

可穿戴技术应用于术后监控和康复的现状分析

匡绍龙¹, 房银芳¹, 周瑞¹, 宋晗², 刘文勇², 孙立宁¹

1. 苏州大学机器人与微系统研究中心, 苏州 215021
2. 北京航空航天大学生物与医学工程学院, 北京 100191

摘要 术后健康监控过程能够保障在生命体征出现异常情况时可以进行及时处理,同时术后康复训练及效果评估也需要有效的工具进行支持,可穿戴技术的出现和发展,为这些需求的实现提供了相应的技术保障。本文利用国内外学术数据库,对可穿戴技术在术后监控、术后康复训练方面的研究和应用相关文献进行了收集和整理,综述了可穿戴技术在各类外科领域的应用情况,包括基本功能、技术原理、使用方法及对其进行效果评价。结果表明,可穿戴技术在术后的应用已涉及显微外科、矫形外科、普通外科、心胸外科、神经外科等外科方向,但其应用尚处于研究探索阶段。未来需要更多关于可穿戴技术用于术后健康监控和康复训练评估的可行方法和临床验证工作的研究,以使它真正满足病人术后在医院和家庭进行健康监控和康复训练的需要。

关键词 可穿戴技术;术后;健康监控;康复训练;效果评估

可穿戴技术,即将多媒体、无线通信、传感等技术相融合,嵌入到人们日常穿戴中的一种新型人机交互方式,因其具有体积小、功耗低、使用简便、可移动操作等特点,已成为运动健身、生活娱乐及医疗健康等领域的研究热点^[1-2]。特别是在医疗健康领域,随着体域网技术和微纳生物传感技术的发展,可穿戴设备未来会像手机等移动设备一样,成为个人的必备设备^[3]。

可穿戴技术在医疗健康领域的应用包括慢性病管理、围术期监控、康复训练等。黄海诚等^[4]对可穿戴技术在测量及监护、治疗、康复等领域的研究与应用现状进行了综述;封顺天^[5]就运动健康、慢性病管理、远程医疗方面的可穿戴技术进行了回顾;Patel等^[6]从健康监测、安全监测、基于家庭康复、手术效果评估及早期病症检测等方面对可穿戴技术研究及应用情况进行了归纳。从现有文献来看,目前可穿戴技术在医疗健康领域的关注重点集中在对心脏病、中风、帕金森等慢性病的管理上。

实际上,在手术领域,特别是术后,因微创手术等新的治疗模式的出现,可穿戴技术在该领域的应用有着很迫切的需求^[7]。调查显示,将近50%的病人术后康复训练无人监管或者理疗方式错误^[8]。为此,有研究人员开始将可穿戴设备引

入病人术后健康状况及康复训练过程,通过检测病人运动信息来对相关过程进行监控、指导。

另一方面,随着可穿戴技术在手术室和术后康复领域的渗透,术后监控和康复训练模式逐步移动化、便捷化、高效化,可以提高医院治疗效率和病人康复效果,缩短病人在院时间^[9]。为梳理可穿戴医疗设备的研究成果,提炼可穿戴技术在术后监控和康复训练与评估领域的发展情况,引导可穿戴技术及相关医疗机构进入该研究领域,本文基于中国知网文献数据库,利用Google学术、Bing学术,从国外IEEE、Springer、Web of Science、Wiley、PubMed、Elsevier、BMC、BMJ等数据库对可穿戴技术在术后监控和术后康复训练的研究和应用文献进行了收集和整理后,形成该研究现状分析。

1 可穿戴技术在术后健康状况监控的研究和应用现状

在显微外科领域,由于微创手术的应用,已可以将病人的术后康复从医院转入家庭,但现有对术后康复状况的监控是由看护护士定期上门检查,不能准确检测到病人并发症的早期迹象,导致很难解决术后早期并发症问题。为此,Lo等^[9]使用e-AR耳带式活动辨识传感器(图1)实现对病人移动能

收稿日期:2016-11-02;修回日期:2016-12-17

基金项目:国家自然科学基金面上项目(61375090,11272039)

作者简介:匡绍龙,副教授,研究方向为医疗机器人及医学装备,电子信箱:skuang@suda.edu.cn;刘文勇(通信作者),讲师,研究方向为医用机器人技术,电子信箱:wylu@buaa.edu.cn

引用格式:匡绍龙,房银芳,周瑞,等.可穿戴技术应用于术后监控和康复的现状分析[J].科技导报,2017,35(2):55-59;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.02.007

力的判断,进而分析其微创手术术后总体健康状况和恢复速度。该传感器包括 MSP430 处理器、无线收发器及存储器,集成了血氧模块及三轴加速度计。通过血氧模块对病人的氧饱和度和心率进行测量,通过加速度计对病人的移动能力和活动信息进行监控,利用多元高斯贝叶斯分类器对不同的活动进行识别,从而实现对患者移动能力的判断,进而分析其微创手术术后总体健康状况和恢复速度。在此过程中,临床医生通过常规电话来检查病人的状态。该团队已初步对患者进行了基于实验室环境下的验证,结果表明,e-AR 传感器能够对病人不同的活动进行识别。该研究指出可穿戴技术对未来术后护理具有潜在的临床价值。

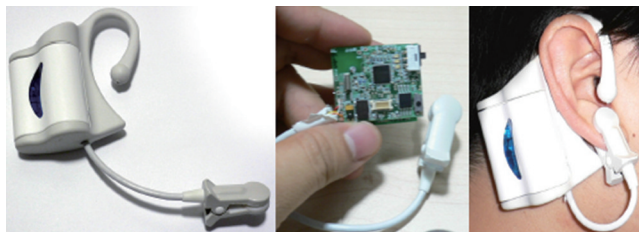


图1 e-AR 传感器
Fig. 1 e-AR sensor

不仅如此,现在该团队还涉及矫形外科和普通外科领域。将 e-AR 传感器结合压力传感器用于膝关节置换术术后对病人整个身体的摇摆情况进行监测,摇摆的不平衡可以表征不良功能的肢体^[7];将 e-AR 传感器结合加速度计用于腹部手术术后对病人移动能力和呼吸能力进行监测^[10]。通过分析病人行走模式的变化,可提高膝关节和腹部手术术后病人移动能力。

在普通外科领域,Kaneshiro 等^[11]研发了一种非入侵的声音肠道监控生物传感器(图2),用以监控腹部手术来区别病人恢复并进行健康控制。该系统将带有麦克风的一次性设备粘贴到腹壁上,再将其连接到计算机,以测量声频率,即每分钟的运动次数。实验面向 28 个受试者,检测其相关参数值,医生据此可以排除 80% 发病的可能性,从而在安全前提

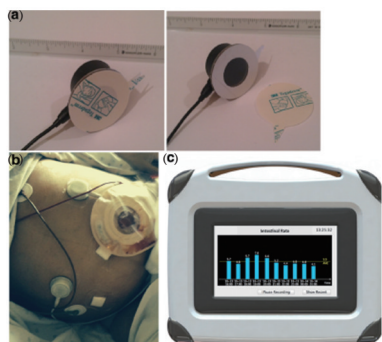


图2 术后肠梗阻远程监控系统
Fig. 2 Post-Operative gastrointestinal telemetry

下帮助病人更早进食。Inoue 等^[12]研发的主动追踪加速度计安装于病人脚踝处,对内窥镜局部胃切除手术术后健康情况进行监控。对 20 个术后病人的监控实验结果表明,用累计加速度方法作为术后恢复监控和判断出院时间是可行的。

在心胸外科领域,Laerhoven 等^[13]基于 UbiMon 项目提出了植入体内监测和介入框架。该系统包括传感器、遥感单元、本地处理单元、中央服务器、患者数据库和工作站,可对心脏手术进行术后监控,分析内部心脏的条件以及影响体力和心理压力的其它因素。可植入生物传感器可以准确、直接地测量数据,以此来对生理参数的连续评估并发现早期不良症状。

在神经外科领域,EI Sayed 等^[14]研发了普适健康监护系统。通过步态信息监测健康问题,用于定量术后恢复,观察神经变性疾病的进展。实验包括无线摄像机和耳戴式身体传感器网络(body sensor network, BSN)节点,未来会扩展多个视觉传感器节点以及研究分布式推理来提高分类结果。初步实验结果表明,该方法在改善老年病人家庭健康护理质量方面有很好的效果。

2 可穿戴技术在术后康复训练及效果评估的研究和应用现状

在矫形外科领域,Zhu 等^[15]开发了用于膝关节置换术术后步行康复的膝辅助仪(图3)。该装置包括非圆凸齿轮、带有角度传感器的髌关节支承机构及带有足底压力传感器的康复鞋。初步的实验结果表明,该装置可有效改善病人膝关节置换术术后步行康复,缩短病人住院时间。Chen 等^[16]设计了膝关节炎术后康复训练及评估系统(图4),在胸前、大腿以及小腿胫骨处安装 3 个运动传感器,内置三维加速度计,通过运动和步态检测分析术后康复训练效果。在矫形外科领域,Aminian 等^[17]使用微型加速度计对髌关节置换术术后的病人进行基于步态的康复效果监控与评估。利用该系统对 12 例单侧髌关节置换术术后病人进行测量,分析其术后 3 个月、6 个月、9 个月的步态。结果表明该方法用于髌关节置换术术后的步态改善功能评估具有可行性。

在普通外科领域,Rawe 等^[18]利用脉冲射频能量(pulsed

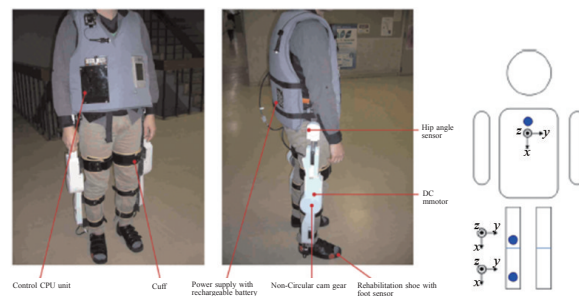


图3 膝关节辅助仪
Fig. 3 Auxiliary device for knee

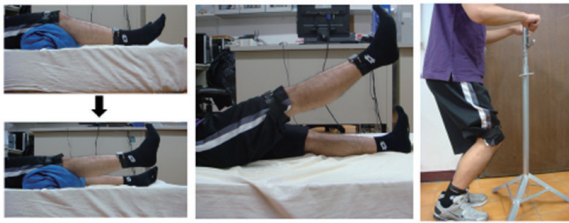


图4 膝关节炎康复训练评估系统示图
Fig. 4 Rehabilitation exercise assessment system for knee OA

radio frequency energy, PRFE)装置(图5)解决术后疼痛问题。实验证明,该治疗设备可被患者所承受,且无不良反应,接受PTFE治疗的患者术后疼痛明显减少。该模式下的术后疼痛治疗方法几乎可被用于所有情形,辅以药物干预会有更大灵活性。Rajanna等^[8]研制了术后健康行为改变支持系统(health behavior change support system)KinoHaptics(图6),该系统包含体感传感器及辨识系统、蓝牙模块、控制器及触觉振动传感器等部分。病人的康复训练需要在医生给定的训练方案下进行,Kinect体感器监测病人肢体运动范围和关节角度,若运动超出设定范围时,振动触觉传感器会振动提醒病人。通过对14个参与者进行手臂运动实验结果表明,该震动触觉反馈直观、准确,并可防止意外伤害。该系统未来可进一步扩展支持用户定制和多模式振动触觉的反馈能力。



图5 脉冲射频能量(PRFE)装置
Fig. 5 Pulsed radio frequency energy device

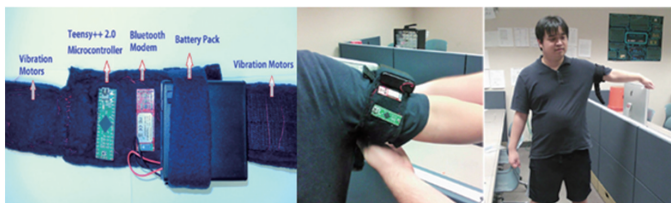


图6 KinoHaptics系统
Fig. 6 KinoHaptics system

在心胸外科领域,Cook等^[19]利用Fitbit无线加速度计对大型手术后的老年人进行在院功能恢复评估。将该设备置于病人脚踝的绷带上,用以测量病人心脏手术后在院康复期间的移动能力。通过在病房内配备一个带有计算机接口的天线,无线加速度计将采集的数据经由天线和室内计算机传

送至Fitbit网站,数据存储在云数据系统并配置到仪表盘由供应商查看。使用无线加速度传感器介入病人康复过程进行早期识别,作为一种评估手段以及改善护理过程,从而提高病人出院时的效果。

在神经外科领域,Kyrylova等^[20]研发了用于可穿戴机械电子肘部康复训练护具(图7)。该护具用于术后臂丛神经恢复训练,帮助病人进行期望的运动并保证其运动在安全的范围内。实验表明,所提出的装置可用于上肢康复训练,并维持病人运动能力,实现基于家庭内的康复训练。Appelboom等^[21]设计了安装于术后病人脚踝上的无线运动传感器。该传感器内置3轴加速度计,可精确记录步行阶段的启动时间、结束时间、持续时间,由研究者远程获取并分析,从而获取病人移动状态的信息,以此来反映病人术后恢复状况,尤其是神经系统恢复问题。本研究尚处于实验性阶段,未来需要在设备兼容性和临床方面进一步研究。



图7 可穿戴机械电子肘部康复训练护具
Fig. 7 Wearable mechatronic elbow brace

3 总结与展望

医疗是一个对安全性和可靠性要求比较高的行业,监控过程需要保证生命体的异常情况得到及时处理,也需要相应康复训练设备提供合理的训练以保障术后恢复效果。可穿戴技术的发展,为这些需求的实现提供了技术保障。可穿戴技术在术后健康监控和康复训练及效果评估方面的研究和应用表明,目前的应用已涉及到显微外科、矫形外科、普通外科、心胸外科、神经外科等外科领域。利用可穿戴技术和远程医疗手段,不仅在医院也可以在家庭实现术后病人健康状况监控和康复训练的评估。现阶段而言,可穿戴技术的应用主要是通过检测病人生命体征信息和运动状况进行术后并发症的监控或者康复效果的评估,或者通过相关机电设备的使用提高康复训练效果。将可穿戴技术用于术后监控与康复训练领域,既满足了术后病人实时进行自我监护的需求,也为医疗诊断提供了新的治疗手段,且能降低病人的住院时间,减轻家庭的医疗负担,降低对医疗资源的需求,更利于病人的术后恢复。

另一方面,可穿戴技术在术后的研究和应用是近些年刚

刚兴起的领域,尚处于探索阶段。就术后康复训练的监督和引导而言,它和可穿戴技术在医疗健康的其他应用领域一样,需要更多的技术手段以及构建基于移动和互联网的康复训练监测、记录、指导的系统。但术后领域有其自身特点,即使是相同的传感器和可穿戴技术,对于不同病症,其判别标准和适用条件是有差异的。当前体征信息与健康状态评估之间还未建立明确的判定准则,监测数据的解读需要专业医疗人士的介入才可能将数据与术后患者的体征信息、训练进展及效果评估充分结合起来。其次,临床效果评估的研究还不够,必须以医工结合的模式进行研发和临床试验,确保其在理论和应用上的可行性。最后,可穿戴技术的适用性和迁移性还未有受到相应的关注,即便是实现相同的功能,对于不同的部位,也需要深入探索。

相信随着可穿戴技术和相关技术研究的不断深入,未来的可穿戴技术会真正满足患者术后基于医院和家庭进行健康监控和康复训练的需要。

参考文献 (References)

- [1] 蒋小梅, 张俊然, 赵斌, 等. 可穿戴式设备分类及其相关技术进展[J]. 生物医学工程学杂志, 2016, 33(1): 42-48.
Jiang Xiaomei, Zhang Junran, Zhao Bin, et al. Classification and correlative technology development of wearable devices[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2016, 33(1): 42-48.
- [2] 颜延, 邹浩, 周林, 等. 可穿戴技术的发展[J]. 中国生物医学工程学报, 2015, 34(6): 644-653.
Yan Yan, Zou Hao, Zhou Lin, et al. The development of wearable technologies[J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2015, 34(6): 644-653.
- [3] 许媛. 可穿戴设备市场现状与趋势分析[J]. 无线互联科技, 2014(7): 190-190.
Xu Yuan. Market status and trend analysis of wearable devices[J]. Wireless Internet Technology, 2014(7): 190-190.
- [4] 黄海诚, 汪丰. 可穿戴技术在医疗中的研究与应用[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(1): 1-5.
Huang Haicheng, Wang Feng. A review of wearable technology in medical research and application[J]. China Medical Devices, 2015, 30(1): 1-5.
- [5] 封顺天. 可穿戴设备在医疗健康领域的关键技术及应用场景分析[J]. 电信技术, 2016, 8(5): 32.
Feng Shuntian. Analysis of key technologies and application scenarios of wearable devices in medical health[J]. Telecommunications Technology, 2016, 8(5): 32.
- [6] Patel S, Park H, Bonato P, et al. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation[J]. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2012, 9(1): 1.
- [7] Atallah L, Jones G G, Ali R, et al. Observing recovery from knee-replacement surgery by using wearable sensors[C]. 2011 International Conference on Body Sensor Networks. IEEE, 2011: 29-34.
- [8] Rajanna V, Vo P, Barth J, et al. KinoHaptics: An automated, wearable, Haptic assisted, physio-therapeutic system for post-surgery rehabilitation and self-care[J]. Journal of Medical Systems, 2016, 40(3): 1-12.
- [9] Lo B, Atallah L, Aziz O, et al. Real-time pervasive monitoring for post-operative care[C]. 4th international workshop on wearable and implantable body sensor networks (BSN 2007). Springer Berlin Heidelberg, 2007: 122-127.
- [10] Aziz O, Lo B, King R, et al. Pervasive body sensor network: An approach to monitoring the post-operative surgical patient[C]. International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN'06). Cambridge Massachusetts, United States: IEEE, 2006: 4-18.
- [11] Kaneshiro M, Kaiser W, Pourmorady J, et al. Postoperative gastrointestinal telemetry with an acoustic biosensor predicts ileus vs. uneventful GI recovery[J]. Journal of Gastrointestinal Surgery, 2016, 20(1): 132-139.
- [12] Inouez Y, Kimura T, Fujita S, et al. A new parameter for assessing postoperative recovery of physical activity using an accelerometer[J]. Surgery Today, 2003, 33(9): 645-650.
- [13] Van Laerhoven K, Lo B, Ng J, et al. Medical healthcare monitoring with wearable and implantable sensors[C]. Nottingham, England: Ubiquitous Computing, 2004.
- [14] ElSayed M, Alsebai A, Salaheldin A, et al. Ambient and wearable sensing for gait classification in pervasive healthcare environments[C]. 12th IEEE International Conference on e-Health Networking Applications and Services. Lyon, France: IEEE, 2010: 240-245.
- [15] Zhu Y, Nakamura M, Horiuchi T, et al. New wearable walking-type continuous passive motion device for postsurgery walking rehabilitation [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine, 2013: 0954411913481557.
- [16] Chen P C, Huang C N, Chen I C, et al. A rehabilitation exercise assessment system based on wearable sensors for knee osteoarthritis[C]. International Conference on Smart Homes and Health Telematics. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 267-272.
- [17] Aminian K, Rezakhanlou K, De Andres E, et al. Temporal feature estimation during walking using miniature accelerometers: An analysis of gait improvement after hip arthroplasty[J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 1999, 37(6): 686-691.
- [18] Rawe I M, Lowenstein A, Barcelo C R, et al. Control of postoperative pain with a wearable continuously operating pulsed radiofrequency energy device: A preliminary study[J]. Aesthetic Plastic Surgery, 2012, 36(2): 458-463.
- [19] Cook D J, Thompson J E, Prinsen S K, et al. Functional recovery in the elderly after major surgery: Assessment of mobility recovery using wireless technology[J]. The Annals of Thoracic Surgery, 2013, 96(3): 1057-1061.
- [20] Kyrlyova A. Development of a wearable mechatronic elbow brace for postoperative motion rehabilitation[D]. Ontario: The University of Western Ontario, 2015.
- [21] Appelboom G, Taylor B E, Bruce E, et al. Mobile phone-connected wearable motion sensors to assess postoperative mobilization[J]. JMIR MHealthand UHealth, 2015, 3(3): e78.

Applications of wearable technologies in postoperative monitoring and rehabilitation

KUANG Shaolong¹, FANG Yinfang¹, ZHOU Rui¹, SONG Han², LIU Wenyong², SUN Lining¹

1. Robotics and Micro-Systems Center, Soochow University, Suzhou 215021, China

2. School of Biological and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract With the emergence and development of the wearable technology, the health monitoring to handle abnormal situations can be realized and the effective tools to guide and evaluate the postoperative rehabilitation training can be found. This paper reviews the development of the wearable technology applied in the postoperative monitoring and the postoperative rehabilitation training, based on domestic and abroad studies, as well as the applications in various surgical fields, such as the basic functions, the technical principles, the methodologies and the effectiveness evaluations. It is shown that the wearable technology in the postoperative application is just in its infancy stage, in spite of its wide application areas of the micro-surgery, the orthopaedics, the general surgery, the cardiothoracic surgery, the neurosurgery and so on. To fulfill the requirements of the postoperative healthy monitoring and the rehabilitation in hospital or at home, more studies are needed in the future to explore the feasible methods and clinic validations.

Keywords wearable technology; postoperative; healthy monitoring; rehabilitation training; outcomes evaluation

(责任编辑 田恬)