoles/일	50%
Na^+	25.20 moles/일	25.05 moles/일	99.4%
K^+	720 millimoles/일	620 millimoles/일	86.1%
Ca^{2+}	540 millimoles/일	530 millimoles/일	98.1%
Cl^-	18.00 moles/일	17.85 moles/일	99.2%
HCO_3^-	4.320 moles/일	4.318 moles/일	>99.9%

Solute Reabsorption(용질 재흡수)

- 대부분은 근위구불세뇨관에서 일어남
- 일부는 원위구불세뇨관에서 일어남
- 재흡수에 대한 장벽
  - 신세뇨관의 상피세포
  - 모세혈관의 내피세포(극소)

Reabsorption Barrier(재흡수 장벽)

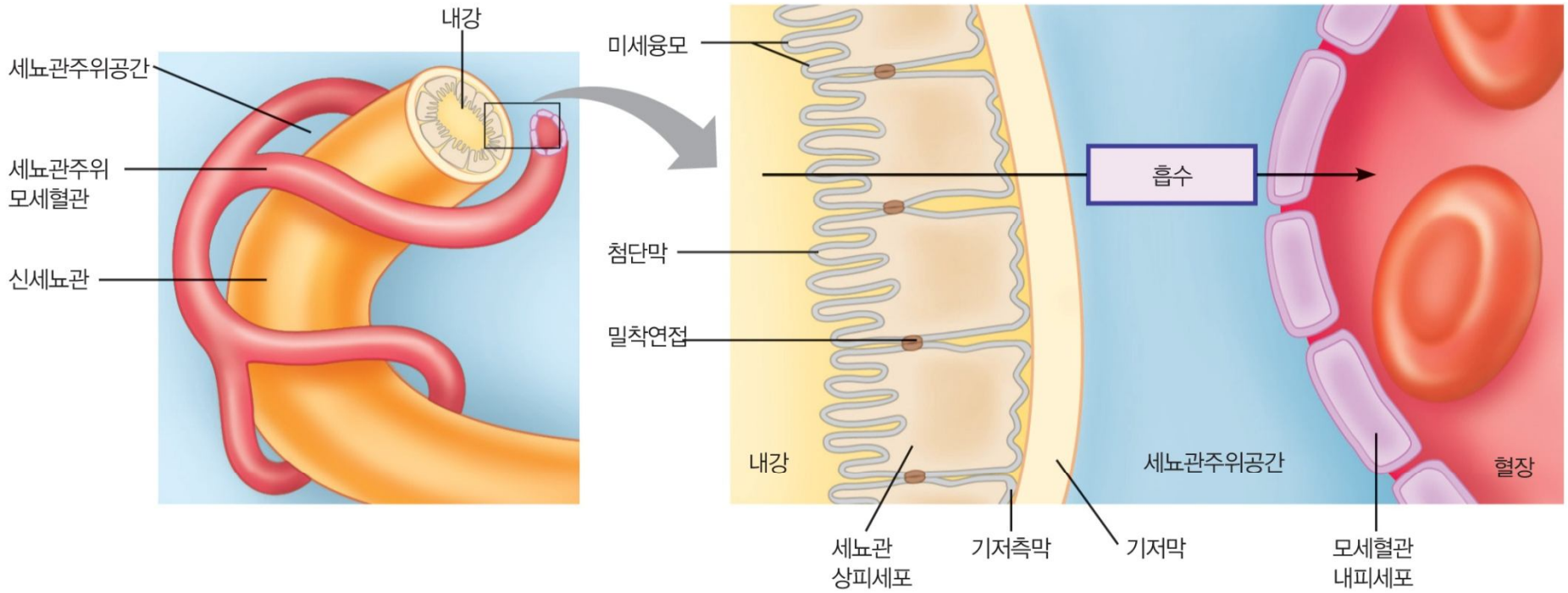
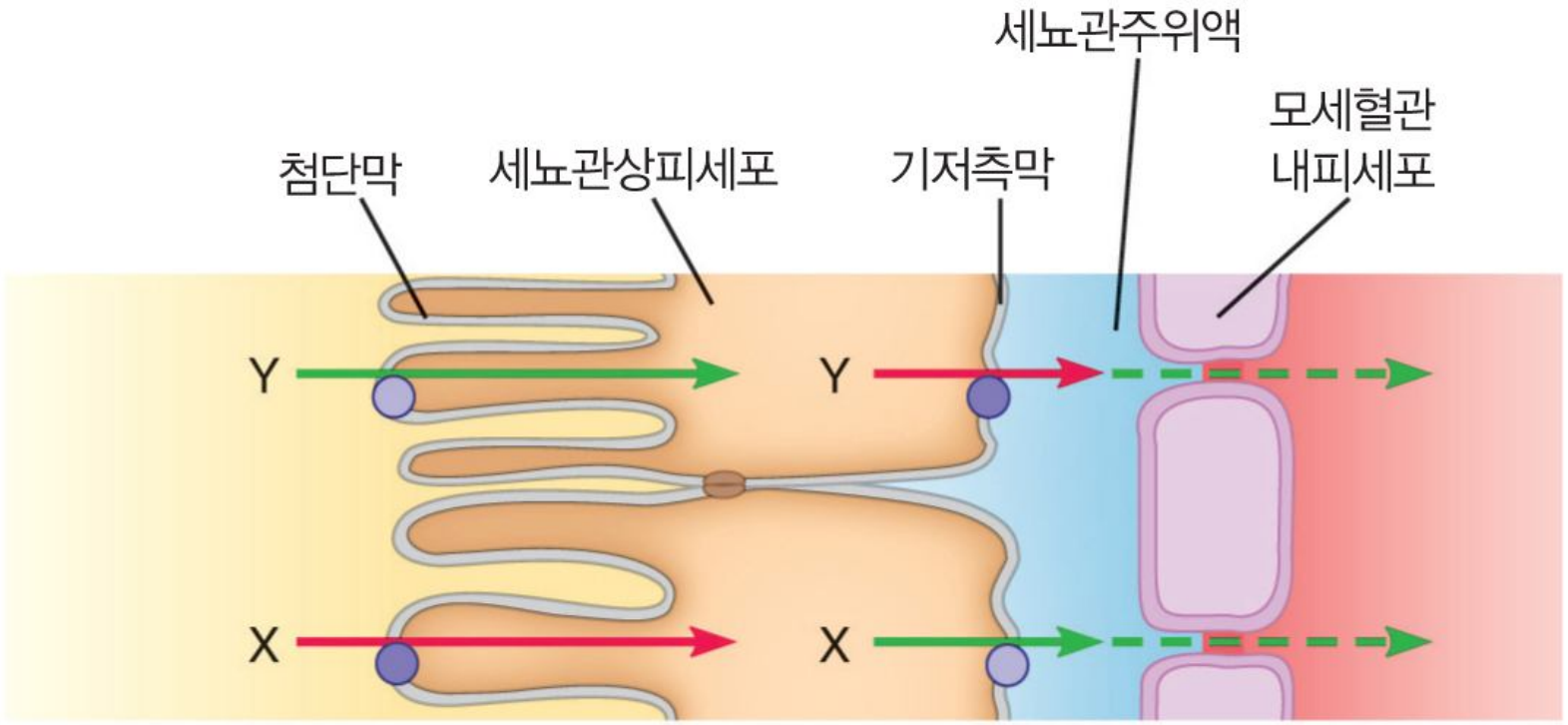


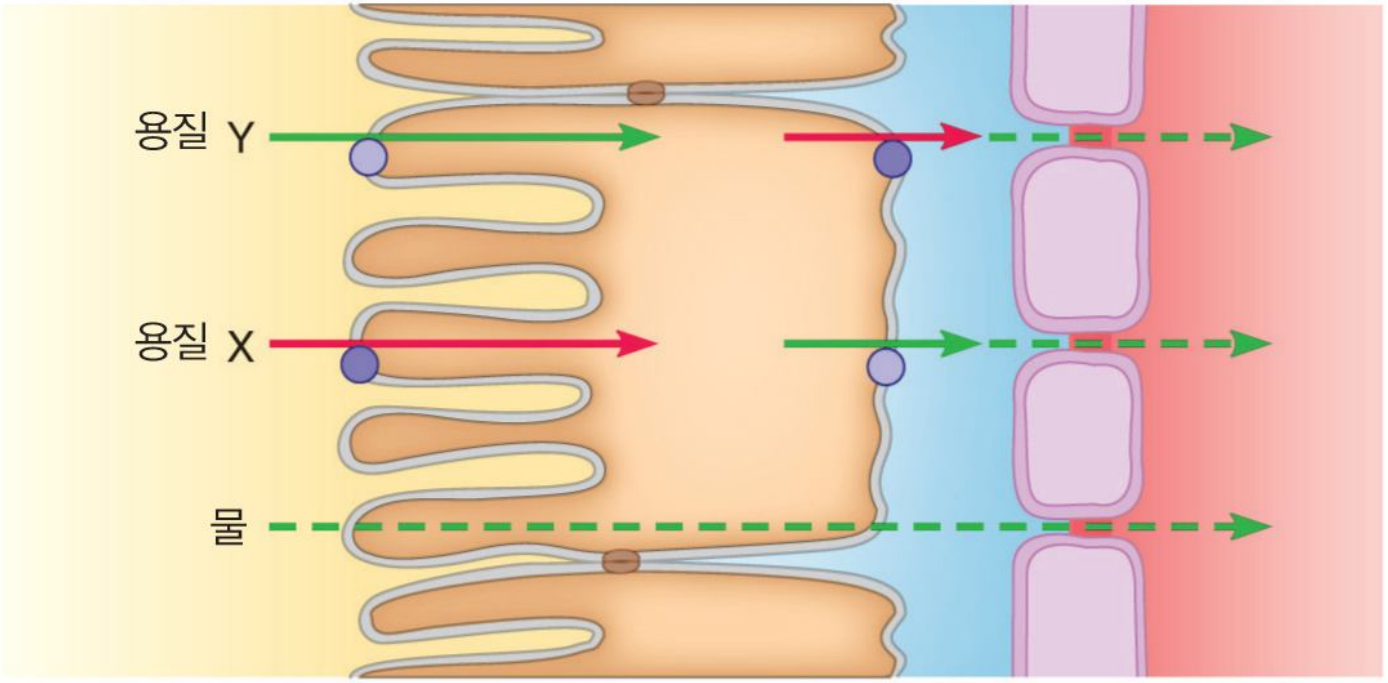
그림 18.13 재흡수에 대한 장벽. 재흡수가 일어나려면 물질은 신세뇨관의 상피세포와 모세혈관의 내피세포를 통과해야 한다. 모세혈관벽은 통과하기 쉬우므로 1차 장벽은 세뇨관 상피세포의 첨단막과 기저측막이다.

Active Solute Reabsorption(용질의 능동재흡수)



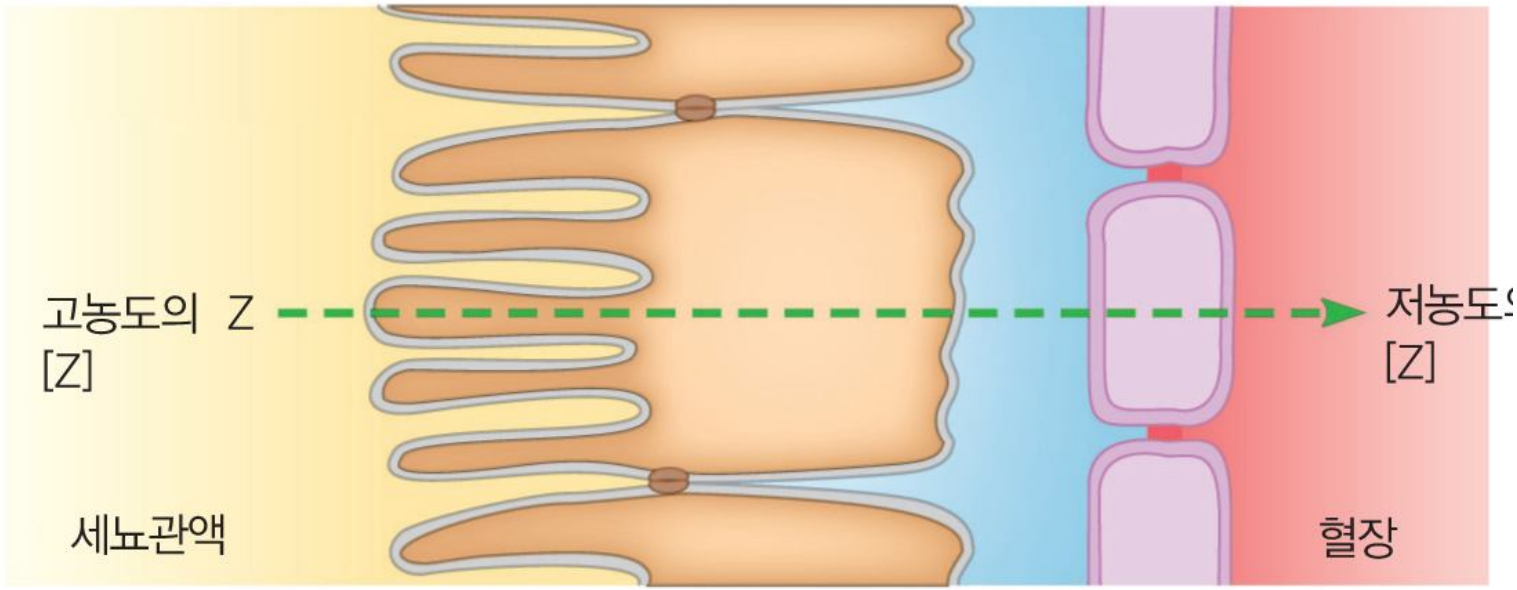
(a) 용질의 능동 재흡수

Water Reabsorption(수분 재흡수)



(b) 수분 재흡수(수동적)

Passive Solute Reabsorption(용질의 수동재흡수)



(c) 확산에 의한 용질의 수동 재흡수

Transport Maximum(최대수송)

운반체가 포화되었을 때의 수송률

용질이 운반체 단백질에 의해 상피를 통과할 때,
운반체의 포화가 일어남

Renal Threshold(신장역치)

- 정상적으로 100% 재흡수되는 용질의 경우
  - 여액내 용질이 운반체를 포화시킨다면, 용질 일부가 소변으로 배설
  - 여액내 용질이 운반체를 포화시켜 소변으로 넘쳐나가기 시작하는 용질의 혈장농도 = 신장역치

Example: Glucose Reabsorption(예: 포도당 재흡수)

- 사구체에서 자유롭게 여과됨
- 정상적으로 근위세뇨관에서 100% 능동적으로 재흡수됨
- 정상적으로 포도당이 소변으로 배설되지 않음

Glucose Reabsorption(포도당 재흡수)

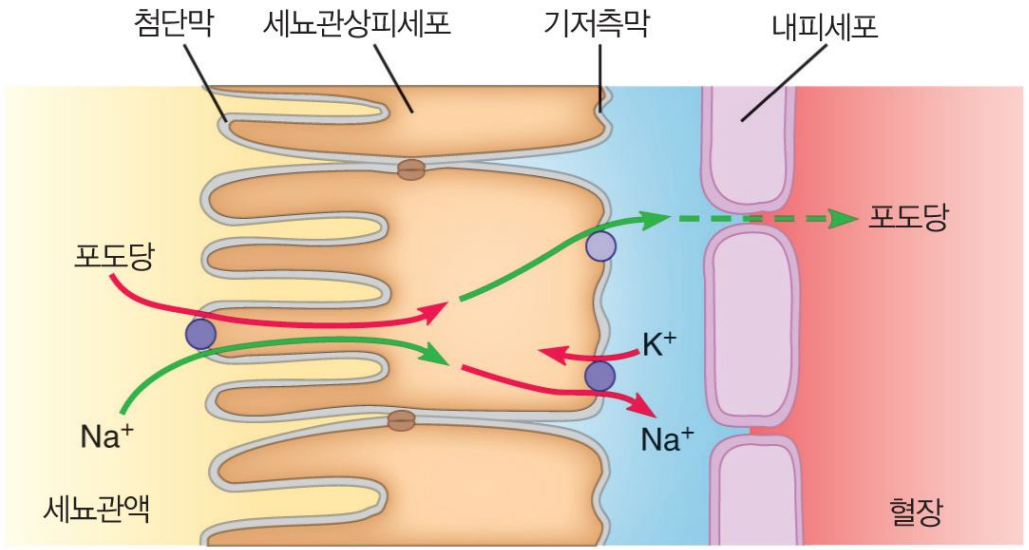


그림 18.15 포도당의 재흡수 기전. 포도당은 첨단막을 통해 나트륨과 공동수송으로 능동 재흡수되며, 뒤이어 촉진확산으로 기저측막을 통과한다.

- 포도당 재흡수를 위한 운반체 단백질
  - 첨단막: 2차 능동 수송
  - 기저측막: 촉진 확산

Glucose Renal Curve(신장의 포도당 곡선)

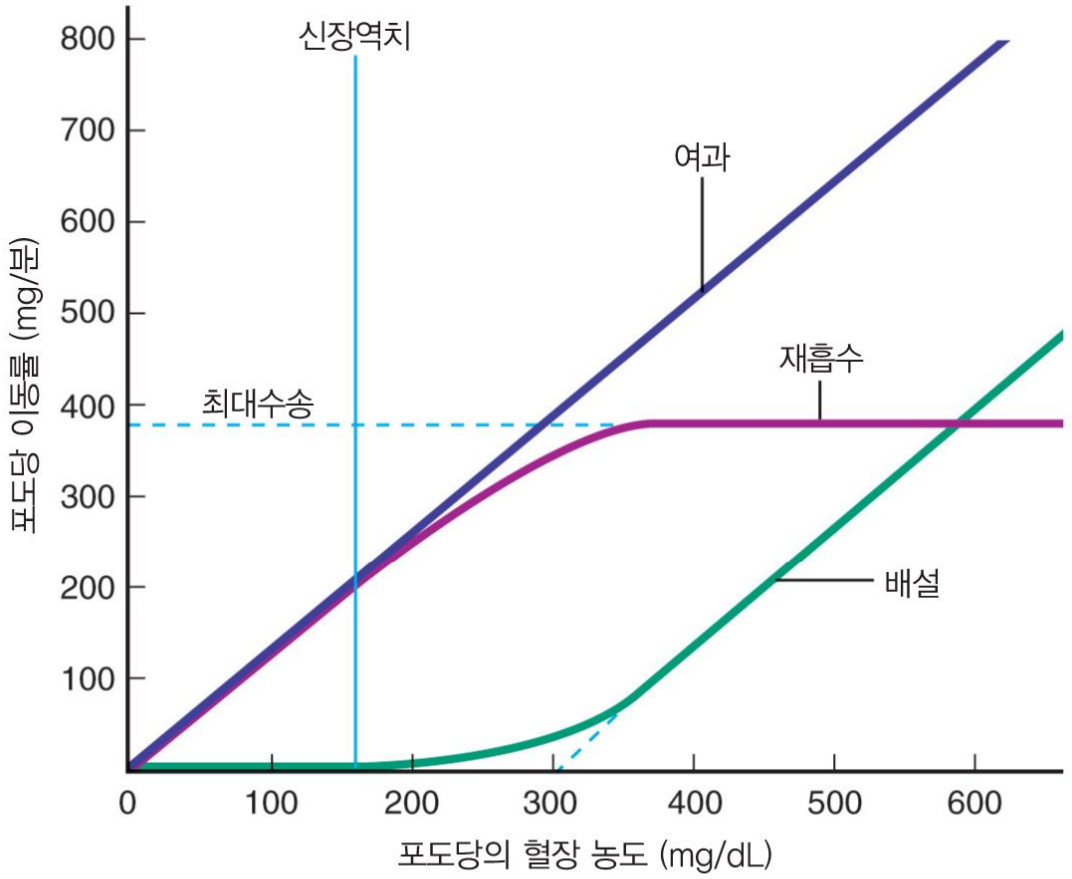


그림 18.16 혈장 포도당 농도의 함수로서의 포도당의 여과, 재흡수, 분비. 분비율은 여과율와 재흡수율 사이의 차이다. GFR이 125 mL/분으로 항상 일정하다고 가정한다. 포도당이 소변에 나타나기 전에는 "이론적인" 신장역치(300 mg/이)에 도달하지 않는다.

Renal Handling of Glucose(신장의 포도당 처리)

- 혈장내 포도당 농도 = 100 mg/dL
- 포도당 여과된 부하량 = 125 mg/min
- 포도당 재흡수를 위한 최대 수송
- 이론적인 신장역치 = 300 mg/dL
  - 사구체 여과율 x 신장역치= 최대수송
- 실제 신장역치 = 160–180 mg/dL
  - 여과된 부하량= 225 mg/min

Secretion(분비)

- 용질이 세뇨관주위 모세혈관으로부터 세뇨관으로 이동
- 재흡수를 위한 장벽과 동일
- 수송 기작은 같으나 방향이 반대

Secretion(분비)

- 분비되는 물질
  - 칼륨
  - 수소 이온
  - 콜린
  - 크레아틴
  - 페니실린

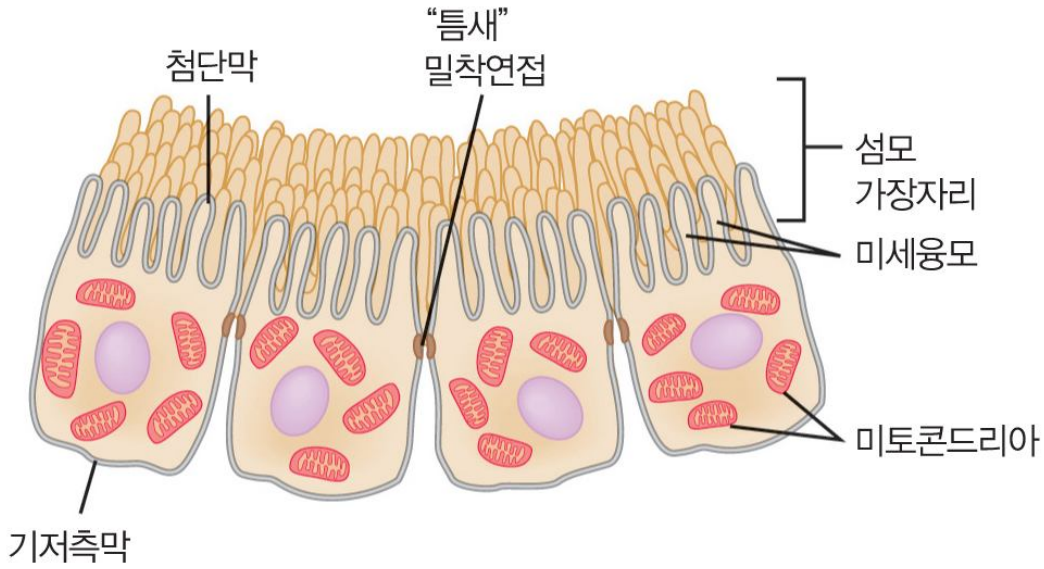
Renal Tubule Specialization(신세뇨관의 특화)

- 특정 부위가 특정 기능을 수행한다

IV. Regional Specialization of the Renal Tubules(신세뇨관의 부위별 특징)

- 근위세뇨관에서 조절되지 않는 재흡수
- 원위세뇨관과 집합관에서 조절되는 재흡수와 분비
- 헨레고리에서 수분 보존

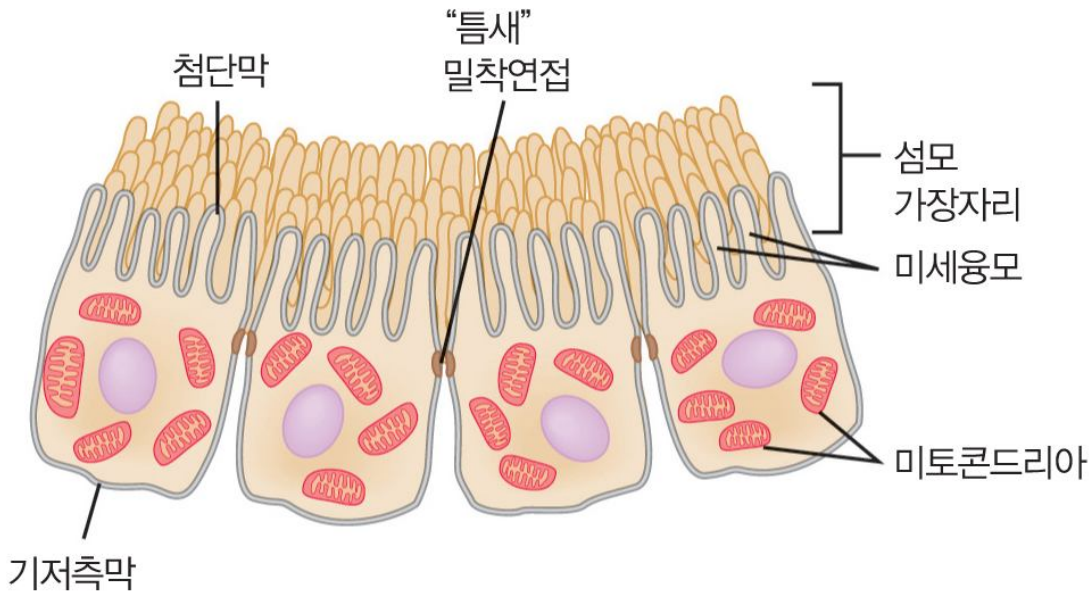
Proximal Tubule Reabsorption(근위세뇨관 재흡수)



(a) 근위세뇨관

- 근위세뇨관은 대량 흡수기
  - 70%의 물과 나트륨
  - 100% 포도당
- 섬모가장자리는 큰 표면적을 제공

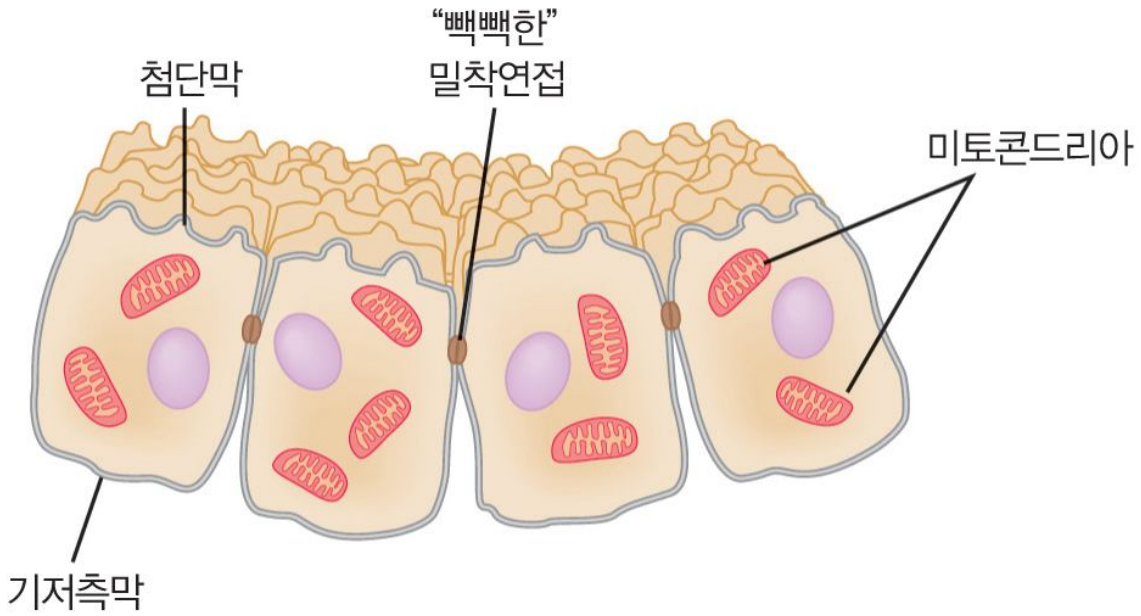
Proximal Tubule Reabsorption(근위세뇨관 재흡수)



(a) 근위세뇨관

- 조절되지 않는 재흡수
- 틈새가 있는 밀착연접을 통해 벽세포수송이 가능

Distal Tubule and Collecting Duct(원위세뇨관과 집합관)



(b) 원위세뇨관과 집합관 상피조직

- 수송이 상피를 통해 조절
- 밀착연접이 벽세포 수송을 제한

Water Conservation due to Loop of Henle(헨레고리에 의한 수분 보존)

- 헨레고리는 소변 농축에 필요한 조건을 형성
- 수분 소실의 최소화

Tubule Regional Specialization(세뇨관 부위별 특징)

표 18.2 신세뇨관을 통해 재흡수되거나 분비되는 부위

세뇨관 부위	재흡수된 물질		분비된 물질
근위세뇨관	Na^+	포도당	H^+
	Cl^-	아미노산	
	K^+	비타민	
	Ca^{2+}	요소	
	HCO_3^-	콜린	
	수분		
헨레고리 (하행각)	수분		
헨레고리 (상행각)	Na^+	Mg^{2+}	
	Cl^-	Ca^{2+}	
	K^+		
원위세뇨관	Na^+		K^+
	Ca^{2+}		H^+
	Cl^-		
	수분		
집합관	Na^+	HCO_3^-	K^+
	K^+	H^+	H^+
	Cl^-	요소	
	Ca^{2+}	물	

V. Excretion(배설)

- Excretion rate(배설률)
- Clearance(제거율)
- Micturition(배뇨)

Excretion Rate(배설률)

- 배설되는 양=여과량+분비량-재흡수량
- 배설량을 결정하는 요인
  - 여과된 부하량
  - 분비율
  - 재흡수율

Basic Renal Processes(신장의 기본과정)

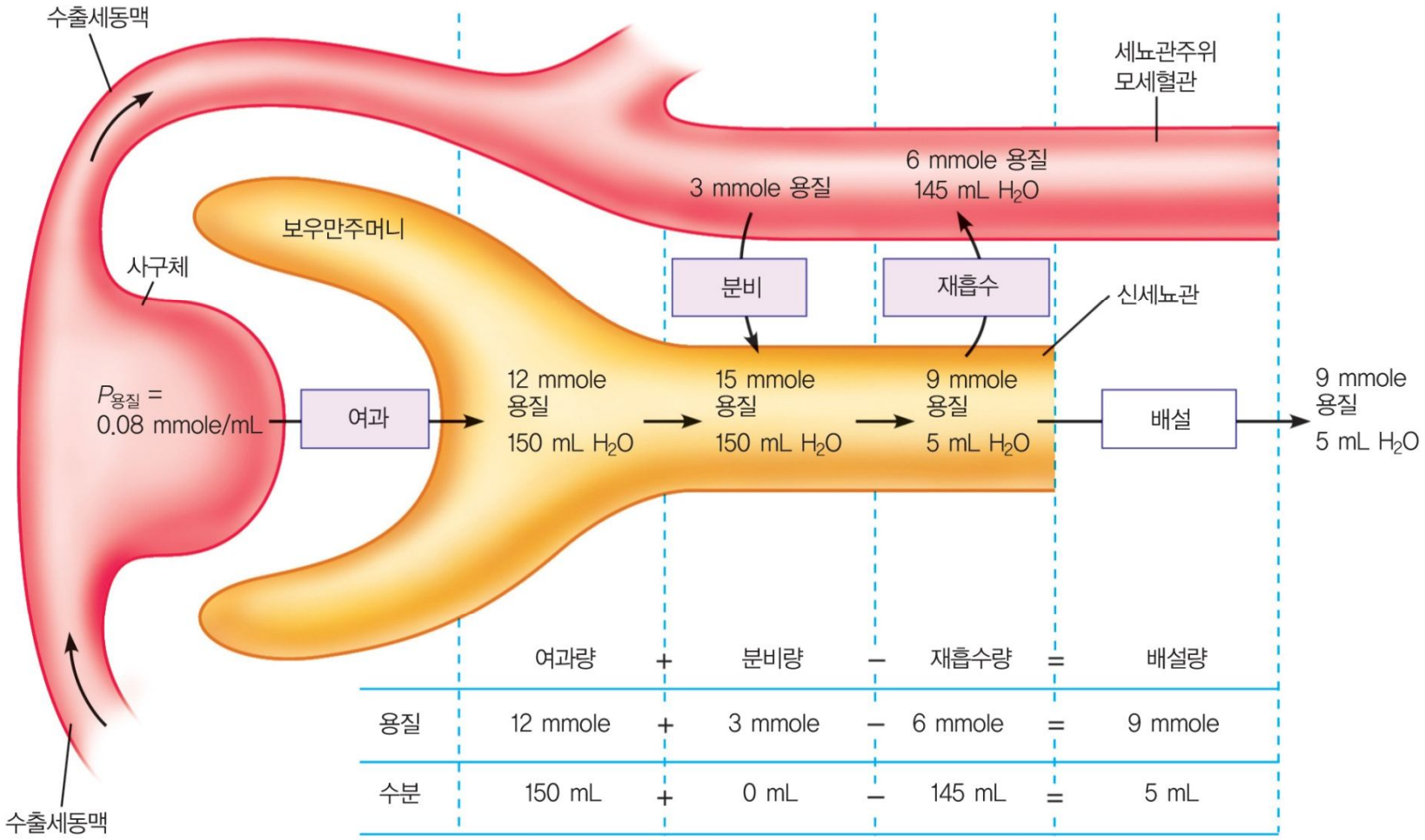


그림 18.18 신장의 4가지 기본 과정을 나타낸 개념도.

Renal Handling of Solute(신장의 용질 처리)

- 분당 배설되는 용질의 양이 여과된 부하량보다 적다면 → 용질이 재흡수됨
- 분당 배설되는 용질의 양이 여과된 부하량보다 크다면 →용질이 분비됨

Clearance(제거율)

신장이 단위시간 동안 용질을 완전히 제거한
혈장량(배설된 물질의 양이 포함된 혈장량)

$$\text{Clearance} = \frac{\text{배설률}}{\text{혈장 농도}} = \frac{U_x \times V}{P_x}$$

Clearance of Inulin(이눌린의 제거율)

- 자유롭게 여과되고 재흡수나 분비가 전혀 일어나지 않은 물질의 제거율 = GFR
- 소변으로 배설된 이눌린의 양= 여과된 양= 여과된 부하량
- 배설률 = 여과된 부하량 $= GFR \times P_i$

$$Clearance_i = \frac{\text{excretion rate}}{\text{plasma concentration}} = \frac{GFR \times P_i}{P_i} = GFR$$

Clearance of Inulin(이눌린의 제거율)

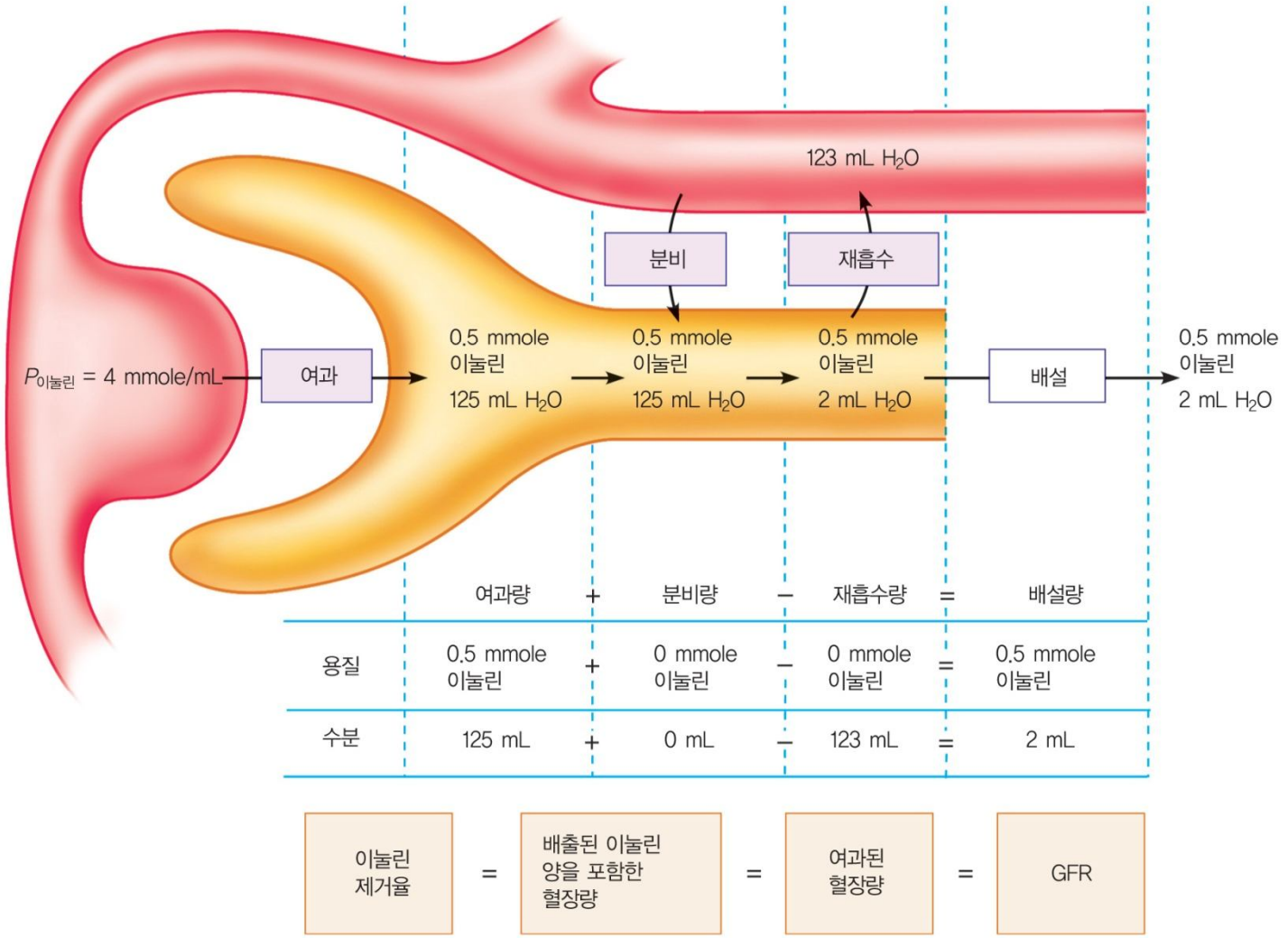


그림 18.19 이눌린의 제거율. 이눌린은 재흡수나 분비가 되지 않으므로 총배출량이 여과량과 같다. 그러므로 이눌린의 제거율 = GFR = 125 mL/분이다.

Inulin Clearance(이눌린의 제거율)

$$C_{inulin} = \frac{(U_{inulin})(V)}{P_{inulin}} =$$

$$C_{inulin} = \frac{(250 \text{ mmole/liter})\ (2.0 \text{ mL/min})}{(4 \text{ mmole/liter})} = 125 \text{ mL/min}$$

Use of Creatinine to Estimate GFR(사구체 여과율을 측정하기 위한 크레아틴의 사용)

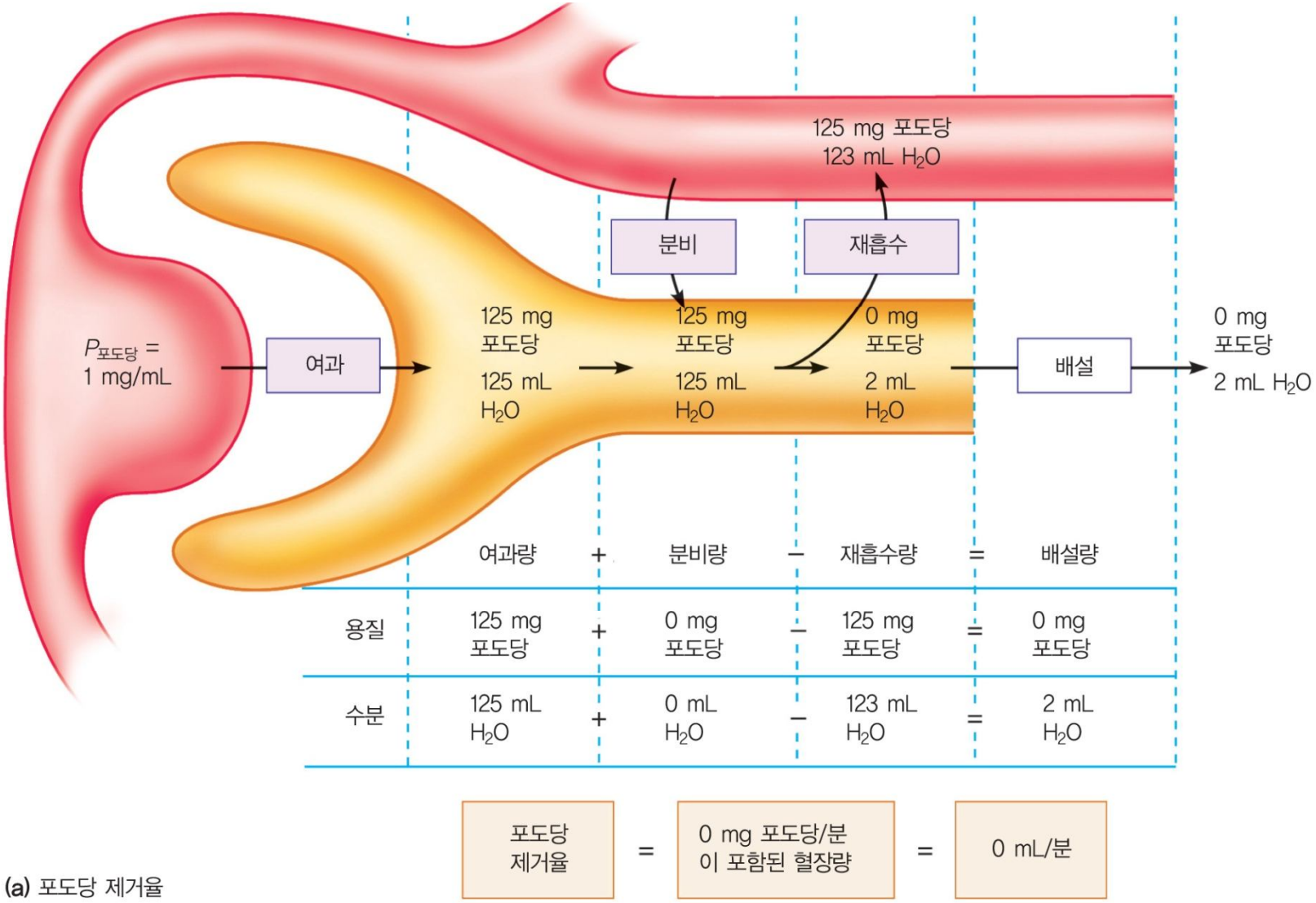
- 크레아틴= 근육 대사의 부산물
- 체내에서 생성
- 자유롭게 여과
- 재흡수되지 않음
- 소량 분비됨
- 제거율=사구체 여과율의 “측정치”
  - 제거율은 사구체여과율보다 약간 작음: 140mL/min

Clearance of Glucose(포도당의 제거율)

완전히 재흡수되는 물질의 제거율= 0

$$\text{Clearance}_g = \frac{U_g \times V}{P_g} = \frac{(0\ \text{mmole/l}) \times V}{P_g} = 0\ \text{mL/min}$$

Clearance of Glucose(포도당의 제거율)

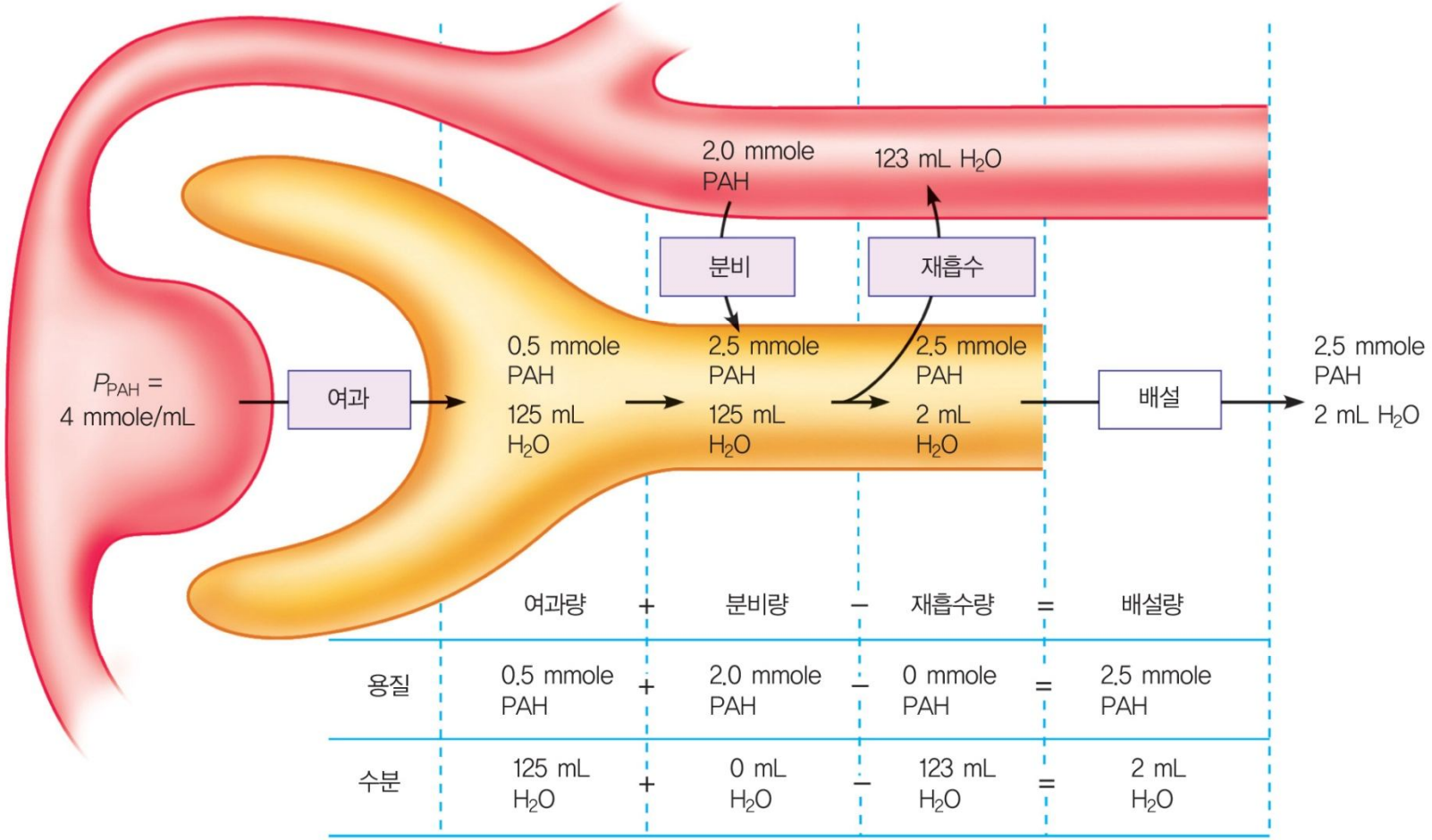


(a) 포도당 제거율

Clearance of PAH(PAH의 제거율)

- 자유롭게 여과되고 충분히 분비되나 재흡수되지 않는 물질의 제거율= 신장 혈장량 비율
- 배설량= 신장으로 들어간 혈장의 양에 포함된 양

Clearance of PAH(PAH의 제거율)



(b) PAH의 제거율

Renal Blood Flow(신혈류량)

- PAH 제거율 = 신혈장량의 측정치
- 혈장량을 혈류량으로 전환
  - 혈액의 55%는 혈장

$$\text{Renal blood flow} = \frac{\text{clearance PAH}}{\text{1-hematocrit}} = \frac{\text{625 mL/min}}{\text{0.55}} = \text{1136 mL/min}$$

Determining Fate of Solutes in Renal Tubules(신세뇨관 속에 있는 용질의 운명 결정)

- 어떤 물질의 제거율 > GFR이면 물질이 분비됨
- 어떤 물질의 제거율 < GFR 이면 재흡수됨

Clearance of Common Substances(물질의 제거율)

표 18.3 신장에서 처리되는 일부 물질의 제거율

물질	제거율 (mL/분)	신장의 실제 처리과정 (재흡수 또는 분비)*
PAH	650	분비
크레아티닌	140	분비
이눌린	125	없음
칼륨	12.0	재흡수
염소	1.3	재흡수
나트륨	0.9	재흡수
포도당	0	재흡수

*GFR = 125 mL/분. 제거율이 GFR보다 크면 실제 분비가 일어나며, 제거율이 GFR보다 작으면 실제 흡수가 일어난다.

Micturition(배뇨)

배뇨

- 신세뇨관에서 생성된 소변
- 소변은 신우로 들어가 수뇨관으로 이동
- 수뇨관을 통해 방광으로 이동
- 방광은 소변이 배설될 때까지 저장)

Anatomy: Bladder and Urethra(방광과 요도의 해부구조)

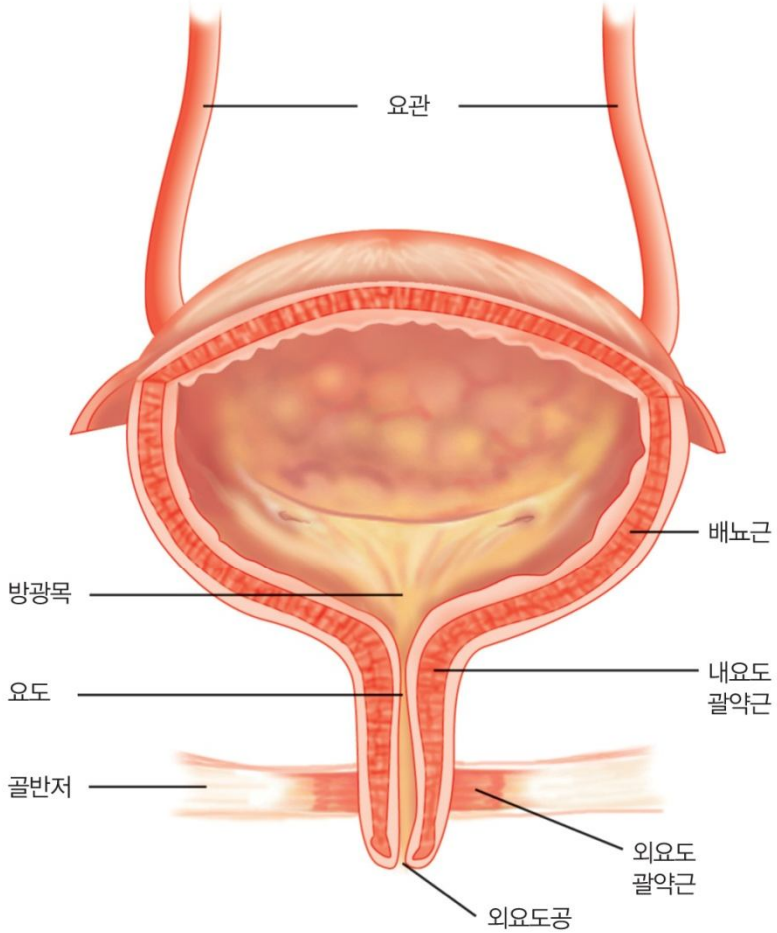


그림 18.21 방광과 요도의 해부구조. 여자의 방광과 요도의 구조이며, 남자의 경우 요도가 음경까지 뻗어 있다. 방광벽에는 배뇨근인 평활근이 있다. 두 개의 괄약근이 방광에서 소변의 배출을 조절하는데, 평활근으로 구성된 내요도괄약근과 골격근으로 구성된 외요도괄약근이다.

Micturition Reflex(배뇨반사)

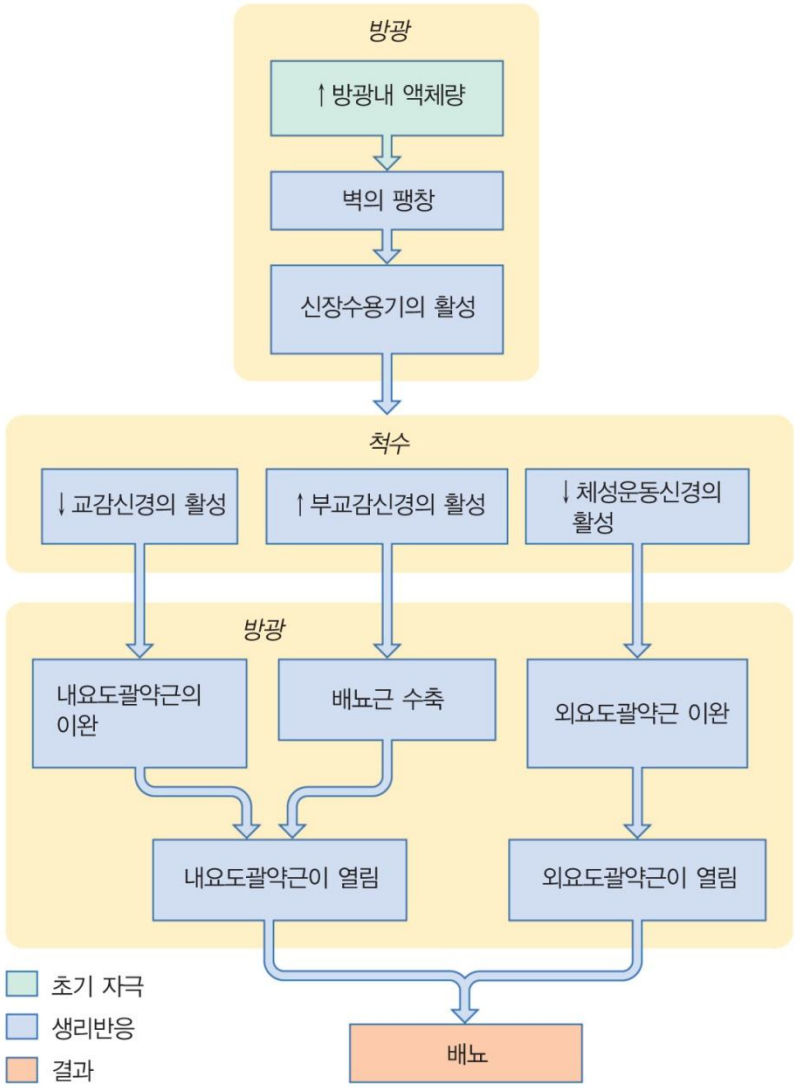


그림 18.22 배뇨반사의 요소.