

基于 5G 技术的远程母胎监护体系建设实践^{*}

郭 甜 沈雁翎 李梦翔 程蔚蔚 陈 磊

(上海交通大学医学院附属国际和平妇幼保健院 上海 200030)

〔摘要〕 目的/意义 探索在妇产科医院建立基于 5G 技术的远程母胎监护体系,为医疗系统基于 5G 技术完善远程医疗、智慧医疗提供参考。方法/过程 利用 5G 技术速度快、频谱宽、低时延等优点,结合母胎监护、在线教育、远程问诊、人工智能、健康数据管理、就医绿色通道等服务,构建孕产妇母胎监护数据库与母胎监护人工智能模型,建设远程母胎监护体系,优化胎心监护流程。结果/结论 实现母胎监护院内、院外、医联体、互联网医院、救护车转运等的应用结合。

〔关键词〕 胎心监护; 5G; 智慧医疗

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2024.02.014

Construction Practice of Remote Maternal Fetal Monitoring System Based on 5G Technology

GUO Tian, SHEN Yanling, LI Mengxiang, CHENG Weiwei, CHEN Lei

International Peace Maternity & Child Health Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200030, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** To explore the establishment of a remote maternal and fetal monitoring system based on 5G technology in the obstetrics and gynecology hospital, and to provide references for the medical system to improve telemedicine and smart medical care based on 5G technology. **Method/Process** By utilizing the advantages of 5G technology such as fast speed, wide spectrum and low delay, and combining services such as maternal and fetal monitoring, online education, remote consultation, artificial intelligence (AI), health data management, and medical green channel, the maternal and fetal monitoring database and the AI model of maternal and fetal monitoring are constructed, the remote maternal and fetal monitoring system is constructed, and fetal heart monitoring process is optimized. **Result/Conclusion** It realizes the combination of maternal and fetal monitoring application in hospital and outside hospital, medical alliance applications, internet hospital applications and ambulance transfer process applications.

〔Keywords〕 fetal heart monitoring; 5G; smart medical care

1 引言

随着中国二孩、三孩生育政策的实施,孕产妇

平均年龄呈逐年增高趋势,经产妇比例上升,其中有相当一部分有剖宫产史。同时,孕产妇妊娠并发症发生风险、前置胎盘、严重产后出血发生率均显著上升^[1]。患妊娠并发症的孕妇新生儿流产、死产、新生儿呼吸窘迫综合征和新生儿重症监护病房入院的发生率上升^[2]。为降低胎婴儿死亡率,有必要尽快建立精准、有效的母婴安全保障体系,改进胎心、胎动监测技术,建立更加精准、智能、有效的母胎监护和孕期保障措施。

〔修回日期〕 2023-09-19

〔作者简介〕 郭甜,助理工程师;通信作者:陈磊,高级工程师。

〔基金项目〕 上海市徐汇区人工智能医疗院地合作项目(项目编号:2021-006)。

2018 年《促进“互联网+医疗健康”发展的意见》提出“鼓励利用可穿戴设备获取生命体征数据,为孕产妇提供健康监测与管理”;《母婴安全行动计划(2018—2020 年)》明确提出要“增加胎心监护等可穿戴设备,逐步缩短检查等候时间”。远程母胎监护作为一项“互联网+妇幼保健”新技术已引起重视,成为提高围产服务质量的重要方法。远程母胎监护有利于以较低成本监测孕产妇及胎儿健康情况,提高监护质量和就医体验;并且通过更密集的院外监护可及早发现胎儿窘迫、妊娠期血糖异常等高危因素,及时处理、预防不良妊娠结局。

2 母胎监护概述

产前母胎监护对顺利分娩意义重大,通常包括胎心监护、母体生命体征(体温、脉率、呼吸、血氧、血压)监护。胎心率的变化代表胎儿的心脏和中枢神经系统对血压、血气和酸碱状态的反应,可作为胎儿是否健康的标志之一。孕期及产时胎心监护可鉴定与胎儿血氧饱和度不足有关的胎心率变化,有助于及时干预,减少胎儿低氧性损伤或死亡的可能性。胎心监护通过监测胎心率以及宫缩变化评估胎儿宫内状况,由于其操作简便无创,已成为产科不可或缺的辅助检查手段,主要用于产前、产时以及高危妊娠的监护,电子胎心监护包括无应激试验和宫缩应激试验^[3]。

临床胎心监护存在时空、技术和准确率等方面的制约。传统母胎监护需要孕妇定期到医院在特定区域内应用专业医疗设备监测,耗费时间长,占用医护资源多,并且具有严重的滞后性。随着高龄孕产妇数量逐年上升,高危因素更加复杂多变,妊娠并发症发病率增加,胎心监护工作需求量上升,进一步增加医护人员的工作压力。孕产妇到院检查排队时间也相应增加,不仅影响孕产妇就诊体验,也会增加诊疗滞后带来的病情延误风险。因此,需要一种更及时、更高频、更智能的母胎监护方法,为母婴健康提供保障。在技术和准确率层面,传统母胎监护通常需要临床医生依靠自身经验判读和诊断,基层医院诊断复杂胎心监护存在一定挑战。临

床上将可以明确诊断为胎心正常、胎儿无宫内窘迫的胎心监护图类型,称为 I 型监护图;对可以明确诊断为胎心异常、存在胎儿宫内窘迫的监护图,称为 III 型监护图;无法判明临床意义的监护图类型,称为 II 型监护图。目前 II 型监护图占比高达 80% 以上,严重限制胎心监护的诊断效率^[4]。出现这种情况的主要原因是对所获得的生物信息缺乏有效的信息分类、滤波和定性等。此外,由于对胎心监护图的误判,临床中有时会出现过度干预或漏诊。误判原因通常包括以下几点。一是对胎心监护信息缺乏有效的分类和临床意义评估。二是子宫间歇性收缩时,孕产妇心率往往加快至接近胎儿心率的水平,容易误判为胎心率(正常状态下胎心率为 110~160 次/分钟)。三是胎心监护时,感受器可接收到多种生物信息,需要有效分析、正确鉴别这些信息的类型和生物学意义。对此要在信息采集、传输、分类、定性等方面解决各种技术难题,建立精准、便捷、高效的母胎监护体系。

3 5G 技术赋能远程母胎监护

医疗健康行业具有数据密集特征,医疗大数据的采集、传输与利用对智慧医疗的建设、精准医疗的实施具有重要作用。第五代移动通信技术(5th generation mobile communication technology, 5G)的发展为提高医院医疗信息交互效率、发展与完善远程医疗、增加医患信息互动提供了技术保障。相比 4G 系统,5G 系统具有速度快、频谱宽、低时延等优点,时延达到 1 毫秒以内^[5]。

随着移动医疗的飞速发展,母胎医学内涵不断深化,远程母胎监护技术的应用对于提升围产保健服务质量和智慧产科的建设具有重大意义^[6-8]。莫翠新等^[9]研究发现远程互联网胎心监护与医院传统胎心监护的结果一致率可达 96.67%,周丽^[10]研究发现远程胎心监护的使用可以有效降低胎儿窒息率、新生儿死亡率、剖宫产率和早产率。然而,鲜有基于 5G 技术构建集院内、院外、医联体应用、互联网医院等于一体的远程母胎监护体系。远程母胎监护的开展涉及大量母婴健康数据的实时传输,

且覆盖区域广。例如胎心监护图像需要精密、无损、高速地发送至医院端，医院端再返回判读结果。5G 网络的技术优势可为孕产妇远程母胎监护体系建设赋能，打破空间和时间的局限，通过可穿戴设备对母胎进行连续、长期监测，并将数据储存、传送至医院端，提高医患信息交互效率。

4 基于 5G 技术构建远程母胎监护体系

上海交通大学医学院附属国际和平妇幼保健院（以下简称国妇幼）是上海市三级甲等妇产科专科医院，与中国电信签订“共建 5G + 双千兆智慧医院”框架合作协议，已完成院区内 5G 室分覆盖。在此基础上建立了基于 5G 技术的远程母胎监护体系，并获授牌“上海市 5G + 医疗健康应用试点医疗机构”。5G 远程母胎监护体系由智能硬件（远程胎监、多参数生命体征仪）、5G 远程监护专网、用户端及医生端 App、管理后台及母胎管理平台、云平台 5 个部分组成。该体系为可复制、可推广的医联体合作模式，基于 5G 技术高速率、低时延等优势，结合母胎监护、在线教育、远程问诊、人工智能、健康数据管理、就医绿色通道等服务，创建满足当前人口和生育政策下服务需求的新型数据库和智能预警分析模型，优化胎心监护流程，提升妇幼保健水平。该体系构建要点如下。

4.1 建立基于 5G 技术的母胎监护数据传输网络（图 1）

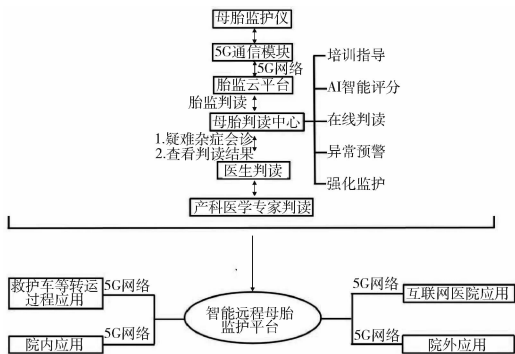


图 1 远程母胎监护体系数据传输

采用智能可穿戴母胎监护仪采集远程胎心监护和孕产妇生命体征数据，经硬件的智能化处理，通过 5G 数据传输网络安全、高速、无损、实时传输到胎监云平台存储。通过建立基于 5G 技术的远程母胎监护数据传输网络，实现远程母胎监测院内、院外、医联体、互联网医院和救护车转运等应用多位一体的功能结合与交互。

远程母胎监护可以实现院内、院外及互联网医院应用。平台精准绘制胎心监护图，形成孕产妇各项生命体征参数，采用 3 级判读管理机制和 AI 大数据分析技术建立区域性判读中心，有效实现远程监护的“线上分级诊疗”，即母胎判读中心、临床专业医生、产科医学专家团队 3 级。孕产妇可在手机 App 上查看实时监测情况以及监测报告，也可打印纸质版报告存档。一方面，医生可在手机 App 或管理平台在线回复患者。另一方面，利用 COM/DCOM 通信和中间层构建衔接通道，实现中间层与数据库的数据传输，以及客户端与医院信息系统数据库的交互，医生也可以在医院门诊系统看到孕产妇的监测信息，从而缩短就诊检查时间，方便医生及时作出诊断与干预措施。

此外，远程母胎监护体系可以实现医联体和救护车等转运过程的应用。通过云平台，基层医生可将无法准确判读的胎监图同步至国妇幼产科医学专家进行判读，并将基层医院无法处理的病例向国妇幼快速发起远程会诊和重症转诊绿色通道。当监测数据异常时，应用软件启动双向预警机制，一方面通过孕产妇手机 App 自动推送异常提醒信息并由人工客服联系孕产妇，另一方面对最近的医联体单位发送预警信息，为孕产妇开通就诊绿色通道及救护车转运服务，确保及早医疗干预，为危急重症孕产妇提供快捷高效的服务。

4.2 构建母胎监护数据库与智能评分模型

采用人工智能、机器学习等技术，在胎监云平台和母胎判读中心实现智能评分和胎监图像判读等功能，见图 2。监测数据通过 5G 网络安全、高速传输，保存至云端服务器，利用可穿戴设备前瞻性地收集孕产妇母胎监护数据，预处理采集数据，通过

经典的域变换、插值、平滑和去噪算法，去除噪声、断点和背景信息等干扰因素，提高数据质量。选取母胎医学知识库、临床指南、诊疗规范、临床路径、医学教材等循证等级较高的资料作为知识来源，经母胎医学专家团队审核，保障知识图谱质

量。根据两项国际标准（无应激试验标准、美国国家儿童健康和人类发展研究所标准）对采集数据分类和编码标注，由资深产科专家确认，最终将高质量图谱集合至母胎监护数据库。

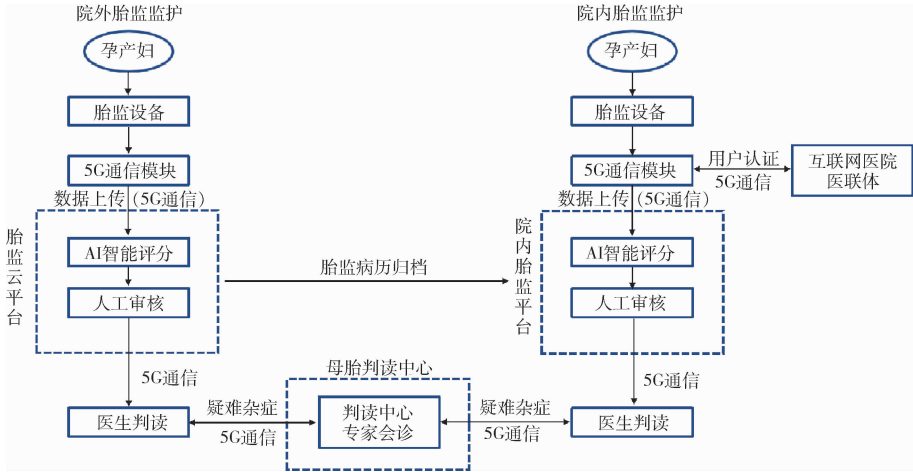


图2 远程母胎监护体系系统构架

结合国内外临床专家经验和典型病例，经过训练模型的初步探测比较，选取将母胎监护数据库中的高质量监护数据进行模型训练。利用远程母胎监护系统和电子病历系统收集大量病例资料，包括孕产妇年龄、高危因素、孕次、产次、孕期出血情况、是否前置胎盘等，建立远程母胎监护病案库。采用机器自动抽取与医学专家团队审核相结合的形式进行知识抽取，确保知识图谱的准确性和质量，同时不断收集使用反馈，持续动态维护更新，提升知识图谱的实用性和专业度。构建基于数据模型和知识模型交互学习的母胎监护人工智能模型，并利用云数据不断训练和改进人工智能系统模型，进一步提高人工智能辅助诊断系统的准确性。以数千例临床胎心监护数据的专家判读结果作为神经网络训练样本；对比神经网络输出和专家判读结果，对胎心监护样本进行时间窗尺度上的特征分析，修正样本库结果；通过决策层延伸实现专家系统的知识粒度细化；通过再次反向训练参数优化更新神经网络参数，实现知识模型和数据模型的交互学习、迭代进化以及模型验证，最终实现在临床实践中辅助医疗行为。

4.3 项目效果

相比传统母胎监护，基于5G的远程母胎监护体系可以打破时间和空间的限制，具有便捷性、及时性、经济性、个性化等特点。截至2023年5月，国妇幼共采集2505人次的孕晚期远程胎心监护数据，涉及402名孕产妇。面向使用过远程胎心监护的孕产妇随机发放256份匿名满意度问卷，问卷回收率100%。问卷包含“是否满意远程胎心监护”“是否愿意向他人推荐远程胎心监护”“推荐/不推荐的具体原因”3个问题。采用李克特五点计分法，“非常满意”计5分，“满意”计4分，“一般”计3分，“不满意”计2分，“非常不满意”计1分。问卷结果显示，75%的孕产妇对远程胎心监护项目表示“非常满意”，23%表示“满意”，满意度平均分为4.70分。98.44%的孕产妇愿意向他人推荐远程胎心监护，主要原因包括便捷、安心、减少孕期焦虑等；1.56%的孕产妇不愿意向他人推荐远程胎心监护，主要原因为周末归还不便。针对不足，国妇幼增加线上预约快递归还服务。

目前项目同步在上海市金山区亭林医院、上海

市松江区妇幼保健院、盐城市妇幼保健院等医院上线开展,并已实现联盟单位独立判读本院线上胎监报告,可疑报告可转单由国妇幼判读专家团队进行判读。项目的应用不仅使国妇幼专家资源有效下沉服务更多孕产妇;而且有助于联盟单位医生远程带教,以真实胎监报告实战判读提高准确率。

5 结语

基于 5G 技术建设远程母胎监护体系,可以实现母胎监护院内、院外、医联体、互联网医院、救护车转运等多级应用,通过构建孕产妇母胎监护数据库与人工智能母胎监护模型,可提高母胎监护结果判读效率及准确性。5G 技术的引入为远程母胎监护带来了一些潜在挑战,例如隐私和数据安全、信号稳定性、人员培训、费用和基础设施投资等问题。随着母胎监护数据库的不断丰富,基于数据模型和知识模型交互学习的母胎监护人工智能模型将不断完善,远程母胎监护结果判读的准确性和效率将不断提升,而未来远程胎心监护也将在技术、便捷性、精准性和个性化等方面不断发展,并注重解决技术依赖性、隐私和数据安全等问题。

利益声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 ZHANG H, ZHAO Y, WANG Y. Analysis of the characteristics of pregnancy and delivery before and after implementa-

- tion of the two-child policy [J]. Chinese medical journal, 2018, 131 (1): 37-42.
- 2 LIN J, JIN H, CHEN L. Associations between insulin resistance and adverse pregnancy outcomes in women with gestational diabetes mellitus: a retrospective study [J]. BMC pregnancy childbirth, 2021, 21 (1): 526.
- 3 周光美. 分析胎心监护在产科中的应用进展 [J]. 中国医疗器械信息, 2022, 28 (11): 3.
- 4 CLARK S L, NAGEOTTE M P, GARITE T J, et al. Intrapartum management of category II fetal heart rate tracings: towards standardization of care [J]. American journal of obstetrics and gynecology, 2013, 209 (2): 89-97.
- 5 贾斐, 王雪梅, 汪卫国. 5G 通信技术在远程医疗中的应用 [J]. 信息通信技术与政策, 2019 (6): 4.
- 6 ATKINSON J, HASTIE R, WALKER S, et al. Telehealth in antenatal care: recent insights and advances [J]. BMC medicine, 2023, 21 (1): 332.
- 7 王敬伟, 王越, 崔王飞. 远程胎心监护服务的临床应用价值及影响因素分析 [J]. 中国妇幼保健, 2022, 37 (3): 491-494.
- 8 MHAJNA M, SCHWARTZ N, LEVIT-ROSEN L, et al. Wireless, remote solution for home fetal and maternal heart rate monitoring [J]. American journal of obstetrics & gynecology MFM, 2020, 2 (2): 100101.
- 9 莫翠新, 郭峻柳, 潘丽芳. 互联网远程胎心监护临床应用的可行性分析 [J]. 中国实用医药, 2020, 15 (14): 178-179.
- 10 周丽. 妊娠晚期胎心监护与脐血流测定联合应用对胎儿预后的临床意义 [J]. 实用妇科内分泌杂志, 2015, 13 (2): 196-197.

《医学信息学杂志》开通微信公众号

《医学信息学杂志》微信公众号现已开通,作者可通过该平台查阅稿件状态;读者可浏览当期最新内容、过刊等;同时提供国内外最新医学信息研究动态、发展前沿等,搭建编者、作者、读者之间沟通、交流的平台。可在微信添加中找到公众号,输入“医学信息学杂志”进行确认,也可扫描右侧二维码添加,敬请关注!



《医学信息学杂志》编辑部