

心率变异性在妊娠期糖尿病孕妇心身疲劳评估中的应用进展与展望

徐雨萌, 朱圣雅, 黄子翎, 蒋玲, 刘敏*

湖州学院生命健康学院, 浙江 湖州

收稿日期: 2026年8月22日; 录用日期: 2026年9月17日; 发布日期: 2026年9月24日

摘要

GDM患病率在全球多地持续上升, 临床管理负担随之加重。GDM孕妇普遍报告明显的疲劳感, 且多伴随情绪低落和睡眠问题, 这不仅影响生活质量, 也降低了血糖监测和饮食控制的依从性, 最终可能危及妊娠结局。HRV作为一种无创检测手段, 可客观反映GDM孕妇的自主神经功能状态, 且已有证据显示其与压力、抑郁等心身指标存在关联, 这为其在心身健康评估中的潜在应用提供了线索。目前已有证据显示, GDM孕妇在应激条件下迷走神经张力下降, 且HRV指标与压力、抑郁评分显著相关——尽管疲劳常与压力、抑郁共存, 但这些心理变量与疲劳之间的具体关联仍缺乏直接验证。现有结论多依赖间接证据, 临床适用性有待大样本纵向研究检验。孕周、血糖波动和昼夜节律等因素对HRV的干扰也不容忽视。未来研究应优先确立GDM孕妇的HRV测量规范, 并通过前瞻性随访明确HRV动态变化与疲劳发展的对应关系, 为临床干预提供实证支持。

关键词

妊娠期糖尿病, 心率变异性, 自主神经, 心身疲劳, 护理评估

Application Progress of Heart Rate Variability in Psychosomatic Fatigue Assessment of Pregnant Women with Gestational Diabetes and Prospects

Yumeng Xu, Shengya Zhu, Ziling Huang, Ling Jiang, Min Liu*

School of Life and Health Sciences, Huzhou College, Huzhou Zhejiang

Received: August 22, 2026; accepted: September 17, 2026; published: September 24, 2026

*通讯作者。

文章引用: 徐雨萌, 朱圣雅, 黄子翎, 蒋玲, 刘敏. 心率变异性在妊娠期糖尿病孕妇心身疲劳评估中的应用进展与展望[J]. 护理学, 2026, 15(10): 8-17. DOI: 10.12677/ns.2026.1510320

Abstract

Gestational diabetes mellitus (GDM) is becoming more common worldwide, and its implications for perinatal care are increasingly difficult to ignore. Women with GDM frequently report fatigue, low mood, and poor sleep, which undermine their quality of life and adherence to glucose monitoring and dietary control. GDM is not only associated with adverse perinatal outcomes but also with an increased risk of metabolic disorders in offspring and potential impacts on fetal cardiac structure and autonomic nervous system development. Heart rate variability (HRV), a non-invasive index of autonomic function, can objectively reflect autonomic nervous system status in this population, and existing evidence suggests its associations with psychosomatic indicators such as stress and depression, providing a rationale for further exploration of its potential role in psychosomatic health assessment. Several studies have reported autonomic dysregulation in GDM, particularly reduced vagal tone during stress, and significant correlations between HRV parameters and psychological measures such as perceived stress and depression. Although fatigue often coexists with stress and depression, the specific association between these psychological variables and fatigue has not been directly validated in GDM populations. Most current conclusions rely on indirect evidence, and clinical applicability needs to be examined in large-scale longitudinal studies. Importantly, gestational age, glycemic variability, and circadian rhythms can confound HRV readings and should be accounted for in study design and data interpretation. Future research should prioritize standardised HRV measurement protocols for pregnant women with GDM and adopt prospective designs to track the dynamic relationship between HRV changes and fatigue progression, with the goal of building a foundation for more individualised care.

Keywords

Gestational Diabetes Mellitus, Heart Rate Variability, Psychosomatic Fatigue, Autonomic Function, Nursing Assessment

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

妊娠期糖尿病(Gestational Diabetes Mellitus, GDM)是指妊娠期间首次发生或发现的糖耐量异常,是妊娠期最常见的代谢并发症之一。据国际糖尿病联盟(IDF)数据报道, GDM 的全球标准化患病率约为 14%,但因种族和地域因素差异显著,范围在 7.1%至 26.7%之间[1]。GDM 不仅增加母婴近期的健康风险, Sarno 等[2]提示, 其还与子代远期代谢性疾病易感性密切相关, 并可能对胎儿心率变异性及自主神经系统功能产生影响。除疾病本身造成的代谢负担外, 持续的饮食控制、血糖监测、运动和用药管理还会增加孕妇的身心负荷。

心身疲劳是该群体中普遍存在但长期被忽视的临床问题。GDM 孕妇的疲劳具有躯体、代谢和心理三重叠加的特殊性, 其评估和管理面临独特挑战。自我调节疲劳主要反映个体在持续自我控制和疾病管理中的心理资源消耗, 是心身疲劳的重要相关维度, 但不能完全代表躯体疲劳及总体疲劳。调查显示 GDM 患者的自我调节疲劳得分为 50.44 ± 8.23 分, 处于较高水平[3]。同时, 国内一项多中心研究显示, 在 393 名 GDM 孕妇中, 有高达 45.55%的受试者存在睡眠质量问题[4]。GDM 的日常管理——包括饮食控制、

血糖监测、规律运动及用药依从——本身就是一项高度依赖认知资源和自我调控能力的持续性任务。而目前该人群心身疲劳的评估主要依赖主观量表, 这些工具虽能提供主观体验的信息, 却难以实现连续、客观的动态监测, 且评估结果易受回忆偏倚和社会期望效应的影响。

心率变异性(Heart Rate Variability, HRV)是指逐次心搏间期(RR 间期)的微小波动, 是目前公认的评估自主神经系统功能的非侵入性定量指标[5]。Gasic 等[6]的研究提示, 在既往有 GDM 史的女性中, HRV 降低与血糖控制水平相关, 可能作为糖尿病前期的早期预后指标。但 HRV 在 GDM 这一特殊群体中的应用尚处于起步阶段。现有研究对 GDM 孕妇 HRV 是否发生显著改变仍存在争议, 部分研究发现 GDM 孕妇的 HRV 指标显著低于健康对照组[7], 但也有研究发现两组间 HRV 参数无显著差异[1]。这种不一致性可能源于样本量、孕周匹配、测量条件、种族差异及诊断标准等方面的异质性。本研究综述了 HRV 在 GDM 孕妇中自主神经功能评估的研究进展, 并探讨其与心身状态(如压力、抑郁)的关联, 旨在为 GDM 孕妇心身健康的综合评估与护理管理提供参考依据。

2. HRV 的生理学基础与核心评估指标

2.1. 自主神经系统对心脏的调控机制

心脏节律并非由单一神经控制, 而是同时受交感神经和副交感神经(主要是迷走神经)的共同调节, 其中交感神经使心率加快, 副交感神经使心率减慢。HRV 本质上是这种平衡关系在心跳间隔上的外在表现——窦房结持续接收来自两条通路的信号, 使相邻心跳之间的间隔出现持续的微小波动。HRV 较高时, 说明自主神经调节功能良好, 机体对应激和环境变化的适应能力较强; 偏低时则提示自主神经调控受损, 或机体已处于应激状态[5]。

2.2. 妊娠期自主神经的正常重构

健康妊娠期间, 自主神经系统会发生明显的生理性重塑。研究显示, 正常妊娠期交感活动增强、副交感活动减弱, 且从孕早期到孕晚期, 平均心率逐渐升高, 整体 HRV 水平随之下降[5]。夜间 HRV 监测还发现, 妊娠期自主神经调节具有特有的昼夜节律变化。因此, 在评估 GDM 孕妇的 HRV 时, 必须考虑到妊娠本身已造成的自主神经改变。GDM 是否会在这一生理性改变的基础上进一步降低 HRV, 现有研究结论尚不一致, 但临床评估时不宜直接套用非妊娠人群的标准, 而应建立以健康孕妇为参照、随孕周变化的 HRV 基线。

2.3. 常用 HRV 评估指标及其生理学意义

HRV 分析可从时域和频域两个维度展开[5]。时域指标通过对 RR 间期序列进行统计描述来反映自主神经功能: SDNN 用于评估总体 HRV 水平, RMSSD 和 pNN50 对副交感(迷走)神经活性较为敏感, 在 GDM 孕妇应激评估中应用较多。频域分析则将 RR 间期波动分解为不同频率成分——总功率(TP)反映整体变异性, 低频功率(LF, 0.04~0.15 Hz)受交感和副交感共同影响, 高频功率(HF, 0.15~0.40 Hz)主要反映迷走神经活动, 其幅度在妊娠期常随呼吸和体位发生变化。LF/HF 比值常用于描述两者间的平衡关系, 但解读时不宜孤立使用, 需结合记录条件、呼吸状态及其他临床指标综合判断[5]。

3. 妊娠期糖尿病对孕妇心率变异性的影响

3.1. 妊娠期糖尿病孕妇心率变异性的改变特征

3.1.1. 静息心率变异性变化及研究证据

部分研究提示, GDM 孕妇的 HRV 指标存在显著降低[7]。Eckstein 等[7] (2021)在一项产后随访研究

中，比较了有 GDM 史、子痫前期史和健康女性的血流动力学、激素和 HRV 参数，发现 GDM 组在产后 16 至 48 周仍表现出 HRV 参数的改变，提示 GDM 可能对自主神经功能产生长远影响。也有研究未发现 GDM 孕妇与健康孕妇之间 HRV 参数的显著差异。Sartayeva 等(2025)的横断面研究，纳入 80 例哈萨克族孕晚期 GDM 孕妇作为研究组、30 例孕晚期健康孕妇作为对照组，在坐位条件下测量 HRV，结果显示两组间的 HRV 参数无显著差异[1]。Heiskanen 等(2010)的研究也发现，血糖控制良好的 GDM 孕妇在第三孕期及产后 3 个月的心血管自主神经调节功能与健康孕妇无显著差异[8]。

3.1.2. 动态应激及夜间心率变异性反应异常

仅凭静息状态下的 HRV 测量，可能不足以揭示 GDM 对自主神经调控的全面影响。近年采用动态应激负荷的研究提供了补充证据。Theodorakopoulou 等[9] (2021)共纳入 21 例 GDM 孕妇与 15 例健康对照，于静息期、间断握力运动期及恢复期连续记录 HRV。静息时两组 RMSSD、SD1、SD2 及 SD2/SD1 差异无统计学意义；然而在握力运动负荷下，对照组 RMSSD 与 SD1 明显下降($p < 0.001$)，恢复期复归基线，而 GDM 组上述指标自始至终未出现类似波动。该研究据此认为，血压正常的 GDM 孕妇其副交感神经系统对运动应激的适应性调节能力已经受损[9]。相似的结论也来自夜间 HRV 的观察。Pöyhönen-Alho 等[10] (2010)发现，健康孕妇夜间各时段 HRV 呈现清晰昼夜节律变化，而 GDM 孕妇夜间 HRV 曲线趋于平坦，提示疾病状态对心脏自主神经调节构成持续性抑制，且这种效应在白昼静息状态下难以捕捉。也就是说与 GDM 相关的自主神经功能异常在负荷条件下方能充分暴露，仅凭静息测量易漏诊此类改变。

3.1.3. 关键研究系统梳理(表 1)

为系统把握 GDM 孕妇 HRV 研究的方法学异质性、样本特征与主要结论，便于读者横向比较，表 1 将本综述重点涉及的 7 项以 GDM 孕妇(含既往 GDM 女性)为研究对象的 HRV 临床研究及 1 项系统综述进行结构化整理。孕周、测量条件与指标的差异是后续矛盾分析的基础。关于胎儿/新生儿 HRV ([2] [11]-[13])、护理与心理量表研究([3] [4])的详细内容参见原文相关章节。

Table 1. Key original studies and systematic review on heart rate variability in pregnant women with gestational diabetes mellitus (n = 7 original studies + 1 systematic review)

表 1. 纳入 GDM 孕妇 HRV 研究的关键原始研究及系统综述(n = 7 项原始研究 + 1 项系统综述)

研究 (作者 - 年份)	国家/人群	研究设计	样本量 (GDM/对照)	孕周/ 测量时点	HRV 测量方案	主要发现	局限性
Sartayeva 等[1] (2025)	哈萨克斯坦/ 哈萨克族	横断面 病例对照	80/30 (均为孕晚期)	孕晚期	坐位静息短程 心电记录；时 域与频域指标	两组间 SDNN、 RMSSD、 LF、HF、 LF/HF 等主要 HRV 参数无 显著差异	单中心、单一 种族；仅评估 坐位稳态；未 对血糖控制水 平、HbA1c 进 行亚组分析
Gasic 等[6] (2007)	奥地利 (既往 GDM 女性)	横断面	48 (既往 GDM)/20 (糖耐 量正常对照)	产后	24 h Holter; 时域 SDNN 与 频域 LF、HF	既往 GDM 女 性中 52% 出现 SDNN 降低； 频域 LF 与 HF 均下降；改变 与 HbA1c 及 OGTT 2 h 血 糖相关	研究对象为产 后女性，非孕 期；未匹配 BMI 与血压； 可能存在健康 者选择偏倚

续表

Heiskanen 等[8] (2010)	芬兰	前瞻性 随访	51/28	第三孕期 + 产后 3 月	仰卧位静息 + HUT 倾斜; 频域 HRV; 压力反射敏感 性(BRS)	GDM 组血流 动力学与心血 管自主神经调 节与对照组无 显著差异; 两 组均呈妊娠相 关交感优势倾 向; HUT 反 应相似	仅频域分析, 未纳入非线性 指标; 样本量 中等; 亚组 (血糖控制程 度)分析受限
Pöyhönen-Alho 等 [10] (2010)	芬兰	横断面	41 GDM + 22 健康孕妇对照 + 14 非孕对照	妊娠期	夜间 Holter + 24:00/04:00/ 07:00 血浆去 甲肾上腺素	GDM 组夜间 HRV 曲线趋 于平坦(心脏 自主神经调节 较正常妊娠衰 减), 去甲肾 上腺素水平 与孕妇对照 无差异	仅夜间测量, 未与日间同步 比较; 孕周匹 配范围较宽; 胎龄、血糖控 制未分层
Theodorakopoulou 等 [9] (2021)	希腊	病例对照	21/15 (按年龄、 产次匹配)	妊娠期	安静仰卧 + 间断握力运动 + 恢复期; 时 域 + Poincaré 非线性 (Kubios 分析)	静息时两组 HRV 无差 异; 运动期对 照组 RMSSD、SD1 显著下降而 GDM 组无适 应下降	样本量小; 未 控制血糖控制 强度及心率变 化; 非线性指 标选择有限
Eckstein 等 [7] (2021)	德国/奥地利	多中心 回顾性 观察	15 GDM/16 子 痫前期/29 健康 对照(共 60 例)	产后 16~48 周	安静仰卧; 血 流动力学 + 激素 + HRV 多参数	GDM 与子痫 前期组仍存在 HRV 等参数 改变, 提示疾 病对自主神经 的持续影响	回顾性研究、 孕中资料缺 失; 测量方案 在多中心不完 全一致; 机制 与孕期改变难 以截然区分
Renugasundari 等 [14] (2023)	印度	横断面 病例 对照	176/164	妊娠 36 周	仰卧位 15 min (900 s)短程记 录; 时域 + 频域; 以总功 率(TP)为主要 指标	GDM 组 TP 显 著下降; TP、 HbA1c、 MDA、IL-6 与感知压力 (PSS)、爱丁 堡产后抑郁 (EPDS)评分独 立相关; IL-6 贡献最大	单中心、单一 孕周; 横断面 设计无法判定 因果方向; 心 理评估工具地 域适应性需考 虑
Sharifi-Heris 等 [5] (2023)	-	系统综述 (PRISMA, 叙事综合)	12 项研究/6656 例受试者(涵盖 GDM 等多种 妊娠并发症)	-	未限定具体记 录时长或体 位, 按所纳入 研究原文提取	ANS 与部分妊 娠并发症(如 胎儿生长)相 关; 现有研究 不足以明确支 持 HRV 与 GDM 的独立 关联	纳入研究方法 学异质性大; 未做定量合 并; 判定 HRV-GDM 关 联的证据有限

为压缩篇幅,表1中样本量以GDM/对照形式列出;孕周统一标注为研究设计的目标孕周或测量孕周;HRV测量方案包含记录时长、体位、记录条件与所选时/频/非线性指标;主要发现按各原文结论如实转述;局限性一栏聚焦可能影响跨研究对比的方法学要点。

表1系统呈现了8项GDM孕妇HRV临床研究的核心方法学要素与发现差异。可以看出,本领域研究在样本量(15~176例)、测量条件(坐位 vs 仰卧 vs 24 h Holter vs 负荷试验)、所选指标(时域 vs 频域 vs 非线性)、研究时点(孕期 vs 产后)四方面差异显著,这正是后续7.2节中讨论研究结论分歧、并提出可能解释假设的实证基础。

3.2. 妊娠期糖尿病损害自主神经功能的可能机制

GDM损害自主神经功能的机制尚未完全明确。慢性高血糖可能通过氧化应激、低度炎症等影响心脏自主神经调节[14];既往GDM女性研究显示,自主神经受损与HbA1c及血糖相关,但与胰岛素抵抗无直接关联[6]。具体通路仍有待阐明。Renugasundari等(2023)的研究(纳入176例GDM孕妇和164例健康孕妇,均为妊娠36周)发现,GDM组的HbA1c、丙二醛、高敏C反应蛋白、白细胞介素-6均显著升高[14]。胰岛素抵抗可能通过影响中枢自主神经调控网络间接损害自主神经功能[6]。且既往GDM女性产后仍存在持续的心脏自主神经功能损害[6]。Gasic等(2007)的临床研究,纳入48例既往有GDM史的健康女性和20例妊娠前后糖耐量均正常的对照女性,通过24小时动态心电图进行HRV分析。结果显示,25例(52%)既往GDM女性的SDNN降低;频域分析显示,这些受试者的低频和高频成分均降低,提示交感与副交感双重功能损害[6]。该损害与HbA1c水平和口服葡萄糖耐量试验2小时血糖浓度相关[6]。

3.3. 心率变异性改变与妊娠期糖尿病孕妇心理状态的关联

HRV的改变与GDM孕妇的心理状态并非相互独立。Renugasundari等[14]报告,GDM组的感知压力和爱丁堡产后抑郁量表评分均显著高于对照组。回归分析进一步揭示,HRV总功率、HbA1c、丙二醛和白细胞介素-6均是压力和抑郁评分的独立关联因素,其中白细胞介素-6的贡献最为突出——对压力评分的 β 值为0.550 ($p < 0.001$),对抑郁评分的 β 值为0.393 ($p < 0.001$)。作者由此提出,炎症、氧化应激、糖化状态与迷走神经调制功能下降共同参与了GDM孕妇妊娠晚期压力和抑郁的病理过程[14]。这些发现将代谢紊乱、炎症反应、自主神经调节与心理健康串联在同一个病理生理框架内,上述关联的因果方向尚需纵向研究验证。

4. 心率变异性评估妊娠期糖尿病孕妇心身疲劳的理论依据

4.1. 心身疲劳的概念与GDM孕妇疲劳的特殊性

心身疲劳是指兼具心理体验(如疲惫感、精力耗竭)与生理功能改变(如自主神经失衡、代谢紊乱)的综合性疲劳状态[3]。GDM孕妇的疲劳具有三重叠加的特殊性:妊娠晚期躯体负荷(体重增加、睡眠障碍等)、血糖波动所致能量代谢障碍、疾病管理相关的持续性心理应激[3][4]。

正是这种心身交织的疲劳状态,构成了自主神经功能紊乱的重要生理基础。持续性的认知或躯体负荷可触发下丘脑-垂体-肾上腺轴的应激反应,导致交感神经活动增强、副交感神经活动抑制的自主神经失衡[5]。系统综述表明,HRV是评估自主神经功能状态的重要生理指标[5]。在GDM孕妇中,这种自主神经失衡可能因代谢紊乱而进一步加剧[10]。

4.2. 妊娠期糖尿病孕妇心率变异性异常与心身状态评估的潜在联系

GDM孕妇已存在可检测的自主神经功能改变——静息状态下HRV降低或应激条件下副交感调节受损[7][9][10]。这些变化提示,将HRV用于疲劳评估具有合理的生理学依据。迷走神经相关指标下降可

能反映自主神经恢复和适应能力减弱,但它与 GDM 孕妇主观疲劳感受之间的具体关联,目前仍缺乏直接的实证研究证据[5]。不过,现有间接证据提供了一些线索:HRV 降低与 GDM 孕妇的抑郁、压力显著相关[14],而这两者是心身疲劳的核心心理成分;GDM 孕妇在应激条件下副交感调节能力受损[9],可能加重疲劳体验并加速其累积。上述间接证据支持 HRV 用于 GDM 孕妇心身疲劳评估的可行性,但该推论仍需直接的实证检验。

5. 心率变异性在妊娠期糖尿病孕妇疲劳评估与管理中的潜在应用场景

5.1. 疲劳的早期筛查与风险评估

HRV 具有无创和可重复测量的特点,未来可能作为主观疲劳量表之外的候选辅助生理指标。HRV 不仅可用于已确诊 GDM 孕妇的疲劳评估,还可能在高危人群的早期识别中发挥作用。可在 GDM 确诊时采集个体 HRV 基线,后续产检中动态追踪其变化趋势,据此评估 HRV 对疲劳加重或自主神经调节下降的识别价值。

5.2. 干预效果的客观评价

目前对 GDM 孕妇疲劳干预效果的评价主要依赖主观量表[3]。HRV 提供了一种客观的生理学评价指标——通过比较生活方式干预、心理支持、血糖控制等措施实施前后的 HRV 变化,未来干预研究可同步测量 HRV 和标准化疲劳量表,分析二者变化是否一致,并评价 HRV 能否提供额外的自主神经生理信息[5][9]。

5.3. 产后自主神经功能恢复的追踪评估

GDM 孕妇产后自主神经功能的恢复情况与远期心血管健康密切相关[6]。Gasic 等(2007)的研究已证实既往 GDM 女性产后仍存在持续的自主神经功能损害[6]。利用 HRV 追踪产后自主神经功能的恢复轨迹,不仅有助于评估疲劳的缓解进程,还可能为识别远期心血管疾病风险提供早期线索[6][7]。

6. 妊娠期糖尿病孕妇心率变异性测量的影响因素与标准化要求

GDM 孕妇的 HRV 测量面临若干特殊的影响因素,若不加控制则可能混淆疲劳效应的识别。妊娠周数是影响 HRV 测量的关键因素之一。妊娠期自主神经系统随孕周增加不断重构,交感活性逐渐升高、迷走张力相对降低,HRV 呈现随孕周推进而下降的趋势[5],因此研究设计需严格匹配孕周。血糖波动同样会干扰 HRV 测量——餐后高血糖或低血糖事件本身即可影响自主神经功能[11],研究者需注意区分“代谢效应”与“疲劳效应”。妊娠相关的躯体因素也不容忽视,包括体位改变、仰卧位低血压综合征及妊娠期体重增长等,均可能干扰 HRV 测量的一致性。昼夜节律是另一重要变量,有研究表明夜间 HRV 测量可能比日间测量更能反映自主神经的真实状态[10]。睡眠质量则作为一个重要的混杂因素值得特别关注——GDM 孕妇的睡眠质量显著差于非 GDM 孕妇[4],而睡眠差本身既是疲劳的重要来源,也会直接影响 HRV 的测量结果[4][10]。现有系统综述指出,关于自主神经系统与 GDM 之间关联的证据尚不充分,方法学异质性是主要障碍[5]。建议未来研究报告 HRV 测量时统一规范以下要素——时段、体位、静息时长、记录时长、呼吸条件及数据处理流程,并同步记录进食、运动、用药和睡眠状况,以提升研究间的可比性[5]。

7. 讨论

7.1. 主要发现及其解释

现有证据提示,GDM 患者存在可检测的自主神经功能改变。静息状态下 HRV 是否降低目前仍有争

议——部分研究报道 GDM 患者 HRV 显著降低[7]，也有研究未发现显著差异[1] [8]，血糖控制水平可能是导致结果分歧的关键因素[8]。但在动态应激条件下，GDM 孕妇的副交感神经调节能力受损已得到多项研究一致支持[9] [10]，提示单纯静息测量可能不足以全面反映 GDM 对自主神经的影响，应激条件下的动态 HRV 评估可能具有更高的敏感性。其次，HRV 改变与 GDM 孕妇的心理状态密切相关，HRV、炎症、氧化应激指标与压力和抑郁评分存在关联[14]，这一发现将代谢紊乱、自主神经功能与心理健康三个维度有机联系起来，为理解 GDM 孕妇心身疲劳的多维本质提供了生理学框架。此外，尽管 HRV 评估该人群心身疲劳存在理论依据，但目前尚无研究同时测量 HRV 与标准化疲劳结局，直接证据尚属空白[3] [14]。

7.2. 研究间的矛盾及其可能的解释假设

本研究在梳理过程中识别出最值得正视的核心矛盾——静息态下 GDM 孕妇的 HRV 是否较健康孕妇显著降低。Sartayeva 等[1]与 Heiskanen 等[8]均未观察到静息态下 HRV 组间差异；而 Eckstein 等[7] (产后阶段)、Renugasundari 等[14] (36 周频域 TP)则报告 GDM 群体存在可量化的 HRV 下降。值得注意的是，动态/夜间负荷条件下(握力运动[9]、夜间 Holter [10])所发现的副交感调节受损在多项研究中方向一致，提示静息态测量可能掩盖早期改变。

针对上述不一致，本文提出以下五类可能解释假设：1) 血糖控制水平是关键调节变量——Heiskanen 等[8]的研究对象均为管理良好的 GDM 患者，提示良好血糖控制可能掩盖或延缓 HRV 的可检测下降；相反，Renugasundari 等[14]的 GDM 组 HbA1c 显著升高，其 HRV 损伤也更明显。2) 测量条件的差异(坐位静息[1] vs 仰卧位 + HUT [8] vs 24 h Holter [6] vs 15 min 短程[14])使各研究捕捉到的自主神经活动维度不同——稳态、短时反应与昼夜节律层面的同一受试者表现并不一致。3) 研究人群的种族、年龄与代谢背景不同(哈萨克族[1]、欧洲白种人群[6]-[8]、南亚人群[14])，但目前各研究均未引入种族或代谢亚型分析。4) HRV 指标选择本身的偏向——时域 + 频域[1] [14]、含非线性指标[9]的方案敏感性不同；LF/HF 比值在生理学解读上仍有争议[5]，可能掩盖组间真实差异。5) 样本量与统计效力差异较大(15~176 例)，部分研究的样本量不足以检出中等效应，特别是当效应本身被控制良好的代谢状态所稀释时。

综上，本文倾向于以“负荷敏感性降低”为核心解释假设：GDM 状态下静息态 HRV 改变可能在血糖控制良好者中沉默，而需要动态负荷或夜间节律观察方能充分暴露。这一假设与 Theodorakopoulou 等[9]和 Pöyhönen-Alho 等[10]的结论方向一致，亦与现有系统综述[5]所强调的“方法学异质性是当前证据共识的主要障碍”相呼应，但该假设尚需前瞻性、统一 HRV 方案的纵向研究加以验证。

7.3. 现有证据的总体强度评估

为评估现有证据对于“GDM 孕妇 HRV 异常”以及“HRV 可用于 GDM 孕妇心身疲劳评估”两条核心命题的支持强度，本文参照 GRADE 工作组框架，从研究设计、偏倚风险、结果一致性、直接性与精确性五个维度进行分级。

在研究设计上，绝大多数纳入研究[1] [6] [7] [9] [10] [14]为横断面或小样本病例对照，缺乏从孕前/早孕开始的纵向随访；唯一具备纵向性质的研究[8]在第三孕期与产后均未发现组间差异。其方法学等级属于观察性研究的较低级别，且多为单中心。

在偏倚风险方面，多数研究[1] [9] [10] [14]未报告对测量者设盲，HRV 测量方案在时段、体位、时长、呼吸控制上的异质性[5]，加之 HRV 指标对记录长度高度敏感，使偏倚风险进一步加大。纳入样本多为三级医院就诊人群，对基层与社区人群的代表性有限。

在结果一致性上，正如 7.2 节所述，静息态 HRV 改变的方向存在分歧；但负荷条件下副交感调节受损的方向相对一致[9] [10]；与心理评估的关联仅在 Renugasundari 等[14]一项研究中得到完整的多因素回归支持，尚待重复验证。

在直接性与精确性上,目前尚无研究同时测量 HRV 与标准化疲劳结局(最常用的多维疲劳量表或客观行为指标) [3],关于 HRV 与疲劳联系的现有推断只能借助压力与抑郁等中介变量,属典型间接证据;现有研究的样本量(15~176 例)使 95%置信区间较宽,精确性不足。

综合上述维度,按 GRADE 框架对两条核心命题的证据强度做出以下判断:1)“GDM 孕妇存在可被检测的自主神经功能改变”——证据强度为“低”到“中”,支持来源主要是多项小样本研究在负荷条件下的一致结果,但受限方法学异质与横断面设计;2)“HRV 可用于 GDM 孕妇心身疲劳评估”——证据强度为“极低”,目前仅有间接证据支持 HRV 与压力、抑郁的相关[14]和负荷条件下副交感调节受损[9],尚无任何研究直接验证 HRV 与疲劳结局的关联。这一评估直接支持第 8 节提出的研究方向:将建立标准化 HRV 测量规范和开展 HRV-疲劳纵向验证研究列为优先事项的论断。

7.4. 现有证据的局限性

当前关于 GDM 孕妇 HRV 的研究仍存在若干局限。高质量证据不足——现有研究多为小样本横断面设计,样本量从 15 例到 176 例不等,且不同研究在 HRV 指标选择、测量时长、体位及时段上差异较大,既限制了结果间的横向比较,也难以进行因果推断[5]。GDM 孕妇的 HRV 同时受年龄、孕周、BMI、种族及血糖控制水平等多重因素影响[1] [7],但目前尚无针对该人群的 HRV 正常参考值范围,临床转化因此缺乏可参照的基准。方法学上的不统一也增加了跨研究整合的难度——短时与长时记录、日间与夜间测量、时域与频域指标的选用均不统一[5],导致不同研究之间的结果难以直接对比。现有研究大多停留在描述 HRV 改变及其与心理因素关联的阶段[7] [9] [10] [14],从描述性发现到临床预测工具的转化仍有明显差距,特别是基于 HRV 的疲劳风险预测模型和干预阈值研究尚不多见。

8. 结论与展望

综上所述,GDM 孕妇存在可检测的自主神经功能改变,HRV 为这一群体的心身疲劳评估提供了客观、无创的生理学路径。现有证据表明,GDM 孕妇在静息状态下可能出现 HRV 指标的降低,在动态应激条件下则表现为副交感神经调节能力的受损[9],且 HRV 的改变与 GDM 孕妇的炎症状态、氧化应激及心理困扰密切相关[14]。GDM 对胎儿[2] [11] [12]和新生儿[13] HRV 的影响以及既往 GDM 女性产后持续的自主神经功能损害[6]进一步强调了在 GDM 孕妇中系统评估 HRV 的重要性。这些发现为进一步研究 HRV 与 GDM 孕妇心身疲劳之间的关系提供了初步的生理学 and 间接证据支持。目前 HRV 在 GDM 孕妇心身疲劳评估中仍处于研究探索阶段,尚不具备独立临床应用的成熟条件。其临床定位应被理解作为一种辅助性的生理监测工具——可用于补充主观量表的信息缺口[3],为疲劳的早期识别和干预效果评价提供客观的生理学参考,但不应替代全面的临床评估。

未来研究应聚焦于以下几个方向:1)开展多中心大样本纵向研究,追踪 GDM 孕妇自诊断至产后的 HRV 轨迹及其与疲劳的关联;2)直接验证 HRV 与标准化疲劳结局的关系,并探索基于 HRV 的个体化疲劳管理方案,借助可穿戴设备实现连续监测与实时反馈;3)建立 GDM 孕妇 HRV 基线数据库,明确不同孕周及特征的正常参考值范围;4)开发适配产检场景的短时 HRV 标准化测量方案,以克服当前方法学异质性障碍[5]。展望未来,随着可穿戴生理监测技术的发展及数据分析方法的完善,HRV 有望成为 GDM 孕妇围产期健康管理体系中评估心身疲劳、指导个体化护理的重要参考指标,从而为母婴健康结局的改善提供支持[1] [7]。

基金项目

2026 年国家大学生创新创业训练计划项目辨体·驭光·碎动——裸眼悬浮三维成像技术赋能大学生久坐管理健康新范式(项目编号:2026cxcy086)。

参考文献

- [1] Sartayeva, A., Kudabayeva, K., Abenova, N., Bazargaliyev, Y., Danyarova, L., Adilova, G., *et al.* (2025) A Cross-Sectional Analysis of Maternal Cardiac Autonomic Function in Kazakh Pregnant Women with Gestational Diabetes. *International Journal of Women's Health*, **17**, 865-877. <https://doi.org/10.2147/ijwh.s486267>
- [2] Sarno, L., Murolo, C., Giannubilo, S.R., Ciavattini, A., Meccariello, M.L., Mappa, I., *et al.* (2025) Fetal Heart Rate Variability and Monitoring in Gestational Diabetes Mellitus: A Narrative Review. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, **38**, Article ID: 2576484. <https://doi.org/10.1080/14767058.2025.2576484>
- [3] 徐敏, 罗玉婷, 吴艳欣, 等. 妊娠期糖尿病孕妇自我调节疲劳现状及影响因素研究[J]. 护理学杂志, 2024, 39(23): 14-17.
- [4] Yu, J.Y., Chen, Z.X., Chen, Y.H., Wang, X.Y., Luo, Z.C., Fan, J.L., *et al.* (2024) Neglected Sleep Quality Problems in Women with Gestational Diabetes Mellitus: A Multi-Center Cross-Sectional Study. *BMC Pregnancy and Childbirth*, **24**, Article No. 794. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-06940-y>
- [5] Sharifi-Heris, Z., Rahmani, A.M., Axelín, A., Rasouli, M. and Bender, M. (2023) Heart Rate Variability and Pregnancy Complications: Systematic Review. *Interactive Journal of Medical Research*, **12**, e44430. <https://doi.org/10.2196/44430>
- [6] Gasic, S., Winzer, C., Bayerle-Eder, M., Roden, A., Pacini, G. and Kautzky-Willer, A. (2006) Impaired Cardiac Autonomic Function in Women with Prior Gestational Diabetes Mellitus. *European Journal of Clinical Investigation*, **37**, 42-47. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2362.2007.01752.x>
- [7] Eckstein, M.L., Moser, O., Rössler, A., Moertl, M.G., Jantscher, A., Papousek, I., *et al.* (2021) Differences in Hemodynamic, Hormonal and Heart Rate Variability Parameters in Complication-Free Pregnancies Compared to Individuals with Gestational Diabetes Mellitus and Preeclampsia: An Observational Retrospective Analysis. *Life*, **11**, Article 626. <https://doi.org/10.3390/life11070626>
- [8] Heiskanen, N., Saarelainen, H., Kärkkäinen, H., Valtonen, P., Lyyra-Laitinen, T., Laitinen, T., *et al.* (2010) Gestational Diabetic Patients with Adequate Management Have Normal Cardiovascular Autonomic Regulation during the Third Trimester of Pregnancy and 3 Months after Delivery. *Journal of Diabetes and Its Complications*, **24**, 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2008.12.006>
- [9] Theodorakopoulou, M.P., Triantafyllou, A., Zafeiridis, A., Boutou, A.K., Grigoriadou, I., Kintiraki, E., *et al.* (2021) Impaired Vagal Adaptation to an Exercise Task in Women with Gestational Diabetes Mellitus versus Women with Uncomplicated Pregnancies. *Hormones*, **20**, 753-760. <https://doi.org/10.1007/s42000-021-00311-4>
- [10] Pöyhönen-Alho, M., Viitasalo, M., Nicholls, M.G., Lindström, B.-., Väänänen, H. and Kaaja, R. (2010) Imbalance of the Autonomic Nervous System at Night in Women with Gestational Diabetes. *Diabetic Medicine*, **27**, 988-994. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2010.03062.x>
- [11] Renugasundari, M., Pal, G.K., Chaturvedula, L., Nanda, N., Harichandrakumar, K.T. and Durgadevi, T. (2023) Inflammation and Decreased Cardiovascular Modulation Are Linked to Stress and Depression at 36th Week of Pregnancy in Gestational Diabetes Mellitus. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 10348. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37387-4>
- [12] Fehlert, E., Willmann, K., Fritsche, L., Linder, K., Mat-Husin, H., Schleger, F., *et al.* (2016) Gestational Diabetes Alters the Fetal Heart Rate Variability during an Oral Glucose Tolerance Test: A Fetal Magnetocardiography Study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, **124**, 1891-1898. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.14474>
- [13] Chivers, S., Ovadia, C., Vasavan, T., Lucchini, M., Hayes-Gill, B., Pini, N., *et al.* (2024) Fetal Heart Rate Analysis in Pregnancies Complicated by Gestational Diabetes Mellitus: A Prospective Multicentre Observational Study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, **132**, 473-482. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.18010>
- [14] Ravenda, S., Beretta, V., Scarpa, E., Petrolini, C., Dell'Orto, V., Carnevali, L., *et al.* (2026) Neonatal Autonomic and Adrenocorticotrophic Features in the Offspring of Mothers with Gestational Diabetes. *Archives of Medical Research*, **57**, Article ID: 103293. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2025.103293>