

The background features a dark blue gradient with a faint, glowing illustration of a human heart and various blood cells, including red blood cells and white blood cells, scattered throughout. The overall aesthetic is medical and scientific.

体外循环中的血气监测和管理

阜外医院体外循环科

吉冰洋

dr.ji.cpb@gmail.com

13801251767

吉冰洋简介（副主任医师，硕士研究生导师，在读博士）

- 姓名：吉冰洋 民族：满 1972年10月生于辽宁。

学历和工作经历：

- 1991, 09 — 1996, 07 中国医科大学临床医学 学士。
- 2001, 09 — 2004, 07 中国协和医科大学麻醉学 (体外循环) 硕士。
- 1996, 09 — 2001, 11 住院医师 阜外医院体外循环科。
- 2001, 12 — 2005, 04 主治医师 阜外医院体外循环科。
- 2005, 04 — 2007, 10 访问学者 小儿心外科和人造器官研究室
美国宾州大学Hershey医学中心。
- 2007, 10 — 2008, 11 主治医师 安贞医院体外循环科。
- 2008, 11 — 2010, 3 副主任医师 安贞医院体外循环科。
- 2010, 3 — 现今 副主任医师 阜外医院体外循环科。

杂志编委和兼职审稿人：

迄今为止发表近80篇文章，其中SCI索引为35篇，2009年成为中国体外循环杂志编委，2010年成为印度体外循环杂志编委和审稿人（Indian Journal of Extracorporeal Technology），2006年成为中华医学杂志CMJ（英文版）和ASAIO杂志（北美人造器官杂志）Artificial Organs杂志（国际人造器官杂志）以及2008年Journal of Chinese Clinical Medicine 中华临床医学杂志（英文版）的审稿人（Reviewer）。目前已经参与SCI英文审稿共27篇。

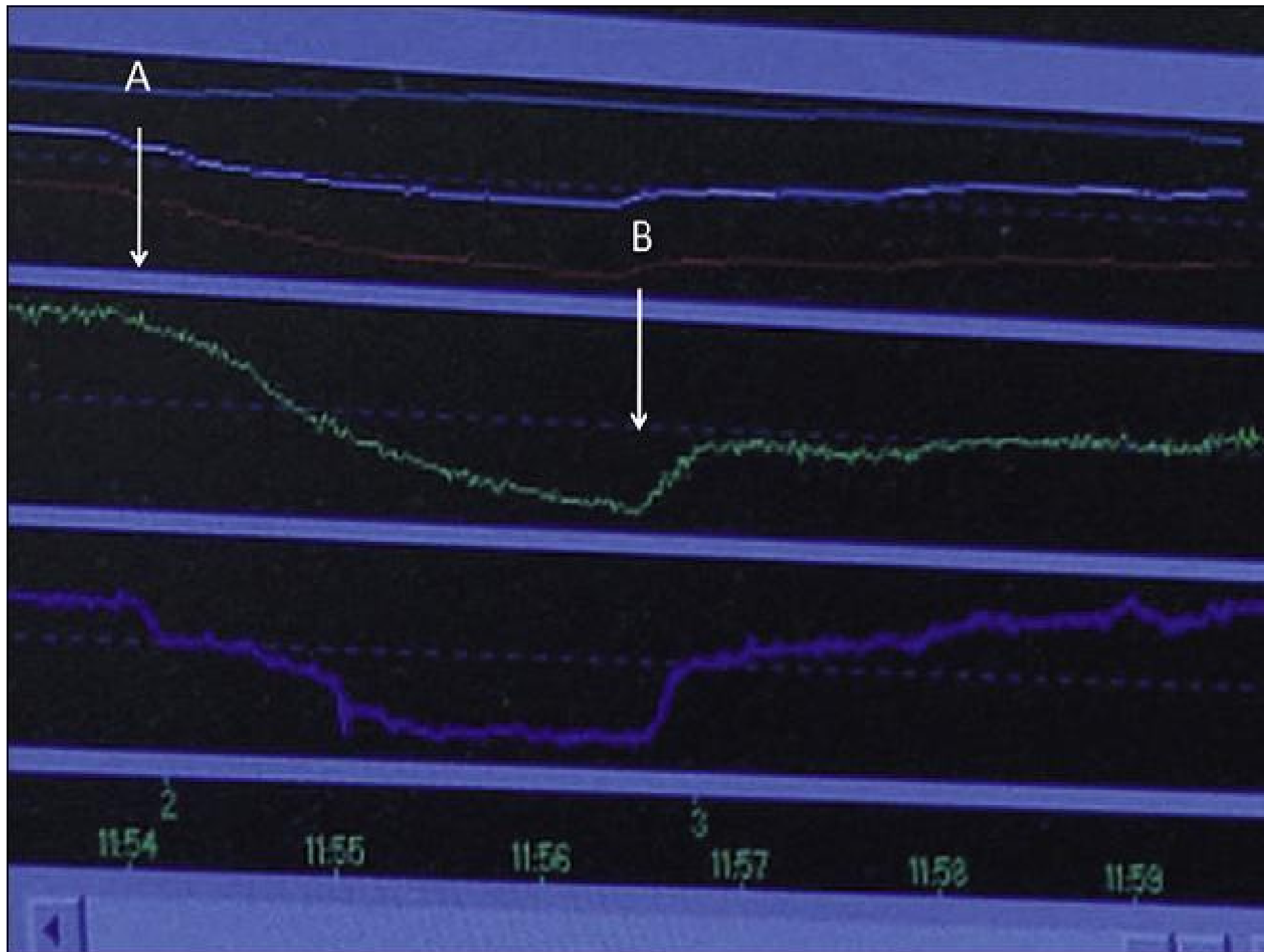
CPB中的监测

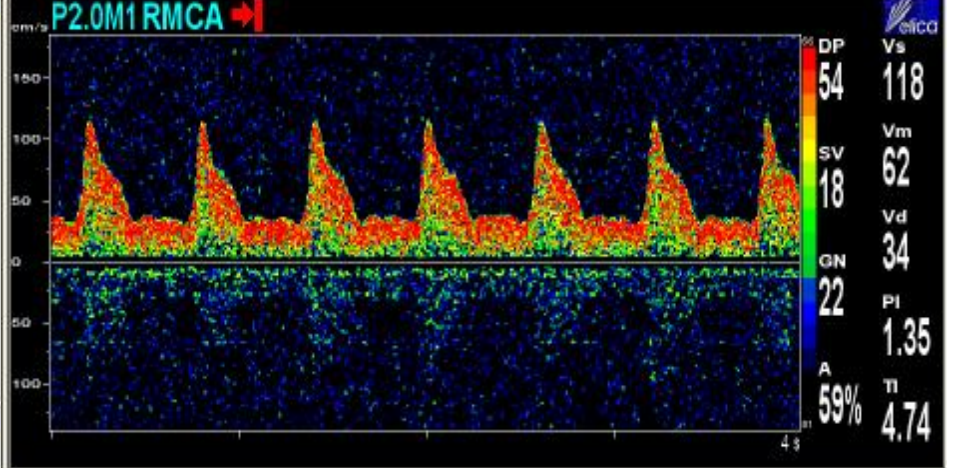
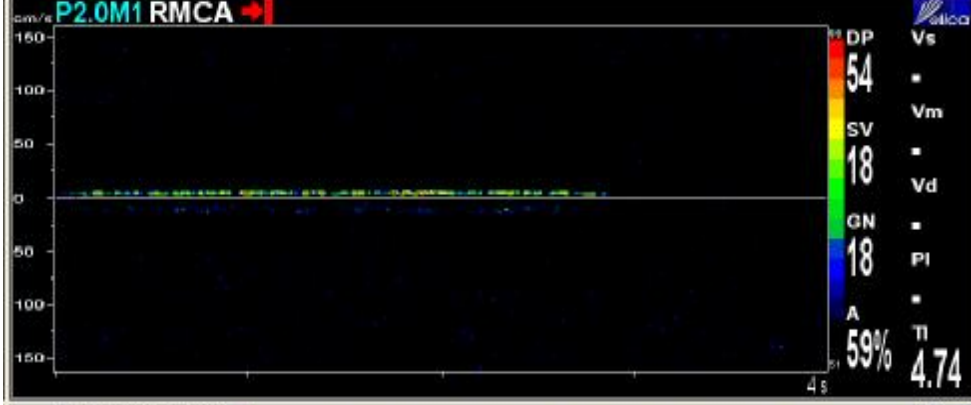
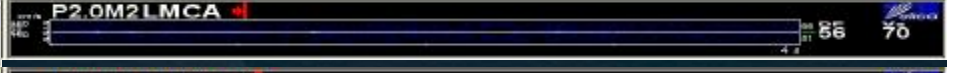
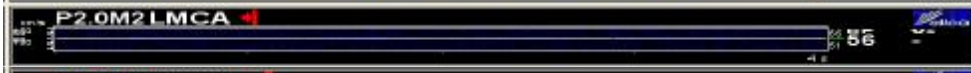
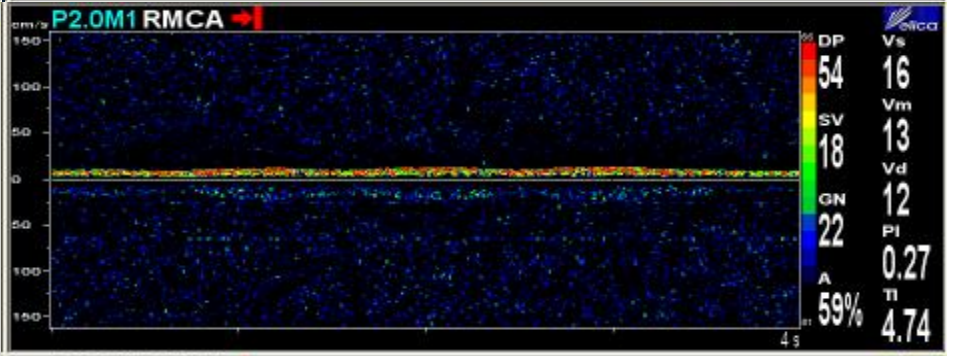
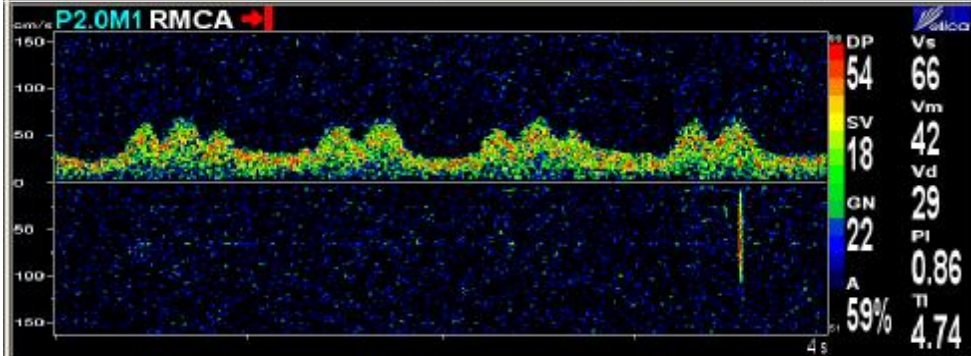
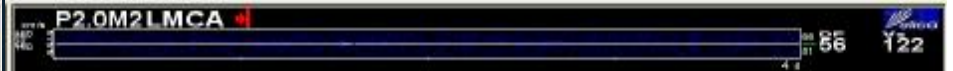
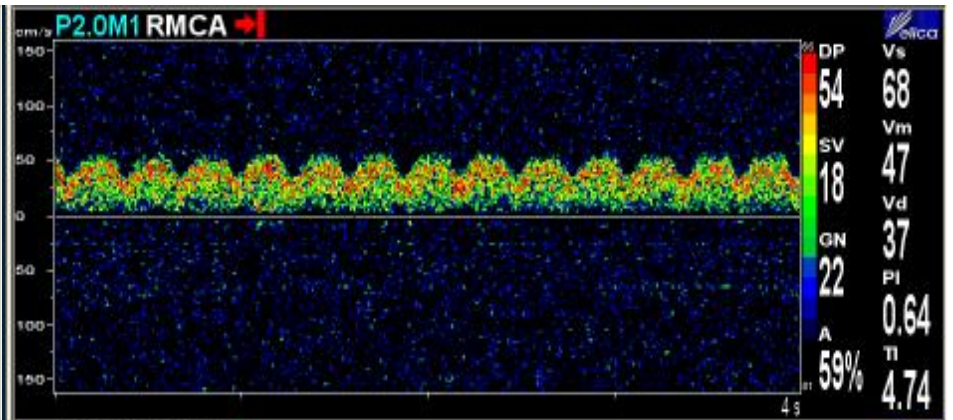
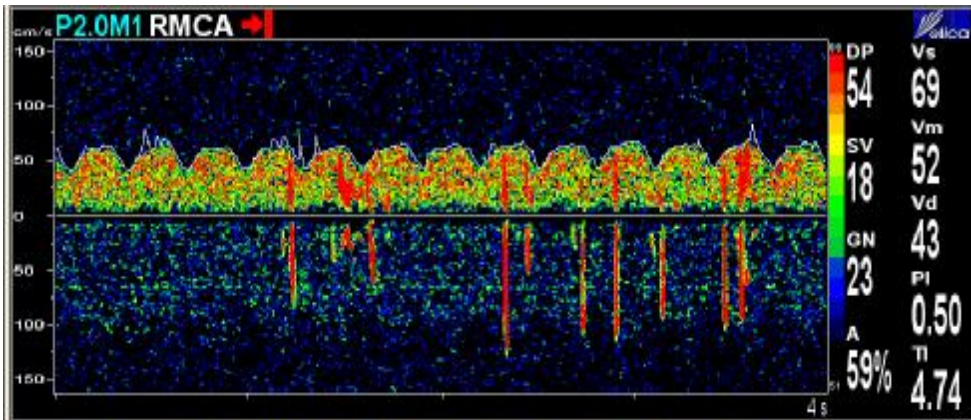
- 血液动力学
- 血气
- 灌注流量
- 温度
- 安全监测（泵压、气泡、液面报警）
- 尿量

传统的体外循环监测

非传统意义的监测

- **NIRS** 近红外光谱脑氧饱和度仪（无创）。
- **TCD**脑血流多普勒（无创）。
- **CDI500**持续动脉血气监测。
- **EDAC**持续动脉管路的微气栓监测。
- 动脉端超声波流量计。





Stop

Continue

Recording

Patient ID 4 lpm cont 40

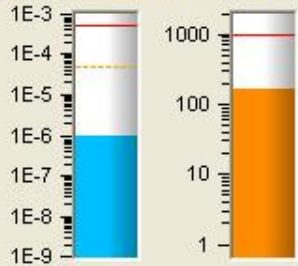
Speed 0.1 2

File Position in minutes 0:00 0:50 1:40 2:30 3:23

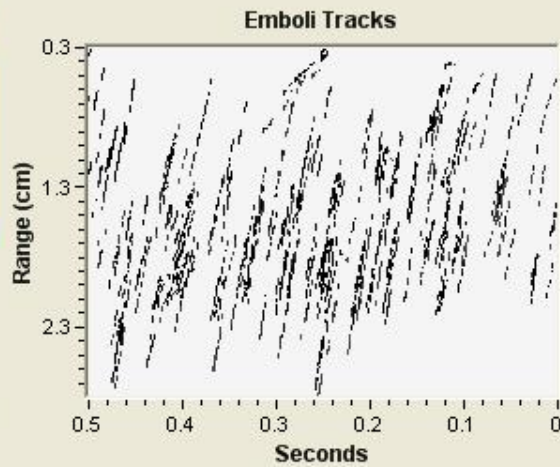


Summary Channel 1 Channel 2 Channel 3 Measurement Configuration

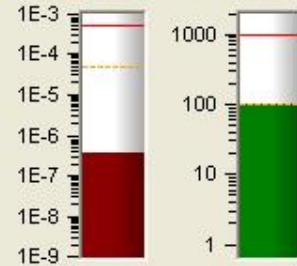
Channel 1 - EDAC Channel



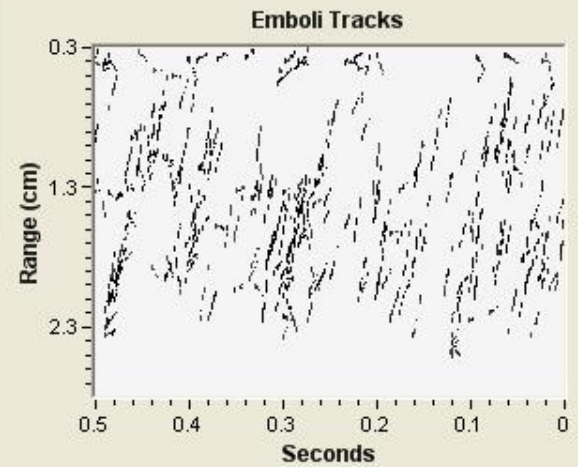
cc / Sec.	Emboli / Sec.
7E-7	92.9
Average	
cc	Emboli
7E-5	8267
Total	



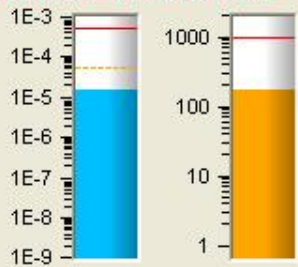
Channel 3 - EDAC Channel



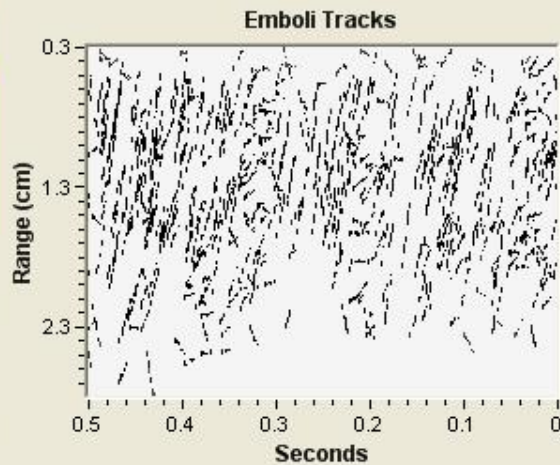
cc / Sec.	Emboli / Sec.
2E+5	74.5
Average	
cc	Emboli
2E+7	6631
Total	



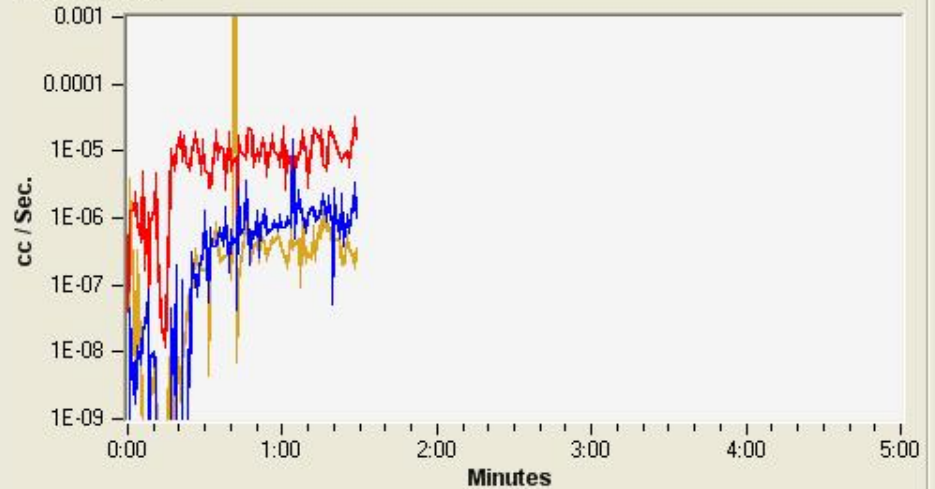
Channel 2 - EDAC Channel



cc / Sec.	Emboli / Sec.
9E-6	148.4
Average	
cc	Emboli
8E-4	13213
Total	

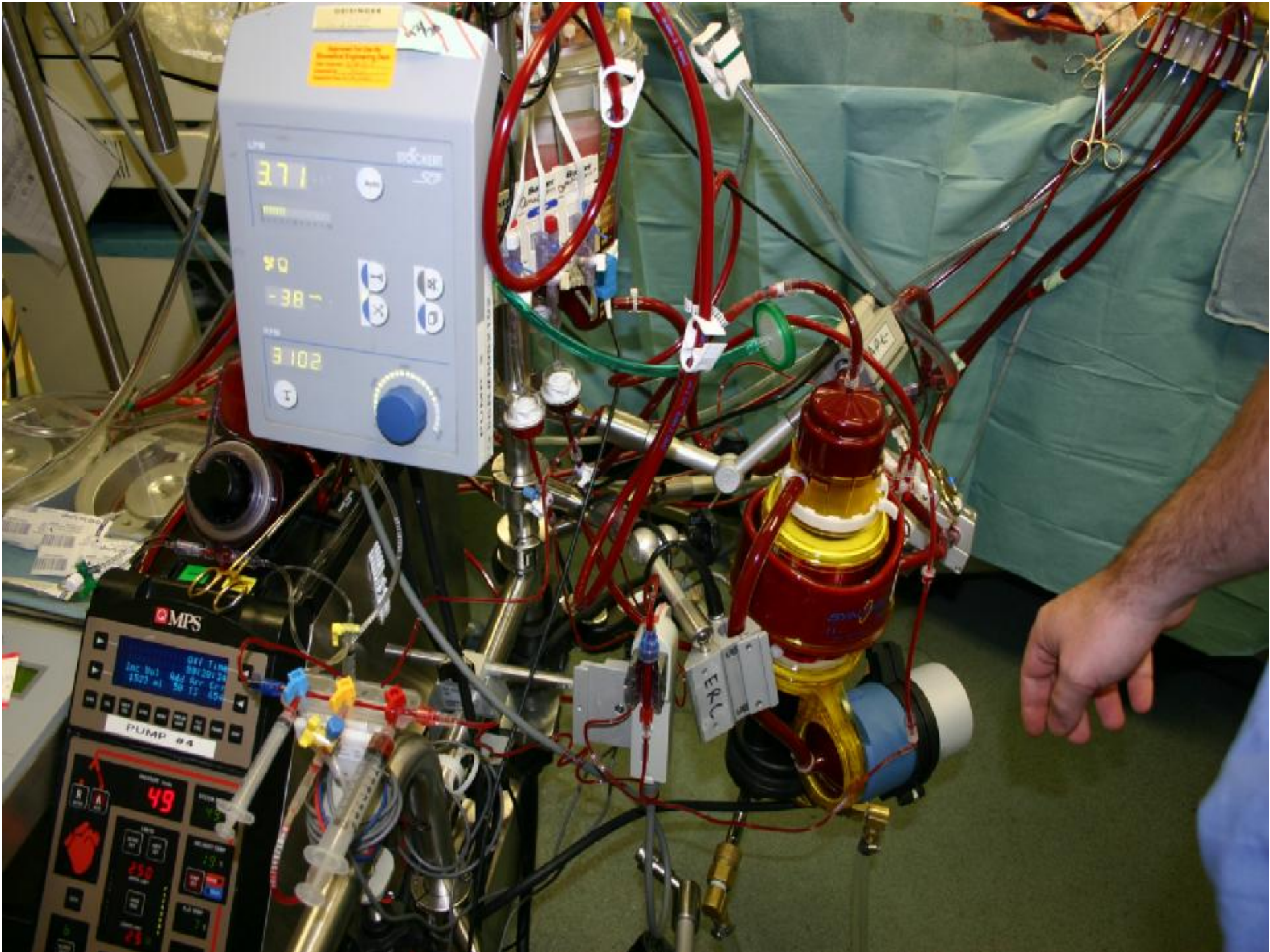


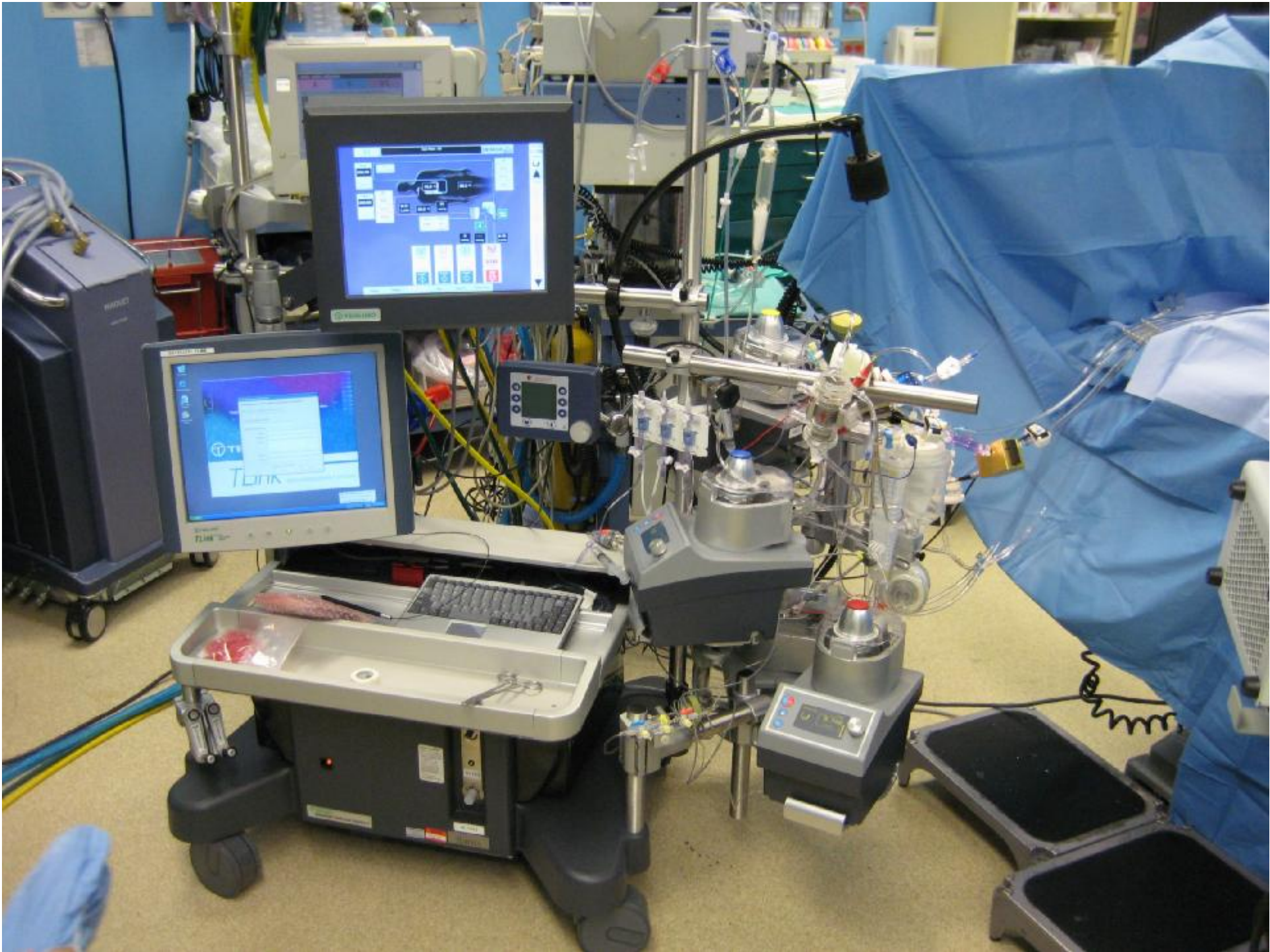
Volume History

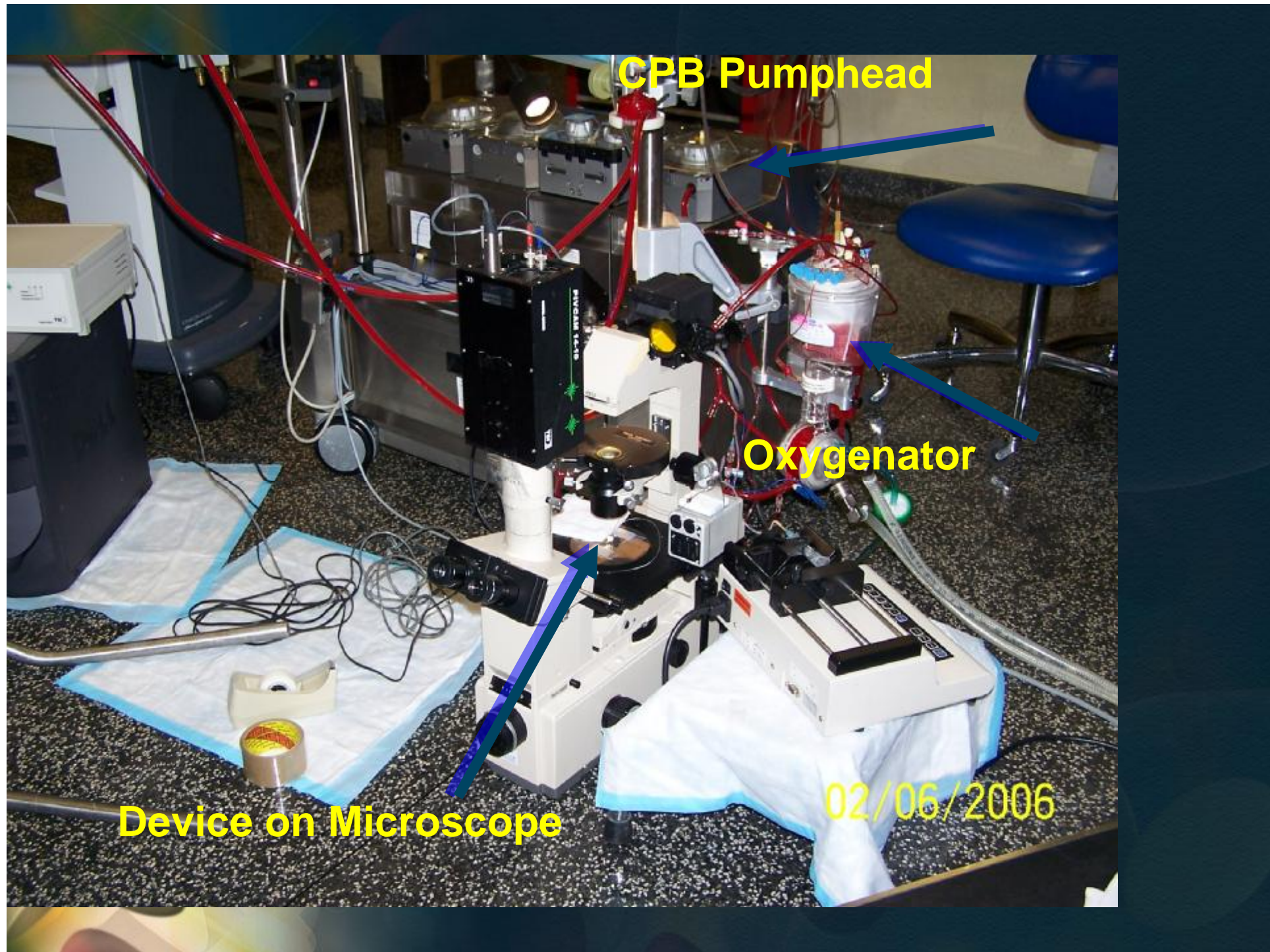


00:01:29 No data logging. Replaying from 'C:\Luna Innovations\Records\Rec_4 lpm cont 40_06-11-30_08-51-59.r1'

No errors.





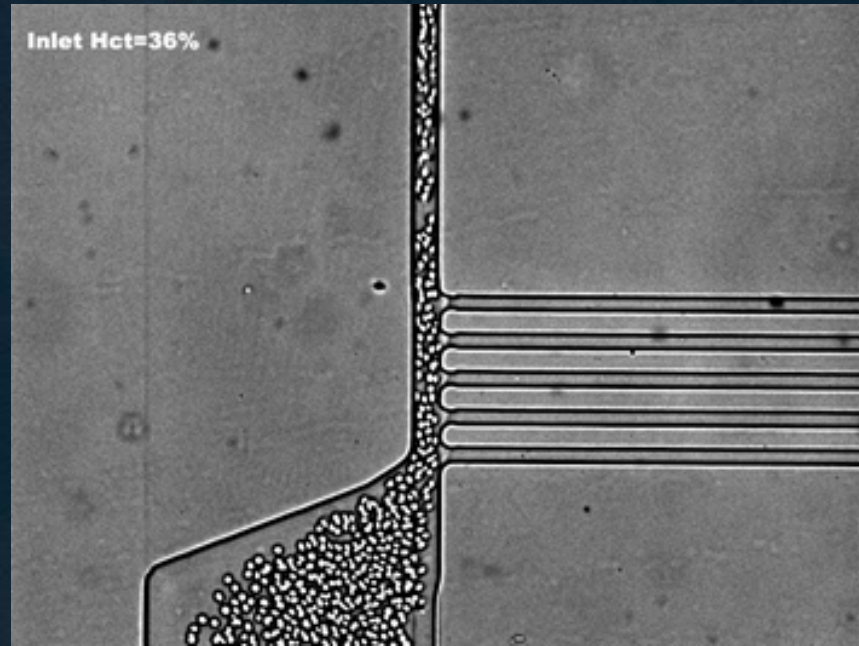
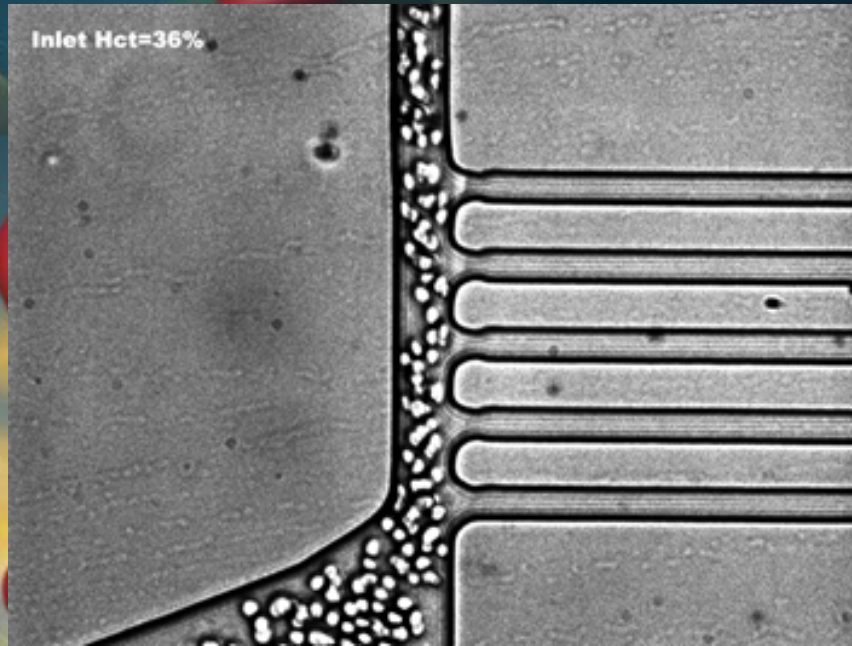


CPB Pumphead

Oxygenator

Device on Microscope

02/06/2006





血气内容

- 酸碱平衡
- 氧合参数
- 电解质变化
- 血液稀释度(HCT)
- 渗透压(COP)

酸碱平衡指标及意义

Ph

AB SB

BE

PaCO₂

*PH*值

- $\text{PH} = 6.1 + \log[\text{HCO}_3^-] / 0.03 \text{PaCO}_2$
- 正常值: 7.35-7.45
- 耐受值: 6.80-7.80
- **PH**升高: 失代偿碱中毒
- **PH**降低: 失代偿酸中毒
- **PH**正常: 正常、代偿性/混合性

PaCO₂

- 定义: 溶于动脉血中的CO₂产生的张力
- 正常值: 33-47mmHg, 平均40mmHg
- 意义: PaCO₂ ↑, 提示CO₂潴留, 呼酸
PaCO₂ ↓, 肺过度通气, 呼碱
代谢性酸、碱中毒时, 机体的代偿
调节可使PaCO₂ ↓ 或 ↑。

SB和AB

- **SB**: 标态下的血浆 $[\text{HCO}_3^-]$ 含量, 排除呼吸因素的影响。
- **AB**: 实际状态下的血浆 $[\text{HCO}_3^-]$ 含量, 受呼吸和代谢的双重影响。
- **正常**: **SB=AB** (22-27mm/L, 24mm/L)。
- **异常**: 代酸**SB** ↓ **AB** ↓; 代碱**SB** ↑ **AB** ↑; **AB** > **SB**提示 CO_2 潴留, 反之, CO_2 排出过多。

碱剩余 (BE)

- 定义: 标态下, 1L全血/血浆中和到PH为7.4所需酸或碱的mmol/L, 正常 0 ± 3 , 不受呼吸因素影响
- 意义: 代酸时, BE负值增加
代碱时, BE负值减少

氧合参数

- **PO₂** (PaO₂ PvO₂)
- **SO₂** (SaO₂ SvO₂)
- **PaO₂/FiO₂**(氧合指数<200)
- **AaDO₂** (肺泡氧分压PAO₂--动脉氧分压PaO₂)

PO₂

- 定义：溶解于血中氧产生的张力。
- PaO₂：正常值80- 100mmHg,新生儿为40—70mmHg，影响因素：FiO₂和P_AO₂。
- PvO₂：正常35—45mmHg，间接反应机体氧供求，CPB中反应上下腔静脉血。

如何看待并行循环期间的PO₂(“氧杀手”)?

紫绀患者的通氧:低FiO₂开始(防“氧反常”)

SO₂

- 氧容量：100血液中HB为氧充分饱和时的最大带氧量。取决于HB的质和量。
- 氧含量：100血液实际的带氧量，包括HB结合的氧和极少量溶于血中的氧。取决于氧分压和氧容量。
- SO₂ = (氧含量 - 溶解的氧) / 氧容量 × 100%，主要取决与PO₂(FiO₂)

SO₂

- SaO₂:正常>95%，反应人工肺的氧合功能。
- SvO₂:正常75%左右，混合静脉血氧饱和度，间接反应氧供与氧耗。
- 影响因素: PO₂、HCT、H⁺、温度、2, 3-DPG，符合氧解离曲线。

影响SvO₂的因素（氧供/耗）

- 升高：低温；麻醉；外周血管阻力增高，动静脉短路；氧供（流量、吸入氧浓度）增加；利用障碍；O₂释放障碍。
- 降低：灌注不足/低心排；氧合不良；HCT过低；复温，酸中毒。

CPB中，SvO₂应维持多少？临床中如何考察SvO₂？

1. 连续S_vO₂监测（动态）
2. 复温、深低温/低流量、选择性脑灌注\停循环CPB的S_vO₂(SjvO₂)应用。

酸碱平衡调节系统

(一) 体液缓冲系统

- 碳酸氢盐缓冲系：胞外： $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$
胞内： $\text{KHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$
- 非碳酸氢盐缓冲系：
 - 磷酸盐： $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$
 - 蛋白质： PR^-/HPR
 - 血红蛋白： $\text{Hb}^-/\text{HHb}, \text{HbO}_2^-/\text{HHbO}_2$

(二) 肺调节

- 通过改变 CO_2 的排出量调节 H_2CO_3 浓度。
- 调节方式：
 - 1、呼吸运动的中枢调节
 - 2、呼吸运动的外周调节

(三) 肾调节

- 近端肾小管泌 H^+ 作用 (H^+-Na^+ 交换)。
- 远端肾小管泌 H^+ 作用 (H^+-ATP 泵)。
- HCO_3^- 重吸收。
- NH_4^+ 的排泄。

CPB中血气特点

- 影响因素多：流量、人工通气与氧合、血液稀释、术前状态等。
- 全麻状态，患者无主观症状。
- CPB中，自身肺作用消失，肾发挥作用较晚。机体自身调节主要依赖血液缓冲。
- 酸性物质增加（外源性和内源性）。
- 温度影响血气。
- 急性，可控性好，一般短时间内易纠正

A microscopic view of blood cells, including red blood cells and white blood cells, set against a dark blue background with a grid pattern.

血气\酸碱平衡监测是心血管手术的风向标

连续监测(CDI500)

间断监测

何时监测

- 何时测定血气？
- 深低温/选择性脑灌注时，采血困难，氧供与氧耗的判断？（**NIRS**，颈内静脉氧饱和度仪，**SVO2**）
- **ICU**拔管：胸片、血气、血流动力学、清醒程度

SpO_2 、 $P_{ET}CO_2$ 在并行期间及停机后的应用

SpO_2 :与 SaO_2 相关性好($r=0.95-0.99$)

影响因素: 低温、低 CO 、平流灌注、光线干扰、指甲油

$P_{ET}CO_2$:一般低于 $PaCO_2$ 。30-40mmHg

升高: 呼吸机通气不足, 钠石灰失效, 呼吸道部分堵塞

降低: 肺血少, 低温, 过度通气。

宁可信其有! 不可信其监测有误!

The background of the slide is a dark blue, semi-transparent illustration of a blood smear. It features several red blood cells (erythrocytes) as bright red, biconcave discs, and white blood cells (leukocytes) as larger, pale, irregularly shaped cells with visible nuclei. The overall effect is a soft, glowing, and slightly blurred representation of blood components.

常见酸碱紊乱类型及原因

代谢性酸中毒

- 减弱心肌收缩力。
- 高钾血症，致复苏困难或心律失常。
- 严重酸中毒，毛细血管容量扩大，通透性增加，致组织水肿及药物难以见效的低血压。
- 氧离曲线右移，**SvO₂**连续降低。
- “**CO₂**”麻醉，**H⁺**升高致中枢抑制。
- **H⁺**、**CO₂**增高，致肺血管收缩，肺高压或肺高压危象。

代谢性酸中毒

- 血气结果: **PH<7.35** **PCO2** 正常, **SBE < -3**
- 原因: 灌注不足、氧合不良、过度稀释、预充液（高氯性酸中毒）；麻醉管理不当；糖尿病或长时间饥饿/低血糖、复温过快或不够，肾功衰。
- 防治: 改善组织灌注、血液氧合、**HCT**；利尿、超滤；合理预充（勃脉力）；适当麻醉深度；纠正血糖、应用 **NaHCO3**；正确复温。

乳酸的问题

- 预充液 (Ring's)



- 意义 (mark)
- 动态变化
- 如何纠正 (外因, 内因)

库血要处理

	pH	pC O ₂	pO ₂	k ⁺	Ca	Lac	Glu	BE	Mg	Hb
6天	6.5	95	42	10. 5	0.2 4	8.3	296	-27	0.1 5	14. 3
2W	6.4 7	120	38	13. 4	0.0 8	10. 6	396	-31	0.1 7	13. 5

低温、低钙、低氧。高钾、高糖、高乳酸
去白细胞-Cellsaver-中和/氧合-超滤-保温

如何补充 NaHCO_3 ?

- 关于 NaHCO_3 的预充：除非有确实证据代谢酸中毒。
- $\text{NaHCO}_3(\text{mmol}) = 1/3 \times \text{BE校正值} \times \text{体重}$ 。
- 纠正的程度(BE):一半靠补碱,一半靠改善循环和呼吸。

呼吸性酸中毒

- 血气结果: $\text{PH} < 7.35$, $\text{PaCO}_2 > 45$, BE 正常。
- 原因: 通气量不够、或排气口未开或氧合器本身排气障碍、呼吸机问题。
- 处理: 增加通气量, 使用前了解氧合器状况。吸痰与膨肺, 慎用 NaHCO_3 。

术前慢性呼衰患者, **CPB** 早期维持一定程度呼酸的合理性

代谢性碱中毒

- 血气结果: $\text{PH} > 7.45$, Pco_2 正常, $\text{SBE} > 3$ 。
- 原因: NaHCO_3 使用过多、过度利尿、低 K^+ 、高钙、低氯、大量库血。
- 处理: 防治原发因素。纠正低血容量、低 K^+ 及低 Cl^- 。

呼吸性碱中毒

- 血气结果:
 $\text{PH} > 7.45$, $\text{PaCO}_2 < 35$, SBE 正常。
- 原因: 过度通气。
- 处理: 给予合适的氧流量或通气量。

使用鼓泡式氧合器, 1、 $\text{PaO}_2/\text{PaCO}_2$ 同时下降, 2、单纯 PaO_2 下降应考虑的问题?

碱中毒对机体影响

- 氧离曲线左移，尽管 S_vO_2 升高，但组织仍缺氧。
- 中枢神经系统兴奋。
- 脑血管收缩（低 PCO_2 导致）。
- 低钾血症。



处理原则

- 不论PH正常与否，均需处理。
- 呼吸性紊乱，调节氧流量或通气量纠正。
- 代谢性紊乱，按代谢性紊乱处理。
- 二者同时应用。

综合判断

影响因素

麻醉程度
HCT
温度
药物
术前状态

判断指标

BP
SvO₂
BE
尿量

合并症的考虑

- 糖尿病
- **COPD**
- 术前过度利尿
- 低心排、低血压
- 缺氧发作

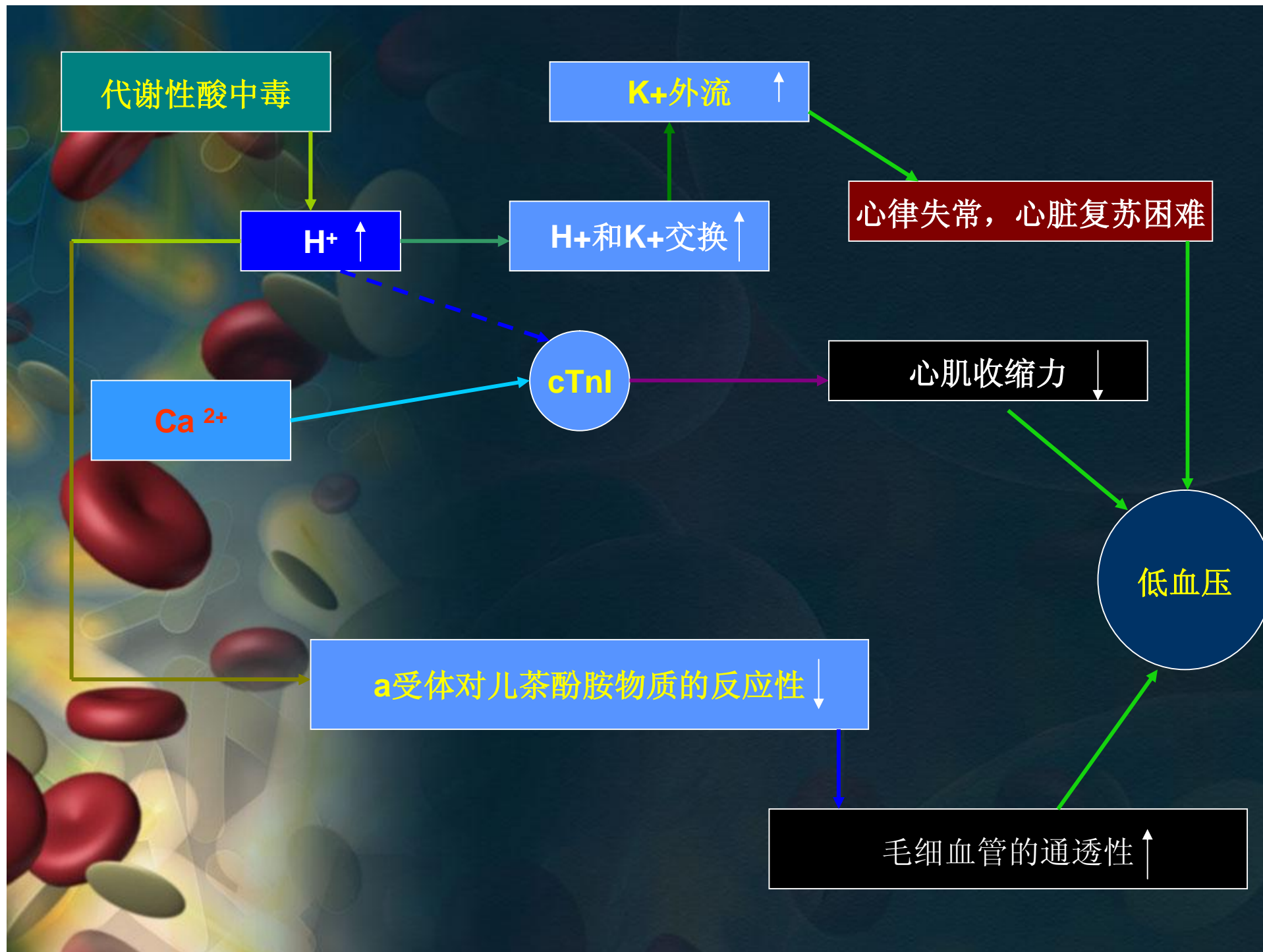
CPB中酸碱平衡紊乱的特点

- 1. 患者无主观症状
- 2. CPB中的酸碱失衡多为急性，主要依赖血液本身的缓冲作用。
- 3. 使用氧合器使肺的代偿作用消失，而肾的代偿出现较晚，所以CPB中的酸碱失衡较少有机会代偿
- 温度会影响血气效果

A microscopic view of blood cells, including red blood cells and white blood cells, set against a dark blue background with a grid pattern. The red blood cells are prominent, showing their characteristic biconcave shape and reddish color. The white blood cells are smaller and more varied in shape, appearing as pale, irregular spheres. The overall scene is illuminated with a soft, yellowish light, creating a sense of depth and highlighting the textures of the cells.

代谢性酸中毒

- 酸性物质产生过多
组织灌注不良，CPB中常见。
- 肾性酸中毒
- 稀释性酸中毒
- 酸性物质输入过多



The background features a dark blue gradient with a semi-transparent illustration of a capillary vessel on the left. Inside the vessel, several red blood cells are shown in various orientations, some appearing to flow. The overall aesthetic is medical and scientific.

防治代谢性酸中毒措施

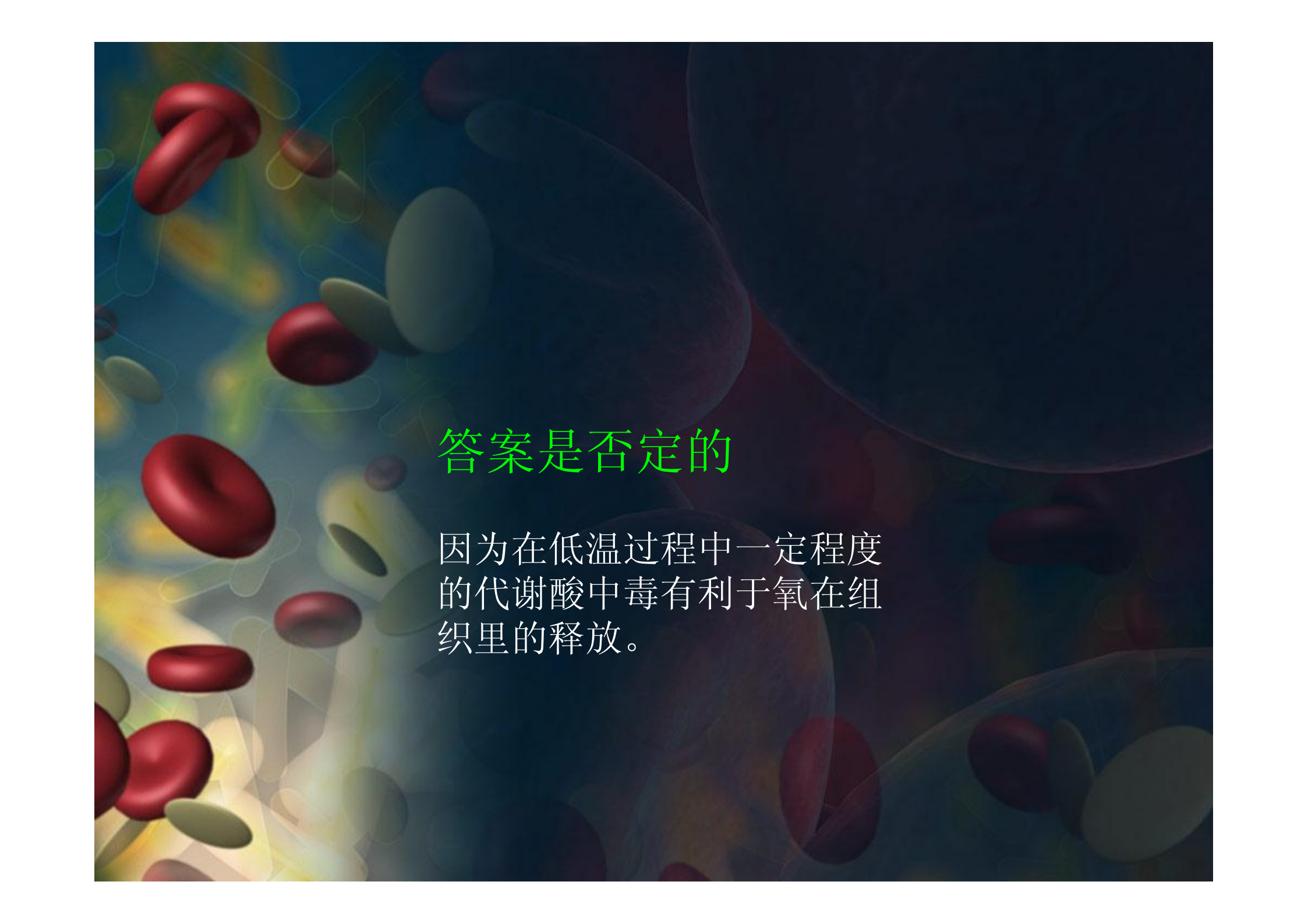
首先以纠正病因为主

- 改善组织的氧供
- 给予一定量的碳酸氢钠
- 利尿剂
- 麻醉深度
- 超滤
- 合理选择预充液
- 合理应用碳酸氢钠

The background features a dark blue gradient with a faint, stylized illustration of a human hand on the right side. On the left side, there are several red blood cells and white blood cells, some appearing to be in motion or interacting. The overall aesthetic is medical and scientific.

是否需要将pH纠正到正常?

- ? ? ? ? ? ? ?
?

A 3D illustration of a blood vessel. The vessel is shown as a large, semi-transparent, light-colored structure. Inside the vessel, numerous red blood cells (erythrocytes) are visible, depicted as red, biconcave discs. There are also several white blood cells (leukocytes) shown as larger, more irregularly shaped cells with distinct nuclei. The background is a dark, blueish-purple gradient, suggesting the interior of the vessel or a microscopic view of the blood.

答案是否定的

因为在低温过程中一定程度的代谢酸中毒有利于氧在组织里的释放。

给予苏打

Hco_3^- 短暂升高

Hco_3^- 和 H^+ 结合

CO_2 在组织内蓄积

局部组织的高 CO_2

PaCO_2 可能正常，但是 PvCO_2 大幅升高

细胞内酸中毒

肝细胞乳酸利用的能力下降
心肌收缩性降低

导致高钠，增加容量负荷，可能导致反常性的碱中毒
(血流动力学恢复后，乳酸被代谢利用所致)



同种程度的代酸和代碱哪种对机体更有害？

代碱更有害

- 低温下pH每升高0.1，组织的氧利用能力减少10%
- NaHCO_3 纠正酸中毒的目的是血液pH维持在7.20以上，如果 $\text{pH} < 7.20$ 可能导致严重的心血管功能失调
- $\text{NaHCO}_3(\text{mmol}) = 1/3 \text{ 体重} \times \text{BE}$ ，首次给予半量，维持 $\text{pH} > 7.25 - 7.30$
- 提高流量促使 CO_2 的排出。

代碱的原因

- 肾丢失:利尿剂
- 低氯
- 高钙
- 低钾
- 过渡纠酸
- CPD代谢产物

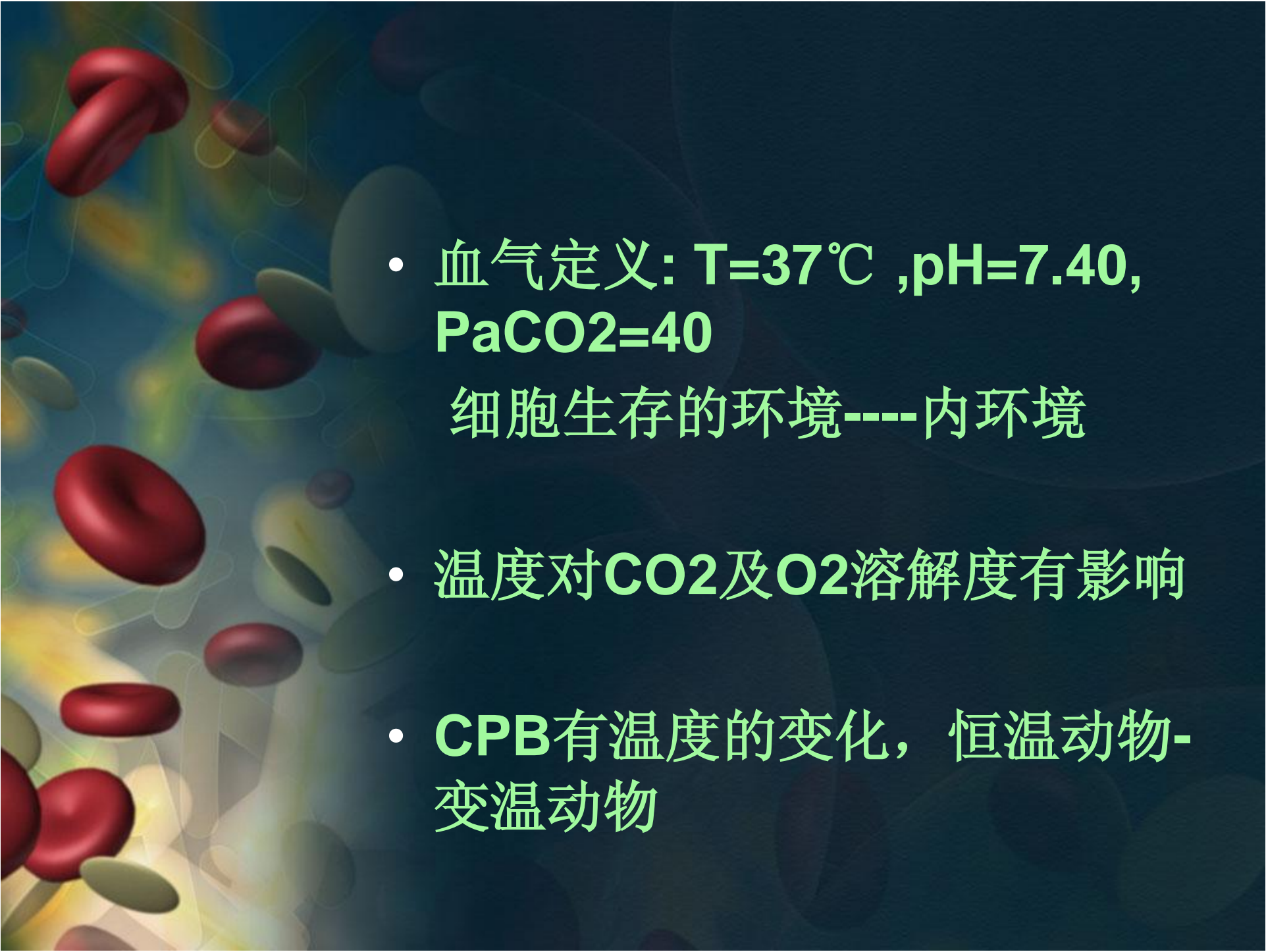
The background of the slide is a dark blue, semi-transparent illustration of a blood vessel. Inside the vessel, numerous red blood cells (erythrocytes) are depicted as bright red, biconcave discs. They are scattered throughout the frame, with some appearing in sharp focus in the foreground and others blurred in the background, creating a sense of depth. The overall aesthetic is scientific and medical.

对机体的影响

- **SvO₂**: 监测可以很高，但是碱中毒，血红蛋白解离曲线左移，故尽管**SvO₂**正常，组织存在缺氧，最大危害。
- 碱中毒伴随低血钾导致心律失常。

温度对血气影响

PH稳态和 α 稳态

- 
- A microscopic view of blood cells, including red blood cells (erythrocytes) and white blood cells (leukocytes), set against a dark blue background with a grid pattern. The red blood cells are prominent, showing their characteristic biconcave disc shape. The white blood cells are smaller and more varied in shape, some appearing as small, round cells and others as larger, more irregular cells.
- 血气定义: $T=37^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7.40$,
 $\text{PaCO}_2=40$

细胞生存的环境----内环境

- 温度对 CO_2 及 O_2 溶解度有影响
- **CPB**有温度的变化, 恒温动物-
变温动物

*PH*稳态

- PH稳态: 不论温度如何变化, 保持相应温度下PH为7.40, PaCO₂: 40mmHg。
- 理论基础: 变温动物, 低温时CO₂溶解度的变化及强调细胞外PH值。

*PH*的温度校正

- **PH:** +0.0147/°C
- **Pco2:** -4.4% × P₃₇co2/°C
- **Po2:** -7.2% × P₃₇o2/°C

°C ↓ 溶解度 ↑ ,分压值 ↓

温度对血气影响

	pH	pCO ₂	pO ₂	Hct	K+	Ca	BE	Lac	Hc o3	Tco 2	Glu
37	7.38	43.9	208	21	3.9	0.66	0.8	2.2	26	27	166
20	7.65	22.8	109	20	3.8	0.63	1.0	1.9	27	28.8	167

PH稳态

- 优点：
 - 1、增加氧分压差，利于供氧。
 - 2、降低氧离曲线左移副作用。
- 缺点：
 - 1、要温度校正，管理复杂。
 - 2、没有考虑细胞内环境随温度的变化。
 - 3、脑血管扩张，**CBF**自我调节破坏。直接受**MAP**和泵流量调节，有脑奢灌之嫌。
- 操作：调血气机监测温度不能调温时，维持**37 °C**时高**PCO2**和**PO2**



细胞生存环境（细胞内液）

保持电化学中性
代谢废物要排除

α 稳态理论基础

- 细胞内最佳PH及电化学中性（ H^+ / OH^- 恒定）
 $H_2O = H^+ + OH^-$, $pN = pH_i = p H^+ = p OH^-$
- 细胞内外恒定PH差值($K=0.6$)
细胞外 $pH = pN + K$ ， K 为恒定偏碱性
- 细胞外 pH 和细胞内 pN 随温度改变同步变化。
- 组氨酸在各种蛋白质中含量丰富，其分子中的 α 咪唑基解离常数恒定,其 pH 变化与中性水近似。

A microscopic view of blood vessels and red blood cells. The background is dark blue, and the foreground shows several red blood cells (erythrocytes) and some white blood cells (leukocytes) moving through a network of blood vessels. The vessels are shown in cross-section, with some appearing as bright yellow-green tubes. The overall scene is illuminated with a soft, yellowish-green light, creating a sense of depth and movement.

(一) 对**CBF**的影响

- PH稳态: 破坏脑血流的自身调节, **CO₂**增加, 脑血管扩张, 脑组织奢灌, **CBF**受压力和流量影响。
- a稳态: 保护脑血流自身调节, 脑血流与**CMRO₂**匹配。
- 深度低温下, 脑血管麻痹, 二者影响均不大。

(二) 细胞生活环境的影响

- a稳态: 维持细胞内外恒定PH差, 利于细胞内中性环境的维持, 有利代谢废物排出。稳定机体酶活性。
- PH稳态: 不具a稳态上述特点。

(三) 氧代谢的影响

- α 稳态和 PH稳态对HbO₂向组织供氧的影响。
(PaO₂=100-250mmHg)
- 当PaO₂>250mmHg时，二者差别可能不大。
- α 稳态时由于酶活性稳定，机体利用氧能力较PH稳态时好。

(四) 其它

- α 稳态: 收缩压、EF增高, 室颤域值稳定。稳定红细胞体积, 减少血液破坏。
- PH稳态: 与上述作用相反。

临床应用

- 早期（20年内），盲目追求PH稳态，氧合器吹入5%CO₂。
- 80年代开始，中低温以上CPB， α 稳态始广泛应用，方便。
- DHCA(T<22 °C)，PH稳态+ α 稳态联合应用。
- 完善监测，远期大样本临床随访。

***THANK YOU FOR YOUR
ATTENTION!***

