

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.07.023

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240402.1624.006\(2024-04-03\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240402.1624.006(2024-04-03))

经皮氧分压和经皮二氧化碳分压监测在围手术期 压力性损伤中的应用研究进展*

许冰吟,李 智[△]

(重庆医科大学附属第二医院手术室麻醉科,重庆 400010)

[摘要] 经皮氧分压(TcPO₂)和经皮二氧化碳分压(TcPCO₂)监测是一种非侵入性的诊断方法,被越来越多地用于临床实践。该文从 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测的原理和方法、注意事项、优势与临床应用等方面进行介绍,并提出 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 在围手术期压力性损伤中的应用展望,以期开展相关临床研究提供参考。

[关键词] 经皮氧分压;经皮二氧化碳分压;围手术期;压力性损伤;综述

[中图分类号] R473 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)07-1080-04

Research progress on application of transcutaneous oxygen pressure and transcutaneous carbon dioxide pressure monitoring in perioperative pressure injury*

XU Bingyin, LI Zhi[△]

(Department of Operating Room Anesthesiology, Second Affiliated Hospital of
Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

[Abstract] Transcutaneous oxygen pressure (TcPO₂) and transcutaneous carbon dioxide pressure (TcPCO₂) monitoring is a non-invasive diagnostic method, and is increasingly used in clinical practice. This article introduces the principles, methods, precautions, advantages and clinical applications of TcPO₂ and TcPCO₂ monitoring, and puts forward the application prospects of TcPO₂ and TcPCO₂ in perioperative pressure injury, in order to provide references for related clinical studies.

[Key words] transcutaneous oxygen pressure; transcutaneous carbon dioxide pressure; perioperative period; pressure injury; review

围手术期压力性损伤是指术后数小时至 6 d 内发生,以术后 48~72 h 最为多见的压力性损伤^[1]。手术患者由于术中无法更换体位缓解局部压力,加之血流动力学改变、长时间麻醉、低体温等多种因素作用,是压力性损伤的高危人群^[2]。据统计,手术患者压力性损伤发生率为 3.5%~29.5%^[3]。手术时间长是围手术期发生压力性损伤的主要危险因素。有报道指出,医院发生压力性损伤的患者中,4.6%~66.0%手术时间持续 4 h 以上^[4],且手术持续 4 h 后,手术时间每增加 0.5 h,压力性损伤发生风险增加 33%^[5]。此外,长时间持续制动、低血压、空腹血糖异常等因素也增加了压力性损伤的发生风险^[6]。围手术期压力性损伤的发生不仅会降低患者生存质量,耗费大量医疗与护理资源,还会升高患者病死率^[6-7]。因此,有必要找到一种客观、无创、自动化、一致性好的科学方法,以早期识别压力性损伤并采取措施减少不良影响。压力性损伤与局部组织微循环长期缺血缺氧有关,动脉

血氧分压与二氧化碳分压是评估患者缺氧的重要参数,而经皮氧分压(TcPO₂)与经皮二氧化碳分压(TcPCO₂)可通过无创技术获得受压局部组织皮肤的氧分压与二氧化碳分压数值,是一种量化皮肤氧合的非侵入性方法。本研究围绕 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 的监测原理和方法、注意事项、在围手术期中的应用情况等方面作一综述。

1 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 概述

1.1 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测原理

TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测时,通过加热安置在皮肤表面的电极,使局部毛细血管扩张,动脉对局部组织毛细血管床的血供增加,且温度升高加速毛细血管的动脉化过程,皮肤角质层细胞内的脂质结构被液化,皮肤通透性增加,血管中气体弥散进入电极,最后转化为 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 数值^[8-9]。其中, TcPO₂ 通过测定铂金阴极电极和银/氯化银参比电极之间的电流获得; TcPCO₂ 对数与电极液的 pH 值相关,通过测量微

* 基金项目:2022 年重庆市研究生科研创新项目(CYS22381)。

[△] 通信作者, E-mail: 282378843@qq.com。

型玻璃 pH 电极和银/氯化银参比电极之间的电压可确定电极液 pH 值,从而获得 TcPCO₂ 值。TcPO₂ 和 TcPCO₂ 与动脉血气具有良好的相关性^[10-11];并且, TcPO₂ 和 TcPCO₂ 的监测方法无创且简单易行,能实时、快速、准确地反映局部组织微循环的变化,可作为评估压力性损伤可靠的临床指标,在临床实践中具有重要的潜在价值^[12]。

1.2 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测方法

使用 TcPO₂/TcPCO₂ 监测仪之前,应选择合适的受压部位。围手术期选择受压部位最低点处皮肤为监测位点,如仰卧位可监测患者骶尾部、肩胛部皮肤,侧卧位可监测患者肋部、髌部皮肤,俯卧位可监测患者额部、膝关节部皮肤,并应避免皮肤水肿、破溃、毛发、骨质突起、浅表大静脉等部位。采用乙醇消毒待测部位皮肤,安装电极后确认电极上薄膜无漏气后,连接并加热电极,成人使用电极温度为 43~45℃,儿童为 38~41℃,待 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 读数稳定后(10~20 min)记录测量值^[13]。撤除传感器,擦掉凝胶(丙二醇),用乙醇棉签清洁皮肤表面后将电极放入校准室中储存。

1.3 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测注意事项

TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测是一种无创方法,暂没有使用的绝对禁忌证,但对耗材(凝胶、固定环)过敏的患者应避免使用^[14],且血流动力学状态不稳定的患者(包括休克、体温过低等)监测结果可能存在误差。TcPO₂ 的正常范围为 80~100 mmHg, TcPCO₂ 为 35~45 mmHg,需要注意的是监测数值受操作方法的影 响。当存在校准不当、电极与皮肤之间有空气存留、固定装置泄漏及电极上薄膜受损时都可能会导致监测值不准确^[11]。此外,应每 4 个小时更换电极安放部位,避免温度过高造成的热损伤。儿童、新生儿因皮肤更敏感,更应缩短监测部位更换时间^[15]。

2 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测的优势与其临床应用

目前,临床主要依靠量表评估围手术期压力性损伤,常用量表包括 Braden 量表、Munro 量表、Scott triggers 量表、Waterlow 量表、Norton 量表 5 种^[16],国际上针对术中评估量表的选择还未形成统一标准^[17]。有研究表明,在 5 种常用量表中,Munro 量表对成人术中 获得性压力性损伤的预测能力最佳^[18];而 Braden 量表则是临床使用最为广泛的经典量表,由感知能力、活动能力、移动能力、潮湿程度、营养摄取能力、摩擦力和剪切力 6 个维度组成^[19]。此外,临床工作者还可以根据目测和触摸组织损伤来判断患者是否有压力性损伤及其损伤程度^[20]。然而,压力性损伤常最先发生在局部受压组织微循环中,而主观判断较 强地依赖于评估者的临床经验,且受压部位皮肤完整但组织存在损伤的情况尤其难以判断^[21-23],这种情况下使用压力性损伤量表进行评估具有一定局限性^[24-25]。有研究显示,高压压力性损伤风险患者的 Tc-

PO₂ 和 TcPCO₂ 变化幅度比低风险患者更高,且 Tc-PO₂ 和 TcPCO₂ 均与 Braden 量表评分明显相关,提示 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 可能成为替代传统量表的压力性损伤评估工具^[26]。

TcPO₂ 技术最初替代有创血气分析用于监测儿童血氧,后来有学者发现 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 有助于识别局部组织受压后组织缺血缺氧期间的损伤^[27],可直接反映受压部位组织微循环供氧情况。当局部组织出现损伤,O₂ 摄取和 CO₂ 运输或释放情况都能通过 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测转化为客观数据^[28]。目前,TcPO₂ 和 TcPCO₂ 在临床已较为广泛地应用于评估糖尿病足截肢后伤口的愈合情况与愈合时间^[29-30],预测下肢缺血性损伤的伤口愈合及血运重建情况^[31],监测髌关节或膝关节置换术后伤口严重缺血时的愈合情况^[32],以及指导术后临床干预^[33]。还有研究提示,TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测可为术中受压部位寻找合适的支撑面提供客观依据,从而预防压力性损伤的发生^[34]。总之,TcPO₂ 和 TcPCO₂ 可反映组织灌注及代谢状况,在早期可视化地评估术中压力性损伤的发生、发展,比压力性损伤评估量表具有更高的灵敏度与准确性,但还需要进一步研究其在围手术期压力性损伤评估中的应用。

3 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测在压力性损伤中的应用展望

压力性损伤分期目前多采用泛太平洋地区压力性损伤联盟(Pan Pacific Pressure Injury Alliance,PPPIA)、美国压疮顾问小组(National Pressure Ulcer Advisory Panel,NPUAP)和欧洲压疮顾问小组(European Pressure Ulcer Advisory Panel,EPUAP)联合颁布的“压力性损伤预防与治疗国际指南”中推荐的分类方法,即分为 I 期、II 期、III 期、IV 期、不可分期、可疑深部组织损伤^[15]。后续可以将 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测值与压力性损伤分期相结合,根据不同分期的 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 临界值评估患者压力性损伤程度,同时为围手术期压力性损伤高危人群做好早期预警。此外,对于因皮肤颜色较深不能清晰判断是否出现压之不褪色红斑,皮肤全层组织缺损性创面,创面基底部覆盖腐肉或焦痂,以及深部组织压力性损伤等主观评估存在干扰的患者,可以使用 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测辅助诊断,以判断受损组织的深度及严重程度,清除干燥焦痂并选择合适的清创类型,避免盲目清创治疗。

皮肤良好的生理功能取决于充足的氧气供应,氧疗方法可以治疗慢性缺血缺氧创面并明显提高皮肤肉芽组织的覆盖率,促进愈合过程,缩短愈合时间^[35]。TcPO₂ 监测可反映微循环和组织氧合情况,从而评估氧疗方法的治疗效果。另有研究确定了截肢及截肢后伤口愈合的 TcPO₂ 截断值分别为 20、30 mmHg^[36],还有研究分析了预测严重肢体缺血溃疡愈合及慢性伤口愈合的 TcPO₂ 截断值^[37-40]。可见,可以通过确定术

后压力性损伤伤口愈合的 TcPO₂ 最佳截断值,得到局部微循环所需最低供氧量,为术后受损组织愈合的治疗提供参考;此外,可用该临界值建立受损组织灌注最低水平的客观指标,以提示临床治疗时供氧需达到的受压部位愈合临界值。此外,当受压部位已形成损伤,在治疗时可通过对该部位 TcPO₂ 的动态监测,判断损伤修复情况并评估治疗效果。总之,TcPO₂ 不仅可以指导压力性损伤的临床精准治疗,还有助于避免治疗不当及过度。

4 小 结

2019 版《压力性损伤的预防和治疗:临床实践指南》中提到,推荐使用更加准确的新技术作为压力性损伤的评估工具^[41],而 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 的运用则使压力性损伤评估不再局限于视觉估测法。TcPO₂ 和 TcPCO₂ 监测不仅可在早期发现局部组织微循环灌注不足并准确评估其严重程度,从而早期诊断围手术期压力性损伤,指导更换术中术后体位,而且在判断给氧治疗是否充分,评估患者伤口愈合情况等方面亦具有重要意义。但目前 TcPO₂ 与 TcPCO₂ 监测压力性损伤的仪器运用较少,还需要进一步研究与推广^[42]。

参考文献

- [1] 刘英,高兴莲. 我国术中压疮的研究进展[J]. 中华现代护理杂志,2013,19(8):981-983.
- [2] ENGELS D, AUSTIN M, MCNICHOL L, et al. Pre-ssure ulcers: factors contributing to their development in the OR [J]. AORN J, 2016,103(3):271-281.
- [3] KARADAG M,GÜMÜSKAYA N. The incidence of pressure ulcers in surgical patients:a sample hospital in Turkey[J]. J Clin Nurs,2006,15(4):413-421.
- [4] SCHOONHOVEN L,DEFLOOR T,GRYPDONCK M H. Incidence of pressure ulcers due to surgery[J]. J Clin Nurs,2002,11(4):479-487.
- [5] 姚丽,丁楠楠,杨丽平,等. 不同减压装置预防手术压力性损伤的网状 Meta 分析[J]. 中国循证医学杂志,2018,18(10):1086-1092.
- [6] 郭月,余云红,赵体玉. 手术室患者压疮临床特点的回顾性分析[J]. 护理学杂志,2014,29(24):36-39.
- [7] PADULA W V,PRONOVOST P J,MAKIC M B F,et al. Value of hospital resources for effective pressure injury prevention: a cost-effectiveness analysis[J]. BMJ Qual Saf, 2019,28(2):132-141.
- [8] 冯胜男. 经皮氧分压监测及中心静脉-动脉 PCO₂ 差在感染性休克患者中的应用[D]. 济南:山东大学,2017.
- [9] 肖金潭. 经皮氧分压测定在感染性休克患者的临床应用[D]. 大连:大连医科大学,2018.
- [10] 唐林林,贾小慧,刘成军. 经皮氧分压监测在微循环障碍/组织缺氧中的意义[J]. 儿科药学杂志,2016,22(8):51-54.
- [11] XUE M, WANG D, ZHANG Z, et al. Demonstrating the potential of using transcutaneous oxygen and carbon dioxide tensions to assess the risk of pressure injuries[J]. Int J Biol Sci, 2018,14(11):1466-1471.
- [12] YIP W L. Evaluation of the clinimetrics of transcutaneous oxygen measurement and its application in wound care[J]. Int Wound J, 2015,12(6):625-629.
- [13] KIM J H, WANG X F, HO C H, et al. Physiological measurements of tissue health; implications for clinical practice[J]. Int Wound J, 2012,9(6):656-664.
- [14] RESTREPO R D, HIRST K R, WITTNEBEL L, et al. AARC clinical practice guideline: transcutaneous monitoring of carbon dioxide and oxygen; 2012 [J]. Respir Care, 2012,57(11):1955-1962.
- [15] CHATTERJEE M, GE X D, KOSTOV Y, et al. A novel approach toward noninvasive monitoring of transcutaneous CO₂ [J]. Med Eng Phys, 2014,36(1):136-139.
- [16] HEALEY F. Risk assessment tools in the prevention of pressure ulcers[J]. J Tissue Viability, 2000,10(1):34-35.
- [17] FEUCHTINGER J, HALFENS R, DASSEN T. Pressure ulcer risk assessment immediately after cardiac surgery: does it make a difference? A comparison of three pressure ulcer risk assessment instruments within a cardiac surgery population[J]. Nurs Crit Care, 2007,12(1):42-49.
- [18] 许冰吟,李智,李冬雪,等. 成人术中压力性损伤评估量表预测效能的 Meta 分析[J]. 中华现代护理杂志,2023,29(12):1576-1582.
- [19] PARK S H, CHOI Y K, KANG C B. Predictive validity of the Braden Scale for pressure ulcer risk in hospitalized patients [J]. J Tissue Viability, 2015,24(3):102-113.
- [20] CHOU R, DANA T, BOUGATSOS C, et al. Pressure ulcer risk assessment and prevention: a systematic comparative effectiveness review [J]. Ann Intern Med, 2013,159(1):28-38.
- [21] ABIKAM N S, JAYABAL H, FILINGERI D, et al. Spatial and temporal changes in biophysi-

- cal skin parameters over a category I pressure ulcer[J]. *Int Wound J*, 2023, 20(8):3164-3176.
- [22] STANSBY G, AVITAL L, JONES K, et al. Prevention and management of pressure ulcers in primary and secondary care: summary of NICE guidance[J]. *BMJ*, 2014, 348: g2592.
- [23] SHI C, BONNETT L J, DUMVILLE J C, et al. Nonblanchable erythema for predicting pressure ulcer development: a systematic review with an individual participant data meta-analysis[J]. *Br J Dermatol*, 2020, 182(2):278-286.
- [24] AYELLO E A, CAPITULO K L, FIFE C E, et al. Legal issues in the care of pressure ulcer patients: key concepts for health care providers: a consensus paper from the international expert wound care advisory panel[J]. *J Palliat Med*, 2009, 12(11):995-1008.
- [25] HAAVISTO E, STOLT M, PUUKKA P, et al. Consistent practices in pressure ulcer prevention based on international care guidelines: a cross-sectional study[J]. *Int Wound J*, 2022, 19(5):1141-1157.
- [26] XUE M, WANG D, ZHANG Z, et al. Demonstrating the potential of using transcutaneous oxygen and carbon dioxide tensions to assess the risk of pressure injuries[J]. *Int J Biol Sci*, 2018, 14(11):1466-1471.
- [27] KNIGHT S L, TAYLOR R P, POLLIACK A A, et al. Establishing predictive indicators for the status of loaded soft tissues[J]. *J Appl Physiol* (1985), 2001, 90(6):2231-2237.
- [28] KÄFER W, KINKEL S, FRAITZL C R, et al. Reliability of transcutaneous measurement of oxygen tension on the lower leg[J]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 2005, 143(1):112-116.
- [29] BERLI M C, WANIVENHAUS F, KABELITZ M, et al. Predictors for reoperation after lower limb amputation in patients with peripheral arterial disease[J]. *Vasa*, 2019, 48(5):419-424.
- [30] WOO Y, SUH Y J, LEE H, et al. TcPO₂ value can predict wound healing time in clinical practice of CLTI patients[J]. *Ann Vasc Surg*, 2023, 91:249-256.
- [31] SUN H Y, WU Y C, SUNG L C, et al. Use of consecutive transcutaneous oxygen measurement when assessing the need for revascularization and association with the outcomes of ischemic diabetic ulcers[J]. *Int Wound J*, 2024, 21(1):e14635.
- [32] MCPHAIL L R, COOPER L T, HODGE D O, et al. Transcutaneous partial pressure of oxygen after surgical wounds[J]. *Vasc Med*, 2004, 9(2):125-127.
- [33] THY S A, JOHANSEN A O, THY A, et al. Associations between clinical interventions and transcutaneous blood gas values in postoperative patients[J]. *J Clin Monit Comput*, 2023, 37(5):1255-1264.
- [34] 王志成, 苏琼, 李智. 基于 TcPO₂ 和 TcPCO₂ 比较不同支撑面压力性损伤的效果研究[J]. *重庆医学*, 2022, 51(6):987-990.
- [35] SONG Z, GUO X, ZHANG X. Effects of topical oxygen therapy on chronic traumatic wounds and its impact on granulation tissue[J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(6):7294-7299.
- [36] NISHIO H, MINAKATA K, KAWAGUCHI A, et al. Transcutaneous oxygen pressure as a surrogate index of lower limb amputation[J]. *Int Angiol*, 2016, 35(6):565-572.
- [37] LO T, SAMPLE R, MOORE P, et al. Prediction of wound healing outcome using skin perfusion pressure and transcutaneous oximetry: a single-center experience in 100 patients[J]. *Wounds*, 2009, 21(11):310-316.
- [38] RUANGSETAKIT C, CHINSAKCHAI K, MAHAWONGKAJIT P, et al. Transcutaneous oxygen tension: a useful predictor of ulcer healing in critical limb ischaemia[J]. *J Wound Care*, 2010, 19(5):202-206.
- [39] YANG C, WENG H, CHEN L H, et al. Transcutaneous oxygen pressure measurement in diabetic foot ulcers mean values and cut-point for wound healing [J]. *J Wound Ostomy Continence Nurs*, 2013, 40(6):585-589.
- [40] HINCHLIFFE R J, BROWNRIGG J R, APELQVIST J, et al. IWGDF guidance on the diagnosis, prognosis and management of peripheral artery disease in patients with foot ulcers in diabetes[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2016, 32(Suppl. 1):37-44.
- [41] 杨龙飞, 宋冰, 倪翠萍, 等. 2019 版《压力性损伤的预防和治疗: 临床实践指南》更新解读[J]. *中国护理管理*, 2020, 20(12):1849-1854.
- [42] 赵春霞, 江荷, 李丹娜, 等. 早期深部组织压力性损伤测量仪器的应用进展[J]. *护理学报*, 2022, 29(20):22-25.