

# 水、电解质代谢紊乱

Water and electrolyte disorders



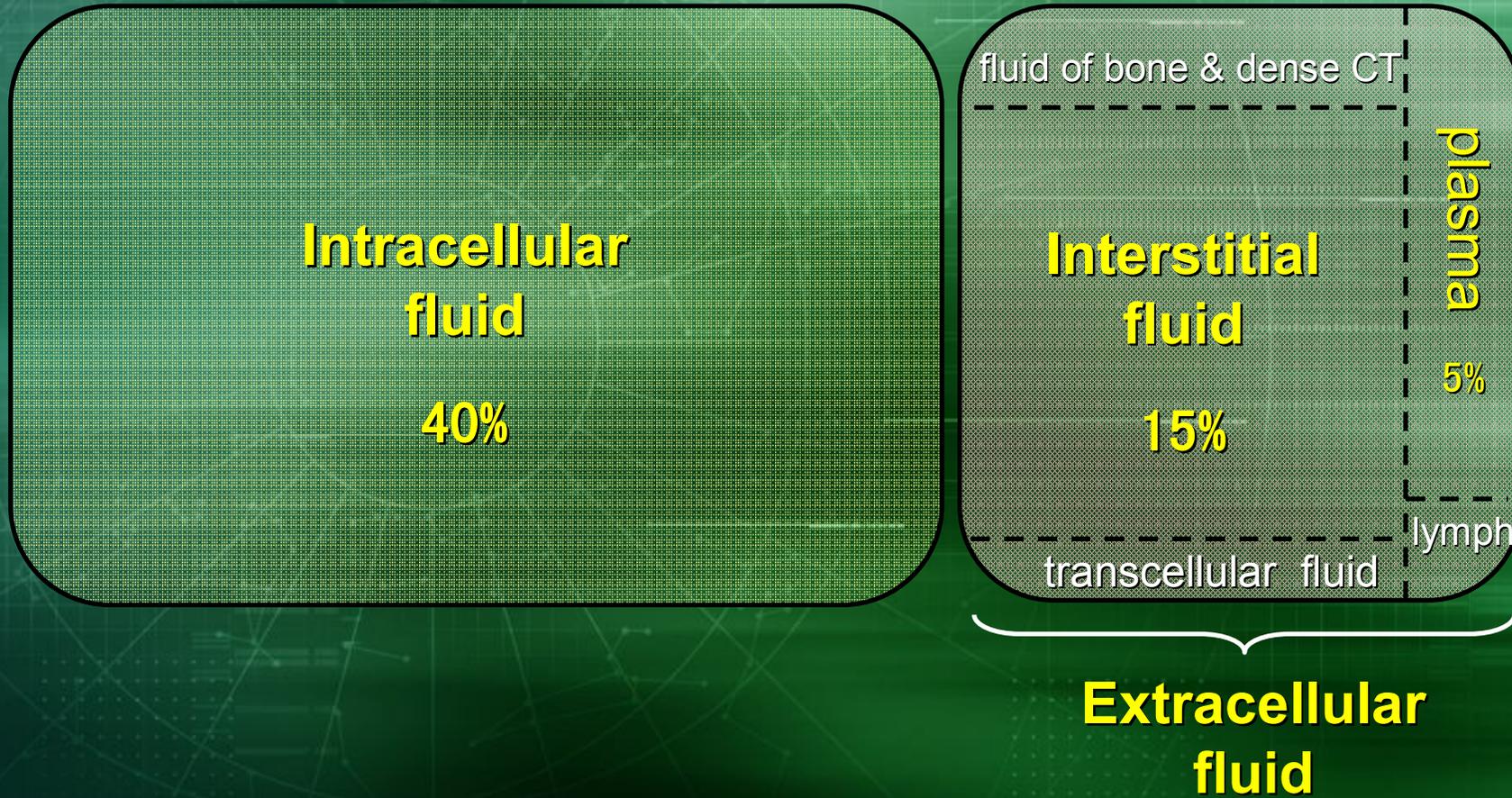
# Body fluid homeostasis





- Content of body fluid
- Distribution of body fluid
- Components of body fluid
- Body fluid balance and its regulation

# Distribution of body water (adult male)

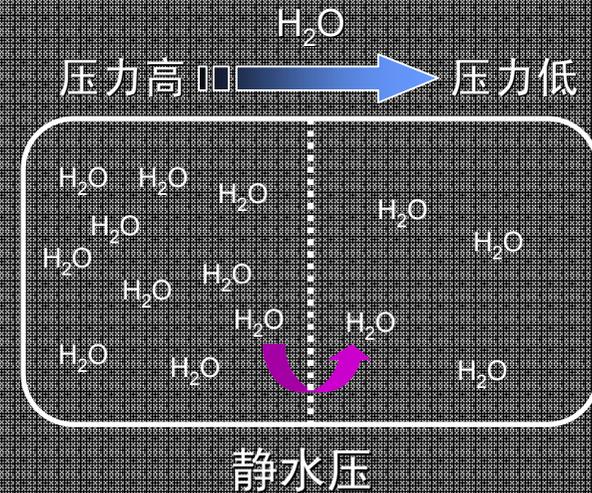


● 年龄、性别、胖瘦

# Hydrostatic pressure & Osmotic pressure

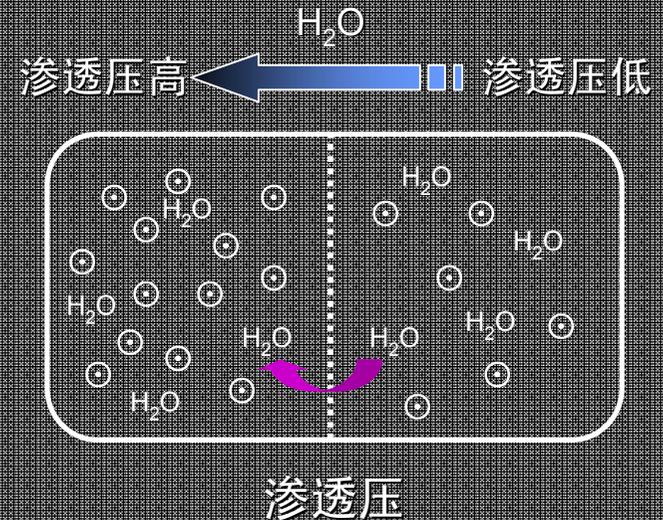
## 1. 静水压

相邻的两个体液腔隙，由于压力不同，水必然从压力高的腔隙向压力低的腔隙转移，这种促使水转移的压力叫做静水压。



## 2. 渗透压

如果相邻两个体液腔隙的静水压相等，而体液中溶质的浓度不同，那么水将由溶质浓度低（渗透压低）的腔隙向溶质浓度高（渗透压高）的腔隙转移，这种现象称为渗透。推动渗透的力称为渗透压。



# Osmotic pressure



溶液的渗透压取决于溶质颗粒（分子、离子）的数量多少，而与颗粒的大小、电荷或质量无关，以容积渗透克分子浓度（osmolarity, mmol/L）来表示。体液的渗透压由胶体渗透压和晶体渗透压组成，前者由蛋白质等大分子胶体颗粒形成，后者由电解质无机离子和其它小分子有机物分子和离子所形成。正常血浆渗透压范围为280~310mmol/L。

<b>Electrolytes</b>	<b>plasma</b> (mEq/L)	<b>interstitial fluid</b> (mEq/L)	<b>intracellular fluid</b> (mEq/L)
<b>cation</b>			
Na <sup>+</sup>	<b>142</b>	<b>140</b>	10
K <sup>+</sup>	5	5	<b>150</b>
Ca <sup>2+</sup>	5	5	very low
Mg <sup>2+</sup>	3	3	40
Total	155	153	200
<b>anion</b>			
Cl <sup>-</sup>	<b>103</b>	<b>112</b>	3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>27</b>	<b>28</b>	10
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	4	<b>142</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	2	5
organic acids	6	6	—
protein	16	1	<b>40</b>
Total	155	153	200

# The balance of water & sodium



# Water balance



	intake	excretion		
Food/drink	<b>2200</b>	evaporate <b>850</b> ( breath 350, skin 500)		} 最低排水量 1500ml
Metabolic water	<b>300</b>	dejecta	<b>150</b>	
		renal(excretion waste)	<b>500</b>	
		renal(excretion water)	1000	
Total	2500	2500		

# Body sodium balance



- 含量：58mmol/kg，总量约60~80g
- 分布：
  - 45%在细胞外液
  - 10%在细胞内液
  - 45%在骨骼
- 平衡：每日由食盐摄入 5~15g NaCl
  - 主要在小肠吸收
  - 主要从肾脏排泄（多吃多排，少吃少排，不吃不排）



# Regulation of Water & sodium balance

## Water deficit

Osmoreceptors

Plasma osmolality ↑

Baroreceptors

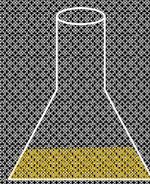
Atrial pressure ↓

Thirst

VP

Water resorption ↑

Urine volume reduced  
(Antidiuresis)



## Water excess

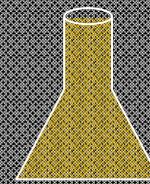
Atrial pressure ↑

Plasma osmolality ↓

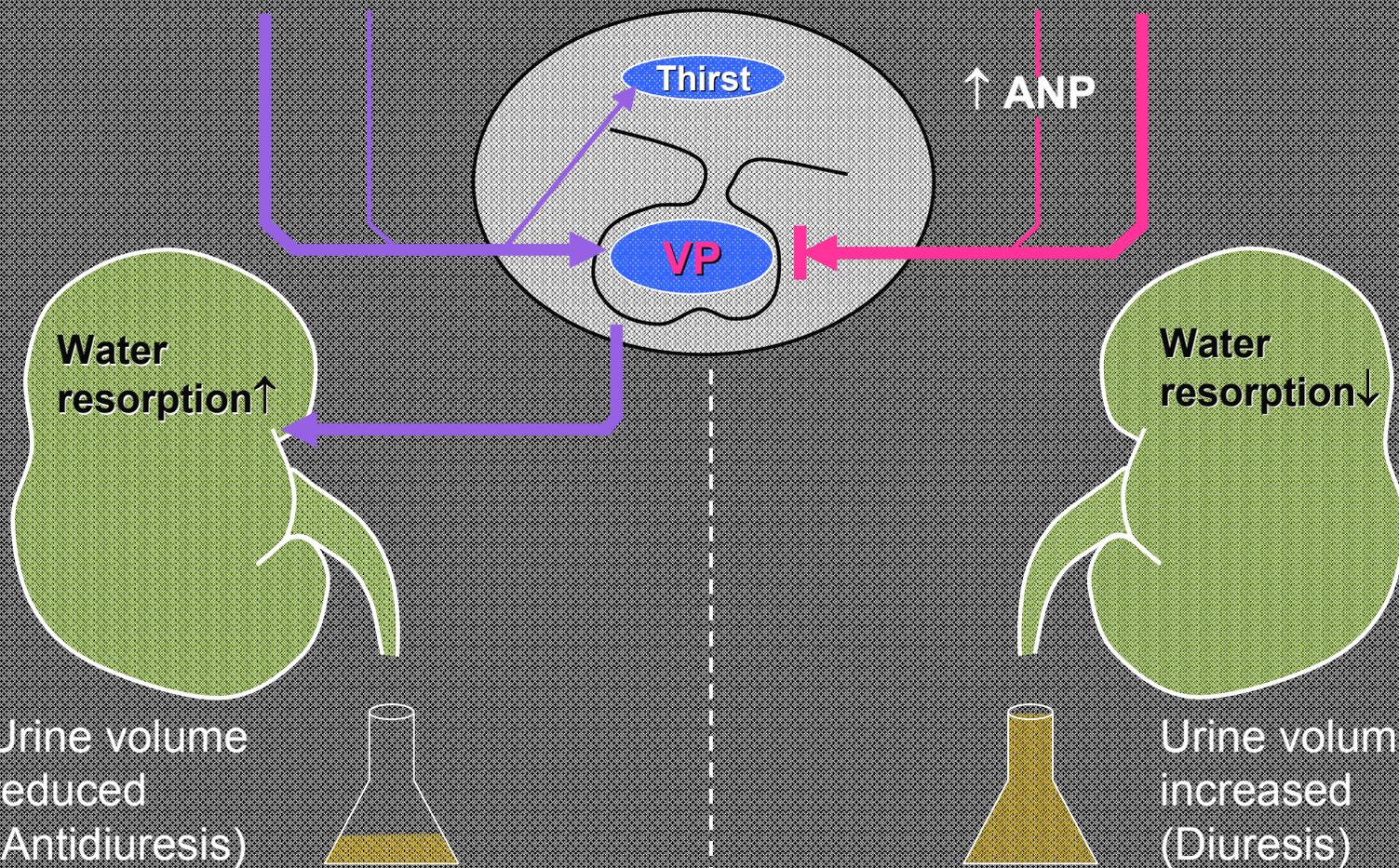
↑ ANP

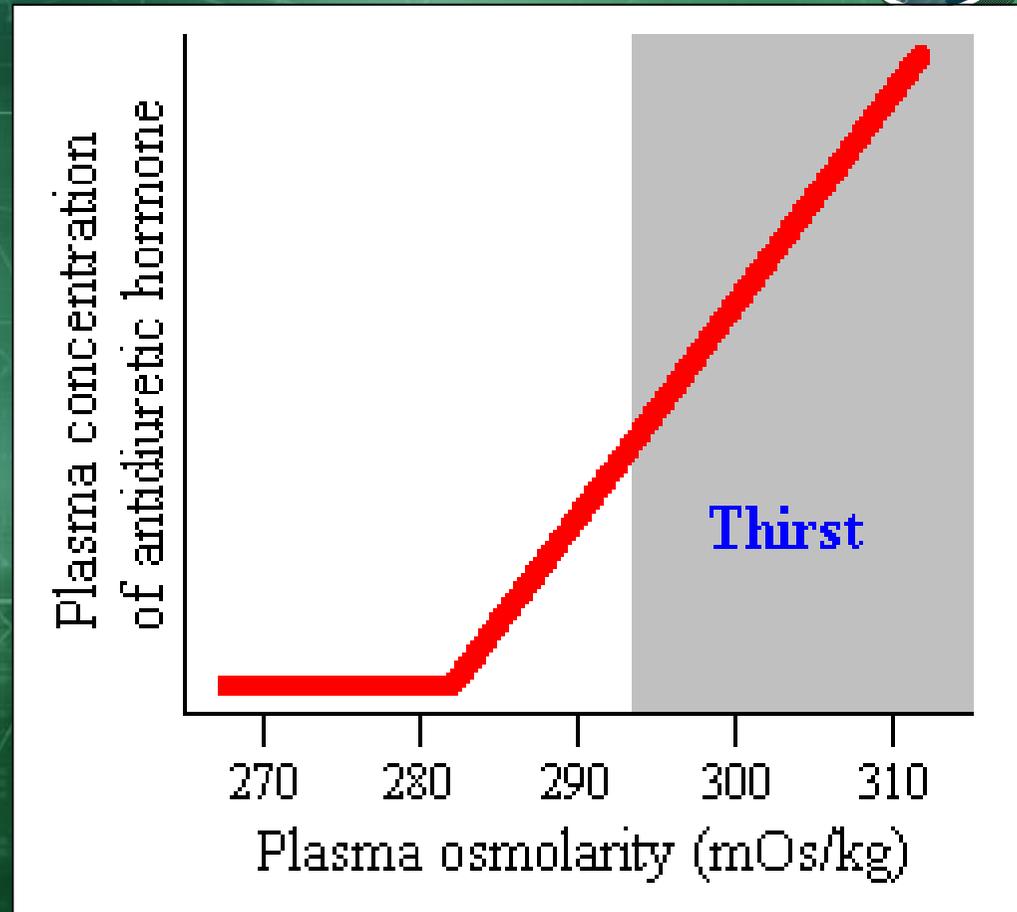
Water resorption ↓

Urine volume increased  
(Diuresis)



vasopressin = antidiuretic hormone

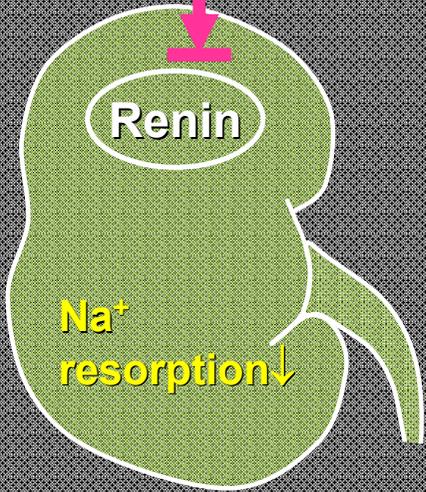




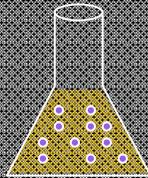
Salt excess

Plasma volume ↑

↑ ANP



Salt excretion increased



Salt deficit

Plasma volume ↓

Converting Enzyme (Lung)

Angiotensin I

Angiotensinogen

Angiotensin II

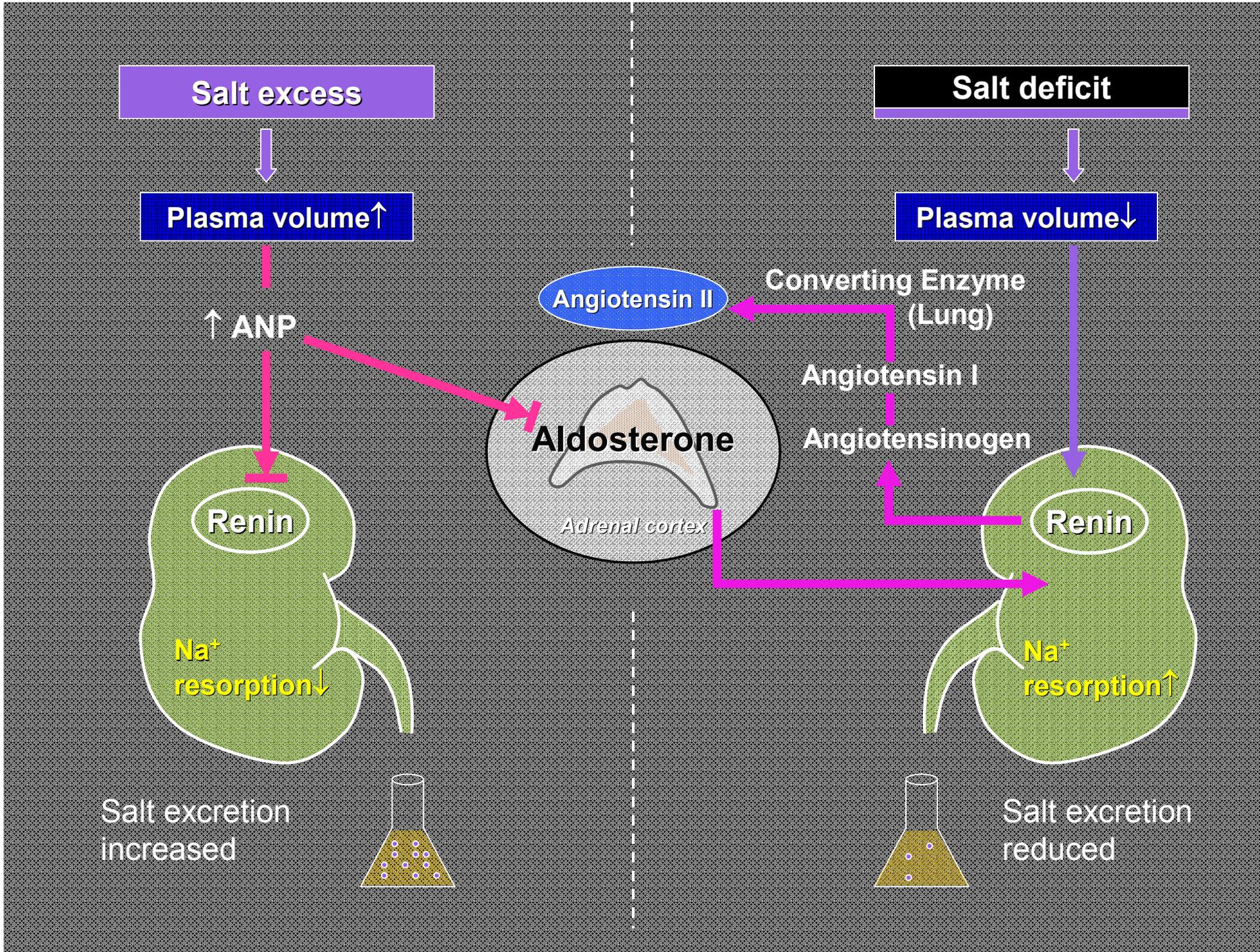
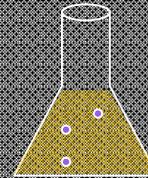
Aldosterone

Adrenal cortex

Renin

Na<sup>+</sup> resorption ↑

Salt excretion reduced



渴感

等渗性调节

抗利尿激素  
(ADH↑)

渗透性刺激：  
血浆晶体渗透压↑

非渗透性刺激：  
血容量↓， 血压↓

肾素-血管紧张素-醛固酮系统  
(Ald↑)

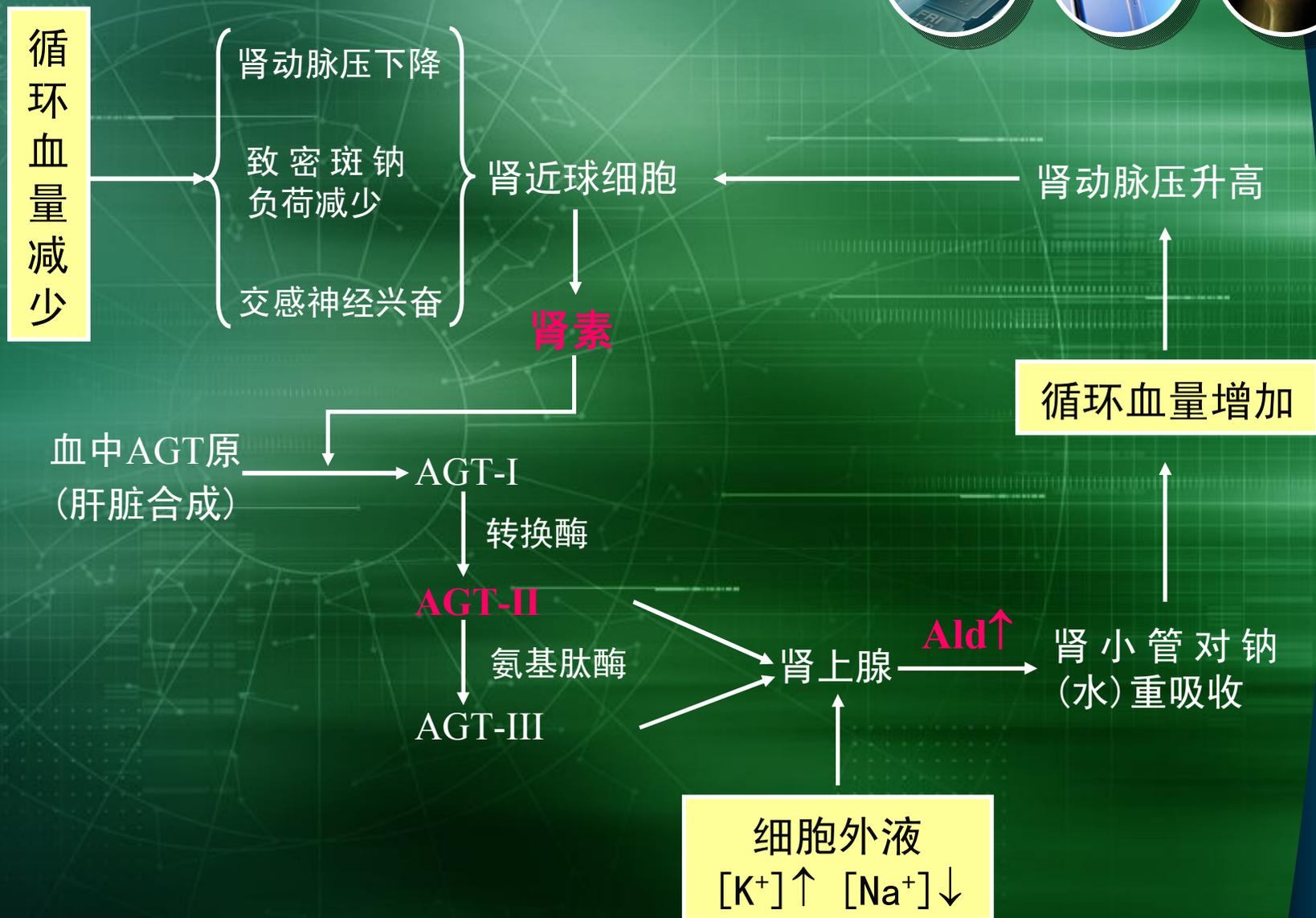
等容性调节

心房肽  
(ANP↑)

有效循环血量↓  
血压↓

血容量↑， 血压↑

# 醛固酮分泌的调节及作用



# Disorders of Water & Electrolytes



Volume disorder: **isotonic dehydration**, edema

Osmotic pressure disorder :

Hyponatremia

**Water intoxication**  
**Hypotonic dehydration**

Hypernatremia

**Hypertonic dehydration**  
Salt intoxication  
Chronic Hypernatremia

Components disorder:

**Potassium**, Magnesium or Calcium **disorders**

# Disorders of water & sodium



低钠血症 { 低容量性 (低渗性脱水)  
高容量性 (水中毒)  
等容量性

高钠血症 { 低容量性 (高渗性脱水)  
高容量性  
等容量性

正常血钠性水紊乱 { 等渗性脱水  
水肿



# 低容量性低钠血症

hypovolemic hyponatremia



## 低渗性脱水 (hypotonic dehydration)

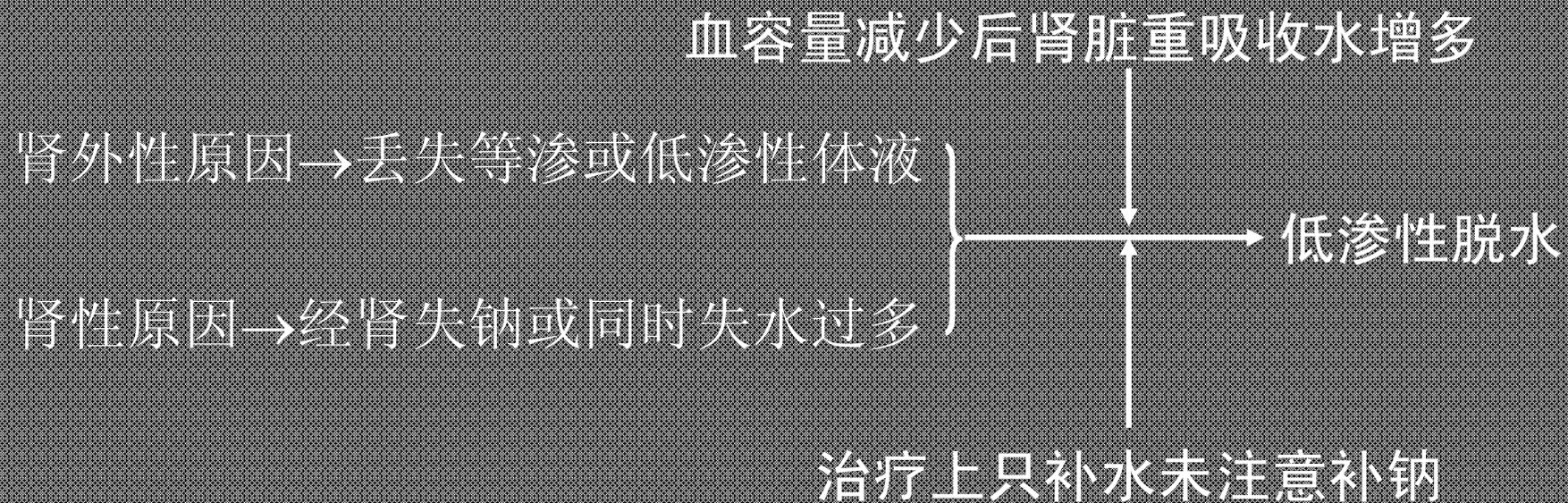
### 主要特点

失钠多于失水

血清钠浓度  $< 135 \text{ mmol/L}$  (或  $\text{mEq/L}$ )

血浆渗透压  $< 280 \text{ mmol/L}$

# 低渗性脱水发生的原因和机制

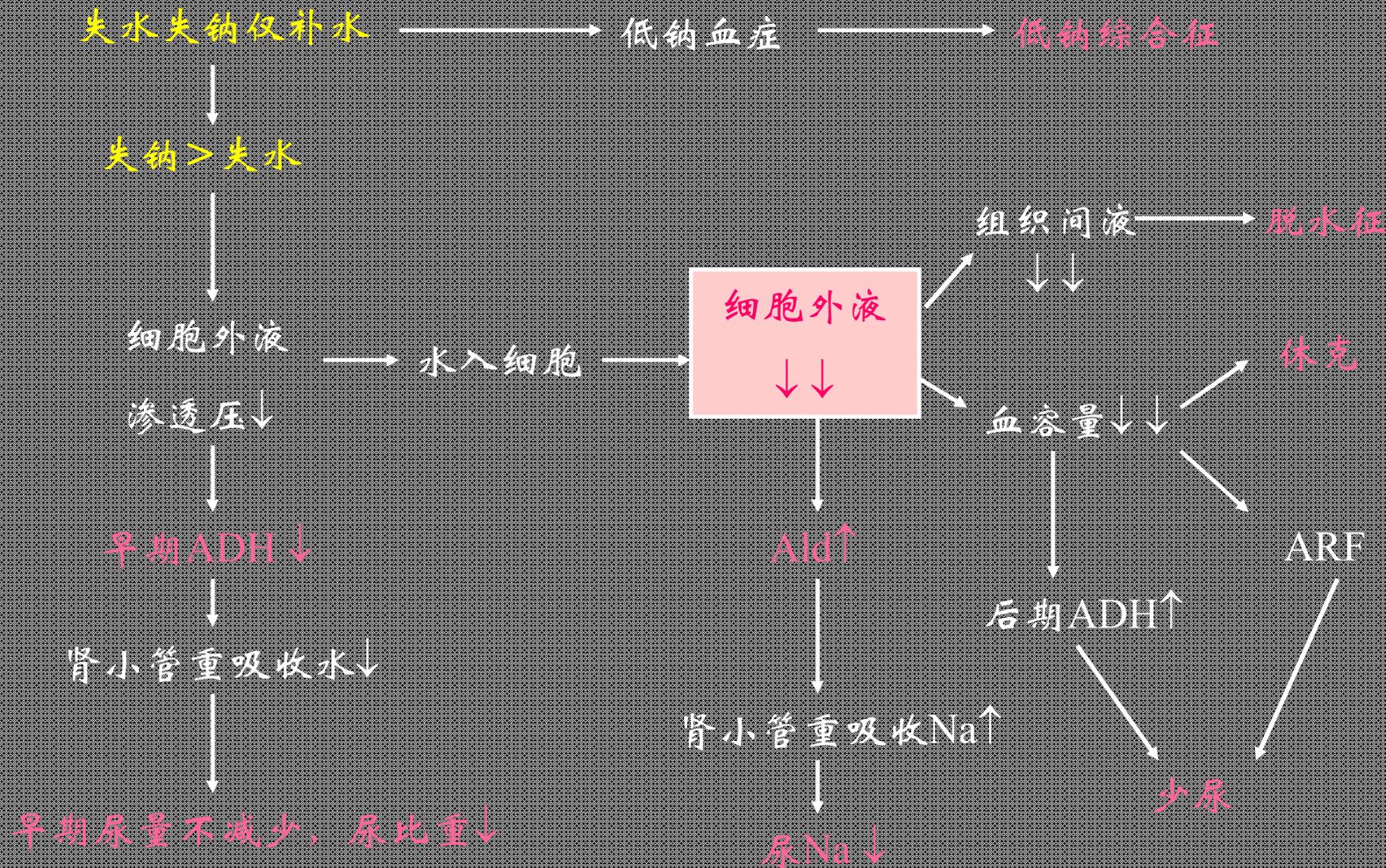


# 低渗性脱水的肾性原因



- 长期、大量使用**排钠利尿药**（如氯噻嗪、速尿、利尿酸等）时，利尿的同时抑制了髓襻升支对氯化钠的重吸收，使钠随尿液排出过多；
- 肾脏疾病，如**慢性间质性疾病**，当髓质结构破坏和髓襻升支功能障碍，钠随尿丢失增多；
- **急性肾功能衰竭多尿期**，肾小球滤过率开始增加而肾小管功能未恢复，水、钠排出增多；
- **失盐性肾炎**，因肾小管上皮细胞病变，对醛固酮反应性降低，钠的重吸收减少，肾排钠过多；
- **肾上腺皮质功能不全**，如Addison病，因醛固酮不足，使肾小管钠重吸收减少；

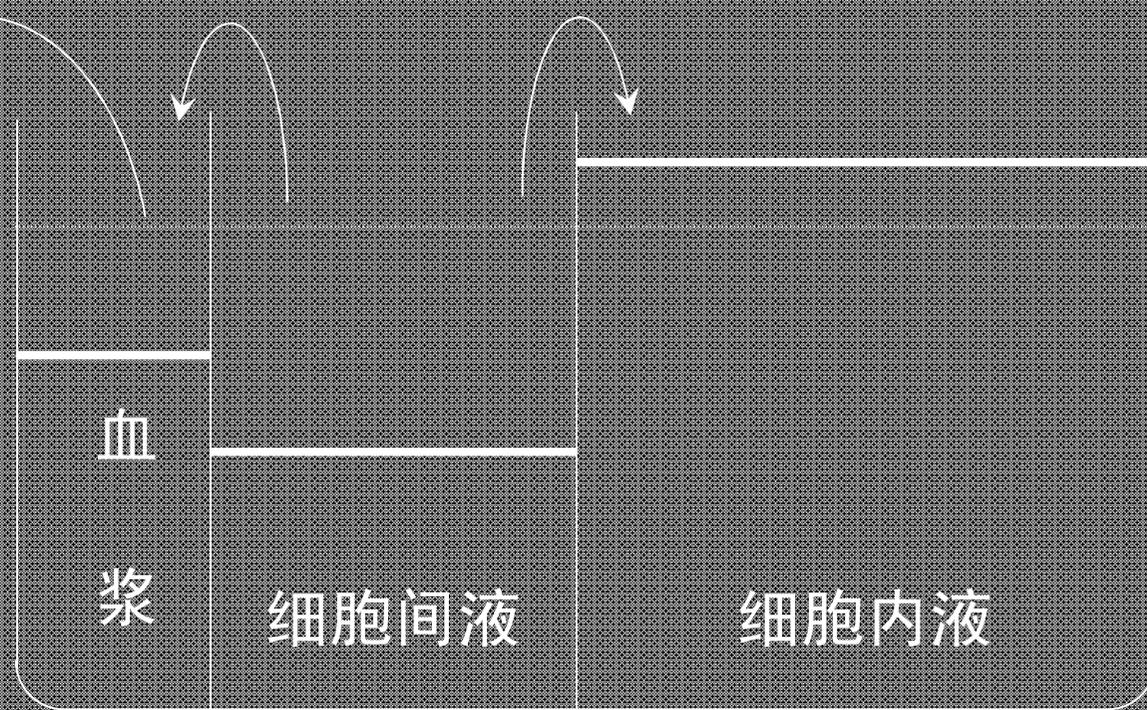
# 低渗性脱水对机体的影响



# 低渗性脱水时体液的分布变化



正常水平



# 低容量性高钠血症

hypovolemic hypernatremia



## 高渗性脱水 (hypertonic dehydration)

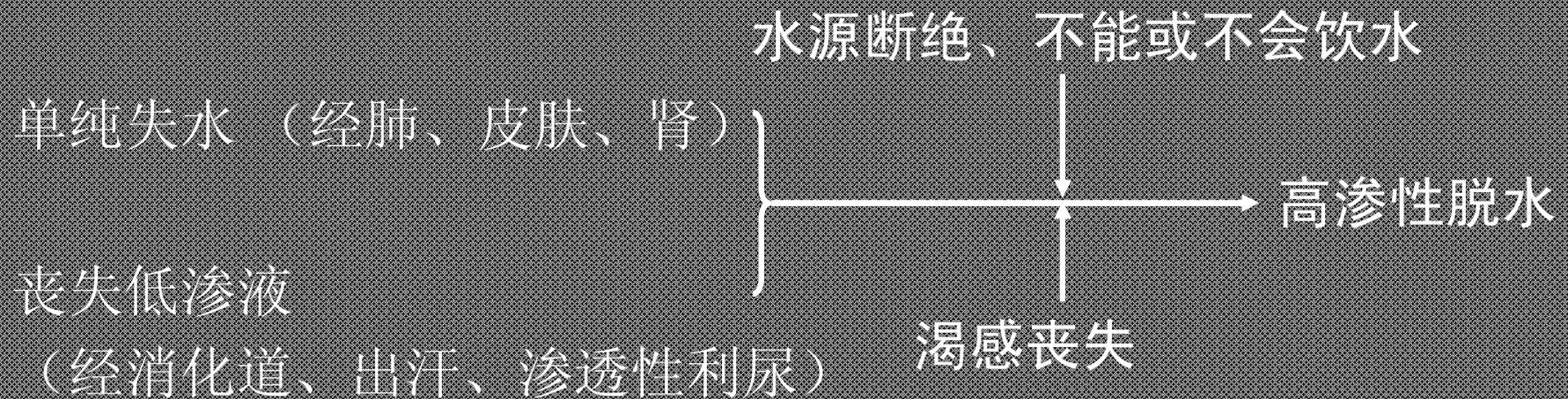
### 主要特点

失水多于失钠

血清钠浓度  $>145 \text{ mmol/L}$  (或  $\text{mEq/L}$ )

血浆渗透压  $> 310 \text{ mmol/L}$

# 高渗性脱水发生的原因和机制



# 高渗性脱水的肾性原因



- **经肾单纯失水**：**中枢性尿崩症**时因ADH产生和释放不足，**肾性尿崩症**时因肾远曲小管和集合管对ADH的反应缺乏，故肾脏可排出大量水分。失水发生在肾单位的最远侧部分，亦即在这个部分以前，大部分钠离子已经被重吸收。因此，病人可排出10~15L的稀释尿而其中只含几个mmol的钠。
- **经肾丧失低渗尿**：如反复**静脉内输注甘露醇、尿素、高渗葡萄糖**等时，可因肾小管液渗透压增高而引起**渗透性利尿**，排水多于排钠。

# 高渗性脱水对机体的影响

失水 > 失钠

细胞外液  
渗透压↑

水出细胞

细胞内液↓↓

早期细胞外液  
减少不明显

血容量减少不明显

Ald正常/↓ (脱水严重时, Ald可↑)

尿Na正常/↑

高Na

ADH↑

尿量↓

尿比重↑

细胞脱水

黏膜干燥

口渴

脑细胞脱水

颅内出血

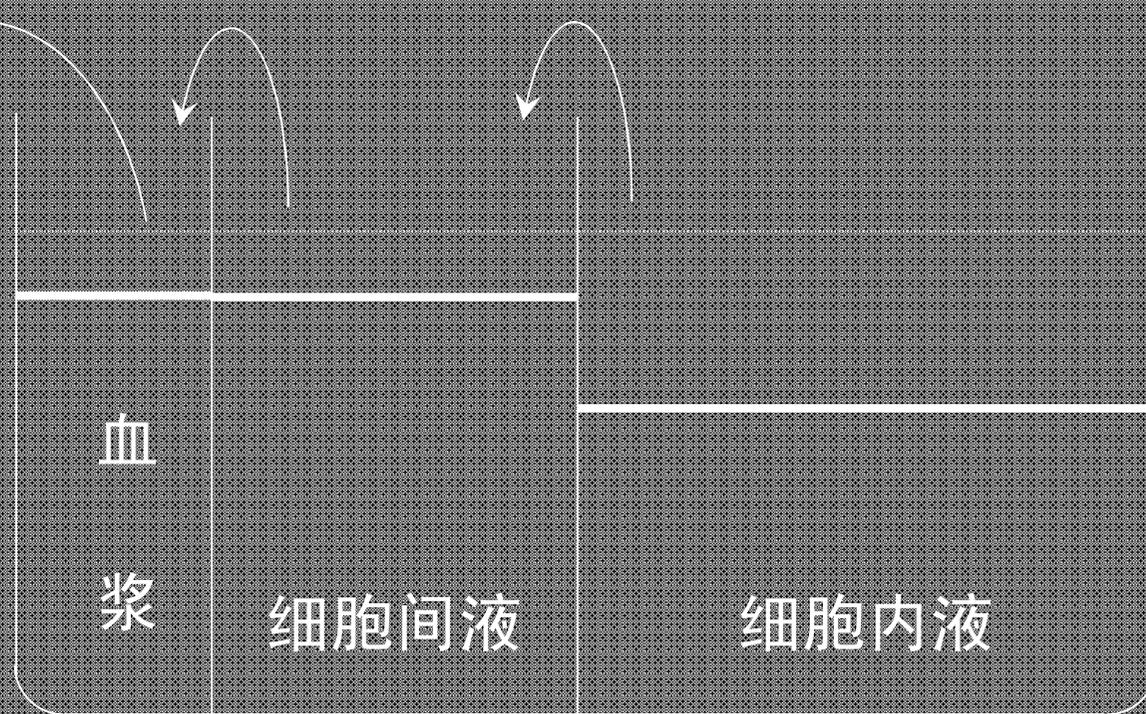
汗腺分泌↓ 体温↑



# 高渗性脱水时体液的分布变化



正常水平



# 正常血钠性水紊乱



## 等渗性脱水 (isotonic dehydration)

### 主要特点

水和钠以等渗比例丢失，或失液后经机体调节  
血浆渗透压仍在正常范围  
血清钠浓度为  $135 \sim 145 \text{ mmol/L}$  (或  $\text{mEq/L}$ )  
血浆渗透压为  $280 \sim 310 \text{ mmol/L}$

## 等渗性脱水发生的原因和机制



等渗性脱水的常见病因是呕吐、腹泻，  
大量丢失接近等渗的消化液；大量胸、腹  
水形成；大面积烧伤和严重创伤使**血浆丢**  
**失**等。



	低渗性脱水	高渗性脱水	等渗性脱水
原因	失水 < 失钠	失水 > 失钠	等渗液大量丢失
血清钠浓度 (mmol/L)	<135	>145	135~145
血浆渗透压 (mmol/L)	<280	>310	280~310
体液减少主要部位	细胞外液 (细胞间液)	细胞内液	细胞内、外液
口渴	早期无, 重度脱水者有	明显	有
体温升高	无	有	有时有
血压	易降低	正常→重症者降低	易降低
尿量	正常→重症者减少	减少	减少
脱水貌	明显	早期不明显	明显

高容量性低钠血症

hypervolemic hyponatremia



水中毒

(water intoxication)



## 主要特点

血清钠浓度  $< 130 \text{ mmol/L}$

血浆渗透压  $< 280 \text{ mmol/L}$

水潴留但体内钠总量正常

# 定 义



当**水的摄入过多**，**超过**神经-内分泌系统调节和**肾脏的排水能力**时，使大量水分在体内潴留，导致**细胞内、外液容量扩大**，并出现包括**稀释性低钠血症**在内的一系列症状和体征，被称为**水中毒**。

# 病因和发生机制



1. ADH分泌过多

2. 急性肾功能衰竭少尿期

慢性肾功能衰竭晚期

+ 大量补水

# 水中毒对机体的影响



由于细胞内液容量两倍于细胞外液，水潴留时往往有2/3水进入细胞内，因此轻度水中毒时细胞内、外液量增加可不明显，**轻度和慢性水中毒的症状也不明显**。可有软弱无力、头痛、嗜睡、恶心、呕吐和肌肉挛痛，有时有唾液、泪液过多等。

**急性重度水中毒**（血钠 $<120\text{mmol/L}$ ，血浆渗透压 $<250\text{mmol/L}$ ）主要引起**脑神经细胞水肿**和**颅内压增高**，对患者生命危害极大。各种神经精神症状出现较早，也可突然发生脑疝致心跳、呼吸骤停。此外，水中毒尚可能引起**肺水肿**或**心力衰竭**。

# 溶液的张力



- 张力是指溶液溶质的微粒对水的吸引力，溶液的浓度越大，对水的吸引力越大。判断某溶液的张力，是以它的渗透压与血浆渗透压正常值（计算时取平均值300mmol/L）相比所得的比值，它是一个没有单位但却能够反映物质浓度的数值。

溶液渗透压 = (溶质百分比浓度 × 10 × 1000 × 每个分子所能解离的离子数) / 溶质分子量。



■ **生理盐水（0.9%NaCl）溶液的渗透压=**

$$(0.9 \times 10 \times 1000 \times 2) / 58.5 = 308 \text{ mmol/L.}$$

该渗透压与血浆正常渗透压相比，比值约为1，故该溶液的张力为1张。

■ **5%NaHCO<sub>3</sub>溶液的渗透压=**

$$(5 \times 10 \times 1000 \times 2) / 84 = 1190.4 \text{ mmol/L.}$$

该渗透压与血浆正常渗透压相比，比值约为4，故该溶液张力为4张。

## 几种常用溶液的张力:



- 0.9% NaCl 为1张, 10% NaCl 为11张
- 1.4% NaHCO<sub>3</sub>为1张, 5% NaHCO<sub>3</sub>为4张
- 1.87% 乳酸钠溶液为1张
- 10%KCl为9张
- 5%GS或10%GS为0张

# 例 题



1. 细胞内外渗透压的平衡主要依靠下列何种物质的移动来维持

- A.  $\text{Na}^+$                       B.  $\text{K}^+$                       C.  $\text{Cl}^-$   
D.  $\text{H}_2\text{O}$                       E.  $\text{Ca}^{++}$

2. 给严重低渗性脱水患者输入大量水分而未补钠盐可引起

- A. 高渗性脱水      B. 等渗性脱水      C. 水中毒  
D. 低钾血症      E. 水肿

3. 低渗性脱水的主要特征是什么？

4. 为什么高渗性脱水早期较不易引起循环衰竭？

5. 试比较低渗性脱水和高渗性脱水的异同点。

6. 水中毒时体液的变化特点是什么？

## 例 题



男性患儿，2岁，腹泻2天，每天6-7次，水样便；呕吐3次，呕吐物为所食牛奶，不能进食。伴有口渴、尿少、腹胀。

查体：精神萎靡， $T37^{\circ}\text{C}$ ， $\text{BP}11.5/6.67\text{KPa}$ （ $86/50\text{mmHg}$ ），皮肤弹性减退，两眼凹陷，前囟下陷，心跳快而弱，肺无异常，腹胀，腹壁反射消失，肠鸣音减弱，膝反射迟钝，四肢发凉。

化验：血清 $\text{K}^{+}3.3\text{mmol/L}$ ， $\text{Na}^{+}140\text{mmol/L}$ 。

该患儿发生何种水、电解质紊乱？依据是什么？



水肿

edema



# Definition

过多的（等渗性）液体在组织间隙  
或体腔内积聚。

# Classification



按水肿波及的范围：

全身性水肿

局部水肿（皮下水肿、肺水肿、脑水肿、视神经乳头水肿）。

按水肿的发病原因：

肾性水肿、心性水肿、肝性水肿、营养不良性水肿、淋巴性水肿、炎性水肿等。

\* **积水**：指液体在体腔中积聚过多。如胸腔积水、腹腔积水。



# Pathogenesis of edema



## (一) 血管内外液体交换平衡失调

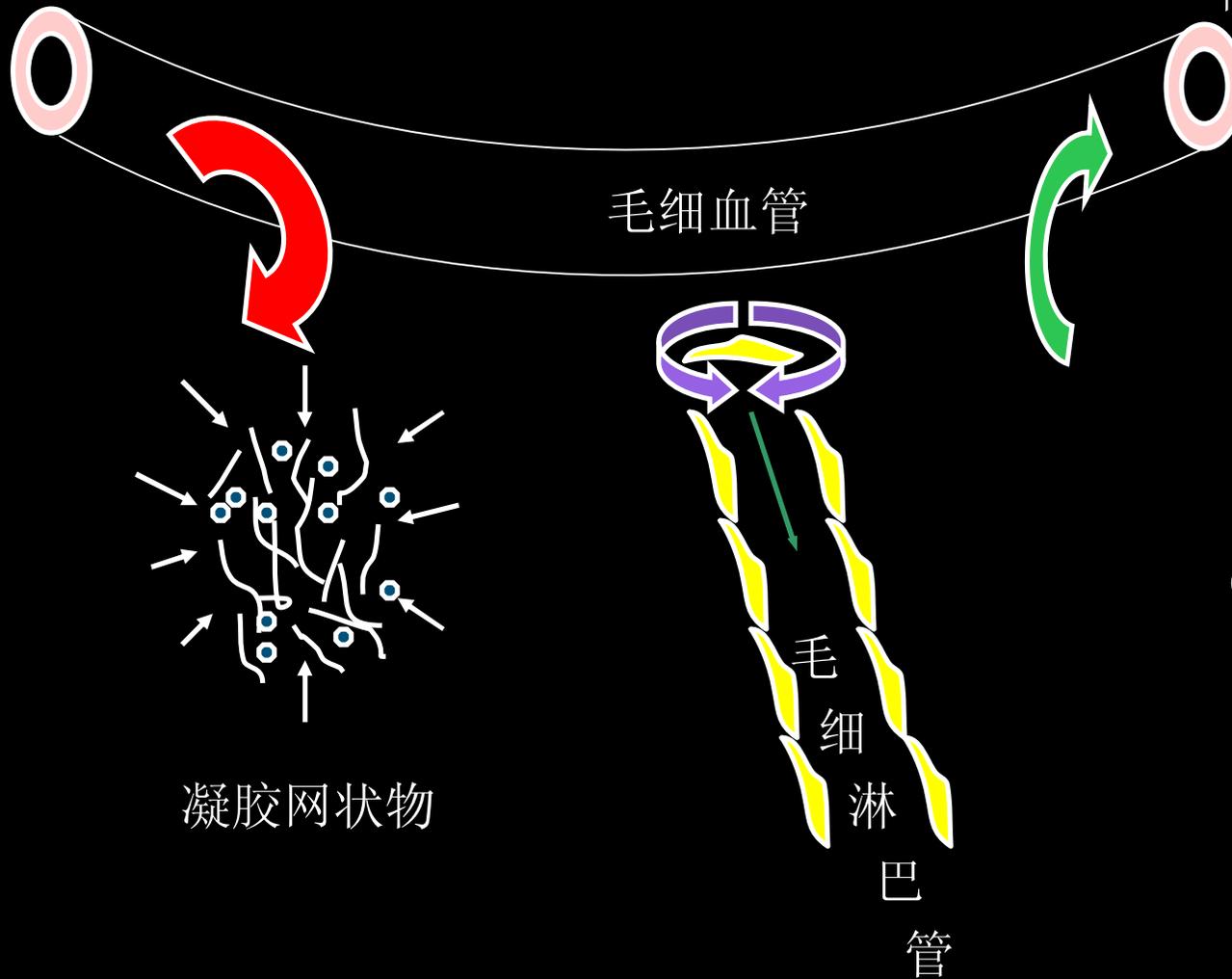
1. 毛细血管流体静压增高
2. 血浆胶体渗透压降低
3. 微血管壁通透性增加
4. 淋巴回流受阻

动脉端

静脉端

有效滤过压 (+)

有效滤过压 (-)



### 有效滤过压=

(Cap流体静压-组织间液流体静压) - (血浆胶体渗透压-组织间液胶体渗透压)

30/12mmHg

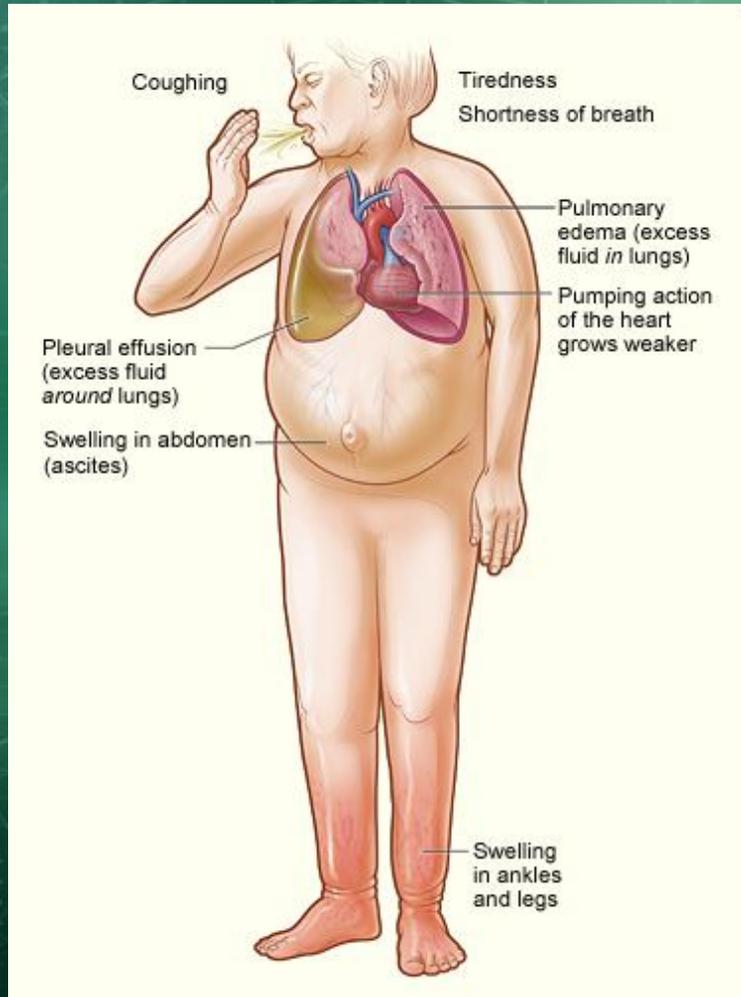
-6.5mmHg

28mmHg

5mmHg

毛细血管、组织间隙、毛细淋巴管之间的液体交换

# 毛细血管流体静压增高

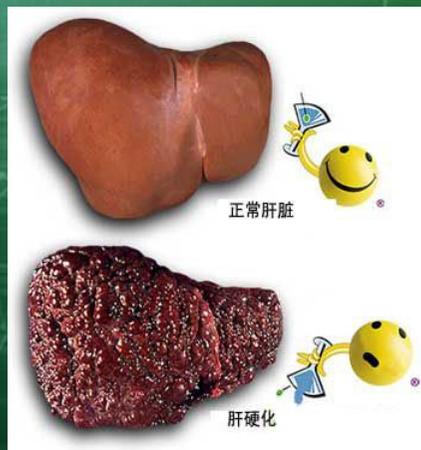


right heart failure

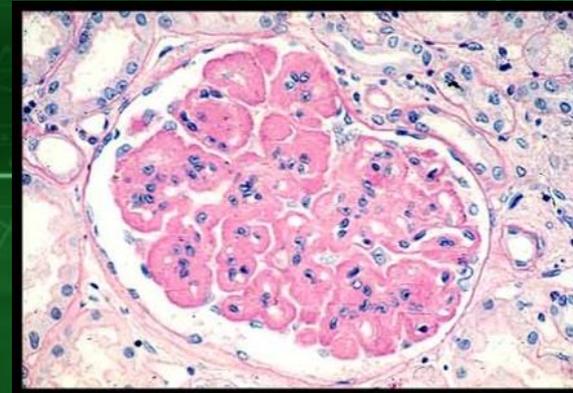


pregnancy

# 血浆胶体渗透压降低



hepatocirrhosis



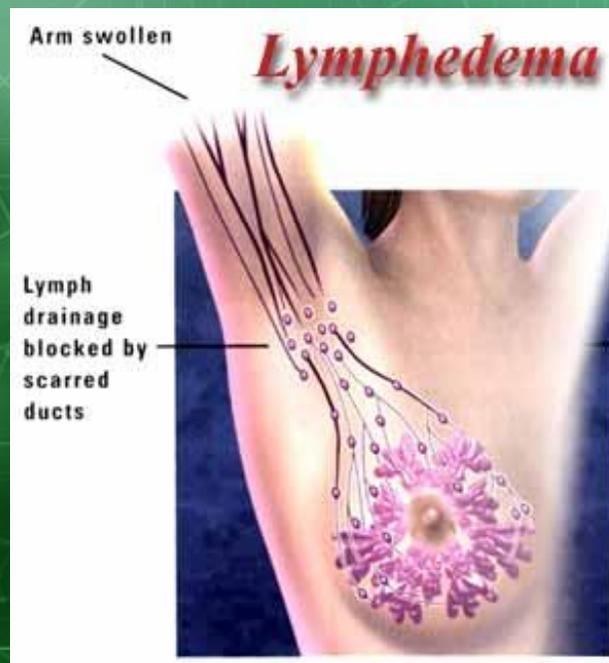
nephrotic syndrome

# 微血管壁通透性增加



inflammatory edema

# 淋巴回流受阻

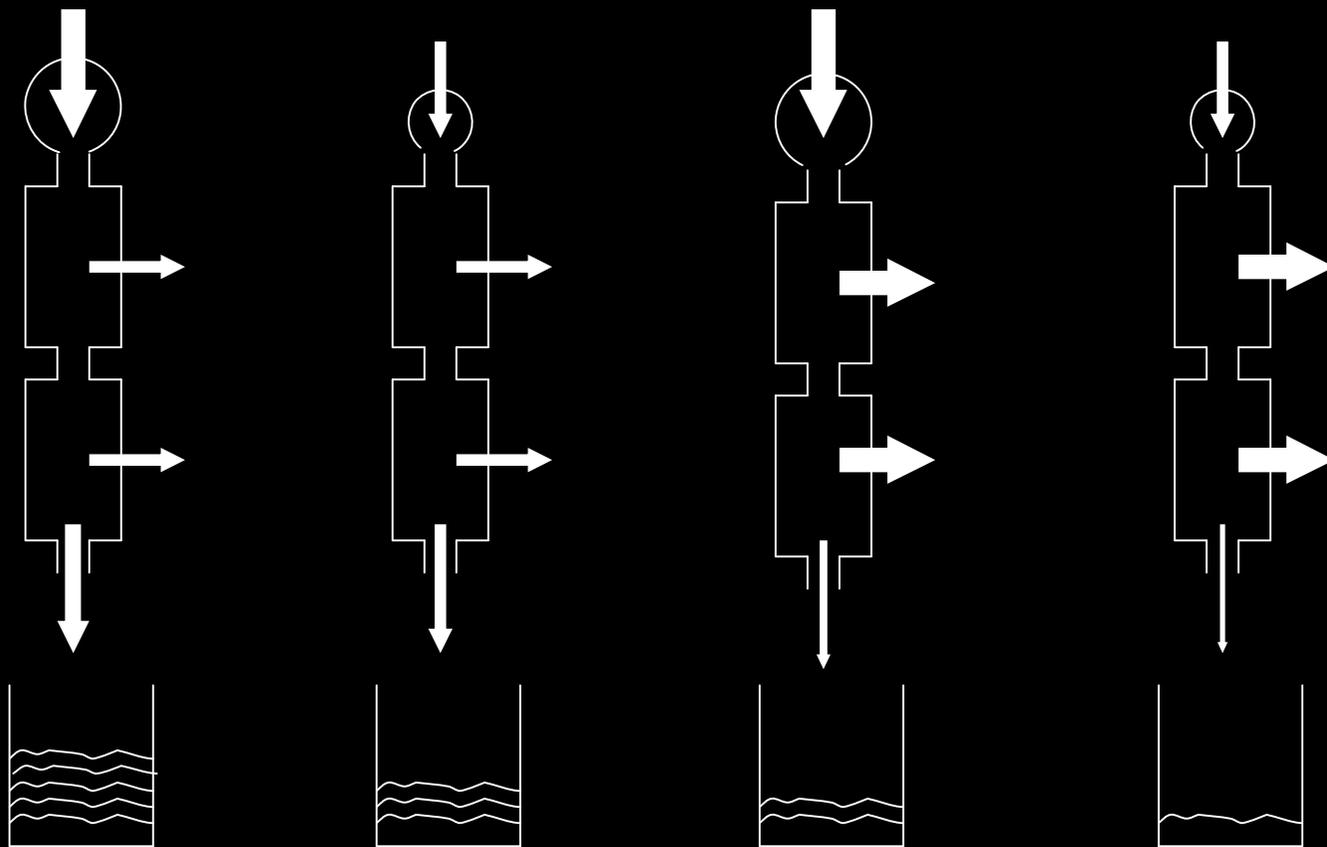


lymph edema



## (二) 体内外液体交换平衡失调

1. GFR降低
2. 肾小管对钠、水的重吸收增多  
(近端小管, 远端小管和集合管)



急性肾小球肾炎

原发性Ald增多症

心力衰竭

球-管平衡

球-管失衡



## 皮质肾单位和髓旁肾单位的生理解剖特点比较

	皮质肾单位	髓旁肾单位
小动脉口径	入球>出球	入球<出球
交感神经末梢密度	入球>出球	入球<出球
血液供应百分量	94%	5~6%
肾素含量	多	少
髓袢长度	短（仅伸及外髓质层）	长（伸及内髓质层）
髓袢对钠水的重吸收	弱	强

# 水肿的特征



## (一) 水肿液的特点

	渗出液	漏出液
产生原因	炎症	非炎症
外观	浑浊	清亮
蛋白含量	>25g/L	<20~25g/L
比重	>1.018	<1.015
白细胞数	$>0.5 \times 10^9/L$ (500个/ $mm^3$ )	$<0.1 \times 10^9/L$ (100个/ $mm^3$ )
细菌培养	(+)	(-)
放置后可凝固性	可凝固	不凝固



## (二) 皮下水肿的皮肤特点

隐性水肿（非凹陷性），显性水肿（凹陷性）

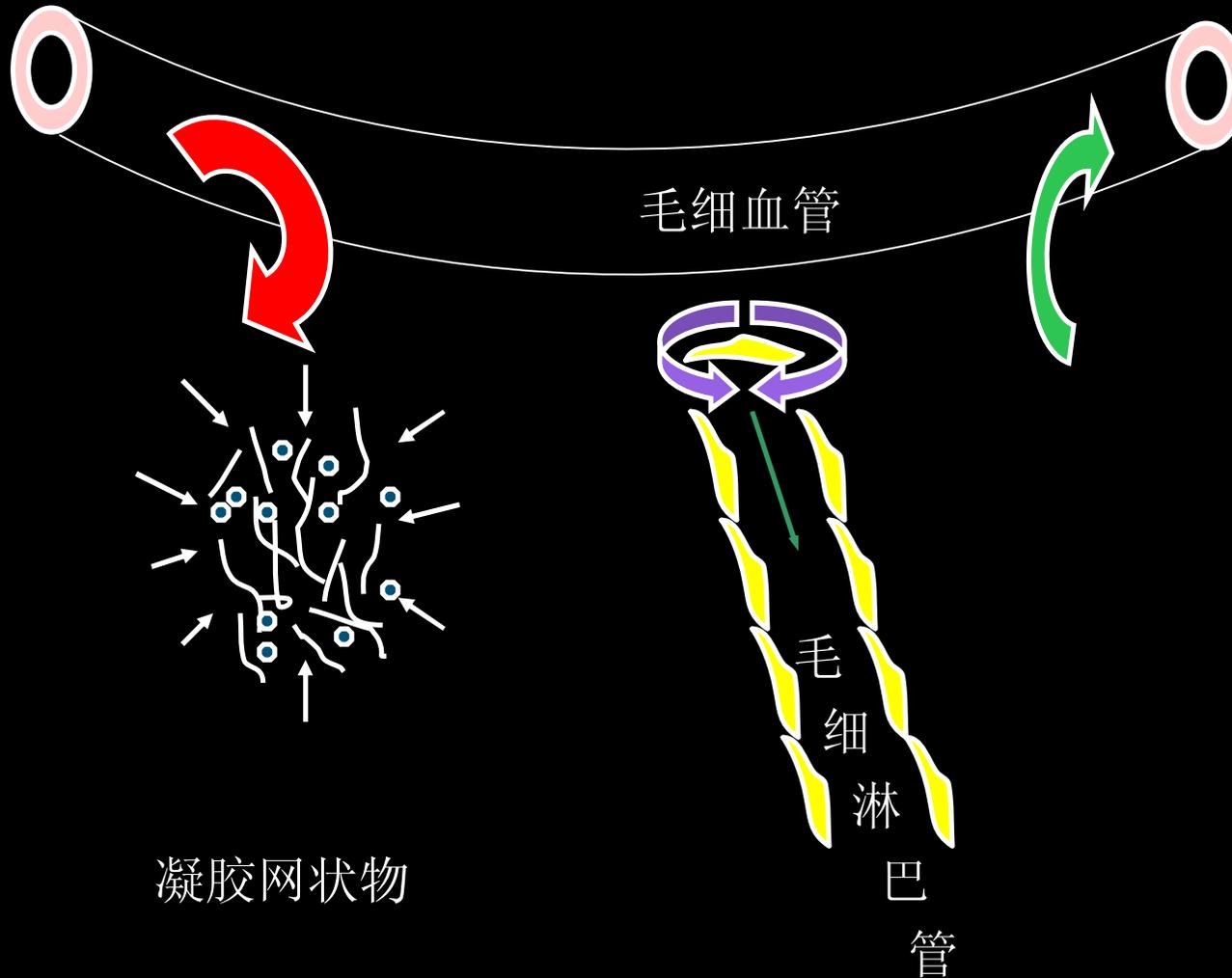


动脉端

静脉端

有效滤过压 (+)

有效滤过压 (-)



凝胶网状物

毛细淋巴管

有效滤过压 =

(Cap 流体静压 - 组织间液流体静压) - (血浆胶体渗透压 - 组织间液胶体渗透压)

30/12mmHg

-6.5mmHg

28mmHg

5mmHg

毛细血管、组织间隙、毛细淋巴管之间的液体交换



### (三) 全身性水肿的分布特点

影响水肿分布特点的因素有：重力和体位、皮下组织结构的致密性和皮肤厚度与伸展性、病因作用对局部静脉及毛细血管血液动力学影响的程度。

**\*右心衰竭或全心衰竭**，水肿首先出现在体位低垂部位，如下肢。

**\*肾性水肿**，水肿首先出现在皮下组织疏松部位，如眼睑、面部。

**\*肝性水肿**，水肿首先出现在腹腔内，即腹水。

# 水肿对机体的影响



## 不利

引起组织细胞营养障碍

引起水肿器官的功能障碍，如心包积液影响心脏舒张、咽部水肿影响呼吸。

## 有利

稀释毒素

输送抗体或药物至炎症局部

吸附有毒物质

形成纤维蛋白限制细菌扩散等。

# 各种常见水肿的发生机制



(一) 心性水肿

(二) 肾性水肿

肾病性水肿；肾炎性水肿

(三) 肝性水肿

(四) 肺水肿

(五) 脑水肿

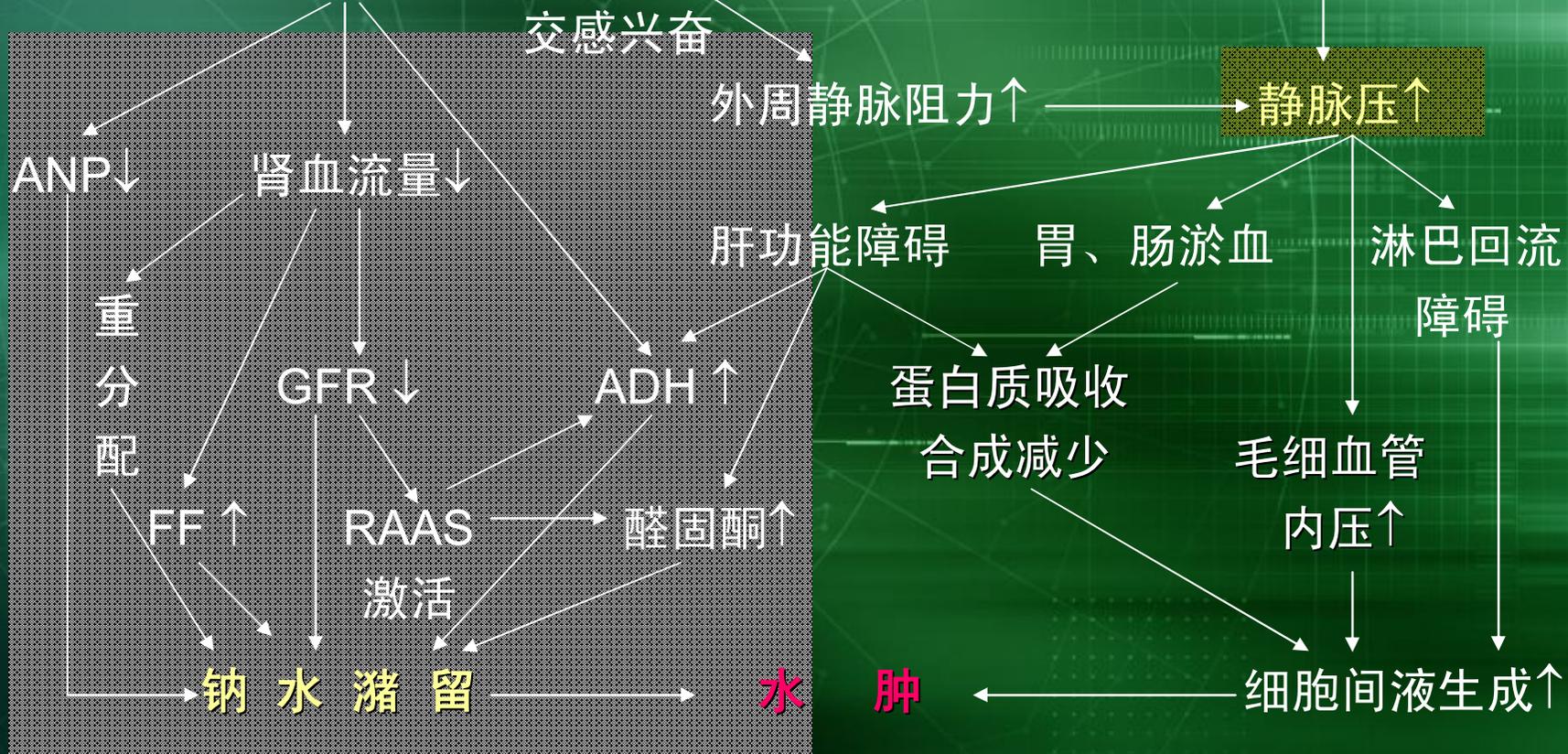
# 心性水肿的发生机制



## 心泵功能衰竭

心输出量↓, 有效循环血量↓

体静脉回流障碍, 淤血



# Thank You

