

血糖监测技术及管理指标的临床应用进展

王倩 陈琳 谢克亮

作者单位: 300052 天津, 天津医科大学总医院医学检验科(王倩), 重症医学科(谢克亮)

300203 天津, 天津医科大学医学技术学院(陈琳)

通信作者: 谢克亮, Email: mzk2011@126.com

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2022.03.027

【摘要】 我国是全球糖尿病(DM)患者数最多的国家,且DM患者的血糖控制达标率偏低。血糖监测是DM管控的重要组成部分,目前血糖监测技术飞速发展,检测标本从尿液、静脉血、末梢血发展到组织间液、呼出气体等;监测手段从频繁地末梢取血到无创血糖监测;监测时点从传统的点时血糖发展到长达14 d的动态葡萄糖图谱(AGP)。床旁即时检验(POCT)应用于血糖管理逐步规范化、信息化,临床操作中应注意避免某些影响因素干扰检测结果;持续葡萄糖监测(CGM)因可提供葡萄糖连续瞬间波动及变化规律而成为血糖监测的新趋势,在DM及危重症患者治疗中发挥重要作用;目标范围内时间(TIR)和糖化血红蛋白(HbA1c)联合应用成为血糖监测和治疗效果评估的关键参考指标。该文就目前临床常用的几种血糖监测技术、血糖管理指标以及未来发展方向进行综述。

【关键词】 糖尿病; 床旁即时检验; 持续葡萄糖监测; 危重症; 目标范围内时间

基金项目: 天津市科技计划项目重点研发计划科技支撑重点项目(18YFZCSY00560)

Clinical application progress of blood glucose monitoring technology and management indicators

Wang Qian, Chen Lin, Xie Keliang. Department of Clinical Laboratory, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China (Wang Q); Medical Technology Institute, Tianjin Medical University, Tianjin 300203, China (Chen L); Department of Critical Care Medicine, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China (Xie KL)

Corresponding author: Xie Keliang, Email: mzk2011@126.com

【Abstract】 Though the number of diabetes mellitus (DM) patients in China is the largest in the world, the compliance rate of blood glucose control of the overall DM patients is relatively low. Nowadays, rapid developments in blood glucose detection technology have been observed. Testing specimens have extended from urine, venous blood and peripheral blood to interstitial fluids and exhaled gas. Testing methods have ranged from frequent peripheral blood sampling to noninvasive blood glucose monitoring. The time of monitoring has been improved from the traditional fixed-time sampling to the up-to-14-day ambulatory glucose profile (AGP). Certain influencing factors that may interfere with the clinical test results should be avoided to meet the recent standardization and informatization of the blood glucose point-of-care testing (POCT) system. Continuous glucose monitoring (CGM) is predicted to become an emerging trend benefited from features of continuous monitoring of blood glucose fluctuations and analyzing changes, and to play a crucial role in the treatment of DM and critical patients. The combination of time in range (TIR) and glycated hemoglobin A1c (HbA1c) is a key reference indicator for blood glucose monitoring and treatment assessment. This article summarizes several blood glucose monitoring technologies, blood glucose management indicators and future development directions.

【Key words】 Diabetes mellitus; Point-of-care testing; Continuous glucose monitoring; Critical illness; Time in range

Fund Program: Science and Technology Support Key Projects of Tianjin City (18YFZCSY00560)

糖尿病(diabetes mellitus, DM)是21世纪增长最快的全球性代谢疾病之一,我国DM患者数在过去十年间由9 000万名增加至1.4亿名,其中2型糖尿病患者超过90%,但是整体DM人群的血糖控制达标率尚不足50%^[1]。血糖代谢紊乱可增加包括感染在内的各种并发症的发生率,升高重症患者的

发病率和病死率,延长住院时间,导致预后不良^[2]。血糖监测是现代DM治疗“五驾马车”的重要组成部分,也是DM综合治疗的基石^[3]。精准即时的血糖检测有助于评估DM患者的糖代谢紊乱程度、血糖波动变化及降糖治疗效果等,为治疗方案的调整提供实验依据。本文就目前临床应用的血糖监测技

术、血糖管理指标及未来发展方向进行综述。

1 血糖监测技术

1.1 尿糖监测 尿糖测定是人类开展 DM 监测的序章。1849 年 Fehling 试剂被用于尿糖测定, 1908 年 Benidict 试剂的发明使尿糖测定在临床广泛开展, 这是 DM 监测技术发展的重要里程碑。同时, 科学家对试剂进行了改良, 创建了第一个得到广泛认可并应用于临床的血糖测定方法^[4]。

1.2 毛细血管血糖监测 毛细血管血糖测定是目前临床最常用的血糖监测方法之一。1969 年第一台袖珍血糖仪问世, 1979 年 Ames 公司推出第一台真正商业化的血糖仪 Dextrometer。经过不断的升级迭代, 床旁即时检验 (point-of-care testing, POCT) 血糖仪逐渐向便携式、无线化和智能化方向转变。互联网技术助力信息化血糖管理, DM 患者的个体化治疗及 POCT 质控体系正逐步走向规范化。

毛细血管血糖监测包括自我血糖监测 (self-monitoring of blood glucose, SMBG) 和在医疗机构内进行的 POCT 两种模式。SMBG 是 DM 综合管理和教育的重要组成部分, POCT 因便捷及易操作的特点在临床被广泛应用, 但早期操作中存在诸多不规范因素, 因此加强 POCT 的质控管理十分重要^[5]。依照《便携式血糖仪临床操作和质量管理规范中国专家共识》的要求, POCT 血糖仪要做好室内质控和室间质评; 建议每年与本医疗机构实验室生化仪检测结果进行一次比较。只有做好检验分析中每一步的质量管理, 才能确保 POCT 血糖仪用于院内血糖精细化管理工作的效率及效果。

需要注意的是, POCT 血糖仪多采集末梢血检测血糖, 且不同型号仪器的检验原理不同, 抗干扰能力也不同, 因此临床实际操作中影响检测结果的因素较多。POCT 主要分为葡萄糖氧化酶法、葡萄糖脱氢酶法及改良方法。葡萄糖氧化酶法对葡萄糖具有高度特异性, 但血中氧分压会影响检测结果, 氧分压增大则检测值偏低, 反之则偏高^[6]。基于改良型葡萄糖氧化酶法原理的血糖仪在一定程度上可规避这些缺点, 适用于高海拔地区。葡萄糖脱氢酶法不能很好地区分葡萄糖和其他糖类 (如麦芽糖、木糖), 可导致检测值出现假性偏高; 经突变改良的吡咯喹啉醌-葡萄糖脱氢酶法, 不受麦芽糖、木糖等糖类物质干扰, 但会受半乳糖的干扰。在 POCT 血糖仪的使用中应避免用碘伏消毒。因为碘、次氯酸等强氧化剂会干扰葡萄糖与醌蛋白葡萄糖脱氢酶发生反

应, 影响仪器检测结果。此外, POCT 血糖仪的系统准确性受血细胞比容水平的影响, 血细胞比容降低时血糖检测结果偏高, 反之亦然。具有血细胞比容校正功能的血糖仪在电极表面加盖血清分离膜, 可使这一差异降至最小程度。

1.3 持续葡萄糖监测 持续葡萄糖监测 (continuous glucose monitoring, CGM) 是指通过葡萄糖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技术。CGM 系统主要包括回顾式 CGM、实时 CGM (real time CGM, rtCGM) 和扫描 CGM (flash glucose monitoring, FGM) 三大类^[7]。CGM 技术为血糖监测领域带来重大革新, 血糖监测由点时结果转向趋势和曲线发展, 提供更全面和丰富的指标变化信息^[8], 真正实现血糖水平的实时反馈。CGM 测定的是机体组织间液中的葡萄糖浓度, 而 POCT 和静脉血糖检测的是全血及血浆葡萄糖浓度。葡萄糖积聚在组织间液内是 DM 患者血糖升高的基本发病机制, 组织间液中葡萄糖水平的变化与组织细胞代谢状态的关系比血液更密切, 监测更具临床意义^[9-10]。

回顾性 CGM 监测因结果不易受患者饮食、药物、运动、睡眠等主观因素干扰, 所以能更客观地反映患者血糖波动变化的规律, 缺点是需要佩戴期间每日输入 4 次指血血糖值进行校正。rtCGM 可以实时显示葡萄糖数值及葡萄糖变化方向或速率, 提供高、低血糖报警、便于及时调整血糖并联合指导应用胰岛素泵, 实现“人工胰岛”, 显著提高了治疗方案的时效性和治疗的安全性^[7, 10]。有研究显示, 在使用胰岛素治疗的 DM 患者中使用 rtCGM 可以显著降低患者 HbA1c 水平, 减少低于目标血糖范围时间 (time below range, TBR) 和高于目标血糖范围时间 (time above range, TAR), 从而减少并发症发生^[11]。FGM 的优势是采用工厂校准原理, 避免频繁采集末梢血给患者带来的痛苦, 提高治疗依从性; FGM 的传感器外膜技术及连线酶技术能预防潜在的干扰物发生酶促反应, 使信号更稳定, 保证了长时间佩戴的检测准确性, 且可提供长达 14 d 的动态葡萄糖图谱 (ambulatory glucose profile, AGP)^[8]。

CGM 系统在急危重症患者血糖监测中有重要的应用价值, 可及时反映应激性高血糖、无症状低血糖和血糖大幅度波动。急危重症常导致严重的应激反应, 应激性高血糖是重症脑血管病^[12]、颅脑外伤^[13]、严重脓毒性休克^[14]等危重症预后不良的重要信号, 单纯应激性高血糖的炎症扩散更为失控, 可

相继发生脂肪、蛋白质和电解质的代谢紊乱,导致危重患者病死率显著升高。危重症患者如果处于昏迷状态,低血糖症状不易被发现,患者的死亡风险显著升高。血糖水平剧烈波动可通过影响烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸、细胞因子等途径增加氧化应激,诱导神经元损伤、线粒体损伤和凝血功能异常,对器官功能和预后危害也较大^[15]。早期的血糖波动是危重患者入重症监护病房(intensive care unit, ICU) 28 d 死亡的独立危险因素,因此将血糖控制在目标范围内及降低血糖的波动范围对降低并发症的发生率和病死率,改善患者预后尤为重要^[16-17]。动态监测和积极控制血糖水平是 DM 治疗的关键因素之一^[18]。影响危重症患者血糖水平的因素较多,如疾病严重程度、胰岛素抵抗程度、营养方式等,可造成皮下注射胰岛素吸收不稳定,因此有效控制血糖比较困难;反映血糖波动的指标在计算时比较复杂,如血糖变动的标准差(glucose standard deviation, GluSD)、血糖变异系数(glucose coefficient of variation, GluCV)、血糖不稳定指数(glycemic lability index, GLI)、平均血糖波动幅度(mean amplitude of glycemic excursions, MAGE)等。临床研究显示,应用 rtCGM 系统模拟人工胰腺可安全有效地调控危重症患者的应激性高血糖^[19-20]; AGP 能把所有血糖波动指标提供给医护人员,指导其进行及时准确的临床决策,最终达到减少患者 ICU 不良预后、缩短 ICU 住院时间、提升患者生存质量的目的。值得注意的是,危重症患者普遍存在组织水肿、低体温、低血压、应用血管活性药物等因素,可能影响组织与血液间葡萄糖的扩散,因此测量组织间液中的葡萄糖水平很可能与真实血糖水平有出入,此时必须关注不同组织灌注水平的危重症患者组织间液葡萄糖与动脉血糖水平的差异^[14]。余洁等^[21]利用危重症患者的动脉导管装置巧妙地设计了从动脉采血的连续动脉血糖监测设备,获得准确、连续、动态的血糖水平变化,为临床决策提供准确依据。

新型冠状病毒肺炎(新冠肺炎)自 2019 年底开始在全球范围内大肆传播。中华医学会糖尿病学分会发布的“糖尿病患者合并新型冠状病毒肺炎的管理建议”中提出,住院治疗的新冠肺炎合并 DM 或高血糖患者入院后应首先检测血糖和(或)糖化血红蛋白(glycated hemoglobin A1c, HbA1c)以及尿酮体。DM 合并新冠肺炎患者在负压隔离病房住院期间,应用 POCT 血糖仪监测血糖时医护人员需多次出

入隔离病房,存在职业暴露的风险;而且频繁检测会加重患者的焦虑、恐慌情绪。2021 年美国食品药品监督管理局允许在隔离病房中使用 CGM 进行血糖监测^[22],以此减少职业暴露的风险,且有益于 DM 患者管理。张磊等^[23]在武汉雷神山医院隔离病房工作时建立了基于 FGM 和云平台联网系统的隔离病房血糖监测及管理新模式。该模式在院内实现多科室合作,从而显著提高治疗效果。由于实行远程监管有助于降低院内交叉感染的风险,应用 FGM 管理的新冠肺炎合并 DM 患者的临床不良结局发生率显著低于应用 POCT 管理的患者^[24]。CGM 技术在疫情救治中起到了积极作用。

1.4 呼气分析监测 血糖水平的波动伴随着糖代谢产物代谢组学的变化,从而改变人体内挥发性有机化合物的组成,而挥发性有机化合物可在呼气中被检测到。呼气成分检测基于质谱技术,被用来诊断代谢性疾病,如糖代谢、脂肪水解异常等。研究表明,呼气中的有机化合物与血糖水平存在显著的相关性。丙酮、一氧化碳、乙醇、乙苯、间/对二甲苯、甲醇、邻二甲苯、丙烷均与血糖水平有关。有几种潜在的效果调节剂被确定用于 ICU 患者。实验也证实了呼气分析用于监测 ICU 患者血糖水平的临床有效性^[25-26]。

1.5 无创血糖监测 近年无创血糖监测也受到研究者的持续关注^[27]。无创血糖监测就是在不对机体造成伤害的前提下,通过间接计算得到体内血糖水平,获得结果具有一定滞后性。无创检测血糖的方法很多,一般分为近红外光谱技术、拉曼光谱、经皮透析技术、通过测量视网膜血管和泪液葡萄糖含量的眼部测量技术、采用多种传感器间接计算的代谢热整合法等^[28]。开发和突破新型无痛无压无创血糖监测技术和精准闭环给药系统,可以避免采血造成的痛苦,直接造福数亿患者,是非常具有前景和实用价值的研究。未来随着可穿戴技术和透皮生物传感技术的飞速发展,无创血糖监测将在市场上变得更高效且更具竞争力^[29]。

2 血糖监测指标

2.1 HbA1c 1969 年, Samuel Rahbar 等首次在 DM 患者中发现 HbA1c 水平升高, 1976 年, Koenig 提出用 HbA1c 来监测 DM 患者的葡萄糖代谢控制程度。HbA1c 监测可忽略采血、患者进食情况以及服用药物的影响,是一种稳态的生物标志物^[30]。《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》将 HbA1c 首次正式

纳入到 DM 诊断标准中,把 HbA1c $\geq$ 0.065 作为确诊 DM 的依据。

由于糖基化主要位点的生化性质、临床需求和管理的多样性,常用的 HbA1c 测定方法超过 30 种^[31],质谱法和毛细管电泳法是通过美国糖化血红蛋白标准化计划组织(National Glycohemoglobin Standardization Program, NGSP)和国际临床化学联合会(International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine, IFCC)认证的 HbA1c 一级参考方法。

2.2 1, 5-脱水葡萄糖醇(1, 5-anhydroglucitol, 1, 5-AG) 1, 5-AG 以呋喃葡萄糖的 C-1 脱氧形式存在,除葡萄糖外,1, 5-AG 在多元醇糖类中含量最高。1, 5-AG 是评估血糖变异性短期范围变化的相关标志物,反映过去 3~7 d 内血糖的暂时性升高。糖化白蛋白(glycated albumin, GA)、HbA1c 很难反映短暂的血糖峰值,因此血清 1, 5-AG 水平可以对其他两个指标进行合理补充,其血清浓度可作为血糖监测的一种新标志物,对评估 DM 患者的血糖波动可能具有一定的临床意义,用于指导治疗方案的调整^[32]。

《中国血糖监测临床应用指南(2015 年版)》^[3]指出,血清 1, 5-AG 可以作为辅助的血糖监测指标。1, 5-AG 在一定程度上反映 DM 患者体内氧化应激活化程度,这为病情监控、治疗评估和预后评价提供了证据。有研究表明,DM 患者的 1, 5-AG 检测结果可作为诊断依据,可靠且不受检测条件影响^[33],但目前该指标尚未在国内普遍应用,相关的循证医学证据仍在寻找。1, 5-AG 水平也能在一定程度上反映血脂的变化,DM 患者存在明显的脂代谢紊乱,HbA1c、1, 5-AG 与血脂(特别是总胆固醇)水平变化呈负相关。早期监测 DM 患者 1, 5-AG 水平对预防和诊断动脉粥样硬化具有一定的临床意义^[34]。

2.3 目标范围内时间(time in range, TIR)及血糖波动参数 在 2017 年 2 月糖尿病先进技术与治疗国际会议(Advanced Technologies and Treatments for Diabetes, ATTD)上制定的《CGM 临床应用国际专家共识》(以下简称共识)推荐使用 AGP 作为 CGM 标准化的报告形式^[7, 35]。《中国持续葡萄糖监测临床应用指南(2017 年版)》推荐采用“三步法”解读 AGP。第一步要关注 TIR,2019 年 ATTD 召开的 TIR 国际专家共识会议将 TIR 作为反映血糖控制和个体化血糖数据管理的主要指标^[36]。目前推荐大多数 DM 患者的 TIR 控制目标(通常为 3.9~10.0 mmol/L)为 $>70\%$ 。TIR 与 HbA1c 被证实具有较强的相关

性,TIR 弥补了 HbA1c 的不足,二者联合应用可更全面地反映患者血糖控制情况,成为评价 DM 血糖管理水平有效手段^[37]。血糖波动是 DM 并发症发生的独立危险因素,第二步要关注患者的血糖波动。共识推荐评估血糖波动的主要指标是 GluCV,以 GluCV $<36\%$ 作为判定血糖稳定与否的参考标准^[38]。平均血糖标准差(standard deviation of mean level of blood glucose, SDBG)是用来评估日内血糖波动的重要简易参数,MAGE 是目前评价血糖波动的首选参数^[39],优点在于其变化不依赖于血糖的整体水平,可以真正反映血糖波动的程度而不是离散特征。Zhou 等^[40]研究表明,我国人群 SDBG、MAGE 的正常参考值范围分别为 <1.4 mmol/L 和 <3.9 mmol/L。第三步应关注低血糖风险即评估低血糖指数(low blood glucose index, LBGi)。CGM 系统提供多维、立体的血糖信息,有助于临床医生了解患者不同代谢状态下的血糖情况并评价治疗效果;对于危重患者及时调整降糖方案,把血糖控制在合适范围,安全度过应激状态,减少低血糖发生率都有重要的临床意义。

3 结语

血糖监测是继胰岛素发现后 DM 领域的主要成就之一^[3],新技术和新指标的应用为医师临床决策和患者自我控糖带来了诸多便利。CGM 技术将血糖监测带入精准数字化时代,助力血糖全面管理,未来监测的频率和精确度也在逐步提升。随着人工智能技术在 CGM 数据解读领域的拓展,更多的血糖管理参数也会应用于临床,医疗决策将得到进一步指导,这势必会为 DM 及危重症的治疗和护理带来新的方向。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- 1 WANG L M, GAO P, ZHANG M, et al. Prevalence and ethnic pattern of diabetes and prediabetes in China in 2013 [J]. JAMA, 2017, 317 (24): 2515-2523. DOI: 10.1001/jama.2017.7596.
- 2 肖飞,王银,林海焕,等.糖化血清蛋白联合血糖变异性对老年脓毒症患者继发持续性炎症-免疫抑制-分解代谢综合征的预测价值[J].中华危重病急救医学,2018,30(11):1051-1055. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.11.008.
- 3 中华医学会糖尿病学分会.中国血糖监测临床应用指南(2015 年版)[J].中华糖尿病杂志,2015,7(10):603-613. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-5809.2015.10.004.
- 4 SUNDERMAN F W, FULLER J B. A modification of the Benedict method for measuring blood glucose [J]. Am J Clin Pathol, 1951, 21 (11): 1077-1084. DOI: 10.1093/ajcp/21.11_ts.1077.
- 5 郭炜,马玲.便携式血糖仪的规范应用及质量控制[J].实用检

- 验医师杂志, 2018, 10 (4): 250–251. DOI: 10.3969/j.issn.1674–7151.2018.04.017.
- 6 VOTE D A, DOAR O, MOON R E, et al. Blood glucose meter performance under hyperbaric oxygen conditions [J]. Clin Chim Acta, 2001, 305 (1–2): 81–87. DOI: 10.1016/s0009–8981(00)00418–6.
- 7 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.
- 8 陈莉明.《中国扫描式葡萄糖监测技术临床应用专家共识》要点解读 [J]. 中华糖尿病杂志, 2019, 11 (5): 310–315. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674–5809.2019.05.002.
- 9 BAO Y Q, CHEN L, CHEN L M, et al. Chinese clinical guidelines for continuous glucose monitoring (2018 edition) [J]. Diabetes Metab Res Rev, 2019, 35 (6): e3152. DOI: 10.1002/dmrr.3152.
- 10 唐峻岭, 董璐, 王煜非. 持续与无创葡萄糖监测技术的发展与应用 [J]. 中华检验医学杂志, 2019, 42 (11): 914–918. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009–9158.2019.11.004.
- 11 BECK R W, BERGENSTAL R M, RIDDLESWORTH T D, et al. Validation of time in range as an outcome measure for diabetes clinical trials [J]. Diabetes Care, 2019, 42 (3): 400–405. DOI: 10.2337/dc18–1444.
- 12 柳学, 陈纯波, 叶珩, 等. 应激性高血糖对重症脑血管病患者预后的影响 [J]. 中华危重病急救医学, 2016, 28 (4): 359–363. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2016.04.014.
- 13 向镜芬, 杨祥, 龚剑锋, 等. 重型颅脑损伤患者动态血糖监测的临床意义 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2014, 21 (1): 31–34. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2014.01.008.
- 14 郭一峰, 隆云, 刘大为, 等. 不同组织灌注水平感染性休克患者的动态血糖监测效果 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2017, 24 (3): 278–282. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2017.03.014.
- 15 陈秋月, 张丹红, 张仙飞, 等. 血糖及其变异性与急性大面积脑梗死预后的相关性 [J]. 中华危重病急救医学, 2013, 25 (12): 749–753. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2013.12.013.
- 16 唐健, 顾勤. 危重患者早期血糖波动与预后的相关性研究 [J]. 中国危重病急救医学, 2012, 24 (1): 50–53. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003–0603.2012.01.012.
- 17 刘旭, 王迪芬, 熊杰. 血糖水平及其变异性与重症患者预后关系的前瞻性观察研究 [J]. 中国危重病急救医学, 2012, 24 (9): 538–540. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003–0603.2012.09.012.
- 18 高戈, 冯喆, 常志刚, 等. 2012 国际严重脓毒症及脓毒性休克诊疗指南 [J]. 中华危重病急救医学, 2013, 25 (8): 501–505. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2013.08.016.
- 19 郁慧杰, 张玲芳, 许嵩翔, 等. 血糖控制胰岛素用量调节卡尺对急危重症患者的血糖控制 [J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30 (8): 771–776. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2018.08.012.
- 20 吴晓静. 危重患者应激性高血糖与胰岛素强化治疗 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2011, 18 (1): 60–62. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2011.01.027.
- 21 余洁, 丁亚萍, 许勤, 等. 一种连续动脉血糖监测设备的创新思路及设计方案 [J]. 中华危重病急救医学, 2019, 31 (7): 906–909. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2019.07.022.
- 22 American Diabetes Association. 7. Diabetes technology: standards of medical care in diabetes–2021 [J]. Diabetes Care, 2021, 44 (Suppl 1): S85–S99. DOI: 10.2337/dc21–S007.
- 23 张磊, 沈赞, 周健. 持续葡萄糖监测技术在糖尿病患者居家及病房隔离中的应用 [J]. 中华糖尿病杂志, 2022, 14 (4): 409–412. DOI: 10.3760/cma.j.cn115791–20220307–00099.
- 24 SHEN Y, ZHANG L, FAN X H, et al. Effectiveness of remote continuous glucose monitoring on adverse outcomes among patients with diabetes complicated with COVID–19 [J]. J Diabetes Investig, 2021, 12 (10): 1923–1924. DOI: 10.1111/jdi.13537.
- 25 LEOPOLD J H, HOOIJDONK R T, STERK P J, et al. Glucose prediction by analysis of exhaled metabolites: a systematic review [J]. BMC Anesthesiol, 2014, 14: 46. DOI: 10.1186/1471–2253–14–46.
- 26 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): DOI: 10.3390/diagnostics8010012.
- 27 CHEN Y H, LU S Y, ZHANG S S, et al. Skin–like biosensor system via electrochemical channels for noninvasive blood glucose monitoring [J]. Sci Adv, 2017, 3 (12): e1701629. DOI: 10.1126/sciadv.1701629.
- 28 廖远泉. “POCT”: 血糖检测新设备的研发及其临床应用 [J]. 实用检验医师杂志, 2017, 9 (3): 191–192. DOI: 10.3969/j.issn.1674–7151.2017.03.020.
- 29 TANG L, CHANG S J, CHEN C J, et al. Non–invasive blood glucose monitoring technology: a review [J]. Sensors (Basel), 2020, 20 (23): DOI: 10.3390/s20236925.
- 30 CAMPBELL L, PEPPER T, SHIPMAN K. HbA1c: a review of non–glycaemic variables [J]. J Clin Pathol, 2019, 72 (1): 12–19. DOI: 10.1136/jclinpath–2017–204755.
- 31 沈霞. 糖尿病诊断和监测的金标准: HbA1c [J]. 实用检验医师杂志, 2015, 7 (1): 1–4. DOI: 10.3969/j.issn.1674–7151.2015.01.001.
- 32 HU X, HE X, MA X, et al. A decrease in serum 1, 5–anhydroglucitol levels is associated with the presence of a first–degree family history of diabetes in a Chinese population with normal glucose tolerance [J]. Diabet Med, 2018, 35 (1): 131–136. DOI: 10.1111/dme.13534.
- 33 孙杰, 窦京涛, 杨国庆, 等. 1, 5–脱水葡萄糖醇: 可能是更好反映短期血糖控制水平的标志 [J]. 中华糖尿病杂志, 2012, 4 (4): 212–215. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674–5809.2012.04.005.
- 34 韩志勇. 血清 1, 5–脱水葡萄糖醇的临床应用研究进展 [J]. 实用检验医师杂志, 2015, 7 (1): 47–50. DOI: 10.3969/j.issn.1674–7151.2015.01.014.
- 35 中华医学会糖尿病学分会血糖监测学组. 中国扫描式葡萄糖监测技术临床应用专家共识 [J]. 中华糖尿病杂志, 2018, 10 (11): 697–700. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674–5809.2018.11.001.
- 36 BATTELINO T, DANNE T, BERGENSTAL R M, et al. Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: recommendations from the international consensus on time in range [J]. Diabetes Care, 2019, 42 (8): 1593–1603. DOI: 10.2337/dc19–0028.
- 37 李雯, 陈海冰. 葡萄糖在目标范围内时间的研究进展 [J]. 中国糖尿病杂志, 2021, 29 (2): 141–144. DOI: 10.3969/j.issn.1006–6187.2021.02.013.
- 38 MONNIER L, COLETTE C, WOJTUSCISZYN A, et al. Toward defining the threshold between low and high glucose variability in diabetes [J]. Diabetes Care, 2017, 40 (7): 832–838. DOI: 10.2337/dc16–1769.
- 39 包玉倩. 动态血糖监测技术的临床应用 [J]. 中华内分泌代谢杂志, 2017, 33 (6): 460–464. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1000–6699.2017.06.002.
- 40 ZHOU J, LI H, RAN X, et al. Reference values for continuous glucose monitoring in Chinese subjects [J]. Diabetes Care, 2009, 32 (7): 1188–1193. DOI: 10.2337/dc09–0076.

(收稿日期: 2022–03–24)

(本文编辑: 邵文)