# 19장 신장

- 신장의 기능
- 비뇨기계의 해부학적 구조
- 신장 기능의 개관
- 여과, 재흡수
- 분비, 배설, 배뇨

# 신장의 기능

세포외액량과 혈압의 조절

삼투압의 조절

이온 균형의 유지

수소 이온 농도의 항상적 조절

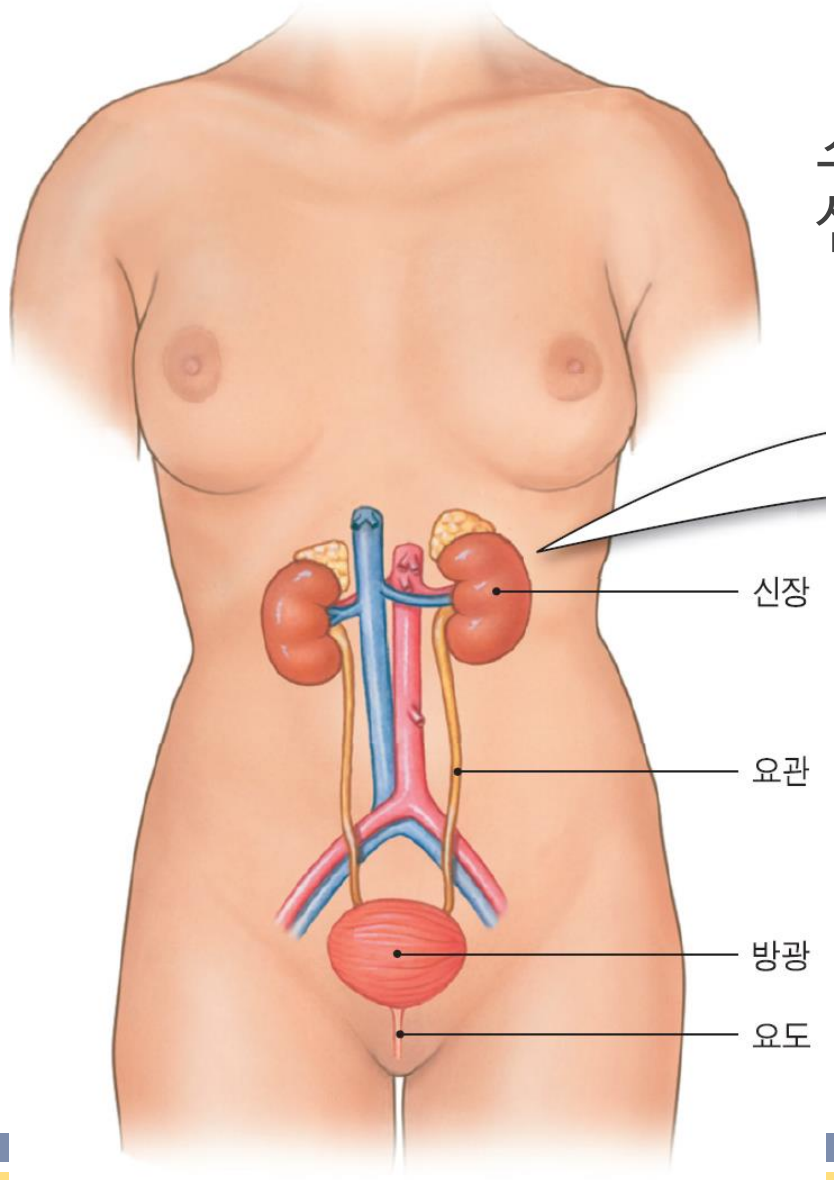
노폐물의 배설

- 크레아티닌, 요소, 요산
- 유로빌리노겐

호르몬의 생산

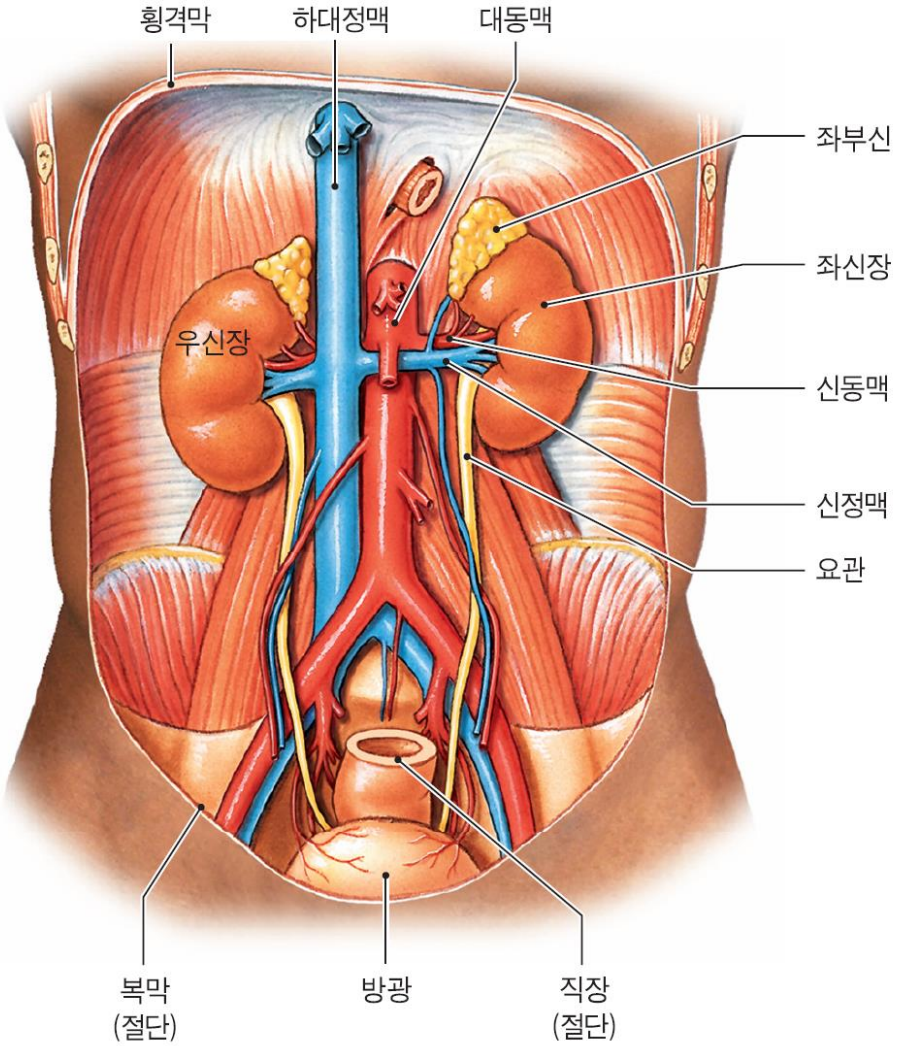
- 적혈구생성소 (EPO)
- 레닌

# 비뇨기계의 해부학적 구조



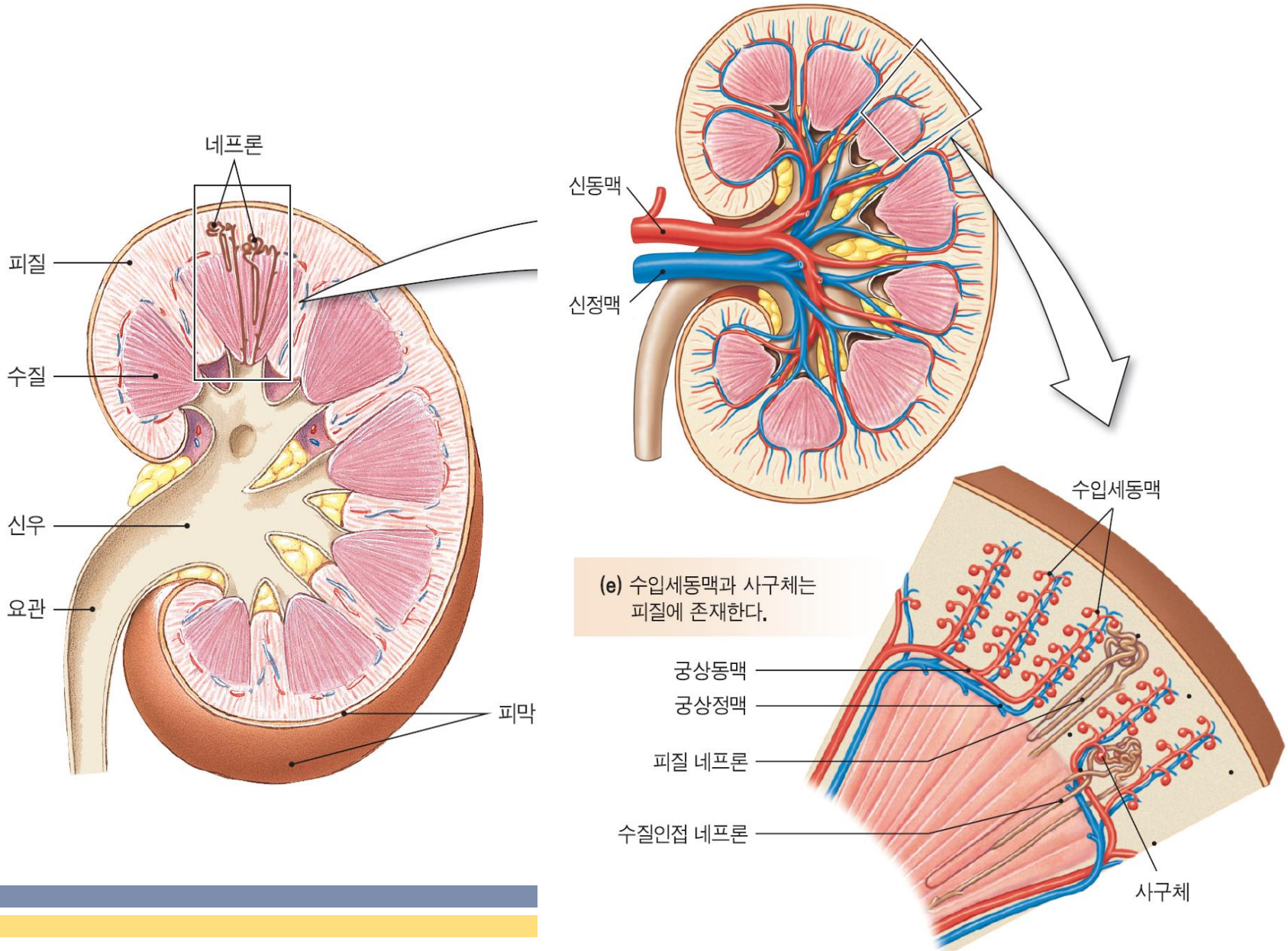

소변 배설 경로
신장 → 네프론 → 요관 → 방광 → 요도

# 비뇨기계는 신장, 요관, 방광, 요도로 이루어져 있다




- 11번째와 12번째 갈비뼈 위치
- 횡경막 아래에 있지만 복강 외부에 존재, 등의 뼈와 근육 및 복막 사이 공간에 존재
- 신장의 혈관, 신경, 림프관, 요관 모두 신장 표면에서 유래
- 신동맥 (renal artery): 신장에 혈액을 공급
- 신정맥 (renal vein): 신장에서 하대정맥 쪽으로 혈액 운반
- 몸 전체 무게의 0.4%
- 혈액의 20-25%

# 네프론은 신장의 기능적 단위이다

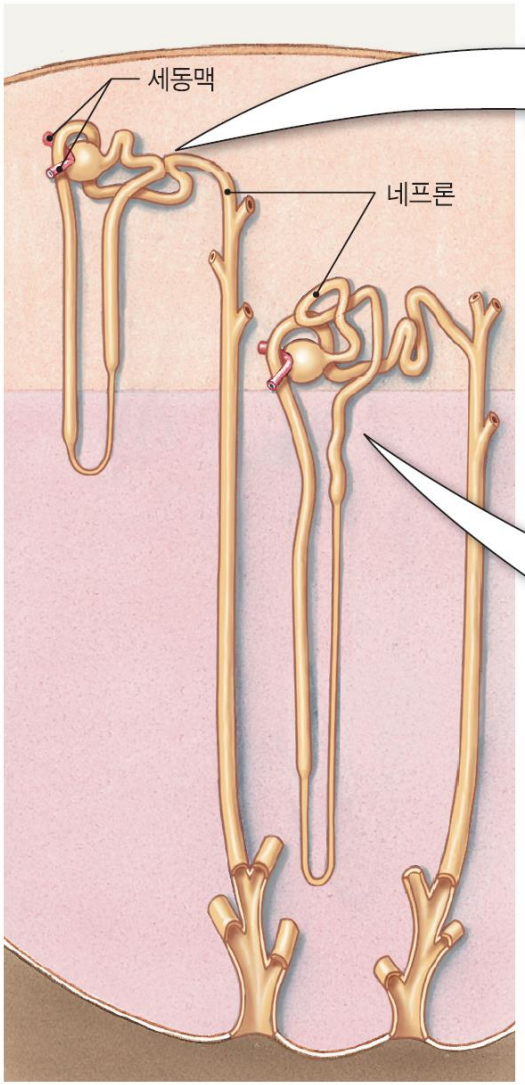


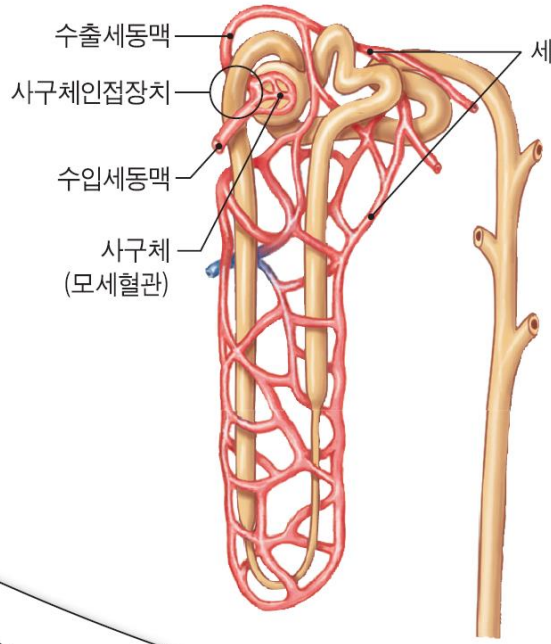
# 네프론은 신장의 기능적 단위이다

혈액: 네프론(동맥혈) → 수입세동맥 → 사구체 → 망상조직 → 수출세동맥 → 세뇨관 주위 모세혈관 → 직혈관 → 세정맥, 소정맥, 신정맥 → 신장 밖

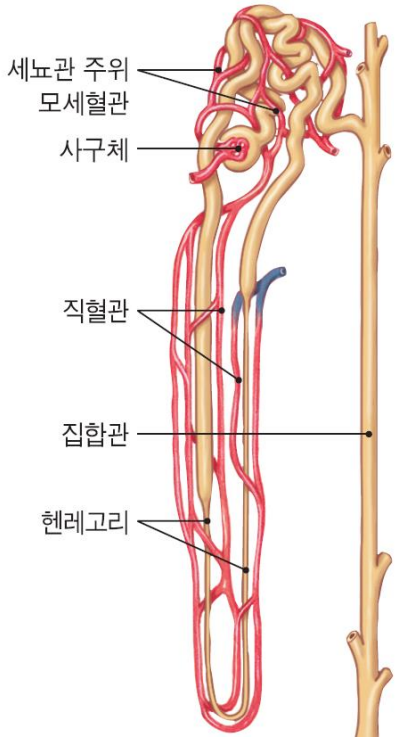
피질에는 사구체낭, 근위세뇨관, 원위세뇨관이 있다.

수질에는 헨레고리와 집합관이 있다.



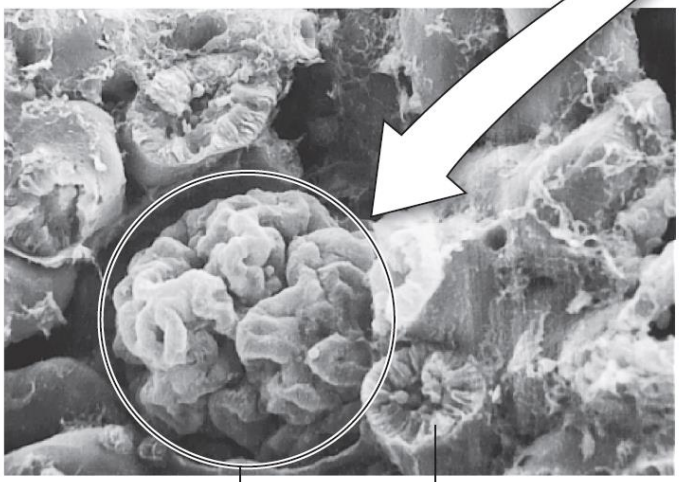

(h) 직혈관과 수질인접 네프론



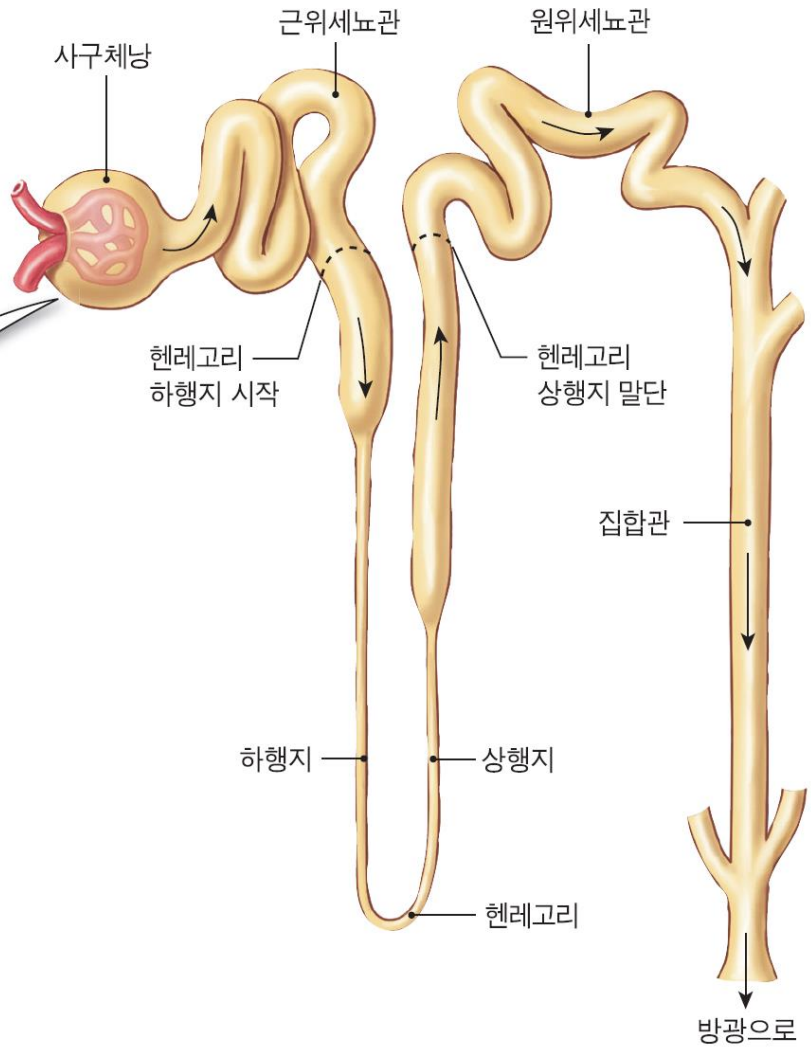
# 네프론은 신장의 기능적 단위이다

(i) 네프론의 구조. 이 그림에서 네프론은 액체가 왼쪽에서 오른쪽으로 흐르도록 풀어져 있다. (f) 그림에서 네프론의 모양과 비교하라.

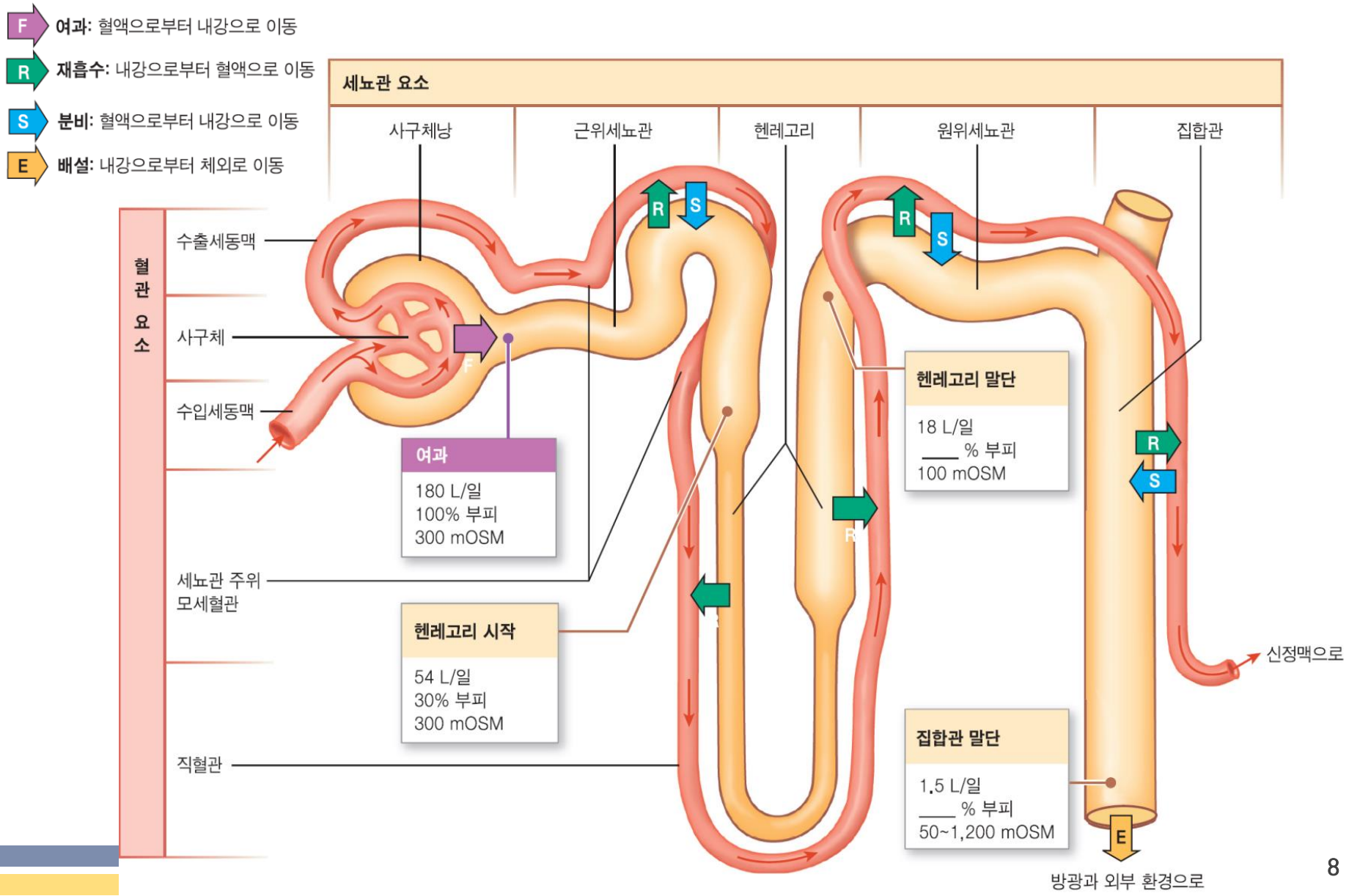
(j) 사구체의 모세혈관은 공 모양의 구조를 형성한다.



사구체 네프론세뇨관의 단면



# 신장은 여과, 재흡수 그리고 분비한다

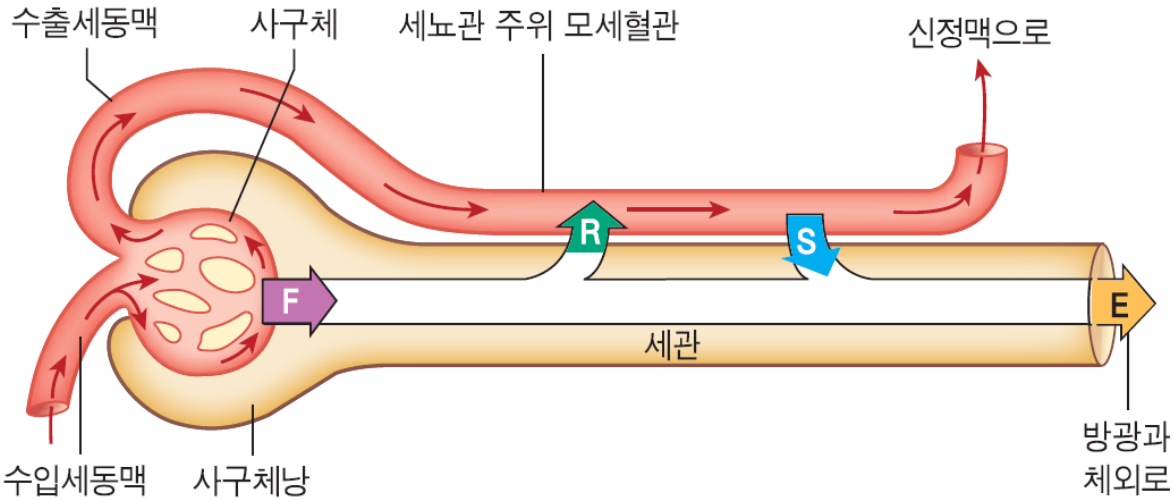


# 신장은 여과, 재흡수 그리고 분비한다

**네프론의 부위와 기능**

| 네프론의 부위 | 과정 |
|---|---|
| 신소체(사구체 + 사구체낭) | 모세혈관으로부터 낭 내로 단백질이 없는 상태의 혈장이 여과됨 |
| 근위세뇨관 | 유기영양분, 이온, 물의 등삼투성 재흡수. 대사체와 페니실린과 같은 외래물질의 분비 |
| 헨레고리 | 내강에 희석된 여과액을 만들기 위해 다량의 물이 있는 상태에서 이온의 재흡수가 일어남<br>역류교환을 통해 신수질에 농축된 간질액을 만든다(20장). |
| 원위네프론 (원위세뇨관 + 집합관) | 염과 물의 균형, pH 항상성 유지를 위해 이온과 물의 재흡수 과정이 조절됨 |

# 네프론은 여과액의 부피와 삼투압을 변환시킨다




사구체 하루 평균 여과량: 180L, 300mOsM, 혈장과 등삼투액

→ 근위세뇨관, 약 70% 재흡수, 54L 내강에 존재

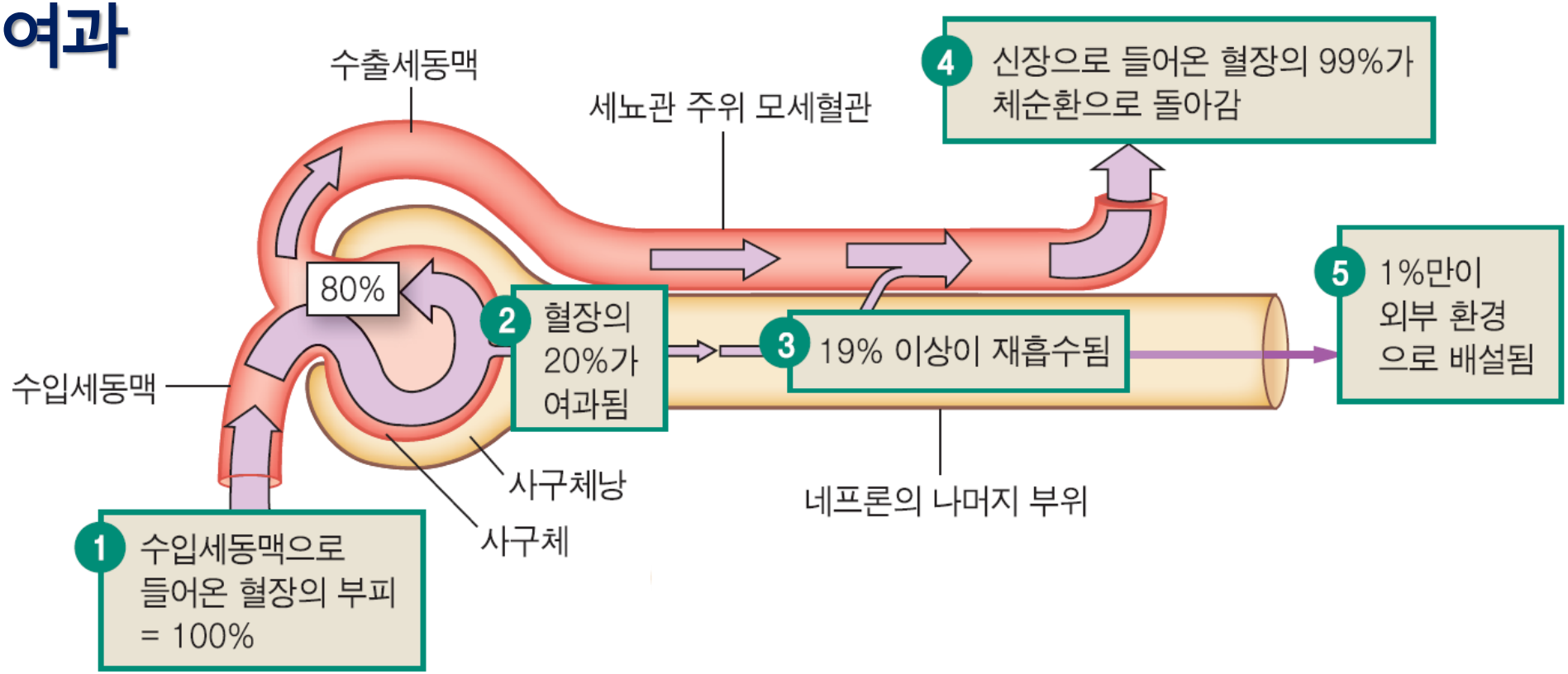
→ 헨레고리, 용질의 재흡수, 18L, 100mOsM, 저삼투액

→ 원위세뇨관과 집합관, 분비, 1.5L, 50-1200mOsM

→ 소변으로 배설

배설량 E = 여과량 F - 재흡수량 R + 분비량 S

# 여과




- 소변 형성의 첫 단계: 신세뇨관으로 들어간 혈장의 여과
- 여과분율: 여과되는 총 혈장 질량의 비율
- 여과장벽: 1) 모세혈관 내피 2) 기저판 3) 사구체낭의 상피

# 여과

모세혈관 내피: 창문모세혈관

- 구멍이 작아서 혈구가 모세혈관을 벗어나지 않음
- 음전하를 띄고 있어 음전하를 가진 혈장단백질 여과 방지

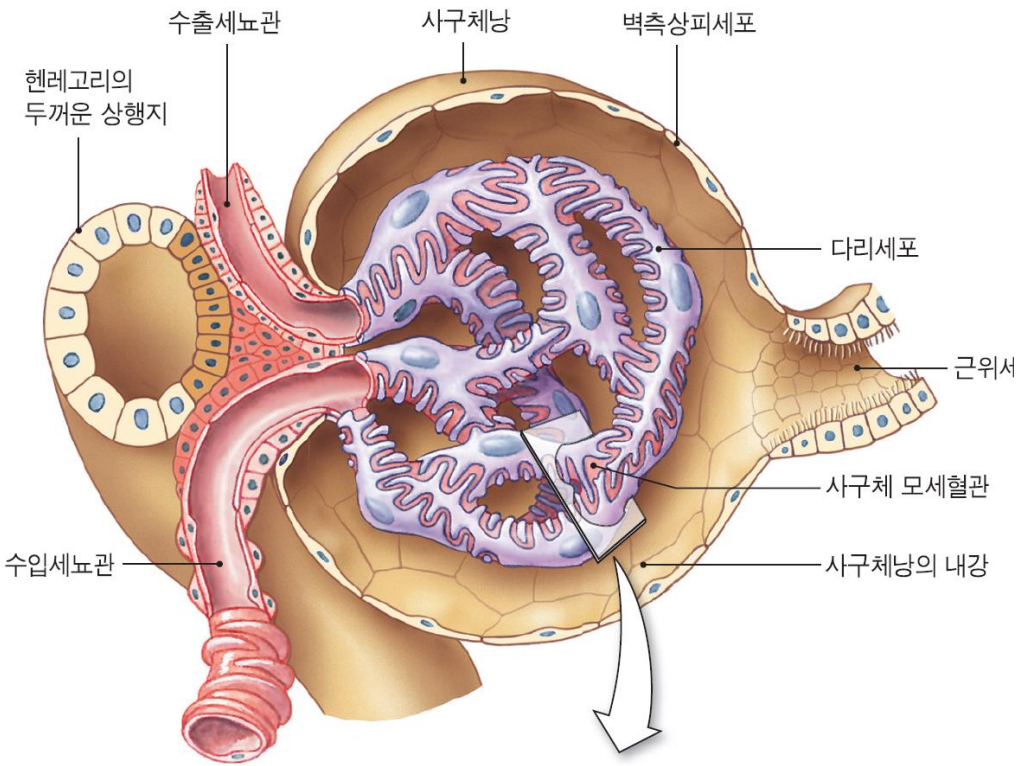
기저판: 사구체낭의 상피 경계와 모세혈관 내피를 분리

- 음전하를 띤 당단백질, 콜라겐 기타 단백질

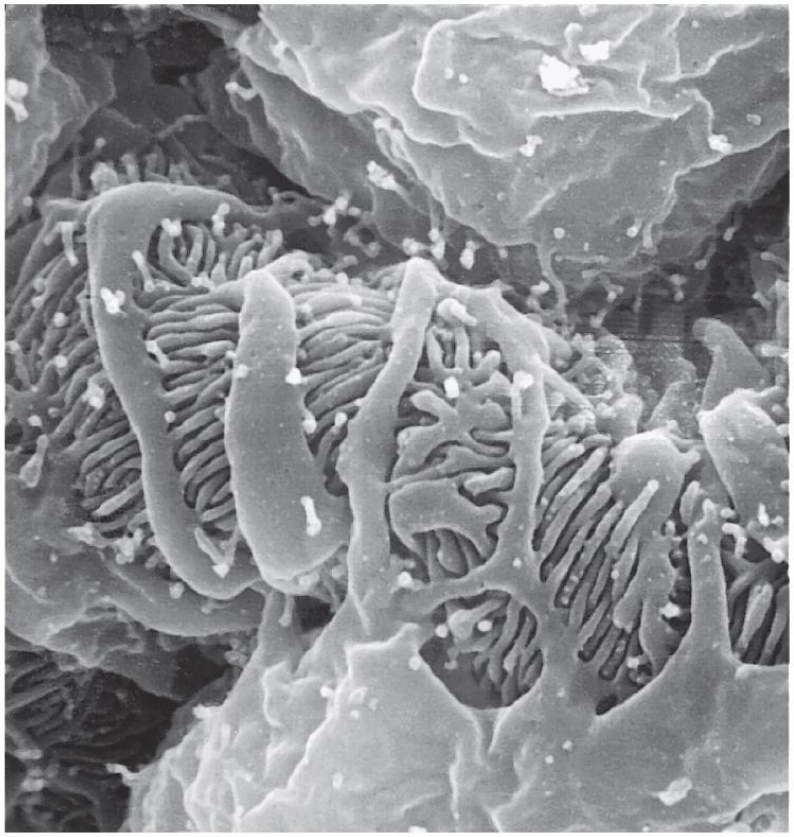
사구체낭의 상피: 다리세포

# 신소체는 여과 장벽으로 구성되어 있다

(a) 사구체 모세혈관 주위 상피세포는 다리세포로 변환된다.

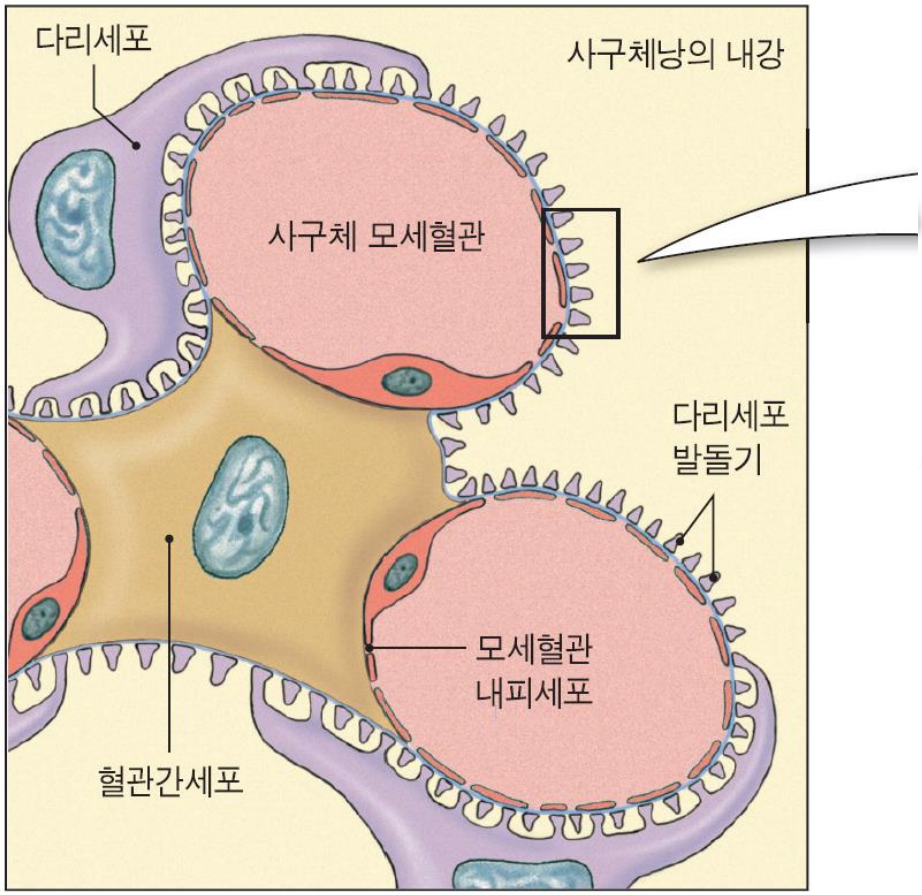



(b) 사구체 모세혈관 주위 다리세포의 발돌기를 보여주는 현미경 사진

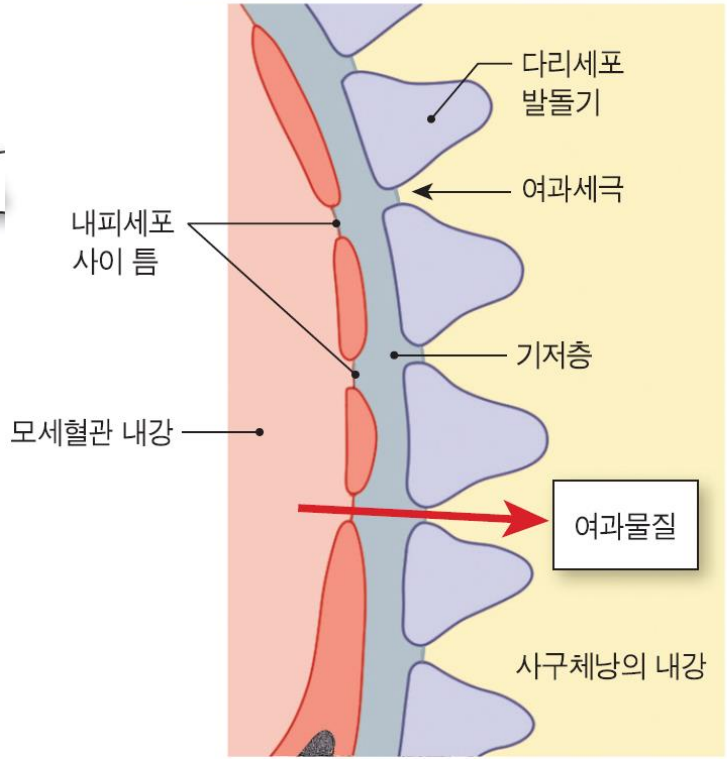


# 신소체는 여과 장벽으로 구성되어 있다

(c) 모세혈관을 둘러싸는 다리세포의 발돌기는 여과가 발생하는 구멍이다. 모세혈관 사이의 혈관간세포는 혈류를 변경하기 위해 수축한다.




(d) 사구체 모세혈관 내피세포, 기저판, 사구체낭 상피세포는 세 가지 여과장벽을 만든다. 여과된 물질들은 내피세포 사이 틈과 여과세극을 통해 빠져나간다.

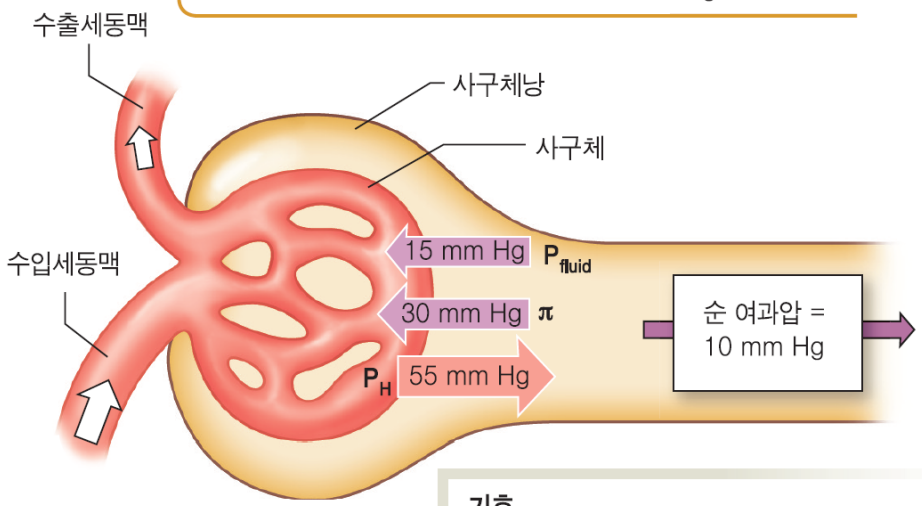


# 모세혈관 내 정수압은 여과를 유발한다

사구체 모세혈관을 통한 여과는 다른 말초 모세혈관에서의 여과와 유사함. 여과압은 정수압에 비례하고 교질삼투압과 사구체 내 정수압에 반비례한다.

**(a)** 사구체 여과압의 계산

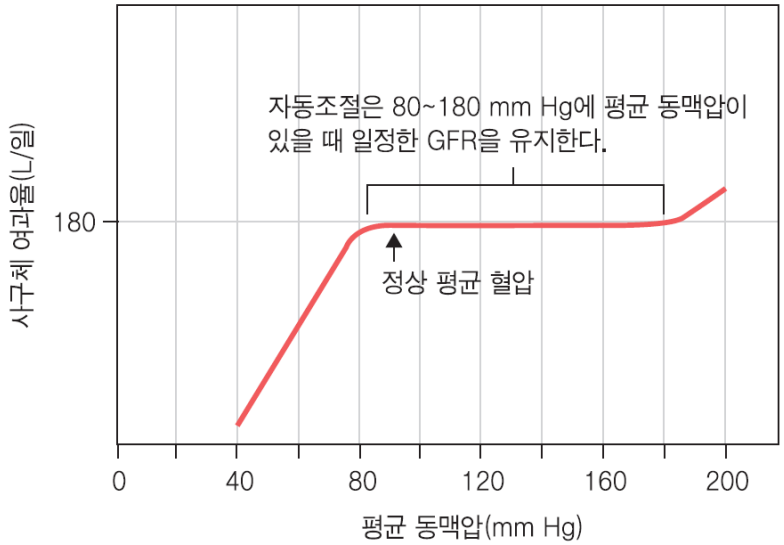
| $P_H$ | − | $\pi$ | − | $P_{fluid}$ | = | 순 여과압 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 55 | − | 30 | − | 15 | = | 10 mm Hg |




**기호**

$P_H$ = 정수압(혈압)
$\pi$ = 혈장에 있으나 사구체낭에 없는 단백질에 의해 발생한 교질삼투압
$P_{fluid}$ = 사구체낭의 액체에 의해 발생한 압력

**(b)** 사구체 여과율의 자동조절은 넓은 범위의 혈압에 대해 일어난다.



# 모세혈관 내 정수압은 여과를 유발한다

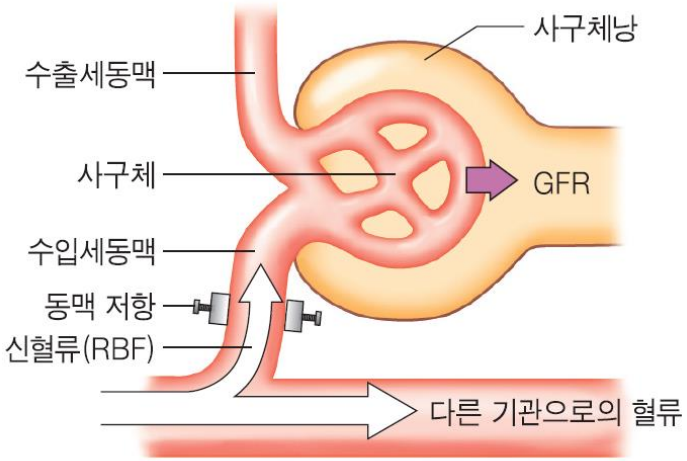
- 여과를 일으키는 순 압력은 10mmHg로 그리 높지는 않음
- 창문모세혈관의 누출되기 쉬움 → 네프론으로 빠르게 여과됨

## 사구체 여과율 (Glomerular filtration rate, GFR)

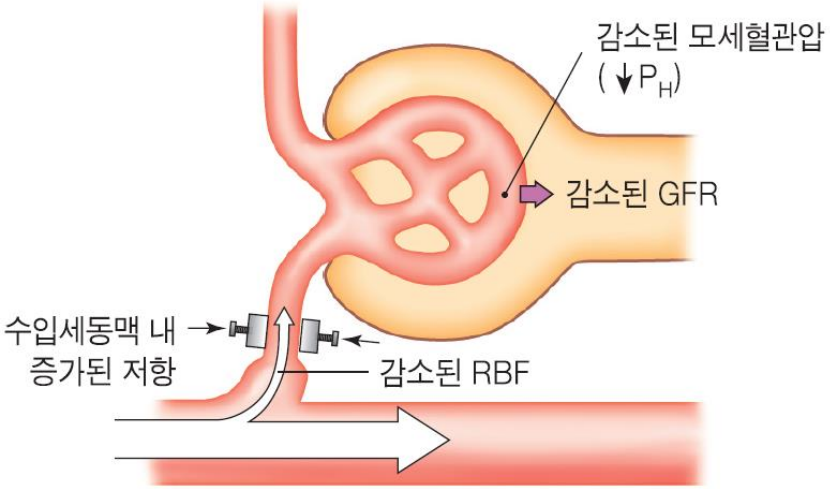
- 단위시간당 사구체낭 안으로 여과되는 액체의 양
- 평균 GFR: 125mL/분 또는 180L/일
- 총 혈장량 3L, 신장이 전체 혈장량을 하루에 60번 여과
- 순 여과압과 여과계수에 영향을 받음
  - 여과압: 신혈류와 모세혈관 내 압력에 영향
  - 여과계수: 여과 가능한 사구체 모세혈관의 표면적과 사구체낭이 접촉하고 있는 사구체 모세혈관 투과성에 영향

# 사구체 여과율은 상대적으로 일정하다

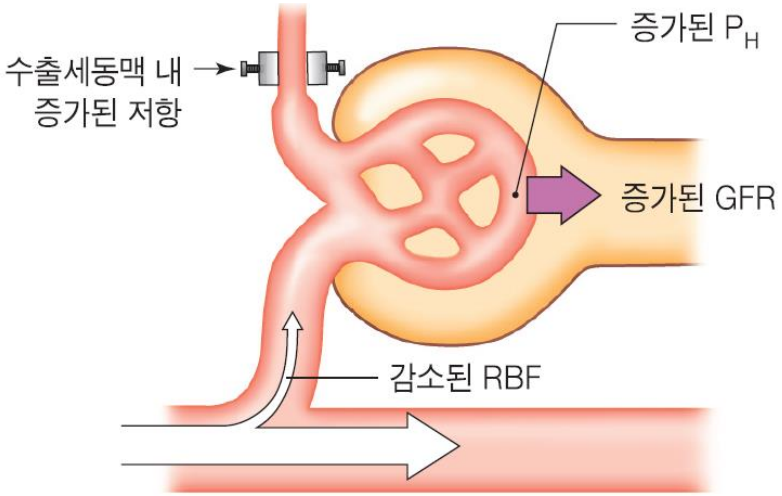
(c) 신장 내 세동맥에서의 저항변화는 신장 내 혈류량과 GFR에 영향을 미친다.




(d) 수입세동맥의 수축은 수입세동맥 내 저항을 증가시킴으로써 신장 내 혈류량, $P_H$와 GFR을 감소시킨다.




(e) 수출세동맥의 저항 증가는 신장 내 혈류량을 감소시키나 모세혈관압($P_H$)과 GFR을 증가시킨다.



# 사구체 여과율은 신경의 자동조절 지배를 받는다

GFR 자동조절: 근육성 반응과 세뇨관 사구체 되먹임

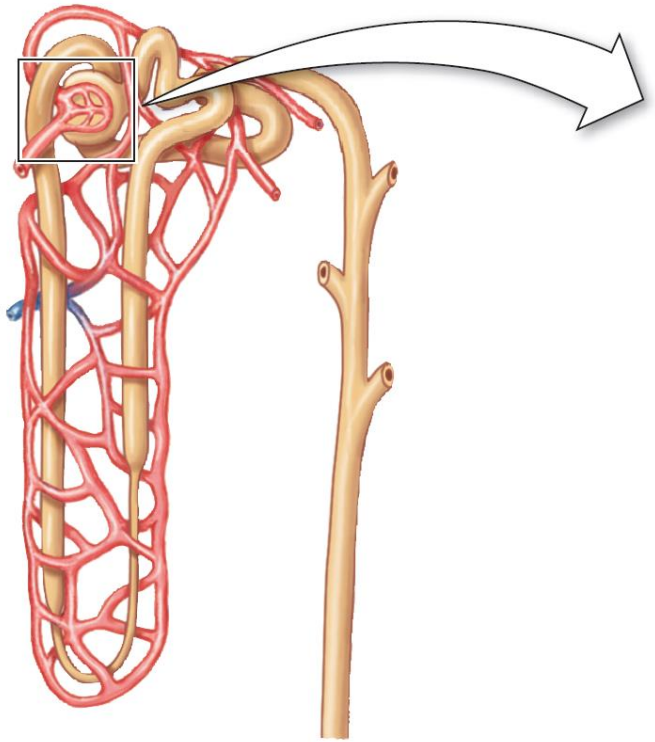
- 여과장벽을 손상시키는 높은 혈압으로부터 장벽 보호

근육성 반응

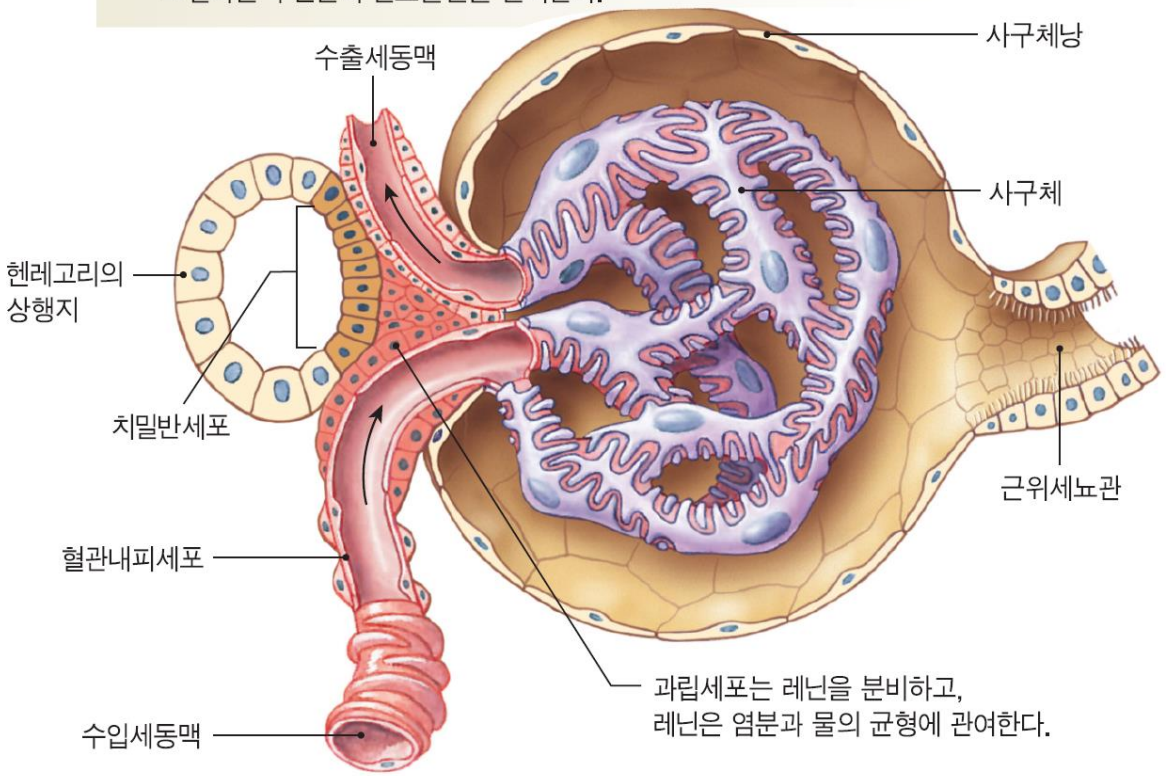
- 증가된 혈압 → 세동맥 평활근 $Ca^{2+}$ 채널 열림 → 탈분극, 수축 → 혈관 수축, 저항 증가 → 혈류 감소 → 압력 감소

# 사구체 여과율은 신경의 자동조절 지배를 받는다

(a) 세뇨관 헨레고리의 상행지가 수입세동맥과 수출세동맥 사이를 통과하도록 자체적으로 되돌아가는 구조로 되어 있다.



(b) 치밀반세포는 원위세뇨관을 통한 액체의 흐름을 인지하여 수입세동맥의 직경을 조절하는 주변분비 신호물질을 분비한다.



# 사구체 여과율은 신경의 자동조절 지배를 받는다

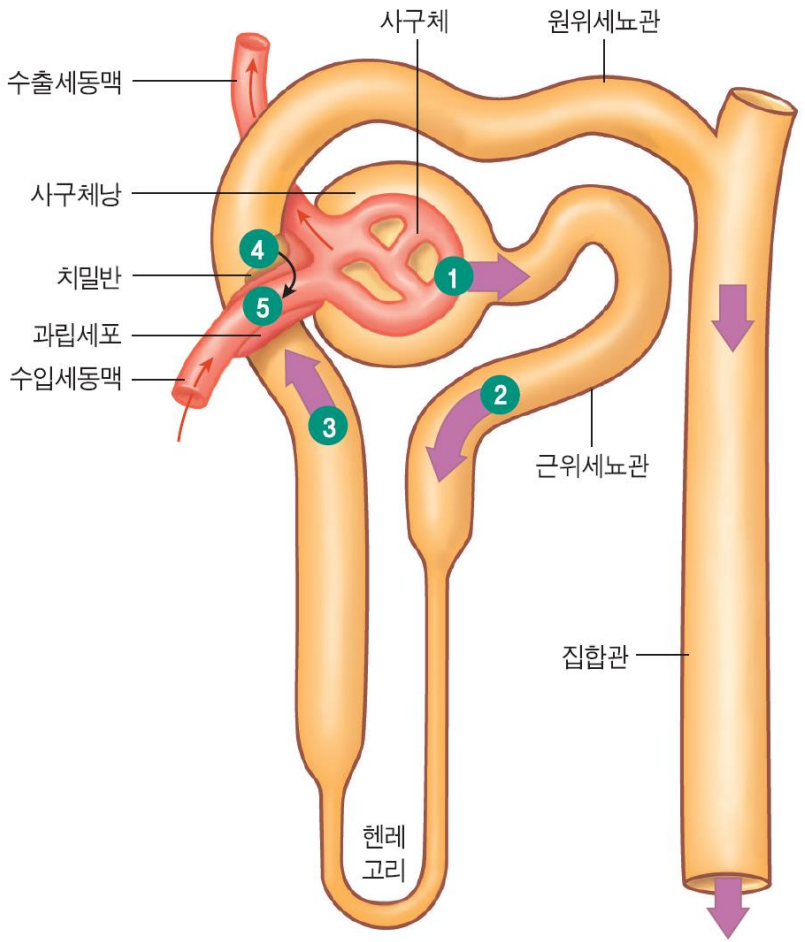
(c) 세뇨관사구체 되먹임은 사구체 여과율의 자동조절을 돕는다.

1. GFR 증가
2. 세뇨관을 통한 여과량의 증가
3. 치밀반을 통과하는 여과액 양의 증가
4. 치밀반으로부터 수입세동맥으로의 측분비 신호
5. 수입세동맥의 수축

수입세동맥의 저항 증가

사구체 내 정수압의 감소

GFR 감소



# 호르몬과 자율신경은 사구체 여과율에 영향을 미친다

호르몬과 자율신경: 전신혈압의 항상성 유지

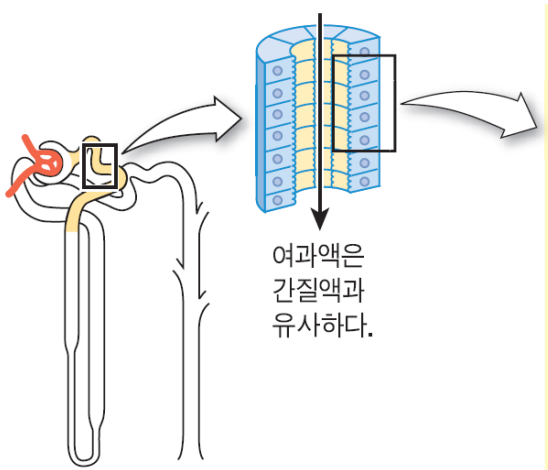
- 세동맥 내부 저항성, 여과계수 벼화 → 사구체 여과율 영향
- GFR 신경조절은 교감신경에 의해 → 수입/수출세동맥 모두
- 노르에피네프린: 혈관수축
- 출혈, 심각한 탈수 → 혈압 저하 → 교감신경 자극 → 세동맥 수축 → GFR, 신혈류 감소 →체액량 보존

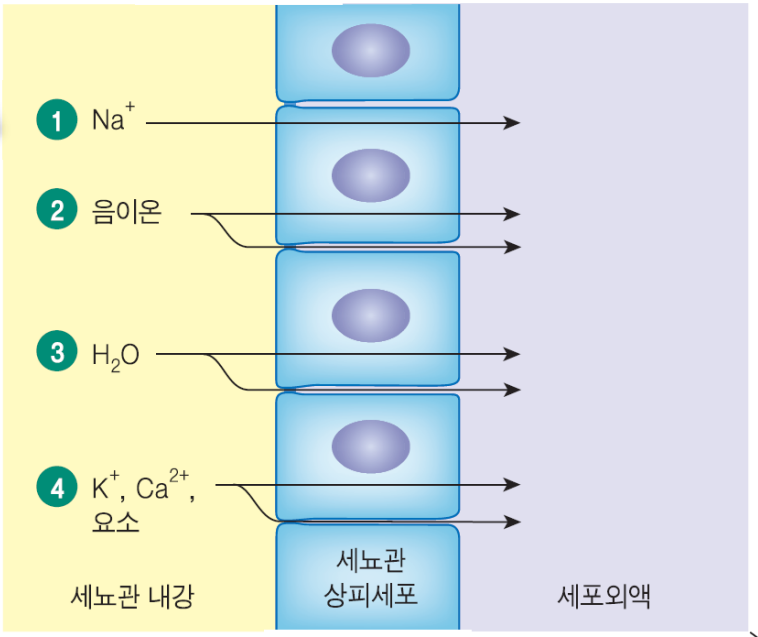
- 혈관 수축제: 안지오텐신 II
- 혈관 이완제: 프로스타글란딘

# 재흡수는 능동적이거나 수동적이다

**(a) 세뇨관에서의 용질의 재흡수에 관련된 원리**

어떤 용질과 물은 상피세포 안으로 들어온 후 상피세포 밖으로 이동한다(상피 수송); 다른 용질은 상피세포 사이의 이음을 통해 수송된다(세포주변 경로). 세포막 수송체는 이 그림에 나타내지 않았다.



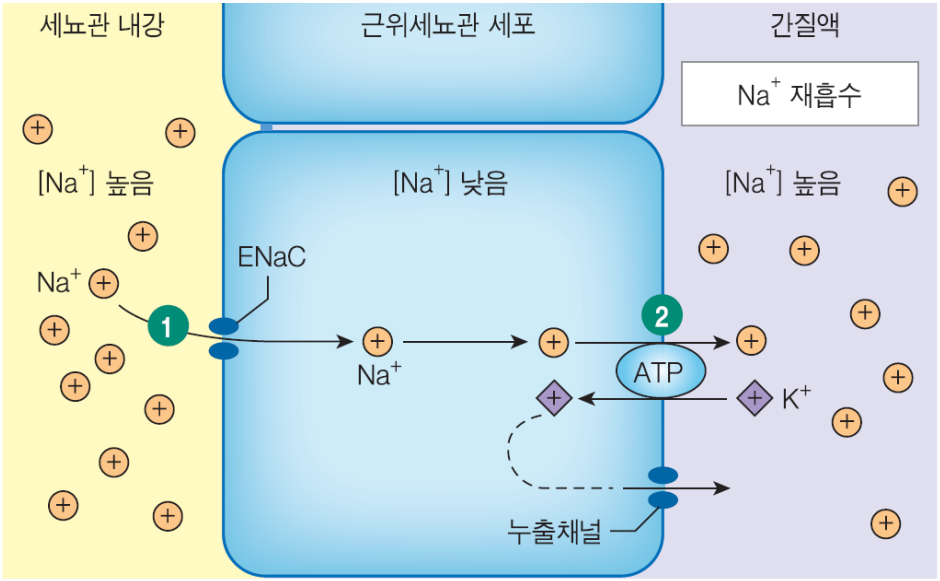




1. $Na^+$는 능동 수송을 통해 흡수된다.
2. 전기화학적 농도기울기는 음이온의 흡수를 일으킨다.
3. 물은 용질의 재흡수를 따라 삼투압에 의해 이동한다. 내강 내 액체의 부피 감소에 따라 다른 용질들의 농도는 증가된다.
4. 투과성 용질은 막수송체들을 통한 확산이나 세포주변 경로를 통해 흡수된다.

# 재흡수는 능동적이거나 수동적이다

**(b) 근위세뇨관에서의 $Na^+$ 재흡수: 능동 수송**

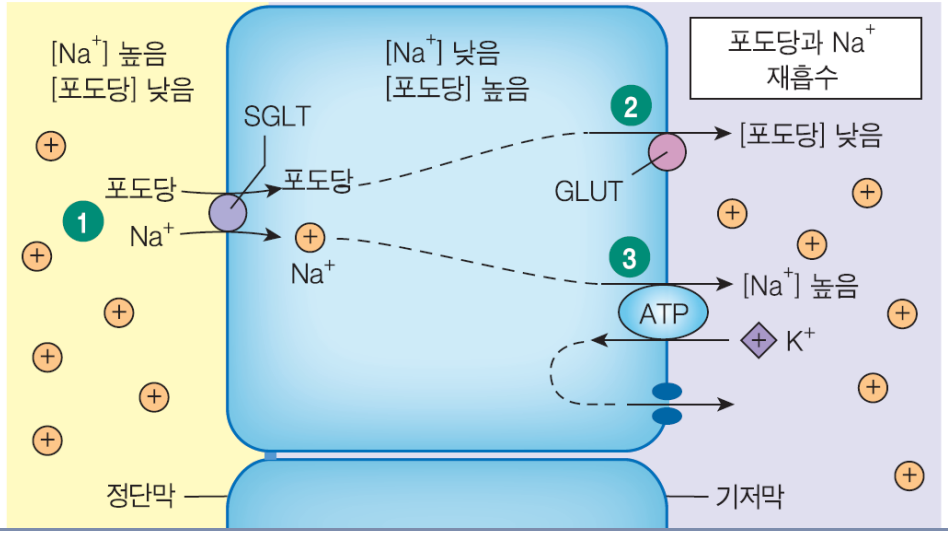
이 그림은 상피 $Na^+$ 채널, ENaC를 나타낸다.




1. $Na^+$는 전기화학적 농도기울기에 따라 세포막 단백질을 통해 세포내로 들어간다.
2. $Na^+$-$K^+$-ATPase의 작용을 통해 세포의 기저측으로 배출된다.

**(c) $Na^+$와 연관된 재흡수: 간접(2차) 능동 수송**

이 그림은 포도당이 $Na^+$ 의존성 공동수송체에 의해 흡수되는 과정을 보여준다. 그러나 아미노산 외 다른 유기대사체, 인과 같은 어떤 이온들도 $Na^+$ 의존성 공동수송체를 통해 흡수된다.



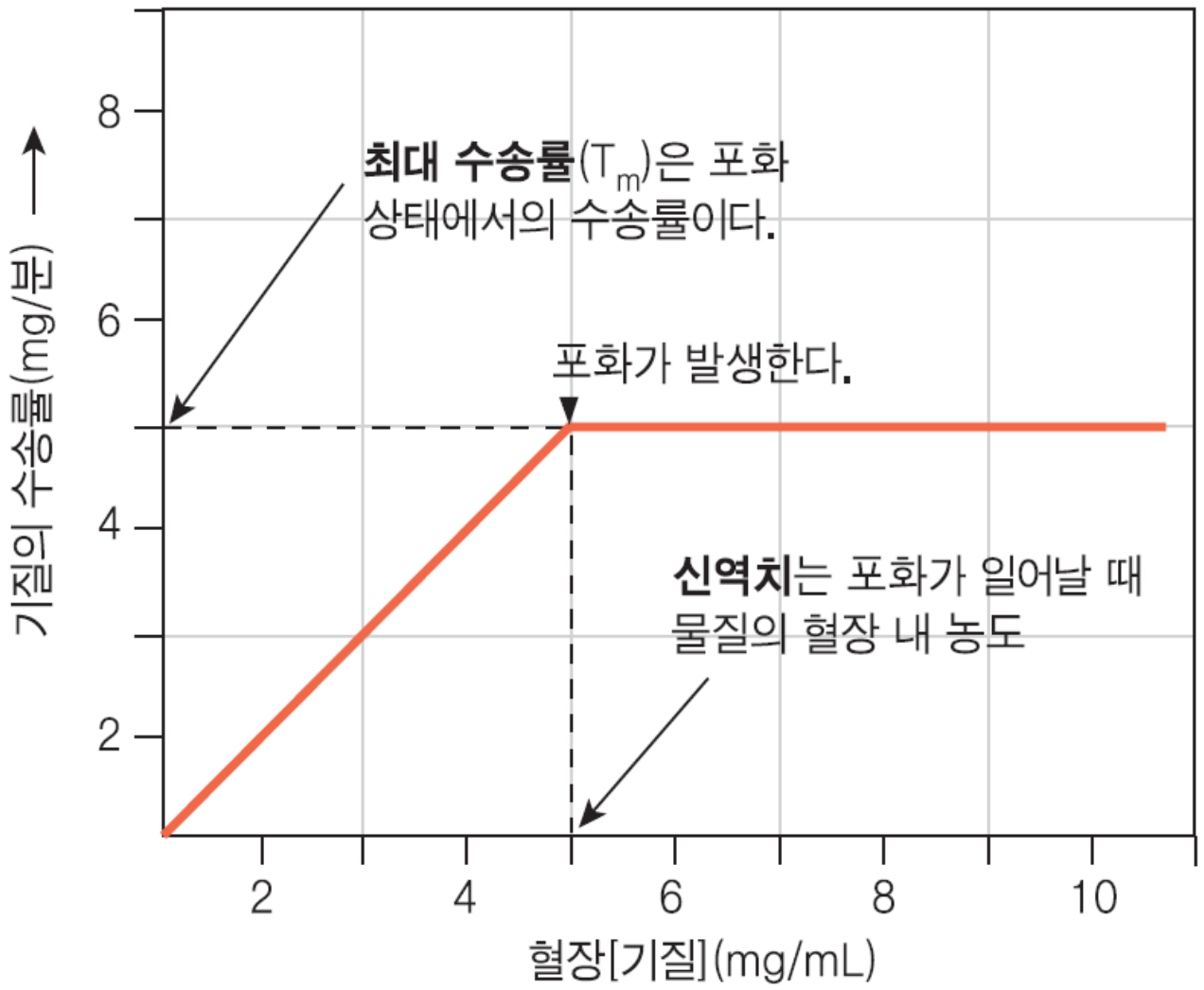

1. 전기화학적 농도기울기에 따른 $Na^+$ 이동은 세포 내외 포도당의 농도기울기에 역행해서 포도당을 세포내로 이동시키기 위해 SGLT 단백질을 이용한다.
2. 포도당은 GLUT 촉진확산 운반체 단백질의 작용을 통해 세포의 기저측막 밖으로 확산되어 배출된다.
3. $Na^+$는 $Na^+$-$K^+$-ATPase의 작용을 통해 세포외로 배출된다.

# 재흡수는 능동적이거나 수동적이다

재흡수되는 물질

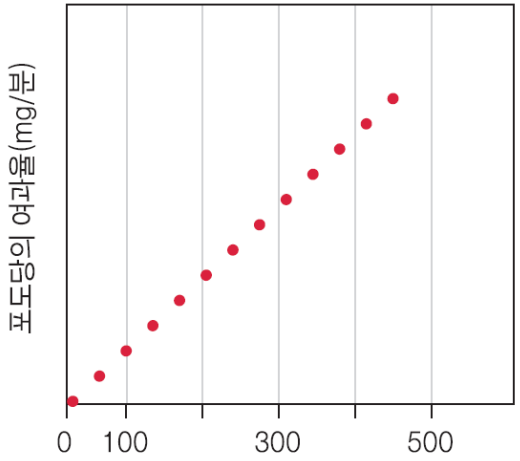
- $Na^+$의 능동수송: $Na^+$
- 2차 능동수송 - $Na^+$와의 공동운반: 아미노산, 젖산, 시트르산 회로 중간산물, α-케토글루타르산, 인산, 황 같은 이온
- 수동적 재흡수 - 요소: 물
- 세포내 이입 - 혈장단백질: 펩티드성 신호전달 물질

# 신수송은 포화된다


최대 수송률($T_m$)은 포화 상태에서의 수송률이다.
포화가 발생한다.
신역치는 포화가 일어날 때 물질의 혈장 내 농도
기질의 수송률(mg/분)
혈장[기질](mg/mL)
2
4
6
8
10

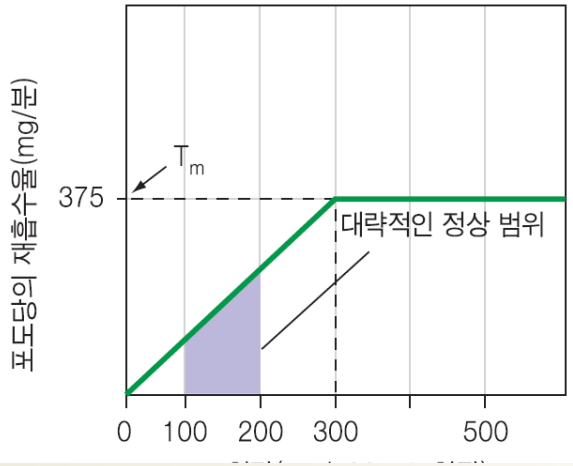
# 신수송은 포화된다

(a) 여 과



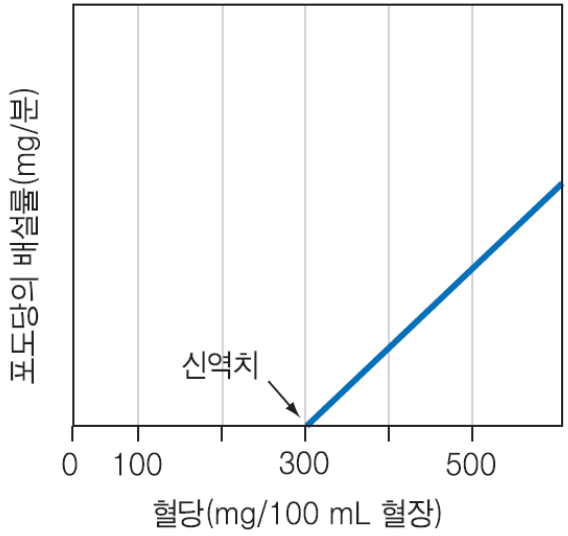

포도당의 여과는
혈장 농도에 비례한다.
여과는 포화되지 않는다.

(b) 재흡수



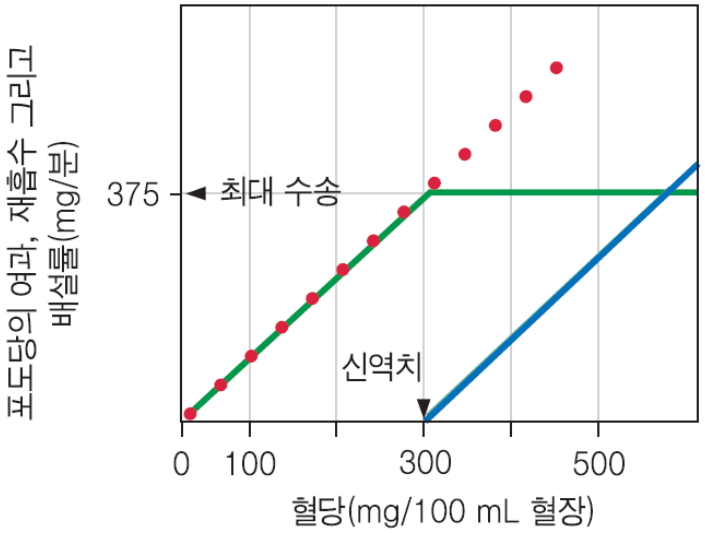

포도당의 재흡수는
최대 수송률($T_m$)에
도달하기 전까지
혈당 농도에 비례한다.

(c) 배설 = 여과 - 재흡수




포도당은 신역치에
도달하기 전까지
배설되지 않는다.

(d) 포도당의 여과, 재흡수, 배설 간 관계를 보여주는 그래프



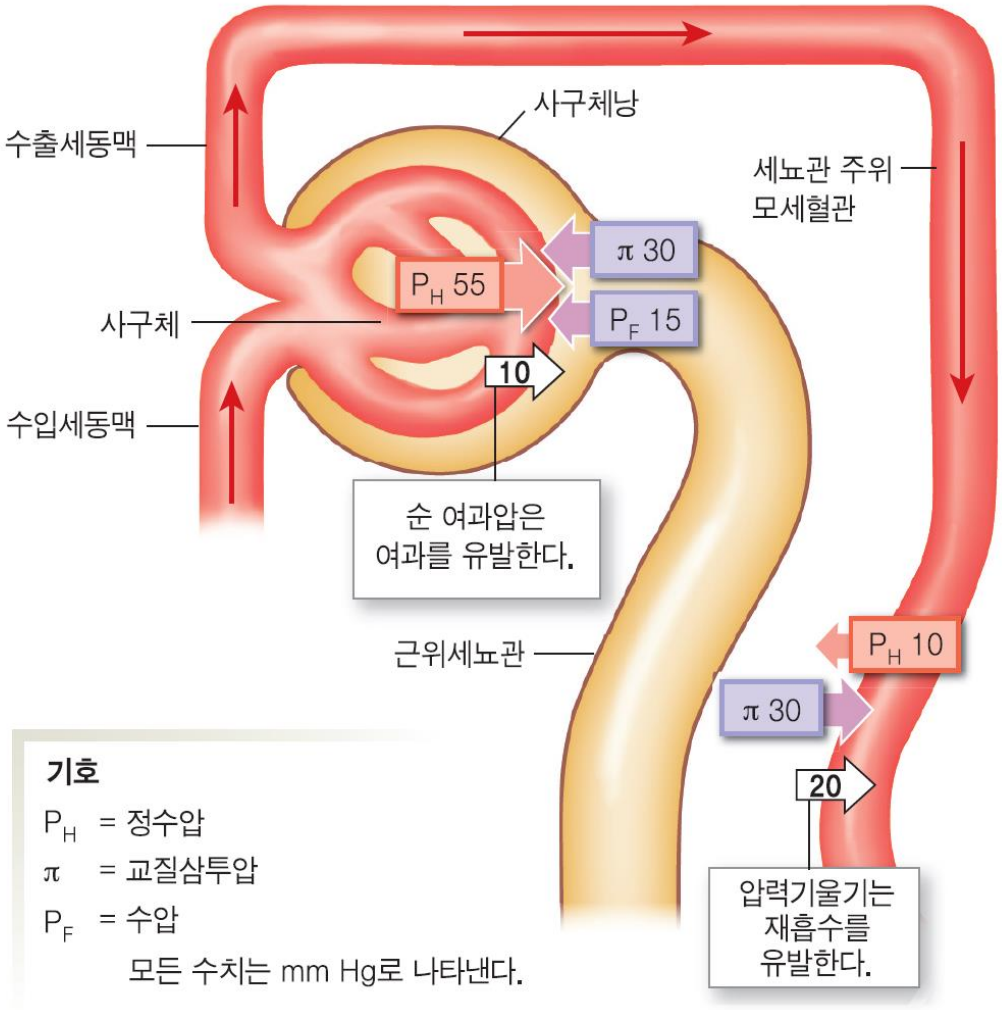
# 신수송은 포화된다

배설량 = 여과량 - 재흡수량 + 분비량

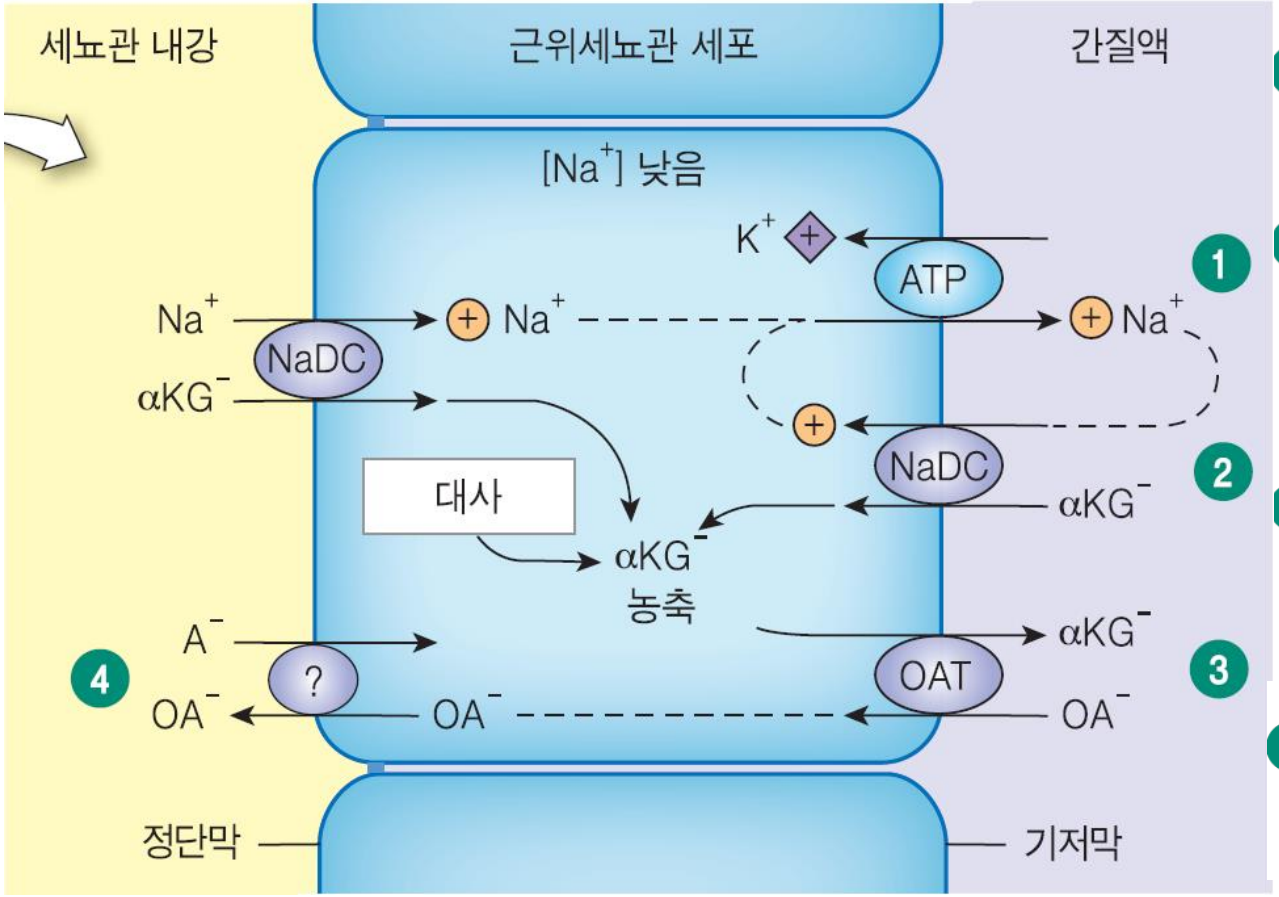
분비되지 않은 포도당:
포도당 배설량 = 포도당 여과량 - 포도당 재흡수량

배설 = 여과(증가) - 재흡수(일정)

# 세뇨관 주위 모세혈관의 압력이 재흡수를 촉진시킨다



# 분비




1 **직접 능동 수송.** $Na^+/K^+$ ATPase는 세포내 $Na^+$ 농도를 낮게 유지한다.

2 **2차 간접 능동 수송.** $Na^+$-NaDc는 $Na^+$ 농도기울기에 저장된 에너지를 이용해 세포 내부에 dicarboxylate를 농축한다.

3 **3차 간접 능동 수송.** 기저막측 유기음이온 수송체(OAT)는 dicarboxylate 농도기울기에 저장된 에너지를 이용해 유기음이온($OA^-$)을 농축한다.

4 유기음이온들은 촉진확산에 의해 내강으로 들어간다.

# 배설

배설 = 여과 - 재흡수 + 분비

- 배설률: 여과율과 네프론을 지나가면서 재흡수/배설 여부
- 포도당, 아미노산, 대사물질은 재흡수, 유기노폐물은 농축

- 용질의 청소율(clearance): 배설 또는 대사를 통해 몸으로부터 용질이 제거되는 정도

$$\text{물질 X의 청소율} = \frac{\text{물질 X의 배설률 (mg/min)}}{\text{물질 X의 혈장 내 농도 } ([X]_{\text{혈장}})(\text{mg/ml 혈장})}$$

- 이눌린: 100% 여과, 재흡수/분비 되지 않음 → 100% 배설

# 청소율은 사구체 여과율을 측정하는 비침입적인 방법이다

물질 X의 여과 부하 = $[X]_{혈장} \times GFR$

이눌린의 여과 부하 = $[X]_{혈장} \times GFR$

= 이눌린의 배설률

= $([이눌린]_{혈장}) \times GFR$

$GFR = 이눌린의\ 배설률 / [이눌린]_{혈장}$

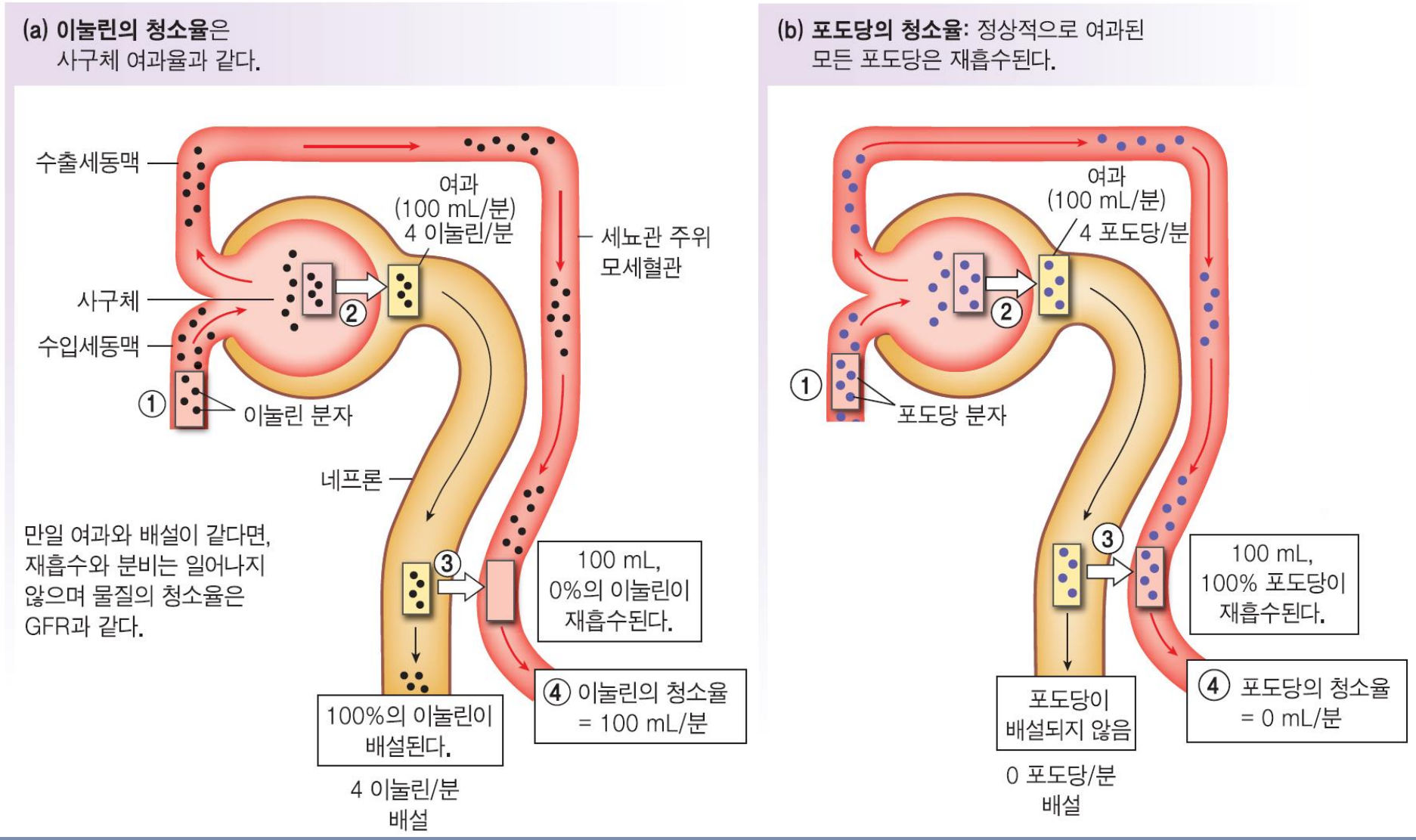
$$이눌린의\ 청소율 = \frac{이눌린의\ 배설률\ (mg/min)}{([이눌린]_{혈장})(mg/ml\ 혈장)}$$

GFR = 이눌린의 청소율

# 청소율은 사구체 여과율을 측정하는 비침입적인 방법이다

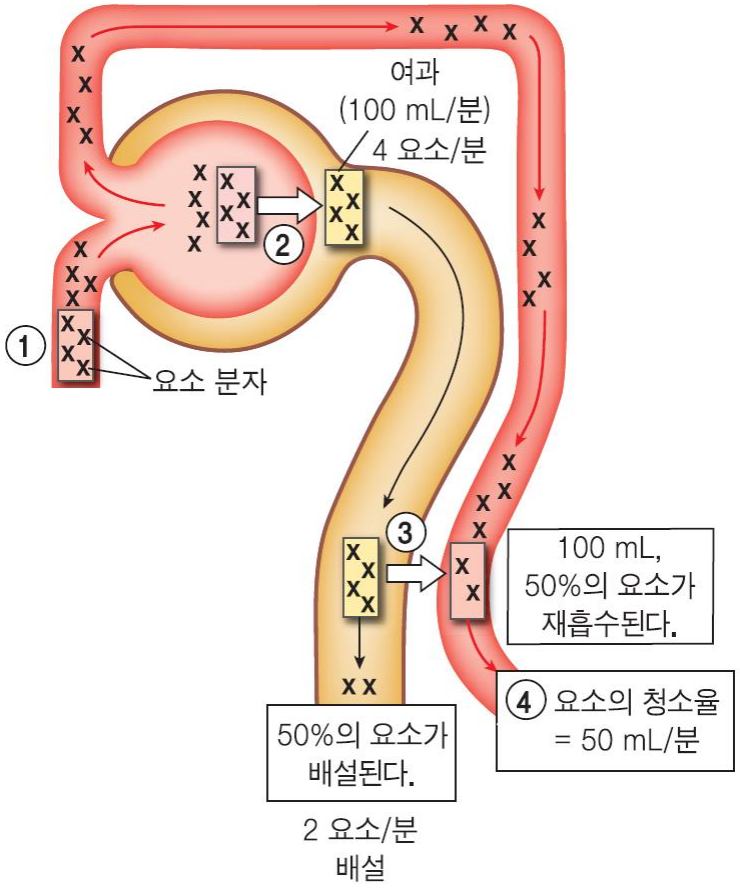
- 이눌린은 정맥을 통해 지속적으로 주입
- 임상적 상황에서는 크레아티닌을 사용하여 GRF 추정
- 크레아티닌: 포스포크레아틴의 분해산물

# 청소율은 사구체 여과율을 측정하는 비침입적인 방법이다



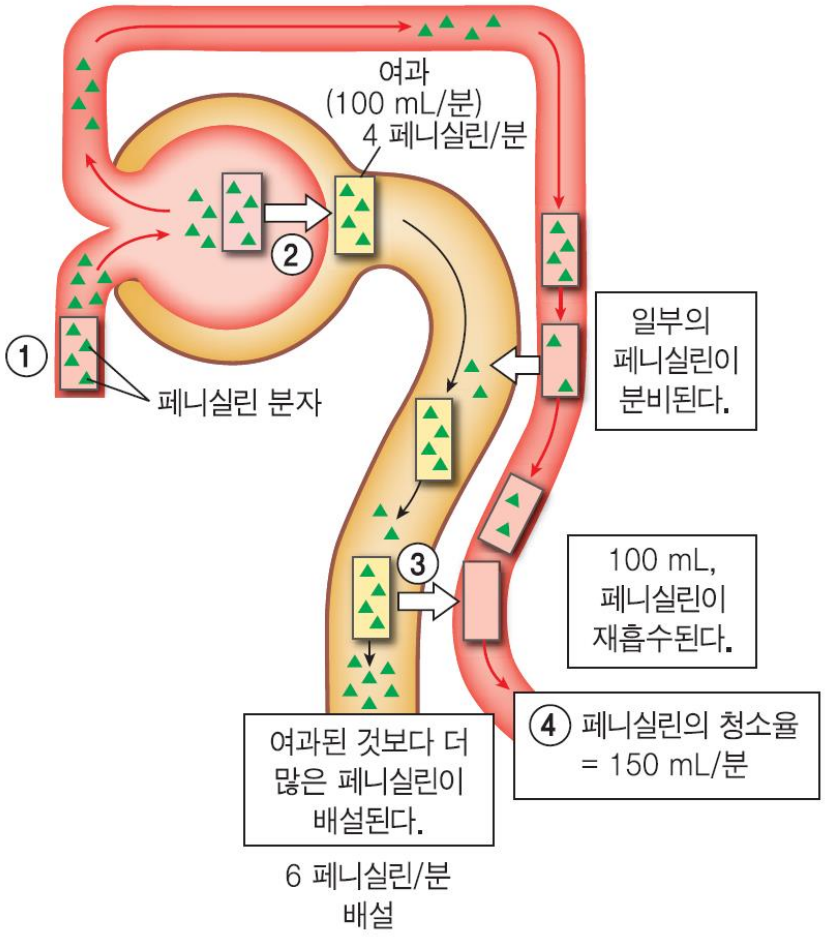
# 청소율은 사구체 여과율을 측정하는 비침입적인 방법이다

(c) **요소의 청소율**은 순 재흡수의 예이다. 만일 여과가 배설보다 더 많다면, 순 재흡수가 발생한다.




만일 물질의 청소율이 GFR보다 작다면, 순 재흡수가 일어난다.

(d) **페니실린의 청소율**은 순 분비의 예이다. 만일 배설이 여과보고 많다면, 순 분비가 발생한다.




만일 물질의 청소율이 GFR보다 크다면, 순 분비가 일어난다.

# 청소율은 사구체 여과율을 측정하는 비침입적인 방법이다

## 표 19-1 신장생리에서 유용한 공식들

- 배설 = 여과 − 재흡수 + 분비
- 물질 $X$의 여과 = 물질 $X$의 혈장 내 농도 × GFR
- 물질 $X$의 배설 = 오줌 흐름 × 물질 $X$의 오줌 내 농도
- 물질 $X$의 청소율 = $\dfrac{\text{물질 } X\text{의 배설률(mg/min)}}{\text{혈장 내 물질 } X\text{의 농도(mg/mL 혈장)}}$
- 물질 $X$의 혈장 내 농도 = 물질 $X$의 신역치일 때, 물질 $X$의 재흡수 = 물질 $X$의 최대 수송률

# 청소율은 신장에서의 용질 처리를 이해하는 데 도움이 된다

물질 X의 여과 부하 = $[X]_{혈장} \times GFR$

포도당의 여과 부하

= (100 mg 포도당/100mL 혈장) × 125 mL 혈장/분

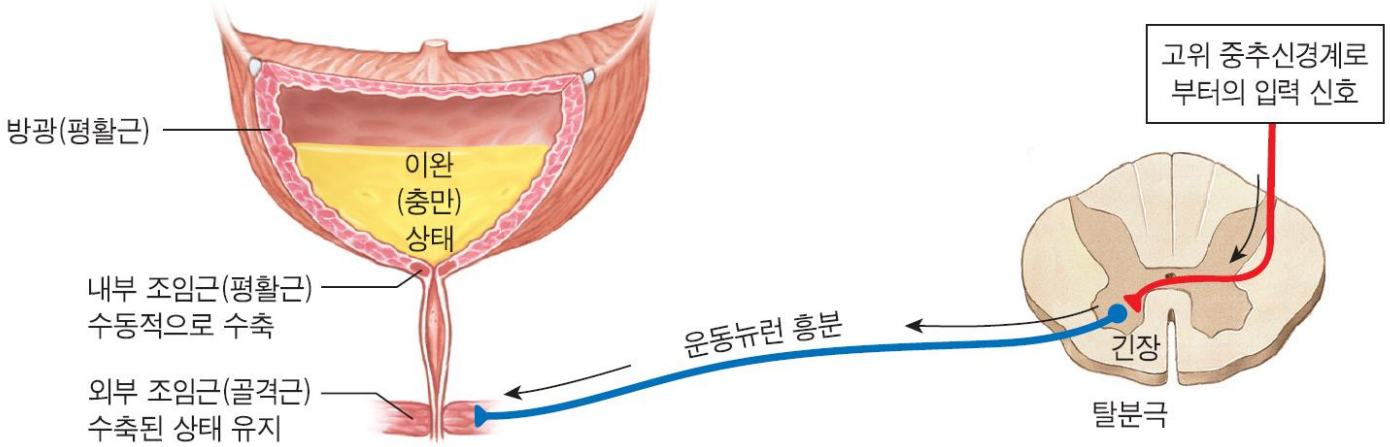
= 125 mg 포도당/분

포도당 배설률 = 0

∴ 포도당은 전부 재흡수 되었음

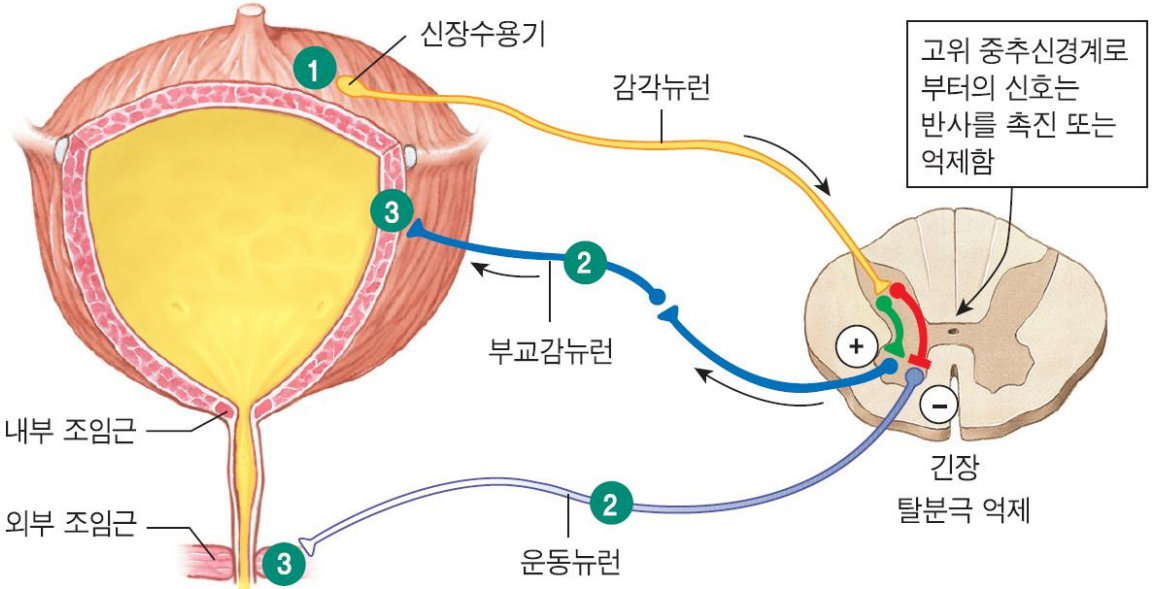
# 배뇨

(a) 휴식 상태의 방광

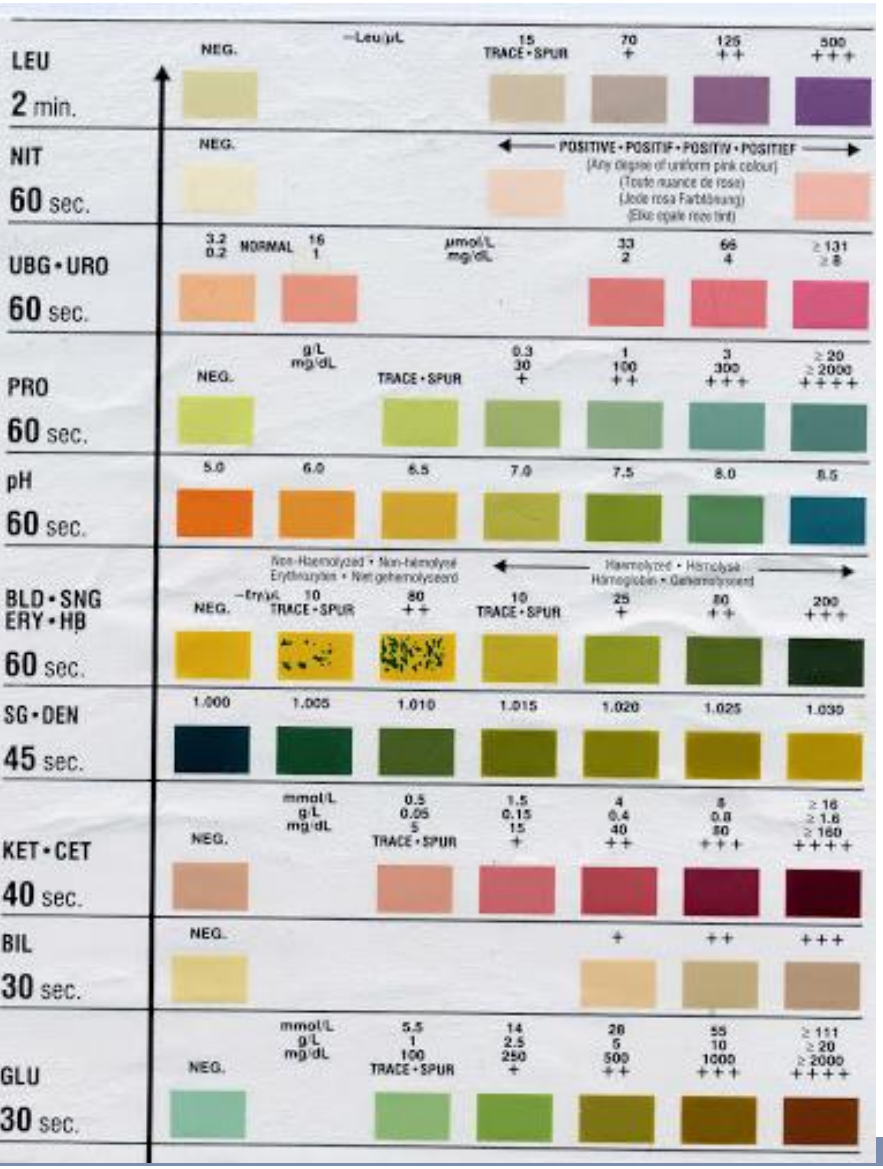



(b) 배 뇨

1. 신장수용기의 흥분
2. 부교감신경의 흥분
   체성운동신경의 흥분 억제
3. 평활근의 수축
   내부 조임근은 수동적으로 열림
   외부 조임근의 이완



# 스틱을 이용한 소변검사




| | |
|---|---|
| 백혈구 LEU | 세균감염증, 신장-요로계의 염증성 질환 |
| 질산염 NIT | 세균감염증, 요로감염 |
| 유로빌리노겐 UBG | 황달을 수반하는 간 질환 |
| 단백질 PRO | 사구체, 신장/간 질환 |
| pH | 산: 심한 설사와 고열, 염기: 신장질환 |
| 적혈구 BLD | 요로 출혈, 신장/간 질환, 수혈 부작용 |
| 비중 SG | 탈수, 당뇨병, 신부전, 요붕증 |
| 케톤체 KET | 당뇨병 등 탄수화물 대사 장애, 오랜 공복 |
| 빌리루빈 BIL | 간세포 손상, 담도 폐쇄 |
| 혈당 GLU | 당뇨병 |