

# 微循环监测手段的研究进展

徐璐 黄厚刚\*

重庆医科大学附属永川医院麻醉科 重庆永川 402160

**摘要:** 过去对循环的认识多停留在大循环层面, 强调正常的血压、中心静脉压等, 近年来从微循环角度进行循环管理已得到广泛认可。微循环管理在整个围术期至关重要, 影响术中管理、术后麻醉复苏及预后; 此外, 其在重症患者中也尤为重要, 与重症患者病死率、预后水平息息相关。但目前微循环监测在临床工作中仍然缺乏重视, 就现有微循环监测手段做一综述, 体现其应用于临床工作中的价值, 以此来推进其在临床上的应用。

**关键词:** 微循环; 微循环监测; 重症医学; 麻醉; 血流动力学

微循环是指身体微血管中的血液流动, 包括微动脉、毛细血管和微静脉的循环过程, 是组织和细胞水平上氧气、营养物质交换和代谢废物清除的关键环节。微循环的研究在重症医学、麻醉学、生理学和病理学等多个领域都非常重要, 如循环管理, 液体复苏, 过去认为液体复苏是以大循环为目标, 恢复患者正常的血压值, 但随着医学研究的不断推进, 目标逐渐转向器官微循环, 恢复细胞氧代谢和器官功能, 以满足其氧气和代谢需求。在临床工作时关注微循环监测指标并优化器官微循环, 有利于患者预后, 因此本文就现有常用的微循环监测指标作一综述。

## 1. 微循环

### 1.1 微循环与麻醉

行择期手术的全身麻醉病人诱导期产生的血流动力学变化会引起微循环变化, 表现为稍降低的舌下毛细血管红细胞流量和增多的毛细血管密度, 这两种变化同时发生, 导致总体功能性毛细血管密度和组织红细胞灌注保持不变<sup>[1]</sup>, 可能不会影响组织灌注。研究表明麻醉病人微循环较非麻醉病人易受影响, 麻醉方式和药物、液体容量、血管活性药物使用、手术创伤带来的炎症反应、体温等均可影响微循环, 且同种麻醉方式不同麻醉药物浓度对微循环产生的影响也不同, 如剖宫产手术使用0.5%罗哌卡因与0.25%罗哌卡因相比较, 前者对微循环影响更小。同时微循环的状态也会反过来影响手术麻醉的效果和安全性, 良好的微循环不仅可以确保组织灌注, 还会影响麻醉药物在组织中的分布和代谢, 影响麻醉效果和持续时间; 而欠佳的微循环还会影响术后预后, 导致手术部位感染和多器官衰竭的发生, 可见微循环管理在

围手术期的重要性。

### 1.2 微循环与重症

重症疾病都伴血压、心输出量等大循环参数下降和组织氧合减少。大循环参数可以通过液体或血管活性药物来纠正, 而微循环在此过程可能仍受到损害, 组织呈低灌注状态。研究发现<sup>[2]</sup>大循环和微循环之间血流动力学的一致性丧失, 大循环的改善不会引起器官微循环的同样改善, 这一现象在小鼠感染性休克模型研究中也体现, 在休克早期微循环的变化明显早于大循环。重症患者预后水平与组织氧合恢复速度明显相关, 改善微循环、增加组织氧合是保护患者脏器功能, 降低重症患者死亡率、改善预后的关键治疗手段, 因此微循环监测在重症患者中的应用尤为重要。

### 1.3 微循环障碍

微循环障碍是发生在微血管水平上的异常情况, 可能由多种因素引起并对组织和器官的正常功能产生负面影响。研究发现微循环障碍与术中休克、弥漫性血管内凝血、酸中毒、肾脏损害等密切相关, 与活性氧类抑制一氧化氮的活性、炎症因子水平升高、小动脉和微动脉中胶原蛋白增加, 导致血管内皮损伤有关。休克是微循环障碍的常见原因之一, 休克复苏旨在改善全身血液循环, 如血压和心输出量等, 希望组织器官微循环的灌注与全身循环的目标同时得到改善; 然而, 休克复苏的患者血压、心输出量等全身血液循环好转时, 高乳酸血症、代谢性酸中毒和器官功能等微循环仍有持续下降的表现。2014年Ince<sup>[3]</sup>提出以微循环为导向作为机体液体复苏的观点, 根据微循环来制定个人液体复苏计划。虽然近年来关于微循环复苏的重要性得到明显报道, 但临床工作

中微循环监测手段普及层面不够,这可能导致休克的复苏目标仍然停留在大循环目标。

## 2. 微循环监测手段

### 2.1 舌下微循环

舌下微循环有微血管丰富、血流灌注活跃以及微循环状态变化丰富特点,可以反映活体组织微循环的状态,故成为临床和活体动物微循环监测的理想部位。研究发现舌下微循环有高度敏感性和特异性,能有效预估患者的发病率和死亡率[4, 5],以及预测脓毒症患者并发急性肾损伤可能<sup>[6]</sup>,能引导脓毒症患者治疗方案。其作为一种非侵入性的监测手段,多用于评估和指导重症患者的治疗,随着该监测技术的不断改进,预计未来将为重症医学领域带来更多的突破。虽然全麻非心脏患者手术期间舌下微循环也会保留并保持功能,但处于气管插管状态,术中麻醉医生不便将探头置于舌下观察舌下微循环,且多数医院缺少舌下显微镜设备,这些可能导致该监测手段并未广泛应用于麻醉工作中。

### 2.2 乳酸

动脉乳酸在正常或异常情况下都会产生,当组织缺氧或低灌注时无氧酵解途径显著激活,乳酸产生显著增加,是评估全身氧代谢最常用的指标之一。因此,乳酸在某种程度上能评估患者组织的缺氧和病情严重程度,特别是乳酸清除率,研究表明清除率与疾病结局有关,可指导液体治疗等<sup>[7]</sup>。研究发现脓毒症休克患者将初始治疗目标导向为乳酸 $<2$  mmol / L能显著降低死亡率。但乳酸有一定的延迟,不能完全代表当时的氧合状态,且乳酸清除率不仅与休克治疗有关,还与体内乳酸代谢的速率有关,当肝肾功能不全存在时,体内乳酸代谢速率明显减慢<sup>[8]</sup>。故监测微循环时,不能抛开其余影响因素或监测指标,只关注乳酸水平。

### 2.3 动静脉二氧化碳分压差 (Pcv-aCO<sub>2</sub> gap)

Pcv-aCO<sub>2</sub> gap是混合静脉与动脉血二氧化碳的分压差,因中心静脉—动脉血二氧化碳分压差和混合静脉—动脉血二氧化碳分压差无明显差异,通常使用的Pcv-aCO<sub>2</sub>gap就是中心静脉—动脉血二氧化碳分压差。据Fick定律公式研究认为Pcv-aCO<sub>2</sub> gap增高可以用心输出量的减少及组织灌注减少解释;另一项研究<sup>[9]</sup>发现尽管Pcv-aCO<sub>2</sub> gap受代谢性酸中毒、血液稀释、霍尔丹效应的影响,但心输出量仍然是影响分压差的主要决定因素;同样Yusuke Endo等<sup>[10]</sup>建立猪休克模型,发现随着心输出量的减少,Pcv-aCO<sub>2</sub> gap

明显增加,且Pcv-aCO<sub>2</sub> gap与全身氧输送存在显著关系。故Pcv-aCO<sub>2</sub> gap作为组织灌注的指标,表明组织产生的CO<sub>2</sub>被组织血流清除的能力,其正常值在2-6mmHg,临床上Pcv-aCO<sub>2</sub> gap  $\geq 6$ mmHg可提示组织灌注不足。

### 2.4 鼻咽盒技术

鼻咽窝是手背的一个低凹陷,窝内有桡动脉通过,用超声能了解血管内血流速度和流量,反应该区域灌注情况。血管阻力指数(Resistance index, RI)反映了血管阻力和血管顺应性,计算公式为 $RI = (PS - ED) / PS$ ,其中PS为收缩期最高峰值血流速度,ED为舒张末期最低血流速度。日本的一项研究表明用超声测量桡动脉鼻咽盒部的血流可以评估手循环<sup>[11]</sup>,在此基础上发现在心脏开胸患者中上肢动脉RI能替代全身血管阻力指数(Systemic vascular resistance index, SVRI)来监测患者的外周循环,且Koji Ban等进一步研究发现解剖鼻咽盒RI和SVRI显著正相关。还有研究发现鼻咽盒RI也能评估脓毒症患者的外周血管阻力,且该阻力与SVRI高度相关。Cui Wang<sup>[12]</sup>研究表明鼻咽盒RI与外周灌注指数和乳酸清除率相关,发现乳酸清除率高的一组鼻咽盒RI低于清除率低的一组,并且在预测复苏后6小时的乳酸清除率方面鼻咽盒RI明显优于外周灌注指数。研究还<sup>[13]</sup>发现鼻咽盒RI可指导升压药在脓毒症患者中的早期应用,既降低了液体超载的风险,又更快地改善了血压。但心脏手术患者术后不推荐使用鼻咽盒RI来代替SVRI,因为两者相关性较低。因此,其作为一种无创、非侵入性的监测手段可以作为需要早期启动血管加压支持、评估全身血管阻力的指标来改善患者组织灌注,未来可以多应用于临床中帮助临床医生判断患者组织灌注情况。

2.5 中心静脉氧饱和度 (Central vein oxygen saturation, ScvO<sub>2</sub>)

ScvO<sub>2</sub>通过中心静脉置管获得,而混合静脉氧饱和度只能通过肺动脉漂浮导管获得,研究发现SvO<sub>2</sub>与ScvO<sub>2</sub>变化趋势显著相关,因ScvO<sub>2</sub>的获取只需留置中心静脉导管,较SvO<sub>2</sub>获取风险及费用低、难度小,故临床应用ScvO<sub>2</sub>广泛。且研究发现应用ScvO<sub>2</sub>同样可以指导液体复苏,降低并发症的发生, $\Delta ScvO_2$ <sup>[14]</sup>还能预测危重患者拔管失败, $\Delta ScvO_2 \leq 5.4\%$ 是危重患者拔管失败的临界值,并推荐 $\Delta P(cv-aCO_2 \text{ gap})$ 和 $\Delta ScvO_2$ 的联合应用。

### 2.6 肌肉组织氧饱和度

在人体血流再分配和调节机制的影响下, 身体优先维持大脑和心脏等重要器官的血流, 减少肌肉等非必需器官的血流; 故低灌注首先发生在肌肉组织中, 通过这种机制可以监测肌肉组织的氧合状况, 以快速反映全身灌注的变化。因近红外光穿透人体的深度约为 2.5cm, 故常选择相对较薄组织的肌肉, 如鱼际、肾脏(竖脊肌)、手臂和小腿来监测肌肉组织氧饱和度, 且发现鱼际区域肌肉组织氧饱和度水平与 ScvO<sub>2</sub> 存在相关性, 较其他肌肉组织与全身组织灌注相关性可能更明显。在研究绵羊感染性休克中发现肌肉组织氧饱和度的变化早于乳酸和 ScvO<sub>2</sub> 等微循环标志物, 这表明肌肉组织氧饱和度监测感染性休克患者早期微循环的变化有潜在价值。可作为一种非侵入手段, 在减轻患者痛苦时也能反映微循环灌注情况。

### 2.7 外周灌注指数与肢端温度

外周灌注指数是外周动脉血管的舒张与收缩获得的一个计算值, 其反应的是局部血流的强度, 可反映外周灌注情况, 没有特定的正常值, 应按照个人的基线值做参考。记录急诊患者血红蛋白、红细胞压积、乳酸、pH 和循环指标、休克指数和修正创伤评分, 并与外周灌注指数作相关性分析, 得出结论外周灌注指数可用于识别急诊科危重患者输血需求, 但测量部位、年龄、温度、血管活性药物的使用等因素会影响外周灌注指数的测量<sup>[15]</sup>。史新格<sup>[16]</sup>等发现外周灌注指数 < 1.4 是脓毒症患者发生急性肾损伤的独立危险因素, 较正常者发生机率显著增加, 因此可根据外周灌注指数提前进行干预, 减少发生器官衰竭的几率。

19 世纪一名英国外科医生描述了休克患者皮肤湿冷和花斑的现象; 后续研究发现肢端皮肤温度高的患者与皮肤温度低的患者相比, 前者灌注指标心指数较高, ScvO<sub>2</sub> 较高, 动脉血乳酸较低<sup>[17]</sup>。由于肢端温度受环境影响大, 趾端-核心温度梯度在评估外周血流灌注方面具有更多优势, 且研究表明趾端-核心温差超过 7℃ 是外周血管过度收缩的表现。

### 2.8 毛细血管再充盈时间 (Capillary Refill Time, CRT)

CRT 是指在施加压力后, 恢复指尖血管充盈所需的时间, 多用于评估患者的外周循环灌注以及容量负荷状态。CRT 已经被 2021<sup>ssc</sup> 指南推荐为复苏目标<sup>[18]</sup>, 正常 CRT 不超过 3.5s, 而 CRT ≥ 5s, 即使血压稳定也是预后不良、器官功能衰竭的前哨表现。研究者在脓毒症休克患者中发现

CRT 和患者入科后 24h 内序贯器官衰竭评分呈正相关, 能预测脓毒症休克患者 28 天死亡率。还有学者发现与外周灌注指数和前臂-指尖皮肤温度梯度相比, 使用 CRT 评估外周灌注的诊断准确性最高。一项纳入 23 项研究<sup>[19]</sup> 的系统评价评估 CRT 预测在有风险或已确诊的成人急性循环衰竭死亡或不良事件的能力, 与乳酸相比没有显著差异, 且执行高质量 CRT 测量时准确性更高。

### 3. 小结

根据机体的自我调节机制, 当体内循环血量不足时会优先保证重要器官的灌注, 如脑、心脏、肾脏等, 随之带来的是非重要“器官”——微循环灌注不足, 虽然短期内微循环灌注不良不足以导致立即死亡, 但组织缺血缺氧势必会影响后续预后, 甚至造成器官衰竭等不可逆后果。一旦微循环发生灌注不良, 微循环代谢也将发生相应变化, 如乳酸上升、Pcv-aCO<sub>2</sub> gap 差值上升等, 而此变化可以通过微循环灌注监测手段表现出来, 并且非侵入性的监测手段在极大提高患者预后程度的同时还能减少患者痛苦。但研究微循环不能脱离维持和恢复大循环管理下进行, 因为大循环管理下的动脉血压是器官灌注压形成的基础, 危重症和术中患者, 其血流动力学较正常人变化显著, 更容易发生循环障碍, 组织灌注低下, 对该类患者除使用液体治疗及血管收缩药物维持大循环外, 微循环监测指导循环复苏也尤为重要, 能加速患者康复, 提高病床流动率。

### 参考文献:

- [1] FLICK M, HILTY M P, DURANTEAU J, et al. The microcirculation in perioperative medicine: a narrative review [J]. Br J Anaesth, 2024, 132(1): 25-34.
- [2] 阎乃璐 陆, 于布为. 围术期微循环的相关研究进展 [J]. 上海交通大学学报(医学版), 2021, 41(1): 108-11.
- [3] INCE C. The rationale for microcirculatory guided fluid therapy [J]. Current opinion in critical care, 2014, 20(3): 301-8.
- [4] 吴苏明, 李智, 许晓函. 监测舌下微循环、经皮氧代谢对脓毒症患者疾病严重程度及近期预后判断的价值分析 [J]. 临床和实验医学杂志, 2023, 22(16): 1721-4.
- [5] 郭莉, 陈华, 刘锦明, et al. 舌下微循环变化与脓毒症患者疾病严重程度、预后的关系分析 [J]. 实用休克杂志(中英文), 2022, 6(4): 204-7.
- [6] 陈星月, 陈新龙, 王逸平, et al. 舌下微循环监测对

脓毒症休克患者并发急性肾损伤的预测价值 [J]. 中华重症医学电子杂志, 2022, 08(02): 147-52.

[7] 赵继波, 张立立, 李媛莉, et al. Lac、ScvO<sub>2</sub> 与 Pcv-aCO<sub>2</sub> 对老年患者全腔镜食管癌根治术时液体管理的指导作用 [J]. 中华临床医师杂志 (电子版), 2021, 15(7): 497-502.

[8] 张丽珍. 休克患者微循环状态监测研究进展 [J]. 微循环学杂志, 2020, 30(3): 65-8.

[9] DUBIN A, POZO M O. Venous Minus Arterial Carbon Dioxide Gradients in the Monitoring of Tissue Perfusion and Oxygenation: A Narrative Review [J]. Medicina (Kaunas, Lithuania), 2023, 59(7).

[10] ENDO Y, HIROKAWA T, MIYASHO T, et al. Monitoring the tissue perfusion during hemorrhagic shock and resuscitation: tissue-to-arterial carbon dioxide partial pressure gradient in a pig model [J]. Journal of translational medicine, 2021, 19(1): 390.

[11] KOCHI K, ORIHASHI K, SUEDA T. The snuffbox technique: A reliable color Doppler method to assess hand circulation [J]. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2003, 125(4): 821-5.

[12] WANG C, WANG X, ZHANG H, et al. Association Between Doppler Snuffbox Resistive Index and Tissue Perfusion in Septic Patients [J]. Shock, 2020, 54(6): 723-30.

[13] DEVIA JARAMILLO G, MENENDEZ RAMIREZ S. USER Protocol as a Guide to Resuscitation of the Patient with Septic Shock in the Emergency Department [J]. Open Access

Emergency Medicine, 2021, Volume 13: 33-43.

[14] 秦亚飞, 孟凡维. 中心静脉-动脉血二氧化碳分压差及中心静脉血氧饱和度对住院危重患者拔管失败的预测价值 [J]. 中国急救医学, 2022, 42(3): 234-9.

[15] 陈香萍, 张奕, 劳月文, et al. 外周灌注指数在重症患者血流动力学治疗中的研究进展及启示 [J]. 中华急危重症护理杂志, 2022, 3(6): 566-9.

[16] 史新格, 许明, 余旭, et al. 早期外周灌注指数和脓毒症相关急性肾损伤的相关性研究 [J]. 临床内科杂志, 2023, 40(11): 758-61.

[17] 谢志毅, 于湘友, 李颖. 重症患者血流动力学监测与治疗: 大循环微循环结合方案初探 [J]. 中华内科杂志, 2021, 60(6): 511-5.

[18] BAKKER J, HERNANDEZ G. Can Peripheral Skin Perfusion Be Used to Assess Organ Perfusion and Guide Resuscitation Interventions? [J]. Frontiers in medicine, 2020, 7: 291.

[19] JACQUET-LAGRÈZE M, PERNOLLET A, KATTAN E, et al. Prognostic value of capillary refill time in adult patients: a systematic review with meta-analysis [J]. Critical care (London, England), 2023, 27(1): 473.

#### 基金项目:

重庆市永川区科学技术委员会医学科研项目 (Ycstc,2015nc50002)

通信作者, E-mail: 700462@hospital.cqmu.edu.cn