

- patients with septic shock presenting with low HDL: the effect upon acute kidney injury, death and estimated glomerular filtration rate[J]. J Intern Med, 2017, 281(5): 518-529. DOI: 10.1111/joim.12601.
- [40] Hamilton F, Pedersen KM, Ghazal P, et al. Low levels of small HDL particles predict but do not influence risk of sepsis[J]. Crit Care, 2023, 27(1): 389. DOI: 10.1186/s13054-023-04589-1.
- [41] 谭睿, 杨鹏磊, 王晶, 等. 载脂蛋白 A-I 联合血清淀粉样蛋白 A 判断脓毒症及脓毒症休克患者的病情及预后价值 [J]. 中华急诊医学杂志, 2024, 33(5): 643-650. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.05.009.
- [42] Li ZH, Luo ZT, Shi XQ, et al. The levels of oxidized phospholipids in high-density lipoprotein during the course of sepsis and their prognostic value[J]. Front Immunol, 2022, 13: 893929. DOI: 10.3389/fimmu.2022.893929.
- [43] Zhang YY, Xu S, Xu JX, et al. Prognostic value of plasma 7-ketocholesterol in sepsis[J]. Clin Chim Acta, 2023, 548: 117467. DOI: 10.1016/j.cca.2023.117467.
- [44] Huo L, Liu CF, Yuan YJ, et al. Pharmacological inhibition of ferroptosis as a therapeutic target for sepsis-associated organ damage[J]. Eur J Med Chem, 2023, 257: 115438. DOI: 10.1016/j.ejmech.2023.115438.
- [45] Aisa-Alvarez A, Soto ME, Guarner-Lans V, et al. Usefulness of antioxidants as adjuvant therapy for septic shock: a randomized clinical trial[J]. Medicina (Kaunas), 2020, 56(11): 619. DOI: 10.3390/medicina56110619.
- [46] Trinder M, Wang YN, Madsen CM, et al. Inhibition of cholesteryl ester transfer protein preserves high-density lipoprotein cholesterol and improves survival in sepsis[J]. Circulation, 2021, 143(9): 921-934. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.048568.

(收稿日期: 2024-12-11)

(本文编辑: 何小军)

重症患者血糖监测技术准确度的研究进展

赵丽爽¹ 刘励军¹ 朱建军¹ 詹静晔¹ 田晓艳¹ 谭丽萍² 陆娟¹

¹ 苏州大学附属第二医院急重症医学科, 苏州 215004; ² 苏州大学附属第二医院护理部, 苏州 215004

通信作者: 陆娟, Email: lujuan1222@126.com

基金项目: 江苏省科技计划专项(重点研发计划社会发展)项目(BE2023706); 苏州市体育局体育科研局管课题立项项目(TY2024-205); 苏州市护理学会姑苏护理人才“青苗”计划立项项目(SHQM202510)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2025.04.0203

严重感染、创伤或重大手术常使患者出现多个器官功能的障碍, 也使其出现严重的内环境紊乱, 包括应激性高血糖(stress hyperglycemia, SHG), 即便是既往无糖尿病的患者也会出现不同程度的血糖紊乱。此类重症患者血糖代谢的紊乱, 不仅是其原发疾病严重程度的反映, 在一定程度上也会造成其原发疾病的救治困难, 甚至延长患者住院时间和增加死亡风险^[1]。故此, 该类患者不仅具有动态监测血糖的需求, 而且对其血糖监测的可靠性与准确度提出了更高的要求^[2]。已有研究表明, 重症患者采取不同部位的血糖检测、不同检测仪器, 以及不同检测技术^[3-5], 其检测的结果均存在不同程度的差异。目前针对重症患者血糖监测的综述主要是论述影响某一种血糖监测结果的因素, 而有关不同部位血糖监测技术差异性的综述较少。本文在简要介绍不同血糖监测技术的基本原理及影响因素的基础上, 重点介绍重症患者不同血糖监测技术的准确度, 以及影响重症患者血糖监测准确性的主要因素, 以期对重症患

者选择合理的血糖监测部位和方法提供参考。

1 基本原理及其潜在的影响因素

血糖监测技术主要是通过酶反应检测血液中的葡萄糖, 目前临床上针对重症患者常用的血糖检测方法较多, 根据检测部位不同可分为静脉血糖监测(静脉血浆中心实验室血糖测定)、动脉血糖监测(动脉血气分析法、动脉置管端采血血糖监测法)、毛细血管血糖监测(指尖毛细血管快速血糖仪测定、耳垂末梢血糖测定法等)、组织间液监测法(持续葡萄糖监测(continuous glucose monitoring, CGM))以及其他血糖监测方法。

1.1 静脉血糖监测技术

临床中心实验室广泛使用全自动生化分析仪测定静脉血液葡萄糖, 在临床中心实验室全自动生化分析仪中, 血清葡萄糖测定的一级参考测量程序(最高级计量特性的参考测量程序)是同位素稀释质谱法(isotope dilution mass

spectrometry, IDMS), 包括气相色谱-同位素稀释质谱法(GC-IDMS 法)和液相色谱-同位素稀释质谱法(LC-IDMS 法), 二级参考测量程序(经权威校准机构认可的参考测量程序)是己糖激酶法(HK 法), 该方法属于化学比色法之一, 也是目前临床中心实验室最常用的血糖测定方法。

GC-IDMS 法采用 $[13C6]$ 葡萄糖为内标, 通过标准溶液-血清混合体系经蛋白沉淀后, 实施两步衍生化(盐酸羟胺吡啶溶液-乙酸酐反应体系), 结合气相色谱质谱联用技术测定峰面积比, 并采用括弧法(基于测试样本的极端时间点全指标完全设计法)计算血清葡萄糖含量。该方法特异度及灵敏度优异, 抗还原性物质干扰能力强, 但前处理复杂。LC-IDMS 法在除蛋白后可直接过滤上清液进行检测^[6], 操作流程简化但准确度证据尚不充分。现有研究表明 GC-IDMS 法稳定性优于 LC-IDMS 法, 仍需进一步验证。HK 法则基于己糖激酶(HK)催化葡萄糖生成 6-磷酸葡萄糖, 随后经脱氢酶作用生成烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADPH), 其生成速率与葡萄糖浓度成正比, 通过动态法检测 340 nm 吸光度变化。该技术稳定性突出, 可有效消除过氧化物、浊度及色素干扰, 但受限于试剂成本及稳定性, 临床普及受限。国家卫生健康委员会推荐 HK 法作为急诊检验优选方法。HK 法也常作为重症患者血糖监测结果的金标准, 不仅具有较高的特异度, 而且轻度溶血、脂血、黄疸、维生素 C 及常用抗凝剂等均不干扰测定, 具有较高的可靠性^[6-7]。

1.2 动脉血糖监测技术

动脉血糖监测技术包括血气分析与置管采血法, 核心技术采用电极法检测, 即葡萄糖氧电极/脱氢酶电极法基于酶催化反应生成电流信号, 其中氧电极法通过监测氧消耗量与极限扩散电流(I_{max})的正相关性实现定量^[6, 8]。该方法具有微量采血、快速检测优势, 但运行成本较高, 特别适用于急诊科危重患者的床旁即时检测。研究表明, 影响电极法血糖测量的常见因素包括动脉采血部位、异常 pH 值与红细胞压积^[9]、血浆水分的含量^[10]、氧分压和氧化/还原物质, 以及抗氧化剂如抗坏血酸药物等^[11]均会干扰测量血糖所需的电化学反应。

1.3 毛细血管血糖监测技术

重症患者毛细血管血糖监测方法检测原理主要是葡萄糖脱氢酶法(GDH 法)或葡萄糖氧化酶法(GOD-POD 法)两种方法, 这两种方法均属于化学比色法。GDH 法是利用葡萄糖脱氢酶的催化作用, 使葡萄糖发生脱氢氧化反应, 生成葡萄糖酸内酯。在反应的过程中生成的 NADPH 的含量与葡萄糖的浓度成正相关。由于该过程只有一种酶参与化学反应, 因此一般浓度的抗凝剂、防腐剂、尿酸、胆红素等对 GDH 法血糖测定不产生干扰, 结果较稳定。GOD-

POD 法利用葡萄糖在葡萄糖氧化酶(GOD)的作用, 生成葡萄糖酸和过氧化氢, 生成的过氧化氢、酚与 4-氨基安替比林经过氧化物酶(POD)氧化, 生成水、氧和红色醌类化合物; 生成物颜色的深浅在一定范围内与葡萄糖的含量成正相关, 与标准管比对即可得到标本中葡萄糖的含量。

研究表明, 影响患者毛细血管血糖监测结果的因素包含采血部位的选择、采血部位的轮换、采血深度和指尖采血工具。重症患者第一滴与第二滴指尖血的血糖结果差异无统计学意义; 但是, 若患者指端皮肤水肿程度在 II 度以上, 则需取指尖第 2 滴血样^[12], 以保证血糖监测结果的准确性。

1.4 持续葡萄糖监测技术

目前临床常用的 CGM 技术^[13]是通过传感器监测皮下组织间液中的葡萄糖浓度而间接反映血糖水平的监测方法, 它以监测图谱的形式提供连续的全天候血糖信息, 可实时显示葡萄糖数值, 提供高低葡萄糖报警及葡萄糖趋势变化方向等信息。CGM 技术主要分为回顾式 CGM (iCGM)、实时 CGM (real time CGM, rtCGM) 以及扫描 CGM (flash glucose monitoring, FGM) 三大类^[14], 工作时通过皮下植入葡萄糖氧化酶传感器, 将组织液葡萄糖浓度经电化学反应生成电信号, 经算法转换后实时生成动态监测图谱。

微针技术因微创优势成为 CGM 技术的关键方法。针对传统多孔微针黏附性/亲水性不足的缺陷, Liu 等^[15]开发多孔聚乙二醇(PEG)和聚多巴胺(PDA)涂层微针, 基于 PEG 的抗黏附与亲水特性, 显著改善流体提取效率及生物相容性, 其检测值与静脉血生化仪测定值无明显差异。虽研究证实 CGM 在 ICU 监测相对准确^[16], 但成本效益仍需验证。CGM 技术目前尚未在各国 ICU 中推广使用, 也未获得美国食品和药物管理局(FDA)在 ICU 中使用的批准, 我国食品药品监督管理总局于 2018 年组织制定并发布了《持续葡萄糖监测系统注册技术审查指导原则》, 以进一步推广该技术的使用。

1.5 无创血糖监测技术

如何不采集血液标本就能获取人体血糖水平, 是血糖监测发展的方向之一。目前无创血糖监测方法主要包括体液、呼出气, 以及多模态信号融合方法等。

体表渗出液葡萄糖检测主要采用电化学法与光学法。电化学法基于皮下组织液与血糖的强相关性, 通过反向离子分析原理: 低电流驱动 Cl^-/Na^+ 跨皮肤迁移时携带葡萄糖分子, 结合生化检测实现无创血糖监测。光学法则利用拉曼/近红外光谱特征进行定量分析。近年来发展的可穿戴传感器^[17]整合滤纸、纳米薄膜等技术, 可连续监测汗液/唾液等体液葡萄糖, 其非侵入性优势显著, 但临床准确性仍需大规模验证。

呼出气监测血糖, 基于血糖代谢与挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOC) 的关联性, 通过检测丙酮、乙醇等标志物推算血糖水平。虽在 ICU 有效性获证实^[18], 但受成本及精度限制尚未普及。多模态法则融合心电图 (ECG) 与光电容积脉搏波 (PPG) 信号, 运用小波重构构建时空特征融合矩阵, 通过多算法协同提升预测精度^[19]。相较于单一信号监测, 该技术显著改善准确性, 但其临床转化仍需大规模验证。两类技术均展现非侵入监测潜力, 但现阶段仍存在方法学优化与临床适配需求。

2 重症患者不同血糖监测技术的准确度

目前以肘正中静脉采血中心实验室检测的血糖值为重症患者血糖监测的金标准^[7]。准确度是指血糖仪的测量结果与实验室血糖检测结果之间的一致程度, 目前指南对各种血糖监测技术精确度的要求是当血糖浓度 < 5.5 mmol/L 时, 至少 95% 的检测结果显示在 ± 0.83 mmol/L 的范围内; 当血糖浓度 ≥ 5.5 mmol/L 时, 至少 95% 的检测结果显示在 $\pm 15\%$ 的范围内^[20]。

2.1 重症患者动脉血糖监测技术的准确度

相比与金标准, 动脉血糖监测方法的准确度可能较其他血糖监测方法高, 但该结果受患者血糖控制水平的影响, 且不同检测仪器可能也会影响其准确性。研究表明, 当 ICU 患者的血糖 ≥ 4.4 mmol/L 时, 末梢血糖、动脉血糖与静脉血糖一致性高^[21], 均可用来指导血糖控制; 但当患者血糖 < 4.4 mmol/L 时, 末梢血糖结果不能准确反映患者的血糖水平, 建议采用动脉血^[22]。Arias-Rivera 等^[21]的荟萃分析结果显示, 在危重症患者中使用快速血糖仪测定动脉血的血糖水平与中心实验室动脉血糖水平的偏差范围在 $0.006\sim 1.033$ mmol/L, 使用动脉血气分析仪测量时的偏差范围在 $0.200\sim 0.594$ mmol/L 之间, 即差异水平在 $0.5\%\sim 8\%$ 之间。一项包括 21 项研究的荟萃分析结果显示^[23], 与金标准相比, 动脉血气分析仪 [$OR=0.04, P < 0.001$] 和动脉快速血糖仪 [$OR=0.36, P < 0.001$] 测定的血糖数值明显比毛细血管血糖监测数值准确。由于包括的研究其使用的设备差异大, 加之患者血流动力学不稳定等, 使得该研究结论存在一定的局限性。

2.2 重症患者毛细血管血糖监测技术的准确度

毛细血管血糖监测技术按照监测部位不同可分为指尖快速血糖仪测定、耳垂末梢快速血糖仪测定、足趾快速血糖仪测定等方法, 按照监测地点与监测人群不同一般采用在医疗机构的即时检测 (point-of-care testing, POCT) 血糖仪技术, 患者出院后采用自我血糖监测 (self-monitoring of blood glucose, SMBG) 技术。POCT 技术因不受地点、时间限制,

操作方便, 在医疗机构广泛应用, 其中便携式血糖仪是最具代表性的检测项目之一。床旁血糖仪检测毛细血管血液样本因其便捷在 ICU 中应用广泛, 但此类监测方法在危重症患者的准确性有待进一步探讨。研究表明^[6], 清晨空腹时测定的毛细血管血糖比静脉血糖高 12% 左右, 平均血糖偏差范围在 $-0.548\sim 0.689$ mmol/L 之间, 在病情危重或接受儿茶酚胺类药物的患者中, 偏差范围会进一步增大到 $-1.939\sim 0.744$ mmol/L 之间。与指尖和足趾等处毛细血管采血的血糖测定相比, 耳垂部位的血糖准确性可能更高^[24]。大多数学者认为, 与金标准血糖值相比, ICU 患者采用快速血糖仪测定的毛细血管血液样本的血糖值可能会出现较大误差。

尽管在非重症住院患者中毛细血管血糖检测结果准确性良好, 但对于危重症患者, 其数值易受休克、胰岛素持续输注^[25]、昏迷等其他因素影响。这可能与患者病情影响微循环导致血流灌注不足, 继而使指端皮肤状态改变有关。此外, 当静脉血生化测得血糖值 < 4.4 mmol/L 时, 末梢血糖检测结果的误差率较高, 此时建议参考动脉血气中的血糖值。

2.3 重症患者其他血糖监测技术的准确度

在普通门诊等医院环境中使用 CGM 技术的准确性已得到广泛认可^[26], 该监测技术在重症患者中的应用也逐渐增加, 但其准确度和可靠性在不同国家和地区存在明显差异。美国最新的一项研究显示, 与被广泛应用的雅培 (Freestyle) CGM-1 代系统相比, CGM-2 代系统的平均绝对相对差值 (mean absolute relative difference, MARD) 为 15.3% (即所有 FGM 值与对应静脉血糖值之间的绝对误差的平均值, 用于评估 FGM 数据准确度, 研究显示 MARD $< 15\%$ 被认为 FGM 系统传感器精度准确) 为 17.7%, 雅培 CGM-1 代系统的 MARD 为 21.4%, 准确度略低于门诊环境, 但在住院环境中表现出可接受的安全性^[27]。值得注意的是, 该项数据的人群为非 ICU 患者, 此项研究尚未在美国 ICU 中开展, 准确度有待进一步探讨。一项纳入 19 个 RCT 研究共计 1 852 名重症患者, 在胰岛素治疗期间皮下持续葡萄糖监测的荟萃分析结果显示^[27], 与床旁快速血糖仪监测方法相比, 持续葡萄糖监测可降低重症患者的低血糖发生率 (风险比 $RR=0.35$)、总体病死率 (风险比 $RR=0.54$), 以及血糖变异性 (glucose variability, GV)。来自我国上海地区的一项回顾性 CGM (iCGM) 应用性研究显示, 在 ICU 患者中应用这项监测方法的准确性不高, 提出使用 iCGM 是否改善重症患者血糖管理水平和预后, 仍需进一步研究^[28]。在日本重症患者中应用扫描 CGM (FGM) 的研究结果表明, 与动脉血气分析检测的血糖结果相比, FGM 测量的血糖值持续偏低, MARD 为 13.8%, 其准确性在 14 d 内逐渐趋于稳定^[29]。

总之, 出现上述研究结果差异的原因, 可能与使用仪器设备不同, 以及患者病情状态不同等因素有关。尽管学者们对 CGM 系统技术的研究结果存在争议, 但学者们肯定的是 CGM 技术的应用价值值得进一步研究^[30]。

3 影响重症患者血糖监测结果的因素

除了上述血糖检测技术对于重症患者的血糖测定值产生影响外, 重症患者自身情况也会影响血糖值的测定。

3.1 人口学特征

年龄和性别可能是影响毛细血管血糖监测结果准确度的因素之一, 但多项研究显示, 年龄和性别并不是影响 CGM 系统血糖监测技术的主要因素^[31]。尽管不同年龄重症冠心病患者应激性血糖水平会随着年龄的增长而增加, 但贺盼盼等^[32]研究结果显示, 不同年龄不是影响指尖血糖准确度的因素。既往 FGM 血糖监测结果也显示, 与静脉血糖监测结果相比, FGM 准确组与不准确组两组患者年龄之间的血糖差异不具有统计学意义^[31]。年龄是否是影响血糖监测准确度的主要因素仍需进一步研究。

3.2 自身疾病严重程度

危重症患者的血糖与病情严重程度的关系密切, 重症患者病情严重程度影响入室即时血糖检测的准确性, 即 APACHE II 评分越高, 即时血糖检测的准确度及一致性可能越低, 误差发生风险显著增加^[33]。此外, 休克、血液透析、脓毒症等^[34]患者的病情程度均可能影响血糖监测的准确性。国内一项针对急诊脓毒症患者脓毒症相关性脑病 (SAE) 患者的研究^[35]显示, 高血糖变异系数 (Glucv, 一项动态血糖监测指标, 能避免住院期间高血糖和低血糖变化幅度的影响, 更加准确体现血糖变化^[36]) 患者病情会越危重, SAE 风险也随之增加。积极预防 SAE 的发生是降低脓毒症院内病死率和改善远期预后的关键, 由于 Glucv 可预测脓毒症患者入院 24 h 内 SAE 高风险人群, 且联合其他指标能提高整体风险预测的净收益率, 因此有效的血糖变异系数 (Glucv) 监测技术至关重要。这提示当即时血糖检测受机体内外因素影响准确度时可换算使用 GLUcv 保证血糖监测稳定性, 以进一步准确评估脓毒症患者血糖紊乱程度。一项轻症住院患者的 FGM 血糖监测^[37]显示, 其住院期间的总体 MARD 值为 8.89%, 准确度良好, 这与重症患者的监测结果的 18.0% 存在结果争议^[28], 提示病情严重程度可作为血糖监测准确度的影响因素之一, 但具体程度与风险因素仍有待深入探讨分析。

3.3 药物

危重症患者使用药物的种类、途径可能会影响血糖监测结果的准确性。研究显示, 使用血管活性药物的休克患者,

其动脉血糖和毛细血管血糖水平的相关性也会受到影响, 不一致的比例在 1.4%~27.1% 之间^[25]; 这与我们对脓毒症患者指尖血糖与动脉血糖的差异性影响因素的研究结果一致, 即休克或使用血管活性药物均是影响血糖准确性的因素^[12,32]。血管活性药物可能会导致血管收缩, 影响末梢循环, 继而影响指尖毛细血管血糖监测的结果。潘露等的研究结果显示, 静脉输注神经外科 ICU 普通治疗药物 (包括头孢哌酮舒巴坦钠、哌拉西林钠、美罗培南等抗生素, 以及门冬氨酸钾、奥拉西坦、依达拉奉等) 对同侧肢体毛细血管血糖测定值差异无统计学影响^[38]。另外, 其他药物的使用, 如维生素 C 等也会影响重症患者血糖监测结果。

3.4 营养支持方式

营养制剂和营养支持方式也是影响重症患者血糖监测结果的主要因素。研究^[39]显示, 肠内营养支持的重症患者, 当血糖水平低于 4.4 mmol/L 时, 指尖毛细血管快速血糖检测结果不能准确反映患者的血糖水平, 与动脉血气分析的血糖值有明显差异; 而在肠外营养支持下, 这两种监测方法血糖结果的差异无统计学意义。

3.5 红细胞比容 (Hematokrit, HCT)

红细胞比容又称红细胞压积, 是影响血糖监测准确性的因素之一。相关指南^[40]提出, HCT 在 35%~55% 区间内时, 便携式血糖仪可正常使用。当超出这个范围时, 需注意检测数据的准确性。HCT 偏高可导致检测结果偏低, HCT 偏低可导致检测结果偏高。此外, 在脓毒症患者中的研究也表明, HCT 增加会使血糖测量值偏低, 反之, HCT 降低会使血糖测量值偏高^[32]。

3.6 血糖管理方案

针对重症患者不同的血管管理控制方案可能会影响血糖测定方法, 进而影响血糖监测准确性。一项来自英国剑桥的研究^[41]评估三种已建立的血糖管理方案, 即耶鲁血糖控制计划方案、华盛顿大学血糖控制计划方案和 NICE-SUGAR 血糖控制计划方案, 以计算机模拟的方式直接比较了连续血糖监测和间歇血糖测量的效果; 结果显示, 方案选择对血糖控制措施的影响大于不同 CGM 监测血糖方法。出现上述结果的原因可能与不同方案设置的目标血糖范围不同、血糖报警阈值不同有关, NICE-SUGAR 方案更强调患者避免低血糖, 但高血糖控制不严格; 而华盛顿方案则与之相反; 耶鲁方案最为平衡, 会使患者 50% 时间处于严格的目标血糖范围内, 低血糖风险相对较低。不同的血管管理控制方案会按照 ICU 患者的情况在不同的方案时间点和血糖出现报警阈值时自动生成胰岛素剂量给药, 给药剂量不同会直接影响患者的血糖水平进而影响测定结果。

4 小结与展望

对重症患者血糖监测技术准确度的研究系统梳理结果提示, 目前临床针对重症患者不同血糖监测方法仍以毛细血管血糖监测方法应用较为广泛, 但准确性仍需进一步研究确定。在技术前沿追踪、不同急诊重症疾病亚型差异分析及临床转化路径设计方面研究总结仍需拓展深化, 随着科学技术的发展, 血糖监测将逐步从人工测量方法向自动定量分析方法发展^[42]; 在重症患者中应用 CGM 同步监测, 可减少有创操作和护理工作量, 并降低血糖监测成本。另外, CGM 同步监测技术的成熟可能会激发开发新的、更有效和安全的血糖控制方案。临床需综合患者个体特征选择检测方法, 并结合实验室标准值进行校正。未来需通过跨学科合作、动态数据建模及真实世界验证, 推动技术精准化与个体化发展, 最终实现重症血糖管理的“精准监测 - 智能干预”闭环。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Wallia A, Umpierrez GE, Rushakoff RJ, et al. Consensus statement on inpatient use of continuous glucose monitoring[J]. *J Diabetes Sci Technol*, 2017, 11(5): 1036-1044. DOI: 10.1177/1932296817706151.
- [2] Chiu IM, Cheng CY, Chang PK, et al. Utilization of personalized machine-learning to screen for dysglycemia from ambulatory ECG, toward noninvasive blood glucose monitoring[J]. *Biosensors (Basel)*, 2022, 13(1): 23. DOI: 10.3390/bios13010023.
- [3] Yao Y, Zhao YH, Zheng WH, et al. Subcutaneous continuous glucose monitoring in critically ill patients during insulin therapy: a Meta-analysis[J]. *Am J Transl Res*, 2022, 14(7): 4757-4767.
- [4] Gunst J, De Bruyn A, Van den Berghe G. Glucose control in the ICU[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2019, 32(2): 156-162. DOI: 10.1097/aco.0000000000000706.
- [5] 高鑫禹, 徐泽楷, 陈力群. 微创及无创血糖检测方法研究现状[J]. *生物医学工程学杂志*, 2023, 40(2): 365-372.
- [6] Tran NK, LaValley C, Bagley B, et al. Point of care blood glucose devices in the hospital setting[J]. *Crit Rev Clin Lab Sci*, 2023, 60(4): 290-299. DOI: 10.1080/10408363.2023.2170316.
- [7] Juneja D, Deepak D, Nasa P. What, why and how to monitor blood glucose in critically ill patients[J]. *World J Diabetes*, 2023, 14(5): 528-538. DOI: 10.4239/wjd.v14.i5.528.
- [8] Lee H, Lee YS, Reginald SS, et al. Biosensing and electrochemical properties of flavin adenine dinucleotide (FAD)-Dependent glucose dehydrogenase (GDH) fused to a gold binding peptide[J]. *Biosens Bioelectron*, 2020, 165: 112427. DOI: 10.1016/j.bios.2020.112427.
- [9] Tang Z, Louie RF, Lee JH, et al. Oxygen effects on glucose meter measurements with glucose dehydrogenase- and oxidase-based test strips for point-of-care testing[J]. *Crit Care Med*, 2001, 29(5): 1062-1070. DOI: 10.1097/00003246-200105000-00038.
- [10] Lyon ME, Lyon AW. Patient acuity exacerbates discrepancy between whole blood and plasma methods through error in molality to molarity conversion: "Mind the gap!" [J]. *Clin Biochem*, 2011, 44(5/6): 412-417. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2011.01.005.
- [11] Tang Z, Du X, Louie RF, et al. Effects of drugs on glucose measurements with handheld glucose meters and a portable glucose analyzer[J]. *Am J Clin Pathol*, 2000, 113(1): 75-86. DOI: 10.1309/QAW1-X5XW-BVRQ-5LKQ.
- [12] 陈晓宇, 黄洁微, 李艳萍, 等. 危重症患者指尖血糖监测结果的影响因素及对策研究进展[J]. *护理学报*, 2020, 27(15): 25-28. DOI: 10.16460/j.issn1008-9969.2020.15.025.
- [13] 王倩, 陈琳, 谢克亮. 血糖监测技术及管理指标的临床应用进展[J]. *实用检验医师杂志*, 2022, 14(3): 332-336. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2022.03.027.
- [14] Danne T, Nimri R, Battelino T, et al. International consensus on use of continuous glucose monitoring[J]. *Diabetes Care*, 2017, 40(12): 1631-1640. DOI: 10.2337/dc17-1600.
- [15] Liu P, Du HY, Wu ZL, et al. Hydrophilic and anti-adhesive modification of porous polymer microneedles for rapid dermal interstitial fluid extraction[J]. *J Mater Chem B*, 2021, 9(27): 5476-5483. DOI: 10.1039/d1tb00873k.
- [16] Kosiborod M, Gottlieb RK, Sekella JA, et al. Performance of the Medtronic Sentrino continuous glucose management (CGM) system in the cardiac intensive care unit[J]. *BMJ Open Diabetes Res Care*, 2014, 2(1): e000037. DOI: 10.1136/bmjdr-2014-000037.
- [17] Arakawa T, Kuroki Y, Nitta H, et al. Mouthguard biosensor with telemetry system for monitoring of saliva glucose: a novel Cavitas sensor[J]. *Biosens Bioelectron*, 2016, 84: 106-111. DOI: 10.1016/j.bios.2015.12.014.
- [18] Saasa V, Malwela T, Beukes M, et al. Sensing technologies for detection of acetone in human breath for diabetes diagnosis and monitoring[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2018, 8(1): 12. DOI: 10.3390/diagnostics8010012.
- [19] Li JZ, Ma JJ, Omisore OM, et al. Noninvasive blood glucose monitoring using spatiotemporal ECG and PPG feature fusion and weight-based choquet integral multimodel approach[J]. *IEEE Trans*

- Neural Netw Learn Syst, 2024, 35(10): 14491-14505. DOI: 10.1109/TNNLS.2023.3279383.
- [20] 莫一菲, 包玉倩. 《中国血糖监测临床应用指南(2021年版)》解读[J]. 中华糖尿病杂志, 2021, 13(10): 926-929. DOI: 10.3760/cma.j.cn115791-20210902-00483.
- [21] Arias-Rivera S, Raurell-Torredà M, Fernández-Castillo RJ, et al. Blood glucose monitoring in critically ill adult patients: type of sample and method of analysis. Systematic review and Meta-analysis[J]. Enferm Intensiva (Engl Ed), 2024, 35(1): 45-72. DOI: 10.1016/j.enfie.2023.02.002.
- [22] 鲍珍, 李润晓, 周体. ICU危重患者末梢血糖监测可靠性的研究[J]. 川北医学院学报, 2020, 35(1): 140-143. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3697.2020.01.037.
- [23] Inoue S, Egi M, Kotani J, et al. Accuracy of blood-glucose measurements using glucose meters and arterial blood gas analyzers in critically ill adult patients: systematic review[J]. Crit Care, 2013, 17(2): R48. DOI: 10.1186/cc12567.
- [24] Chan HYL, Lau TSL, Ho SY, et al. The accuracy and acceptability of performing capillary blood glucose measurements at the earlobe[J]. J Adv Nurs, 2016, 72(8): 1766-1773. DOI: 10.1111/jan.12944.
- [25] Karon BS, Donato LJ, Larsen CM, et al. Accuracy of capillary and arterial whole blood glucose measurements using a glucose meter in patients under general anesthesia in the operating room[J]. Anesthesiology, 2017, 127(3): 466-474. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001708.
- [26] Clubbs Coldron B, Coates V, Khamis A, et al. Use of continuous glucose monitoring in non-ICU hospital settings for people with diabetes: a scoping review of emerging benefits and issues[J]. J Diabetes Sci Technol, 2023, 17(2): 467-473. DOI: 10.1177/19322968211053652.
- [27] Wright JJ, Williams AJ, Friedman SB, et al. Accuracy of continuous glucose monitors for inpatient diabetes management[J]. J Diabetes Sci Technol, 2023, 17(5): 1252-1255. DOI: 10.1177/19322968221076562.
- [28] Huang WF, Li SW, Lu JY, et al. Accuracy of the intermittently scanned continuous glucose monitoring system in critically ill patients: a prospective, multicenter, observational study[J]. Endocrine, 2022, 78(3): 470-475. DOI: 10.1007/s12020-022-03216-3.
- [29] Naraba H, Goto T, Tokuda M, et al. Accuracy and stability of a subcutaneous flash glucose monitoring system in critically ill patients[J]. J Diabetes Sci Technol, 2022, 16(5): 1128-1135. DOI: 10.1177/19322968211017203.
- [30] Salinas PD, Mendez CE. Glucose management technologies for the critically ill[J]. J Diabetes Sci Technol, 2019, 13(4): 682-690. DOI: 10.1177/1932296818822838.
- [31] Bailey T, Bode BW, Christiansen MP, et al. The performance and usability of a factory-calibrated flash glucose monitoring system[J]. Diabetes Technol Ther, 2015, 17(11): 787-794. DOI: 10.1089/dia.2014.0378.
- [32] 贺盼盼. 脓毒症患者指尖血糖与动脉血糖差异性研究及相关影响因素分析[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2020.
- [33] Ha EY, Chung SM, Park IR, et al. Novel glycemic index based on continuous glucose monitoring to predict poor clinical outcomes in critically ill patients: a pilot study[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2022, 13: 869451. DOI: 10.3389/fendo.2022.869451.
- [34] Mambelli E, Cristino S, Mosconi G, et al. Flash glucose monitoring to assess glycemic control and variability in hemodialysis patients: the GIOTTO study[J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 617891. DOI: 10.3389/fmed.2021.617891.
- [35] 陈伟, 沈琦, 陈虞红. 血糖变异系数对急诊脓毒症患者脓毒症相关性脑病的预测价值[J]. 中国急救医学, 2024, 44(9): 815-821. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2024.09.016.
- [36] 夏云松, 刘旭, 毕红英, 等. 血糖相关指标与重症患者预后的相关性[J]. 贵州医科大学学报, 2021, 46(11): 1316-1320, 1332. DOI: 10.19367/j.cnki.2096-8388.2021.11.012.
- [37] Ge SH, Zhang H, Wang J, et al. Accuracy of a novel real-time continuous glucose monitoring system: a prospective self-controlled study in thirty hospitalized patients with type 2 diabetes[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2024, 15: 1374496. DOI: 10.3389/fendo.2024.1374496.
- [38] 潘露, 吴洪超, 尹臻, 等. 静脉输液对同侧肢体毛细血管血糖测量值的影响[J]. 护理学杂志, 2016, 31(11): 49-51. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2016.11.049.
- [39] 宋丹萍. 快速康复程序在改善胰十二指肠切除术早期血糖中的效果研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2022. DOI: 10.27648/d.cnki.gzxhu.2022.000537.
- [40] 国家卫生健康委员会. 便携式血糖仪临床操作和质量管理指南: WS/T 781—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [41] Wilinska ME, Hovorka R. Glucose control in the intensive care unit by use of continuous glucose monitoring: what level of measurement error is acceptable?[J]. Clin Chem, 2014, 60(12): 1500-1509. DOI: 10.1373/clinchem.2014.225326.
- [42] 顾琼, 朱湘筠, 曹伟中, 等. 危重症患者的个体化血糖控制进展[J]. 中华急诊医学杂志, 2023, 32(6): 833-836. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.06.024.

(收稿日期: 2024-11-01)

(本文编辑: 何小军)