# 子宫肌电监测技术在围产期的应用与展望

刘锦群 李若薇 陈德伟
深圳市理邦精密仪器股份有限公司 广东 深圳 518000

**摘 要** 早产预测与产程管理的精准化是产科面临的重大挑战，现有宫缩监测技术存在准确性不足或有创感染风险，而子宫肌电监测技术通过无创采集子宫肌层电生理活动为子宫状态评估提供了新路径。本综述系统阐述了子宫肌电的生理学基础，全面梳理了信号从采集到处理的技术体系，并论证了其在克服传统方法局限上的优势，包括利用子宫肌电特征参数融合模型提升早产预测效能，以及通过量化分析实现产程进展与宫缩性质的精准判别。尽管仍面临标准化不足等挑战，但随着未来研究的推进，有望在精准围产监护中发挥核心作用，推动围产期监护模式的精准化发展。

**关键词** 早产预测；产程管理；子宫肌电监测技术

**Application and Prospects of Uterine Electromyography Monitoring Technology in the Perinatal Period**

Liu Jin-qun, Li Ruo-wei Chen De-wei
Edan Instruments,Inc, Shenzhen 518000, Guangdong Province, China

**Abstract** Accurate prediction of preterm birth and precise management of labor are significant challenges in obstetrics. Existing uterine contraction monitoring techniques suffer from issues such as insufficient accuracy or the risk of invasive infection. Uterine electromyography monitoring technology, by non-invasively capturing the electrophysiological activity of the uterine myometrium, offers a novel approach for assessing uterine status. This review systematically elaborates on the physiological basis of uterine electromyography, comprehensively outlines the technical system from signal acquisition to processing, and demonstrates its advantages in overcoming the limitations of traditional methods. These advantages include enhancing the efficacy of preterm birth prediction through fusion models based on uterine electromyography characteristic parameters and enabling precise discrimination of labor progress and contraction characteristics via quantitative analysis. Although challenges such as a lack of standardization remain, future research advancements hold the potential for this technology to play a central role in precise perinatal monitoring and drive the development of a more accurate perinatal care model.

**Key words** Preterm Birth Prediction; Labor Management; Uterine Electromyography Monitoring Technology

规律且协调的子宫收缩活动是产程正常推进的生理基础，因此，精准的宫缩监测对于识别早产风险、指导产程管理至关重要。目前临床广泛应用的手法触诊与外部分娩力描记法虽操作简便，但准确性低，易受产妇腹壁厚度、体位及检查者主观经验等因素干扰，常导致误判，且监测能力在小孕周时显著下降；而作为金标准的宫内压力导管虽能直接测量子宫内压力，但具有侵入性，可能会引发宫内感染、胎膜早破等并发症，不适用于产前普遍筛查。子宫肌电监测技术（EHG）通过体表电极直接捕获子宫肌层的生物电信号，为无创且精准的宫缩评估提供了新路径。研究证实，体表采集的肌电爆发波与子宫内压力变化高度相关[1]，该技术不仅在肥胖人群中的监测稳定性显著优于传统方法，更能灵敏地识别早产早期的异常电活动。

## 1 子宫肌电的生理学基础

宫缩的本质是子宫肌层电－机械耦联的生理过程。子宫主要由平滑肌细胞组成，其可以自行产生动作电位，但单个动作电位仅能引发细胞的局部短暂收缩，而协调分娩所必需的有效宫缩力，则依赖于整个子宫肌层动作电位叠加所形成的协同张力。与心肌细胞类似，子宫肌层也存在起搏与随搏机制，但其独特之处在于无固定的起搏点，任何肌细胞均可能成为电活动的起源，并通过缝隙连接形成的低电阻通道进行扩布[2]。

妊娠期间子宫肌电活动呈现明显的阶段性特征。妊娠早期缝隙连接数量较少，细胞间电耦合程度低，子宫肌电主要表

[基金项目] 深圳市科技创新局国际合作研究项目，项目名称：基于母胎体表电生理的CTG智能分析产品研发与临床应用研究，项目编号：GJHZ20240218114608015。

现为低频、低振幅的单波活动，动作电位传导速度缓慢，且不同子宫肌细胞群间存在显著的电活动不同步性；妊娠晚期子宫肌电活动增强，爆发波出现频率和振幅有所提升，但爆发波主要表现为不规则、低强度的Braxton Hicks收缩，这些生理性宫缩不会引发产程启动，目的是为后续的分娩做好宫颈准备。进入临产阶段后缝隙连接明显增多，子宫肌电信号变为爆发波占主导，爆发波时间间隔缩短且振幅进一步升高，初期间隔约为5 ~ 10 min，随着产程进展逐渐缩短至1 ~ 3 min，此时爆发波与实际宫缩高度一致，每一次爆发波对应一次有效宫缩。

## 2 子宫肌电信号采集与临床规范

### 2.1 信号采集方案

子宫肌电技术通过贴附于腹壁的表面电极无创捕获子宫肌层电活动，子宫肌电活动本身存在起搏点不固定、动作电位传导路径多变等特性，目前信号采集尚未形成统一标准，尤其是在电极数量和阵列构型上存在显著差异。现有研究普遍认为，要实现有效空间分析的子宫肌电数据至少需要4个电极构建采集阵列。足月－早产子宫肌电数据库采用脐周正方形四电极布局分别置于肚脐左侧、右侧、上方和下方，而冰岛子宫肌电数据库则采用4 × 4电极网格构型[3]，为分娩预测研究提供16通道的高维数据支撑。临床中，无论采用何种电极配置方案，其位置通常严格遵循子宫的解剖学投影，规律地贴附于孕妇腹壁的宫底、左右子宫体及宫颈附近，以此构建空间感知网络，实现对不同区域子宫肌群电信号的同步采集。对于多胎妊娠、子宫畸形等特殊人群，还需根据子宫形态调整电极布局，确保能够全面捕获子宫整体的电活动状态。

### 2.2 临床操作规范

子宫肌电信号的采集效果与电极－肌层间距、接触阻抗和组织导电特性密切相关，为确保信号采集质量，必须遵循标准化的临床操作规范。操作伊始需进行充分的皮肤处理，使用备皮纸/膏对电极贴附区域进行脱脂与角质清理，必要时剔除毛发，旨在降低皮肤阻抗，建立良好的电极－皮肤界面耦合。在电极选择方面，湿式凝胶电极具备优良的导电性能、稳定的耦合特性及较低的底噪，尤其适用于子宫肌电等微弱生理信号的采集。相比之下，干式电极对微弱信号的响应能力较差且固有噪声较高，易导致信号质量下降与检测结果失真。采集过程中需进行信号质量验证，包括通过设备内置功能确认各通道阻抗持续达标，观察原始信号基线稳定性以排除干扰与接触不良，并在出现持续性伪迹时及时调整电极位置，从而确保获取稳定、可靠的子宫肌电信号。

## 3 子宫肌电信号处理和包络提取

### 3.1 信号预处理

体表采集的子宫肌电信号幅值微弱（100 μV ~ 1.8 mV）且有效频带较窄（0.03 ~ 1 Hz），易受到母体心电、肌电、呼吸以及运动伪迹的干扰[4]，为保障信号分析的可靠性，需对原始信号进行系统性、多阶段的预处理。首先可通过带通滤波抑制部分干扰，将信号频率限制在有效频带内，再基于信号固有特性进一步净化子宫肌电信号，例如，采用小波变换通过多尺度分解在特定尺度上剥离呼吸节律、运动伪迹等干扰分量；基于智能信号分离模型，采用独立成分分析能从混合信号中分离出独立的子宫肌电成分；多通道同步采集处理模块支持的通道融合技术则能借助多通道数据互补提升信噪比。同时，可同步联动三轴加速度传感器等运动监测模块，实时识别产妇运动伪迹时段，对该部分肌电信号进行动态补偿或分段剔除，实现运动干扰的有效抑制。

### 3.2 包络提取

包络提取的目的在于生成一条直观反映子宫收缩情况的肌电宫缩曲线，可呈现宫缩的起点、终点、频率与持续时间，且其振幅与宫内压力呈高度正相关，为宫缩评估提供了客观、稳定的依据。当前包络提取方法主要围绕信号幅值和能量分布特征展开，一是基于幅值的移动窗口积分法，通过滑动窗口对信号绝对值进行积分平均，能有效平滑随机波动并保留幅值变化趋势，简单高效；二是基于能量的希尔伯特－黄变换法，先对信号进行经验模态分解得到本征模态函数，再结合希尔伯特变换求取宫缩相关分量瞬时振幅，得到精准反映信号能量起伏的包络线，对复杂形态的爆发波适应性更佳。提取后的包络曲线实时可视化展示，同时自动计算宫缩频率、持续时间等关键参数并同步至产科中央监护平台，实现多终端数据共享。

## 4 子宫肌电的临床应用

### 4.1 早产风险预测

早产是新生儿发病和死亡的主要原因，其病因复杂多样，当前临床方法在早产预测特异性和时效上均存在局限，而子宫肌电技术通过直接捕获子宫肌层的电生理活动，结合信息化技术的深度赋能，为早产预测提供了精准化、智能化的新维度。研究表明，早产发生前子宫电活动在强度、频率和同步性方面均发生显著增强，通过分析子宫肌电爆发波时长、峰值频率、样本熵等多维参数能有效鉴别早产的异常电活动模式。早产组的平均峰值频率和爆发波持续时间显著高于未分娩组且样本熵随着妊娠时间的延长而降低[5]，进一步表明宫缩协调性的下降

与电活动时间的延长密切相关。

单个参数在区分预测早产方面的诊断价值有限，而信息化驱动的多参数融合模型则展现出巨大潜力。基于机器学习、深度学习等算法构建的预测模型，可整合子宫肌电多维度参数与临床信息，实现早产风险的智能化评估。Hassan等将子宫肌电传播速度与峰值频率结合用于预测7 d内早产，其AUC高达0.96，明显优于传统方法。另有研究将子宫肌电收缩频率与宫颈长度、早产史等临床指标整合，可使预测模型的AUC提升至0.858[6]。同时，依托医院信息化管理系统与电子病历系统的互联互通，预测模型可直接调用孕妇的既往病史、检查报告等数据，进一步提升预测的精准度与临床适配性[7-8]。

### 4.2 量化产程管理

子宫肌电监测技术结合信息化手段，在足月产程监测中从经验化管理逐步向数字化、精准化管理转型，为产程进展的动态评估与干预提供了客观高效的技术支撑。在分娩启动预测方面，随着分娩临近爆发波的峰值频率会向高频迁移，足月分娩前24 h内的爆发波峰值频率显著高于未分娩者。依托实时信息化的子宫肌电监测系统，可对信号进行动态追踪与实时分析，自动识别爆发波的峰值频率变化趋势，并将这一变化趋势转化为可视化曲线，辅助临床医生直观判断分娩启动时机。在产程进展监测方面，子宫肌电参数与产程效率密切相关。研究表明第一产程潜伏期子宫肌电的均方根幅值与总产程时长呈负相关，低幅值组产程显著延长[9]，这为子宫肌电早期识别产程乏力、适时干预提供了客观依据。在宫缩性质鉴别方面，人工智能等信息化技术的应用大幅提升了真假宫缩鉴别的特异性与效率。通过卷积神经网络、循环神经网络等深度学习算法对子宫肌电信号进行特征提取与模式识别，能有效区分真性宫缩、假性宫缩及母体腹肌运动[10]。

## 5 结束语

子宫肌电监测技术在早产预测和分娩管理中展现出重要的临床应用潜力，但要实现广泛的临床转化仍面临关键挑战：技术方面，子宫肌电信号采集、处理流程与特征参数提取尚缺乏国际统一标准，导致不同研究间存在显著差异，其结果难以进行直接比较与整合；科研方面，多数研究仍停留于验证子宫肌电特征参数与宫缩事件的统计学关联，对其背后的电生理机制阐释仍较为薄弱；临床方面，如何将丰富的电生理参数转化为启停宫缩抑制剂、实施宫颈环扎或调整催产素用量等具体临床决策，仍缺乏干预阈值与标准化路径。未来研究应致力于构建标准化的技术体系与诊断规范，并探索与其他生物标志物的多模态预测分析模型，以形成更为全面的评估体系，在此基础上通过开展多中心、大样本的研究，系统评估其对临床决策的实际效果。通过推动子宫肌电技术的规范化应用与临床路径整合，有望构建更为精准的围产期监护模式，为提升母婴健康水平提供核心驱动力。

## 参考文献

[1]潘杰.基于肌电图的子宫收缩活动监测技术和系统的研究[D].广州:暨南大学,2017.

[2]姜苇.子宫肌电信号的分析与子宫收缩机理的研究[D].天津:天津大学,2004.

[3]胡小黎,束礼梅,沈军华,等.子宫肌电信号在围产期宫缩监护中的研究进展[J].中国妇产科临床杂志,2025,26(2):164-167.

[4]李爽,赵扬玉,魏瑗.子宫肌电监测在早产预测中的应用[J].中国计划生育和妇产科,2021,13(10):22-24.

[5]FELE-ZORZ G, KAVSEK G, NOVAK-ANTOLIC Z, et al. A comparison of various linear and non-linear signal processing techniques to separate uterine EMG records of term and pre-term delivery groups[J]. Medical & biological engineering & computing, 2008,46(9):911-922.

[6]吴方超,吴竹兵,王先岳.子宫表面肌电检测技术预测早产的研究进展[J].浙江实用医学,2022,27(3):263-266.

[7]陈磊,程蔚蔚,胡修全,等.以电子病历为核心建立区域孕产妇电子健康档案的探讨[J].中国数字医学,2013,8(8):96-97,103.

[8]邓芳,杨楠楠,黄晓婷.信息化产科早期预警智能决策系统辅助分层风险管理对急危重症孕产妇母婴结局的影响[J].齐鲁护理杂志,2024,30(9):23-26.

[9]邱倩.基于子宫肌电信号识别宫缩的研究[D].北京:北京工业大学,2019.

[10]王莹.基于卷积神经网络识别子宫肌电信号宫缩的研究[D].北京:北京工业大学,2018.

（本文编辑 王 冬）

