

随手记

王成

2025 年 4 月 27 日

1 知乎

1.1 集总参数模型中的地解释

由于血液从心脏射出，流经动脉，然后进入毛细血管和静脉系统，流回到心脏。在电网模型中，可以将心脏视为交流电源。由于静脉系统的血压较低，可以将静脉视为零电位，血液流入静脉视为电路中的“接地”。动脉系统的整体电网模型如图所示：

2 叙述性内容

2.1 本课题的研究内容及意义

本课题主要针对缺血性脑卒中患者的治疗，通常在患者中风后被送往医院的 4.5~6 小时内，先通过 CT，MRI 等影像技术对血管狭窄或阻塞部位进行快速定位，然后基于该部位制定合适的手术如动脉机械取栓（EVT）或者静脉溶栓（IVT）等。由于缺血性卒中的治疗具有时间敏感性，延迟会显著影响预后，如脑组织和神经系统因缺血缺氧而死亡凋零，致使患者残疾或死亡，于是在患者通过手术血管再通后，需要辅以自体血低温脑灌注，以降低脑部新陈代谢速率，减少脑细胞死亡速率，延长治疗时间窗，挽救缺血半暗带，降低患者致死致残率。

2.2 动脉顺应性与静脉顺应性

静脉顺应性通常是动脉顺应性的 10-20 倍，因此，当动脉血管内血液量减少而静脉血管内血液量增加时，动脉压的下降幅度通常至少是静脉压上升幅度的 10 倍。

静脉压力-容积关系的非线性特性了用如下关系表示：

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \Delta V}{\pi} \arctan \left(\frac{\pi \cdot C_0}{2 \cdot \Delta V_{\max}} \cdot \Delta P_{\text{trans}} \right)$$

其中， ΔV 表示跨壁压引起的腔室容积变化量， ΔV_{\max} 表示腔室容积最大变化量， C_0 表示基础跨壁压，即 $\Delta P_{\text{trans}} = 0$ 时的腔室顺应性。下图 1 展示了非线性静脉顺应性的压力-容积关系曲线。具体建模方法与内容可参考文献如下 [1]。

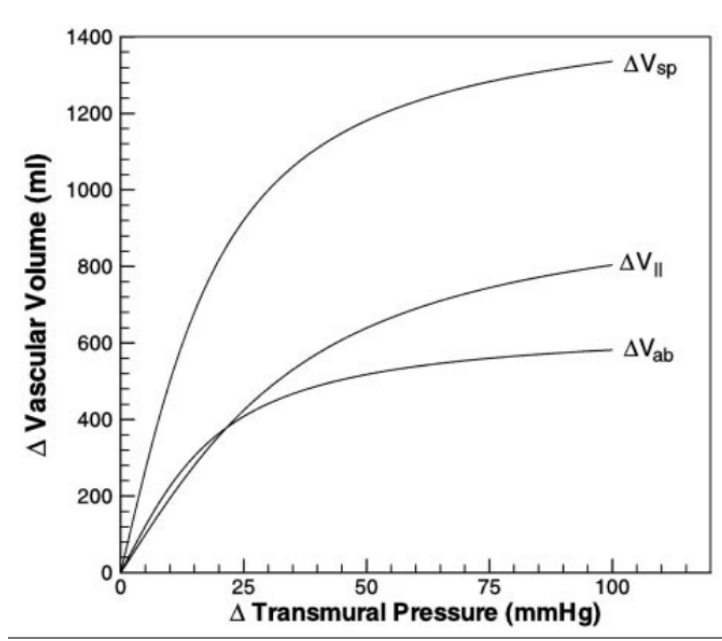


图 1: Pressure-volume relations for changes in stressed volume of the abdominal (V_{ab}), leg (V_{ll}), and splanchnic (V_{sp}) venous compartments.

2.3 动脉血二氧化碳

动脉血中二氧化碳浓度的变化对脑总血流量有重要影响。高碳酸血症会扩张脑血管并增加血流量，而低碳酸血症则会收缩脑血管并减少血流量。血氧含量的变化会产生相反效果，但其引发的血管收缩或扩张刺激作用弱于血二氧化碳浓度的变化 [4]。

颅内结构对缓慢增加的压力适应能力相当强，但突然的变化则无法耐受，会导致头痛、性格改变和意识水平下降等不同症状的组合。

2.4 治疗性低温

低温会降低脑血流量。将体温维持在 27°C 至 31°C 之间最为理想。除其他降低脑血流量的措施外，低温疗法的额外获益尚不明确 [4]。

治疗性低温通过改变血管直径来实现对脑血流量的影响。低温会导致血管收缩，降低脑血流量。通过实验观测得到了治疗性低温对血管直径调控的理论模型 [2, 3]。

$$D_{35.5} = D_{37.5} \times Q_{10}^{\beta(35.5-37.5)}$$

其中 D_T 表示温度 T 时的血管直径， $Q_{10} = 2.96$ ， $\beta = 0.08$ [2]。随后利用这些直径数据重新分配模型中的所有阻力值。

参考文献

- [1] Thomas Heldt, Eun B. Shim, Roger D. Kamm, and Roger G. Mark. Computational modeling of cardiovascular response to orthostatic stress. *Journal of Applied Physiology*, 92(3):1239–1254, March 2002. [2.2](#)
- [2] Jermiah J. Joseph, Timothy J. Hunter, Clara Sun, Daniel Goldman, Sanjay R. Kharche, and Christopher W. McIntyre. Using a human circulation mathematical model to simulate the effects of hemodialysis and therapeutic hypothermia. *Applied Sciences*, 12(1):307, January 2022. [2.4](#)
- [3] Angelos-Aristeidis Konstas, Matthew A. Neimark, Andrew F. Laine, and John Pile-Spellman. A theoretical model of selective cooling using intracarotid cold saline infusion in the human brain. *Journal of Applied Physiology*, April 2007. [2.4](#)
- [4] J. Eric Piña-Garza. Chapter 4 - increased intracranial pressure. In J. Eric Piña-Garza, editor, *Fenichel's Clinical Pediatric Neurology (Seventh Edition)*, pages 89–112. W.B. Saunders, London, January 2013. [2.3](#), [2.4](#)