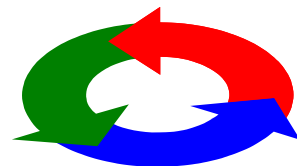


体外循环中水、电解质紊乱和纠正

阜外心血管病医院体外循环科

冯正义

Email: fzhengyi@163.com



(一) 液体的分布与转运

Total body water in relation to body weight

	Adult male(%)	Adult female(%)	Infant(%)
Normal	60	50	70
Lean	70	60	80
Obese	50	42	60

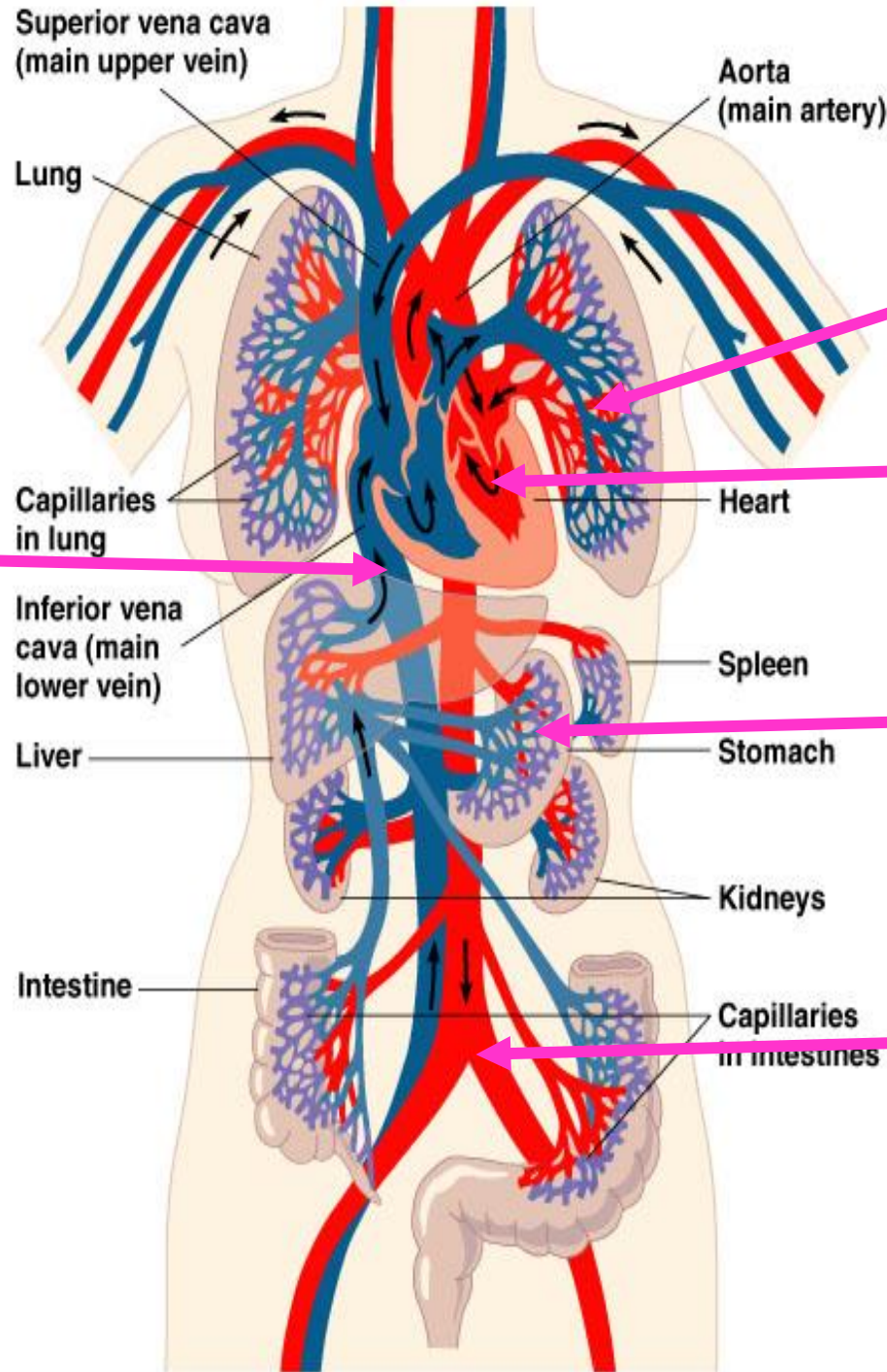
因年齡、性別、胖瘦而不同

体液容量及其分布

- 细胞内液(ICF)：在成人约占体重40%，即2/3的水在细胞内
- 细胞外液(ECF)：约占体重20%，即1/3的水在细胞外
 - ◆ 组织间液：约占体重15%
 - ◆ 血管内液：即血液占5%。
 - ◆ 脑脊液、关节囊液及胃肠分泌液占1%

VENOUS
SYSTEM

64%



BLOOD VOLUME

LUNG 9%

HEART 7%

CAPILLARIES

7%

MAJOR
ARTERIES 13%

溶质在血管内液与组织间液之间的运动

- ◆ 以毛细血管壁相隔
- ◆ 除蛋白质外，水和小分子溶质（葡萄糖、氨基酸、尿素及电解质）可自由通过。
- ◆ 驱动力：毛细血管动静脉端压力。
- ◆ 交换异常：组织水肿

水在各部位体液之间的运动

- ◆ 水可以自由通过体内所有的膜
- ◆ 控制因素
 - ◆ 渗透压（其中的COP起关键作用）
 - ◆ 静水压

血浆渗透压90% 来自 Na^+ , Cl^- , HCO_3^-

约10%来自血浆蛋白质产生的胶体渗透压

血管内外水运动的动态平衡

有效流体静压： 毛细血管血压-组织间静水压

有效胶体渗透压： 血浆胶体渗透压-组织间胶体渗透压

动脉端 有效流体静压>有效胶体渗透压

静脉端 有效胶体渗透压>有效流体静压

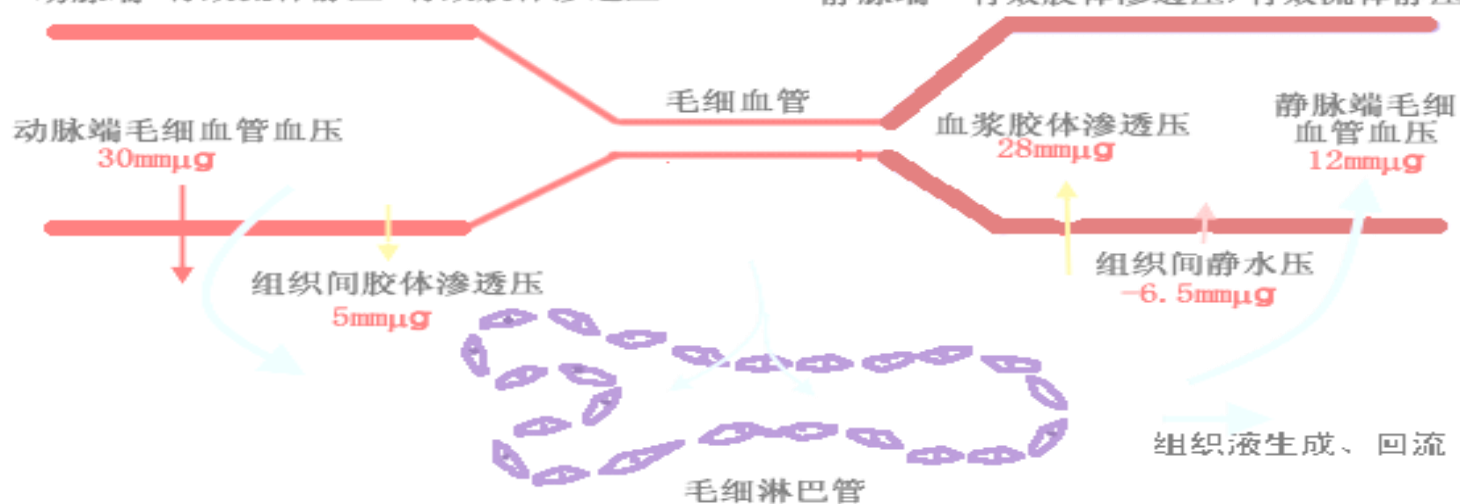
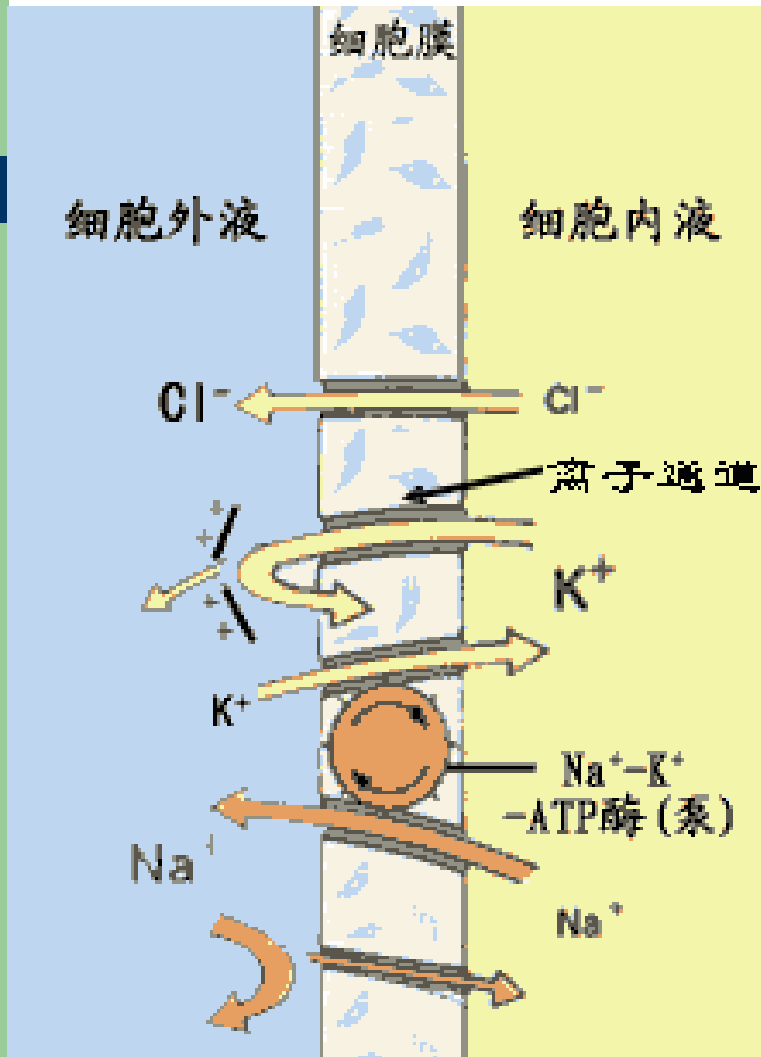


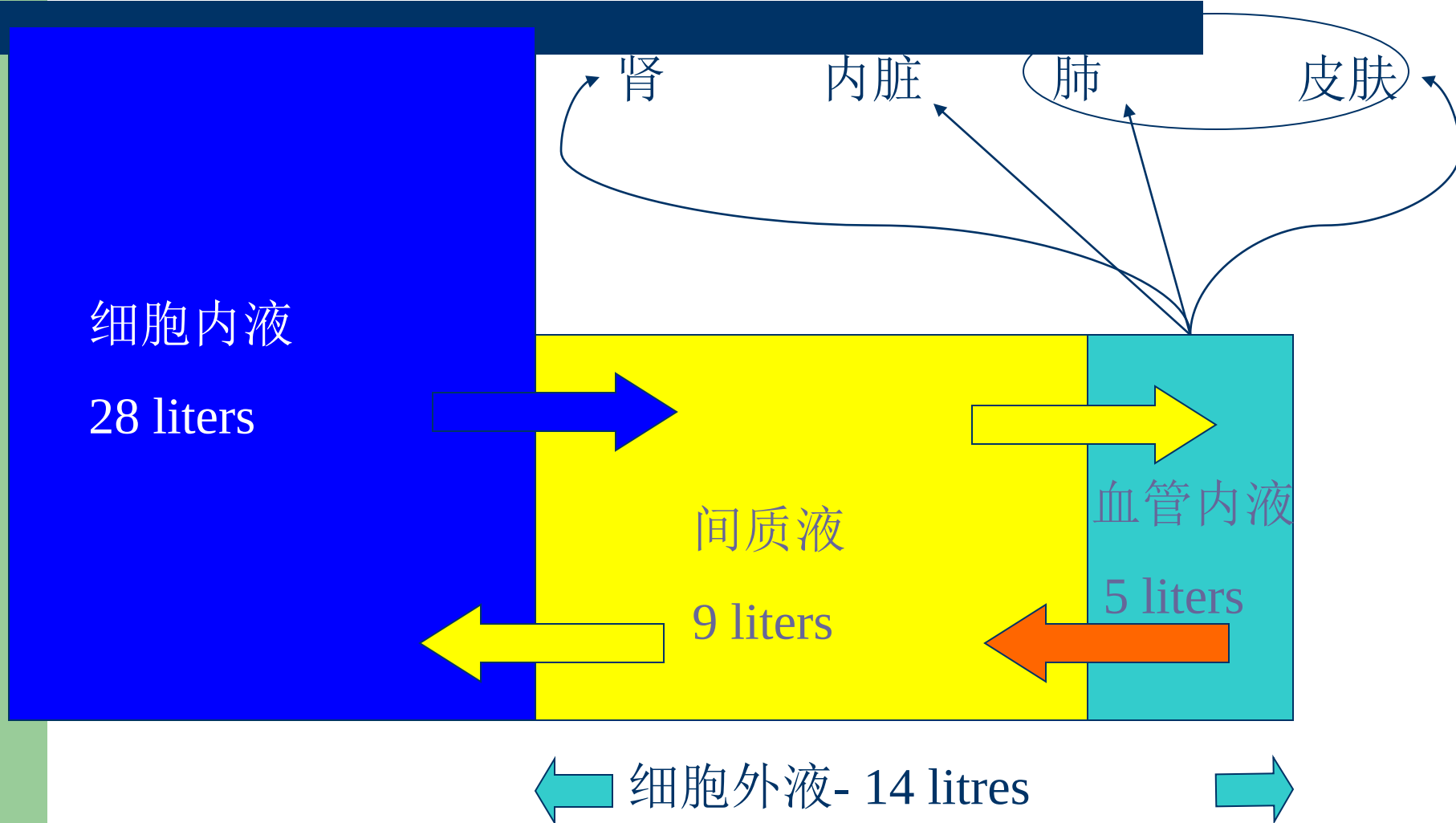
图3-12 毛细血管、组织间隙、毛细淋巴管液体交换示意图

组织间液和细胞内液之间溶质交换



- 组织间液和细胞内液之间存在着细胞膜
- 被动转运：细胞膜对水和小分子溶质（尿素）可以自由通过。
- 主动转运：细胞膜特殊结构 ($\text{Na}-\text{K}$ 泵) $\rightarrow$ 电解质通过细胞膜并不自由， 细胞内外离子成分差别很大。
- 交换异常：如细胞缺血缺氧时、大量低张溶液输入，细胞水肿

体液的转移和摄取(体重70kg为例)



输入晶体 & 胶体后重分布



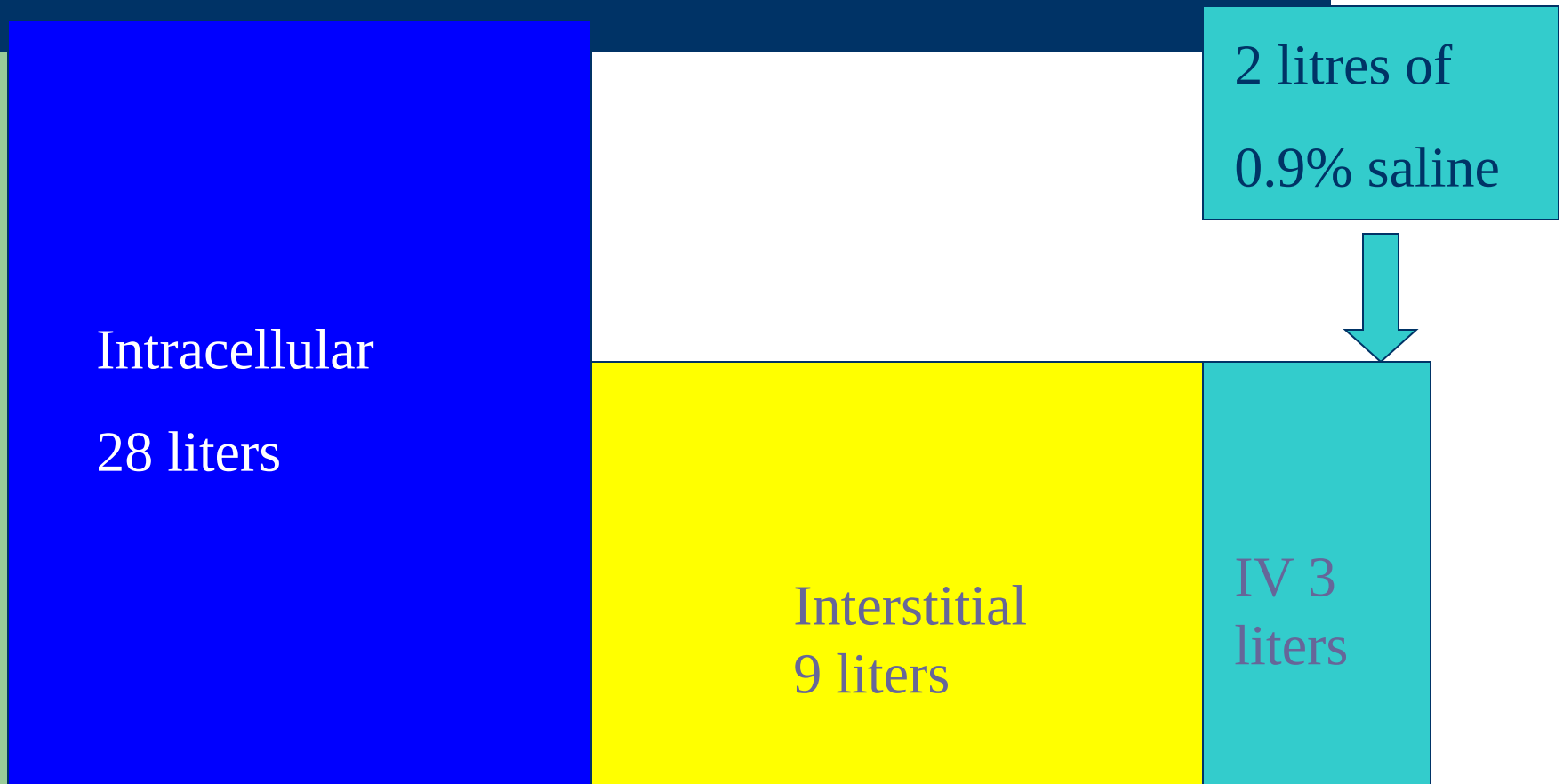
晶体 & 胶体

细胞内液
28 liters

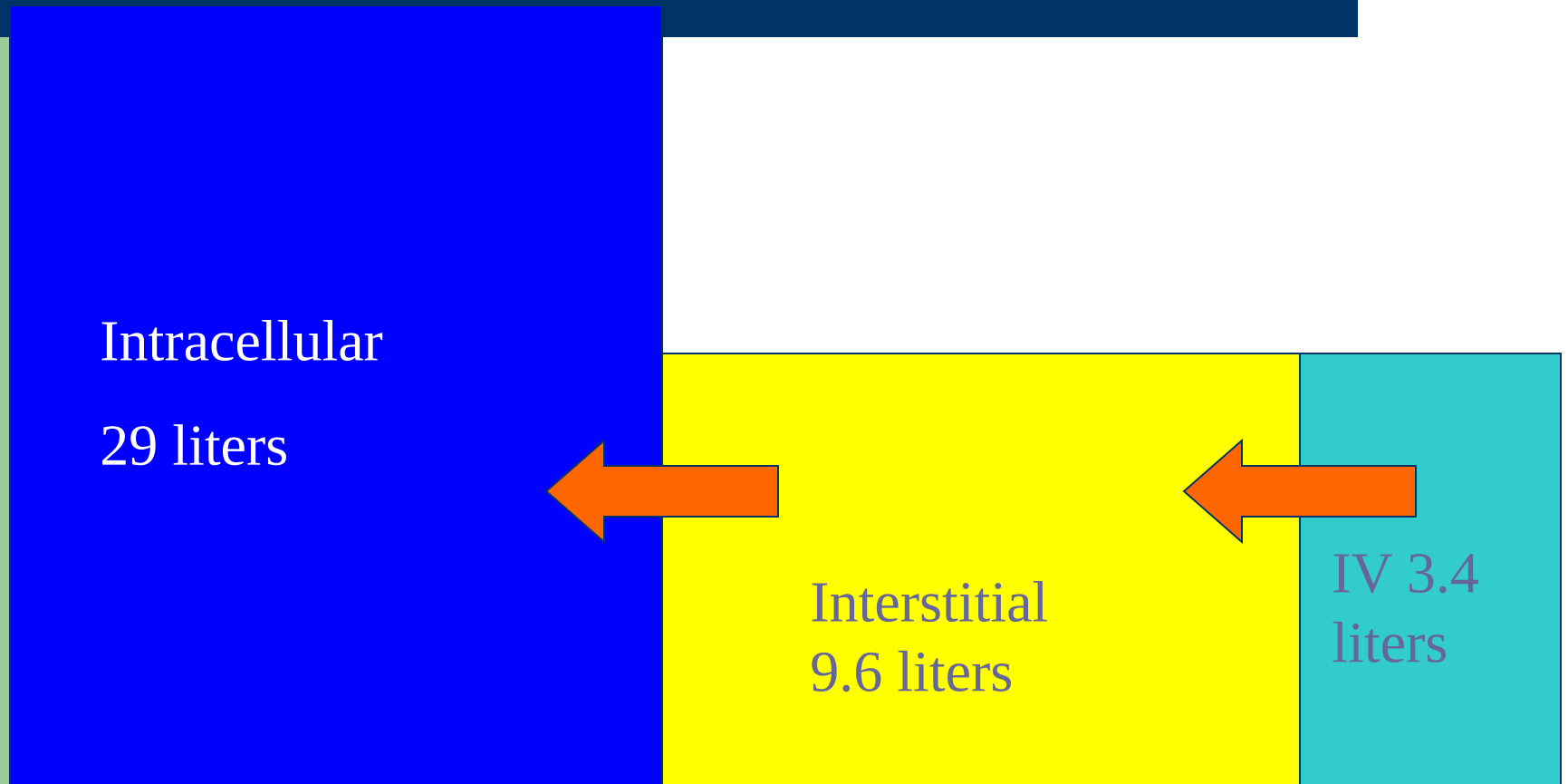
间质液
9 liters

血管内液
5 liters

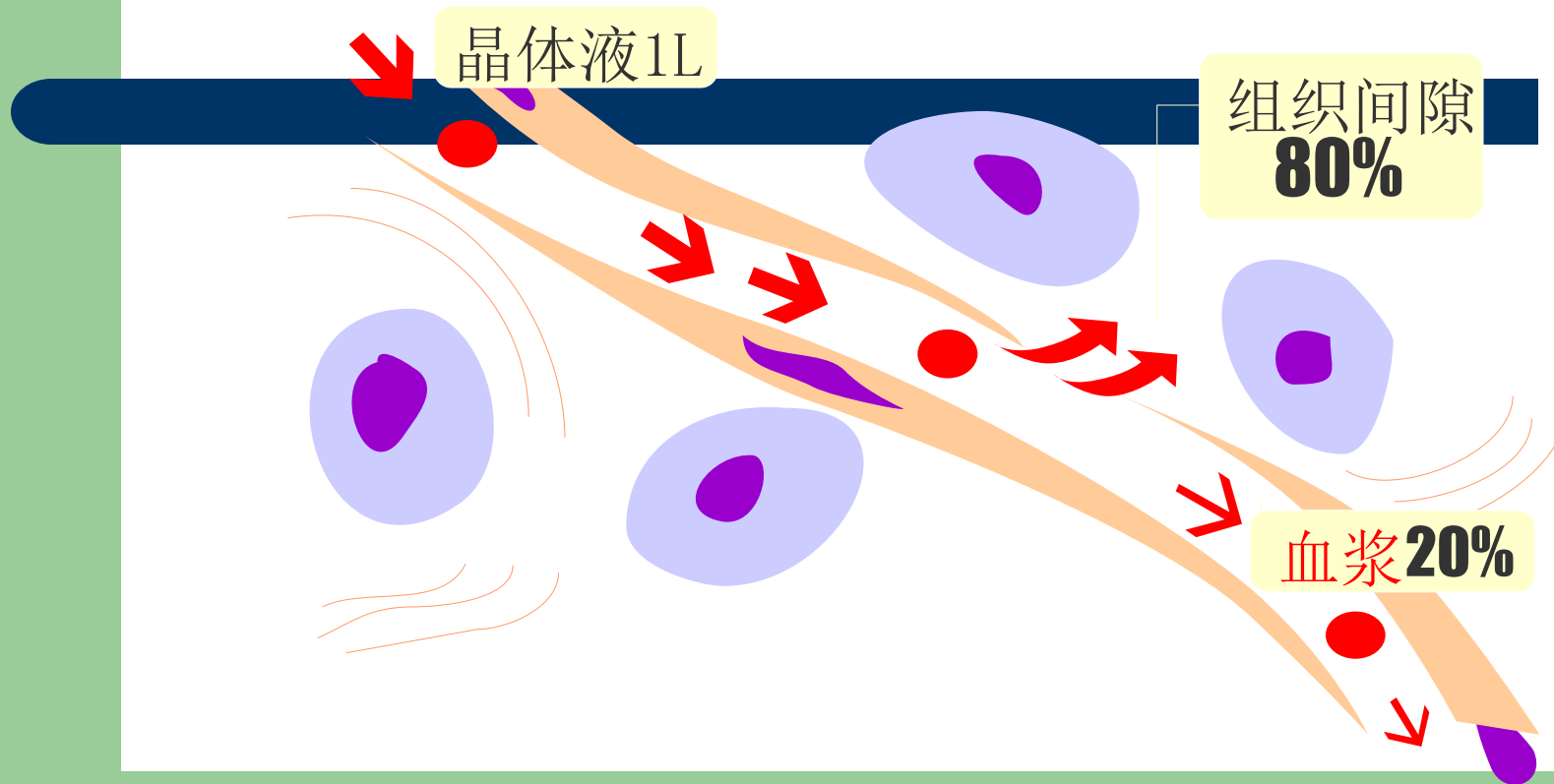
晶体 & 胶体



晶体 & 胶体



输注晶体液后的液体分布



晶体的容量效能有限，为补偿血液丢失维持正常的血容量需要输注的量为失血量的5倍。

大量输注平衡液产生的问题

- 难以维持有效循环血容量
为了达到正常的血容量，需要输注4-5倍晶体
降低血浆胶体渗透压
- 输注的晶体会有75-80%迅速转移到血管外，进入组织间隙。
产生组织和细胞水肿

-
- ```
graph TD; A["难以维持有效循环血容量
为了达到正常的血容量，需要输注4-5倍晶体
降低血浆胶体渗透压
输注的晶体会有75-80%迅速转移到血管外，进入组织间隙。
产生组织和细胞水肿"] --> B["• 仅仅表现为血流动力学改善
• 不能改善DO2/V02"]; A --> C["• 组织水肿
• 肺水增加"]
```
- 仅仅表现为血流动力学改善
  - 不能改善 $DO_2/VO_2$

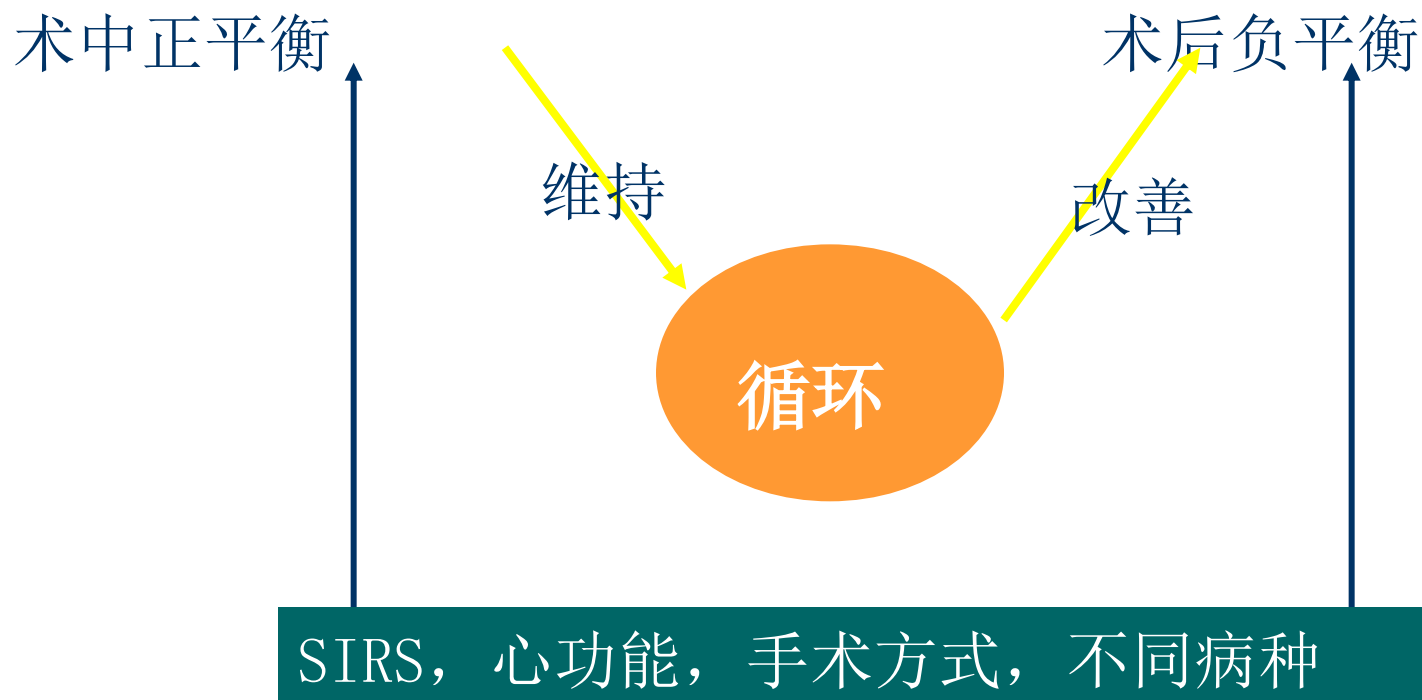
- 组织水肿
- 肺水增加

晶体液不是容量补充的佳选



## (二) 体外循环导致体水增加 (Total body water )

# CPB围术期液体平衡



# 体外循环引发体水增加的严重表现

- ◆ 肺水肿：呼吸功能不全
- ◆ 心肌水肿：心功能低下
- ◆ 腹水：循环难以维持
- ◆ 脑水肿：CNS并发症

# CPB体水增加的原因

- ◆ 体外循环预充不合理
- ◆ 外科手术不满意
- ◆ 静脉插管引流问题
- ◆ 体外循环引起急性肾功能不全
- ◆ 长时间体外循环转流
- ◆ 大量组织破坏产生大量内生水(特别是ECMO时)

# 胡文涛临床记录

| 日期    | 项目   | 负平衡    | WBC/N          | CO <sub>2</sub> P | 游离<br>Hb     | 尿量         | 肌酐<br>Cr | 尿素氮<br>BUN |      |
|-------|------|--------|----------------|-------------------|--------------|------------|----------|------------|------|
| 24/8  | 术前   | +40ml  |                |                   |              |            |          |            |      |
| 25/8  | 术1   | -591ml | 13000<br>71%   | 14                | 0            |            |          |            |      |
| 26/8  | 术2   | -388ml | 12000<br>86%   | 14.7              | 200          |            |          |            |      |
| 27/8  | 术3   | -804ml | 10000<br>90%   | 18.5              | 200          |            |          |            |      |
| 28/8  | 术4   | -275ml | 10000<br>91%   | 27                | 300<br>200   |            |          |            |      |
| 29/8  | 术5   | -40ml  | 14300<br>87%   | 23<br>21          | 500<br>500   |            | 80       | 28.9       |      |
| 2152  | 30/8 | 术6     | -74ml          | 10640<br>88%      | 18           | 400        | 113      | 37.7       |      |
| 2387  | 31/8 | 术7     | -235           | 10190<br>86.6%    | 21<br>16.2   | 400<br>500 | 439      | 44.3       |      |
|       | 1/9  | 术8     | -248           |                   | 20.1         | 400        | 151.1    | 49.8       |      |
|       | 2/9  | 术9     | -62.6          |                   | 24.3<br>21.9 | 600<br>500 | 145      | 187.8      | 51.3 |
|       | 3/9  | 术10    | -55.7          | 19590<br>91.2%    | 21           | 400        | 313      |            |      |
|       | 4/9  | +100   | 28730<br>89.7% | 21.3              | 500          | 400        | 209.8    | 50.3       |      |
|       | 5/9  | -23    | 25880<br>86%   | 20.1              | 600          | 683        | 187      | 46.3       |      |
| 25000 | 6/9  | +26    | 25990<br>87.7% | 20.1              | 1200<br>1000 | 372        | 161.76   | 41.6       |      |
|       | 7/9  | -166.1 | 28240<br>88.2% | 20                | 400          | 60         | 173.6    | 36.8       |      |
|       | 8/9  | 术15    | -231           | 24860<br>84.9%    | 20.2         | 700        | 382      | 233.1      | 39.9 |
|       |      |        |                |                   |              |            | 163.3    | 28.1 ← 尿量  |      |

# 体外循环中体液增加的机制

- ◆ 毛细血管静水压力过高
- ◆ 毛细血管通透性增高
- ◆ 肾脏排尿减少
- ◆ 血浆胶体渗透压降低
- ◆ 缺氧、低钠血症

# 血浆胶体渗透压降低

- ◆ 预充不当、血液稀释
- ◆ 机械性破坏、异物、低温引起蛋白变性
- ◆ 血管通透性增加，蛋白重分布

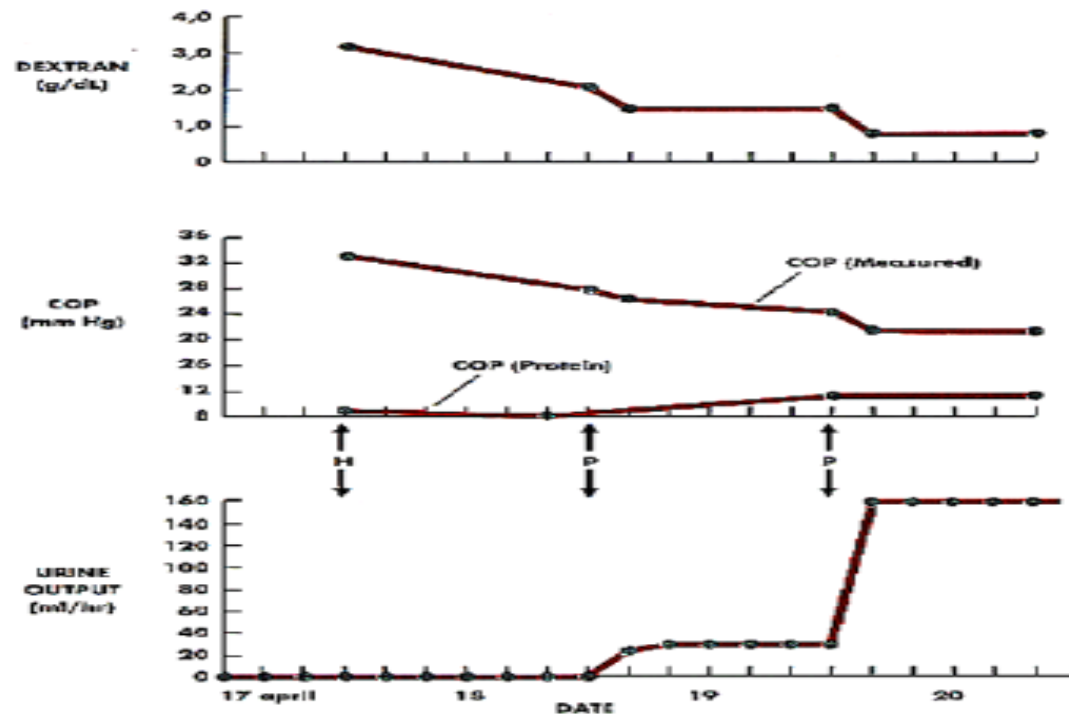
# 何为最佳血浆胶体渗透压？

- ◆ 理论值18-22mmHg,
- ◆ 成年患者：关注较少
- ◆ 低蛋白血症、小体重患儿
  - ◆ 无库血预充
  - ◆ 等量胶体预充
  - ◆ 超胶体预充

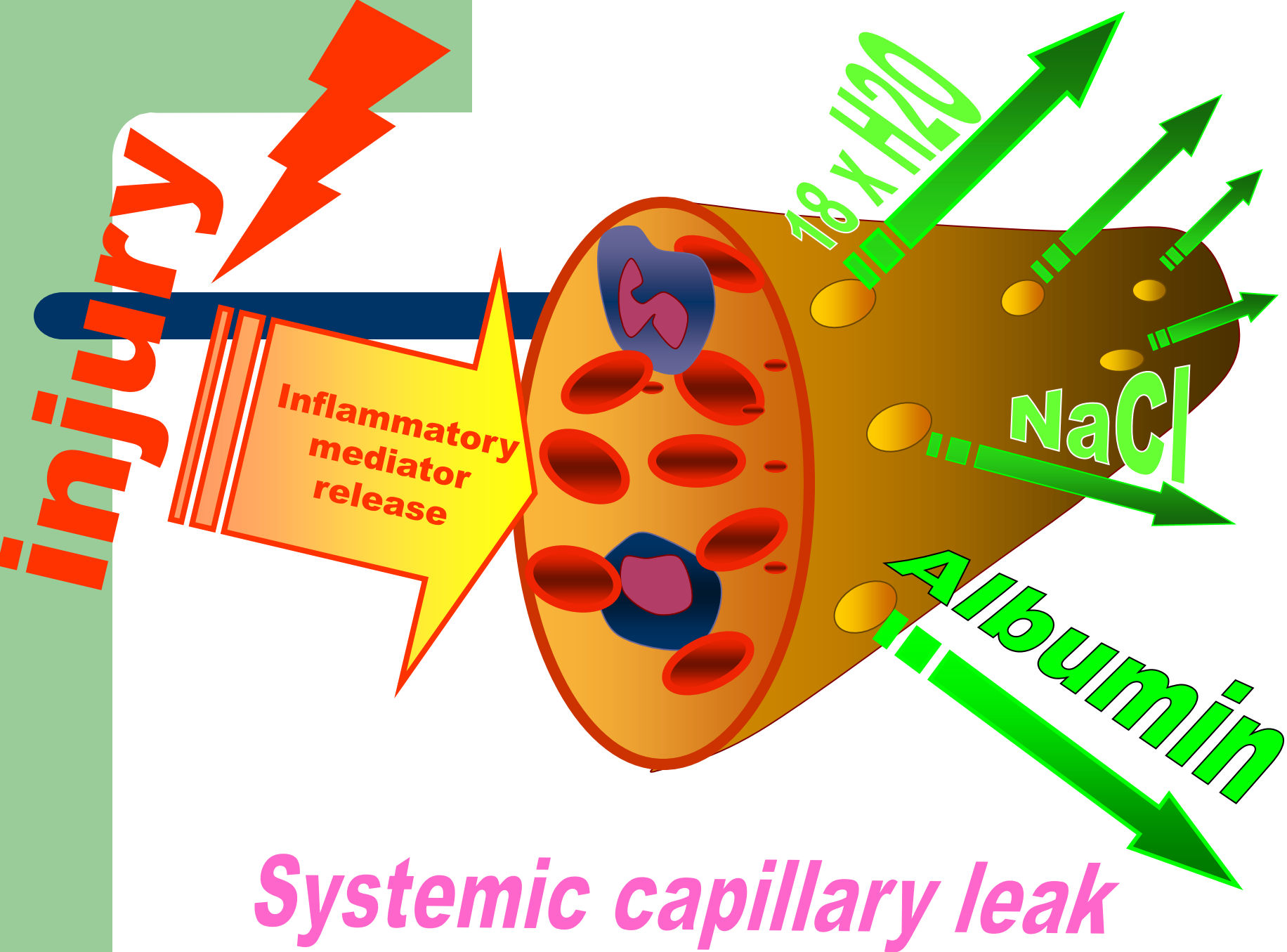
争议！



# 矫枉过正--高渗性肾衰



**Figure 1.** Changes in dextran concentration, colloid osmotic pressure, (COP), and urine output associated with plasmapheresis.



# 毛细血管通透性增高

- ◆ FDP
- ◆ 补体
- ◆ PGE
- ◆ 组织胺、激肽
- ◆ 中性粒细胞弹性蛋白酶

SIRS 与CLS

# CLS危险因素

- 低龄、低体重
- 紫绀
- 长时间体外循环
- 深低温CPB

# 体外循环水代谢的管理

- ◆ 胶体预充
- ◆ 肾脏排水利尿
- ◆ 减轻炎症反应
- ◆ 组织有效灌注
- ◆ 维持酸碱平衡的稳定
- ◆ 滤水

# 预 充

- 血红蛋白浓度、胶体渗透压是关键
- 危重人群：老年患者（65岁以上）、低蛋白血症、婴幼儿
- 小患儿：库血+白蛋白（或FFP）或人工胶体

# 胶体预充

常用的胶体种类：

- ◆ 血浆：紫绀、凝血机制差
- ◆ 白蛋白：20%Alb10g = 200ml 血浆
- ◆ 血定安
- ◆ 万汶

# 预充液的“勾兑”

- 1、携氧的影响—血红蛋白
- 3、液体平衡---胶体渗透压

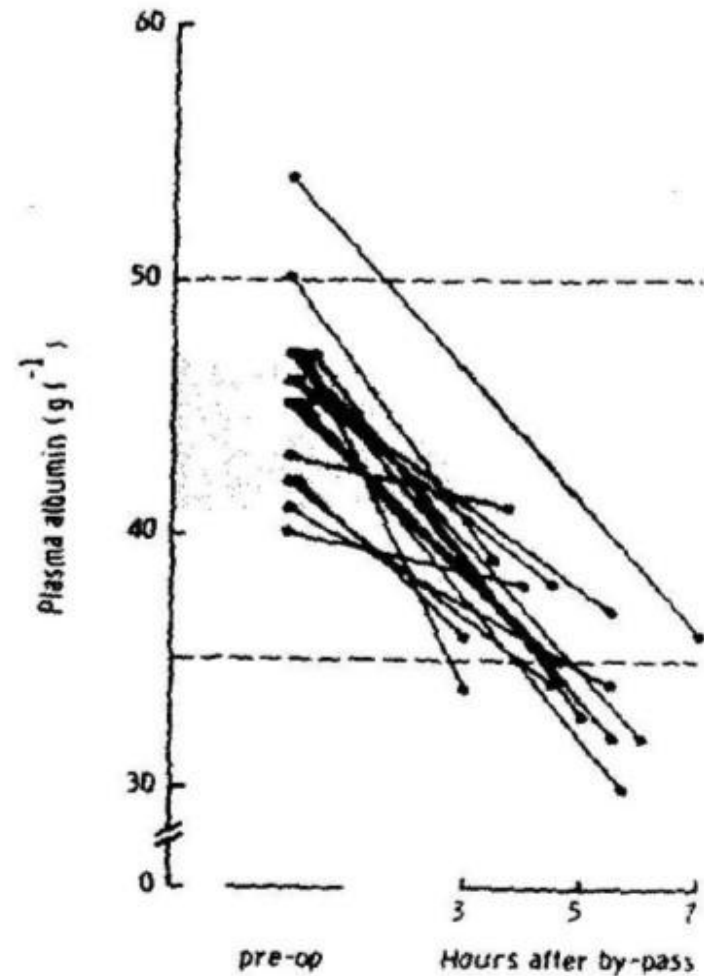
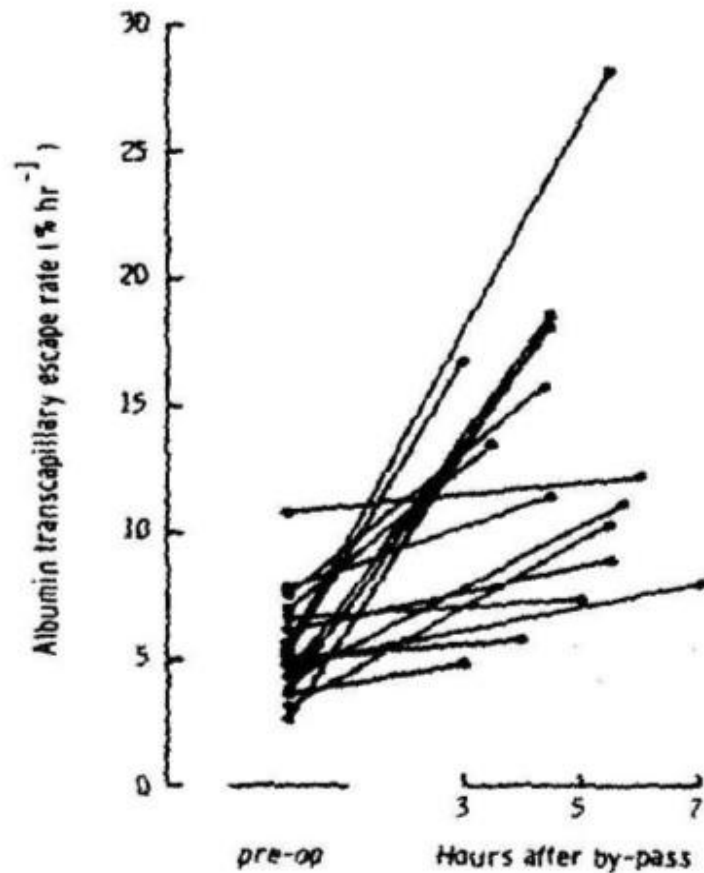
- 2、电解质
- 4、缓冲能力

|           | 分子量<br>(Da) | 扩溶半衰期<br>(小时) | 胶体渗透压<br>( mmHg) |
|-----------|-------------|---------------|------------------|
| 5%白蛋白     | 65,000      | 2-4           | 17               |
| 琥珀酰明胶     | 30,000      | 1-2           | 31.6             |
| 万汶130/0.4 | 130,000     | 6             | 32               |



# Transcapillary escape rate of radiolabelled albumin and serum albumin before and after cardiac bypass surgery

Fleck A et al Lancet 1985;I:781-784



# Hes 130 /0.4 对肾功能影响

1. N Engl J Med. 2012 Nov 15;367(20):1901-11. doi: 10.1056/NEJMoA1209759. Epub 2012 Oct 17.

**Hydroxyethyl starch or saline for fluid resuscitation in intensive care.**

2. N Engl J Med. 2012 Jul 12;367(2):124-34. doi: 10.1056/NEJMoA1204242. Epub 2012 Jun 27.

**Hydroxyethyl starch 130/0.42 versus Ringer's acetate in severe sepsis**

# 保证组织有效灌注

- ◆ 足够灌注流量
- ◆ 积极补充液体—过敏、出血等
- ◆ 改善心功能： CVP， LAP
- ◆ 及时调整插管或消除管道阻塞
- ◆ 正确判断前、后负荷，心功能对血压影响

# 加强排水利尿

- ◆ 提高“有效”灌注压
- ◆ 速尿
- ◆ 甘露醇
- ◆ 腹透
- ◆ CRT

# 减少炎症反应

- ◆ 良好的体外循环耗材
- ◆ ZBUF
- ◆ 避免术中过度血液吸引
- ◆ 皮质激素

# 维持酸碱平衡的稳定

- ◆ 监测血气，及时纠酸
- ◆ 慎用葡萄糖液：血糖利用障碍；低钠、低氯血症
- ◆ 合理选用晶体液：缓冲作用；电解质成分和血浆形似

生理盐水、林格氏液、复方氯化钠、勃脉力

# 滤水器的应用

- ◆ 常规超滤
- ◆ 零平衡超滤
- ◆ 改良超滤

# MUF的优点

- ◆ 体外循环后有效滤除体内水分，10-15分钟。
- ◆ 此装置在术中及术后均可使用。
- ◆ 可有效改善体外循环后血流动力学。
- ◆ 避免因小体重患儿术中液面难维持而无法进行常规超滤。
- ◆ 节约库血预充。



# ZBUF降低炎性介质

- 大多数炎性介质的分子量是6,800 to 35,000 daltons.
- 目前市场上进口血液滤过器的通透膜孔径是55,000 – 65,000 daltons.
- ZBUF+MUF联合应用效果好。

### (三) 液体平衡与循环

## 体循环及肺循环阻力、容量分布

|        | 动脉系统       | 静脉系统 | 毛细血管系统 |
|--------|------------|------|--------|
| 体循环系阻力 | <u>70%</u> | 10%  | 20%    |
| 肺循环系阻力 | 40%        | 40%  | 20%    |
| 体循环系容量 | <u>20%</u> | 60%  | 20%    |
| 肺循环系容量 | 40%        | 40%  | 20%    |

动力性肺高压与梗阻性肺高压

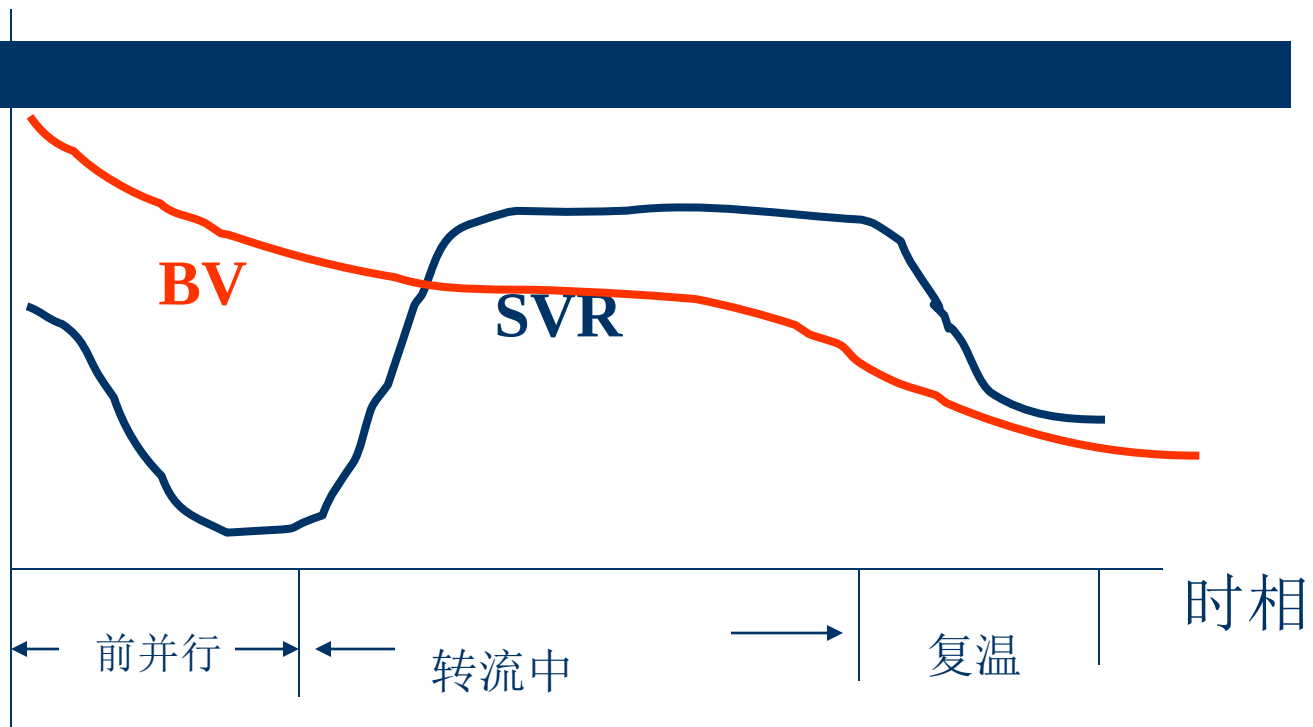
## 维持循环的基本要素

$$BP \rightarrow SVR \times CO$$

$$CO = HR \times SV$$

$$SV = \text{前负荷} + \text{心肌收缩力} + \text{后负荷}$$

体液平衡管理的要素包括：容量负荷,SVR+血管活性药



# SVR对容量需求的效应

SVR降低BP难以维持，导致短时间大量容量需求，加重心肺负担，增加渗漏危险

适当维持血管张力的合理性

## 容量的要求（停机后）

- 较高容量：Fontan, Gleen, MI, AI, F4
- 适当容量：一般先心病（ASD, VSD）,  $EF > 40\%$  CABG
- 注意容量：成人ASD, MS, AS, 小体重患儿,  $EF < 30\%$  CABG, 室壁瘤切除
- 异常的容量：排除过敏, 活动出血丢失, 胃肠出血, 流出道梗阻解除不足。

# 影响容量药物

- 静脉扩张药--降低循环血量，静脉储血量增加，心脏前负荷减少：硝普钠、硝酸甘油、安定。
- 利尿剂--减少全血容量，改变血液组份浓度。
- 钙通道类：降低后负荷，对容量影响不明显。
- 多巴胺、付肾：静脉收缩，增加循环血量。
- 白蛋白—容量扩张剂（expender）：增加全血容量



# 体外循环中电解质代谢紊乱与纠正



表 16—2 各种体液中电解质的含量

| 电 解 质                          | 血 浆      |         | 细胞间液    | 细胞内液    |
|--------------------------------|----------|---------|---------|---------|
|                                | mEq/L 血浆 | mEq/L 水 | mEq/L 水 | mEq/L 水 |
| 阳离子                            |          |         |         |         |
| Na <sup>+</sup>                | 142      | 154     | 147     | 15      |
| K <sup>+</sup>                 | 5        | 5.4     | 4       | 150     |
| Ca <sup>2+</sup>               | 5        | 5.4     | 2.5     | 2       |
| Mg <sup>2+</sup>               | 2        | 2.2     | 2.0     | 27      |
| 阳离子总量                          | 154      | 167     | 155.5   | 194     |
| 阴离子                            |          |         |         |         |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 27       | 29.3    | 30.0    | 10      |
| Cl <sup>-</sup>                | 103      | 111.8   | 114.0   | 1       |
| HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 2        | 2.2     | 2.0     | 100     |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  | 1        | 1.0     | 1.0     | 20      |
| 有机酸                            | 5        | 5.4     | 7.7     | —       |
| 蛋白质                            | 16       | 17.3    | 1.0     | 63      |

## 各种平衡液与血浆/组织液/细胞内液成分对比

|      | Na+ | K+      | Cl-     | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 醋酸盐 | 乳酸盐   | 葡萄糖     | 渗透压 (mOsm/L) |
|------|-----|---------|---------|------------------|------------------|-------------------------------|-----|-------|---------|--------------|
| 血浆   | 140 | 3.8-5.0 | 100-106 | 1.0-1.2          | 1.3-2.1          | 23-27                         |     | 0.1-2 | 3.9-6.0 | 280-310      |
| 组织液  | 142 | 5       | 110     | 3                | 1                | 23-27                         |     |       |         | 310          |
| 细胞内液 | 15  | 150     | 3       | 2                | 27               | 23-27                         |     |       |         | 310          |
| RS   | 145 | 4       | 150     | 4.5              | —                | —                             | —   | —     | —       | 310          |
| LRS  | 130 | 4       | 109     | 2.0              | —                | —                             | —   | 28    | —       | 274          |
| ARS  | 140 | 5       | 98      | —                | 2                | —                             | 27  | —     | —       | 308          |

# 体外循环中钾异常



# 正常钾代谢

- ◆ 分布：98%在细胞内；2%在细胞外
- ◆ 含量：正常血浆  $<3.5\text{mmol/L}$  为低钾血症，  
 $>5.5\text{mmol/L}$  为高钾血症.
- ◆ 代谢：从消化道吸收，从汗、尿、粪排泄

# CPB中低钾的原因

- ◆ 血液稀释
- ◆ 术前低血钾
- ◆ 尿失去过多：长期心衰；术中应用利尿剂；血糖
- ◆ 异常转移：BE↑；低温



# CPB中低钾的不利影响

- ◆ 复苏困难，心律失常
  - ◆ 兴奋性增高
  - ◆ 自律性增强
  - ◆ 传导性减慢
- ◆ 抑制糖原、蛋白质的合成

# 诊断标准

- ◆ 血气：成人 $<3.5\text{mmol/L}$ ； 婴幼儿 $<3.0\text{mmol/L}$
- ◆ 心电图：仅作为参考标准。T波低平，出现明显的U波，以及S-T段压低为低钾的特征性表现。



# 低血钾的预防和纠正

- ◆ 分析原因，参考转流前水平
- ◆ 术中重复监测后考虑补钾
- ◆ 尽量不在预充液中加入钾（尤其是婴幼儿）
- ◆ 纠正高血糖

# 补钾方法

- ◆ 补钾时机
- ◆ 补K<sup>+</sup>量=0.3×患者体重(kg)×(预纠正钾浓度-实际的钾浓度)
- ◆ CPB中补钾速度与临床补钾不同
- ◆ 补钾效果不明显应考虑缺镁
- ◆ 考虑不同患者

# 高钾血症的原因

- ◆ 假性高钾：标本；时机
- ◆ 肾排钾减少：原发或继发肾功能不全
- ◆ 酸中毒：钾转移
- ◆ 血液破坏：长时间CPB；过度血液吸引
- ◆ 摄入过多：心肌停跳液；库血

# 高钾血症的不利影响

- ◆ 轻度高钾可增加心肌兴奋性，利于复苏
- ◆ 复苏困难，严重高钾可引起心室纤颤和心搏骤停

# 高钾血症的预防

- ◆ 婴幼儿如需库血预充，cellsaver处理
- ◆ 减轻血液破坏
- ◆ 保持酸碱平衡的稳定
- ◆ 心肌保护液灌注过多，应及时监测血钾



# 高钾血症的纠正

- ◆ 不能终止体外循环
- ◆ 葡萄糖-胰岛素疗法（5%的葡萄糖100ml加4-6单位的胰岛素）
- ◆ 人工肾滤水
- ◆ 葡萄糖酸钙
- ◆ 5%碳酸氢钠

# CPB中低血钙及处理

## 一、正常钙代谢

- 1 分布和含量：99%以磷酸盐形式沉积于骨骼中，其它存在于液体中，正常血液浓度 $2.25-2.55\text{mmol/l}$
- 2 存在形式：蛋白结合钙、离子钙 $1.02-1.26\text{mmol/l}$ （具有生理效应）

# 正常钙生理作用

生理作用：

- a. 成骨
- b. 调节细胞功能的信使（骨骼肌兴奋-收缩偶联；代谢；分泌；神经元兴奋性）
- c. 酶活性调节
- d. 凝血过程
- e. 心肌收缩，血管张力



# CPB中低血钙的原因

- ◆ 血液稀释
- ◆ 碱中毒:蛋白结合钙的比例增多
- ◆ 枸橼酸过多:输入（库血、血浆）过多,或降解减慢,导致其与钙结合增多
- ◆ 零平衡超滤
- ◆ 高血糖

# 低钙血症的影响

- 心血管系统的抑制：  
表现为：钙离子小于 $0.66\text{mmol/l}$ ，体外循环阻力下降，心肌收缩减弱，进而出现低血压。
- 影响凝血。

# 体外循环中补钙特点

- ◆ 诊断标准： $<1.15-1.25\text{mmol/l}$
- ◆ 积极补钙：库血、血浆预充时，因枸橼酸和钙离子结合，血钙降低。每200ml库血补钙0.5g
- ◆ 心脏复跳后5-10分钟，常规补钙，增加血管张力和心肌收缩力
- ◆ 钙超载—延迟补钙

# CPB中血镁的变化

- 血镁正常含量0.75-0.9mmol/l
- 生理作用：镁是数百种酶系统的辅因子。
- 常规预充：0.6ml/kg或0.5mEq/L（10%硫酸镁）
- 注意给药时机（镁可使小动脉、微动脉扩张，外周阻力降低和动脉血压下降）

# 高钠血症

- 表现：  
血清钠浓度 $>150\text{mmol/L}$   
高渗性昏迷：过度的钠负荷较易引起脑细胞脱水、脑损伤和死亡。
- 发生原因：“医源性”补 $\text{NaHCO}_3$ ，利尿

# 高钠血症

- 处理：
  - 尽量避免
  - 5%葡萄糖
  - 置换液（阜外ICU配方）：

2250ml平衡液  
注射用水500ml  
5%GNS250ml  
5%NaHCO<sub>3</sub>180ml

# 低钠血症

原因：

- 长期营养不良
- HTK液

不利反应：

- 细胞水肿
- 影响心脏传导

补充：

10%NaCl, 高渗盐水

合并酸中毒用5%NaHCO<sub>3</sub>

A green decorative shape in the top-left corner, consisting of a square and a rounded rectangle.

***THANKS***

E-mail: [fzhengyi2001@163.com](mailto:fzhengyi2001@163.com)