

·综述·

可穿戴设备应用于脑卒中康复治疗的研究进展

梁嘉欣¹ 黄国志^{1,2}

我国每年的脑卒中死亡人数达到将近160万,已超过心脏病成为死亡和成人残疾的主要原因。此外,中国每年约有250万新发脑卒中病例和750万卒中幸存者^[1-2]。他们将伴有长期的功能障碍,包括运动功能障碍以及日常生活活动的功能障碍。值得庆幸的是,研究表明运动训练康复治疗 and 任务导向型康复治疗可以改善脑卒中后的功能障碍^[3]。然而,在传统的康复治疗中,康复训练主要依赖治疗师的经验,这就意味着,在治疗过程中的诊断、评估、训练都将受到每位治疗师不同能力的限制。超过75%的脑卒中患者需要在出院后继续接受多学科评估和康复治疗,这给社区和家庭带来了很大的康复服务需求,而在我国社区康复资源及治疗师水平都比较有限。其结果是,患者在完成治疗计划的过程中所达到的水平与进步都不能进行可靠的监督以及准确的评估。同时,从治疗师的角度来看,也很难评估他们设计的治疗计划的效率和有效性。所以,建立智能的社区、家庭康复系统以支持患者在社区和家庭进行康复训练成为目前前沿研究课题^[4]。

1 可穿戴设备介绍

可穿戴设备可放置于人体附近或人体上,并具有智能的电子设备或组件,可以通过连接成为智能系统的一部分。小型传感器、无线传输模块、控制处理单元、用户接口、软件等部分有机结合才能组成一个可用于康复评估与治疗的,具有针对性的可穿戴设备。可穿戴设备的其中一个特色是,不同模块的组合能满足不同的功能需求,这就意味着,可穿戴设备可以根据康复评估和治疗的需求进行设计。

可穿戴设备的功能主要由传感器类型决定,不同类型的传感器将收集不同类型的人体参数,在康复评估与训练中常用的传感器类型有以下三种:①生理传感器:是一类能测量显著生理参数的传感器的统称,包括温度传感器、生物电传感器等,可测量心率、血压、身体和皮肤温度、氧饱和度、呼吸速率、心电图等参数,可以对患者的身体状态进行实时的监控和反馈,帮助医生和治疗师实时掌握患者生理数据,调整训练负荷;②压力传感器:通过监测压力大小以及压力随时

间变化的参数来反映作用在传感器上的压力的变化情况,通过分析压力参数可以对康复训练、预适应训练或运动训练等领域起到指导作用;③惯性传感单元:可包括磁力计、速率陀螺仪及加速度计,可以不依赖于固定的参考坐标进行三维动作捕捉,提供运动过程中的角速率、线速度和位置等运动参数,可以帮助记录和分析人体的运动轨迹,用于康复评估与训练的依据和指导。

19世纪50年代,惯性传感器首次被使用在人体运动实时检测^[5],因其在人体动作捕捉方面的多种优势而成为当时的热门研究。近年来,人体动作捕捉技术的应用范围已逐渐从运动训练扩展到康复治疗,许多运用不同传感技术的动作捕捉方法都被应用于人体动作的分析,包括光学、声波、雷达及磁等系统,不同传感技术的动作捕捉方法都被应用于人体动作的分析^[6]。随着微机电系统、无线技术和加速度传感器等惯性传感器的研究进展,惯性传感器变得更加小而轻便,推动了可穿戴设备技术在康复训练中的应用,使得智能的可穿戴式社区、家庭康复训练系统成为可能^[7]。目前,越来越多的康复可穿戴设备被设计并应用于康复评估与治疗及康复辅具的应用等各个方面^[8]。

2 可穿戴设备用于康复评估与治疗对比传统康复治疗技术

与传统的康复评估与治疗相比,可穿戴设备可以通过传感器更准确地评估与记录患者的生理及运动参数并进行实时的呈现和反馈,让患者和治疗师都能更快速、直观地掌握患者的生理和运动情况,进而进行更具有针对性、更安全的康复训练。可穿戴设备在康复中应用的优势主要体现在准确、参与和智能三点。对患者运动功能的准确评估是康复训练的基础,可穿戴设备对患者进行更为客观的评估,而可穿戴设备的实时反馈和多样的训练方式可以为患者提供训练的实时有效的指导,提高患者参与的积极性和训练效率。此外,对患者运动参数的智能分析与对比可以给患者制定更有针对性的训练方案,记录的数据还可用于临床疗效的研究和训练技术的分享。Sungkarat等^[9]通过足底压力可穿戴设备,对17例恢复期的脑卒中患者进行每天30min的步态和平衡

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.09.023

1 南方医科大学珠江医院,广东,510515; 2 通讯作者

作者简介:梁嘉欣,女,硕士研究生; 收稿日期:2017-02-28

训练,经过15次训练后,与对照组17例进行相同强度、时间和次数传统步态和平衡训练的患者相比,平衡和步态对称性的提高有显著的差异,结果表明,使用可穿戴设备进行康复训练对比传统康复训练对脑卒中患者的康复有明显的优势。

可穿戴设备用于康复治疗的主要目标是收集患者的运动、姿势和监测康复治疗期间的肢体活动情况。相对于传统的康复治疗技术来说,可穿戴设备在数据收集、与患者交互以及远程医疗等方面都体现出了明显的优势。①降低医疗成本:可穿戴设备的低成本技术,可以取代传统的面对面康复服务,有助于提高康复服务效益成本比;②提高治疗效率:脑卒中患者只需要穿戴相应的传感器就可以通过一个简单的用户界面自己在家进行康复评估和训练,治疗师通过接收监测系统的自动实时反馈来监督和调整训练,既能够节省脑卒中患者的治疗时间和成本,也能提高治疗师的工作效率;③提高治疗的灵活性:可穿戴设备的传感器重量轻、外形小巧、没有电线连接,使患者在进行康复训练时动作和地点都不受到设备的限制,此外,系统将记录患者的数据,上传、反馈至云端,供治疗师对患者进行指导和更深入研究;④增加患者训练动机:可穿戴设备与视频游戏和虚拟现实等其他技术集合能够解决康复训练缺乏趣味性和心理激励的问题,提高脑卒中患者在治疗过程中的动机和参与感;⑤增强训练反馈:在运用可穿戴设备的康复评估与训练中,治疗师通过查看总结性的运动学数据,评估患者的进展,并相应地调整治疗,所收集的数据也可以作为反馈,以3D运动图像等形式提供给患者,来实时调整训练动作;⑥提供多项检测:可穿戴设备可以将多种传感器集合在同一个设备中,具有在监测患者运动信号的同时监测其他重要信号的能力,带来更安全全面的康复评估和治疗。可穿戴设备技术在脑卒中的康复评估与治疗中可以充分地发挥出其优势,弥补传统评估与治疗方式的不足,目前,国内外可穿戴设备技术用于脑卒中康复研究及临床应用的经验越来越多,期望带来更大的突破。

3 可穿戴设备在脑卒中康复评估与治疗应用现状

可穿戴设备运用于脑卒中康复评估与治疗是一个全新开辟的领域,由于可穿戴设备在收集与记录患者肢体活动方面的突出优势,使该技术在脑卒中患者功能评定、姿势控制、功能训练、日常生活活动(activities of daily living, ADL)监测与步态分析等方面运用日趋广泛。

3.1 上肢和躯干的康复评估与治疗

可穿戴设备技术可用于脑卒中患者上肢和躯干的康复评估与治疗。约80%的急性脑卒中会出现偏瘫症状,近40%的患者出现患侧上肢功能障碍,这将限制患者上肢功能的使用和社会活动^[10]。上肢功能障碍是一个被严重低估的将导致患者卒中后生存质量降低的问题。脑卒中后的第一年,大

约有40%的脑卒中患者需要日常生活活动的协助,脑卒中后第四年,仍有约67%的患者将上肢的功能障碍视为影响生活的主要问题。Markopoulos P等^[11]设计出了可穿戴设备Us'em,旨在记录脑卒中患者日常生活活动中患侧上肢的使用情况,以及健侧上肢与患侧上肢使用情况的比较,并给予患者实时反馈,用于指导患者的日常生活活动与训练。9例脑卒中后上肢功能障碍的患者在使用该可穿戴设备后表示,设备能准确地检测出上肢功能障碍,并进行有效指导。Us-watte等^[12]也表明加速度计数据可以提供关于脑卒中患者日常生活活动中上肢运动的客观信息,在他们的研究中,将可穿戴设备放置在日常生活用品以及25例成年脑卒中患者的手腕上进行康复治疗,结果表明患者有良好的依从性,并且通过收集加速度计的简单数据可以评估患侧和非患侧上肢的活动比率,收集关于上肢运动状态的临床相关信息。Patel等^[13]表示,使用放置在手臂上的加速度计,可以得出上肢功能的准确估计,作者使用来自Wolf功能能力量表(functional ability scale, FAS)的一小部分任务,通过数据分析可以得出FAS总评分情况。

姿势控制也是可穿戴设备运用在上肢和躯干的一个重要应用领域,可穿戴设备可以通过反馈帮助患者意识到错误姿势并及时进行自我监控和纠正,允许一位治疗师同时训练多例患者,甚至可以启用远程康复方案来指导患者在社区和家庭进行康复训练。早期的研究已确定传感器测量躯干姿势的适当位置,以确保正确执行上肢康复训练。Beurgens等^[14-15]开发了一件结合上肢康复训练与游戏进行康复治疗的可穿戴背心,旨在帮助患者进行上肢功能康复并监测患者的姿势。Wang Q等^[16]经过5代研发,最终研发出智能康复背心(SRG),包括智能纤维和可穿戴电设备以及基于android系统硬件上运行的应用程序,用于监测正确颈部姿势和上肢康复训练指导与反馈,以及治疗下背痛与肩关节疼痛等症状,此系统较好的综合了舒适性、美观性与准确性。

3.2 手功能的康复评估与治疗

手功能障碍是常见的脑卒中后遗症之一,严重的影响到患者的日常生活。目前患者手功能的康复多依赖于治疗师的指导,此外,训练内容多较为重复、枯燥。可穿戴设备在手功能康复评估与治疗当中的应用将丰富手功能康复的治疗方法并使之更精准化,也为患者的自主康复提供了可能。由于手部运动由各个手指配合完成,包括抓握、侧捏、对捏等多种功能姿势,在使用传感器进行监测时,对传感器的精确度要求较高。随着可穿戴技术的发展,近年来传感器的精确度以及体积达到了可用于手功能康复评估与治疗的水平,可穿戴设备在手功能的康复领域的应用逐渐成为了热门。Wang等^[17]提出了一种由分布式功能电刺激、传感器手套和可以提供3D虚拟现实环境的手机应用组成的可穿戴式手部运动评

估系统。Lipovský 等^[18]基于可穿戴游戏设备、Myo Armband 和虚拟现实游戏设计了一种低成本、有吸引力并且易于使用的手部自我康复系统。Bianchi 等^[19]通过一种可穿戴手套,对脑卒中患者的手部活动进行三个关节活动度的精确测量,可以重建出患者完整的手部姿势,实时对患者的康复与评估进行记录和反馈。

3.3 下肢的康复评估与治疗

可穿戴设备也用于评估下肢的运动,比如膝关节、小腿与髌关节的运动。西班牙的一个远程康复 Rehabitic 项目^[20]和 Torres 等^[21]均利用膝关节的可穿戴设备对患者进行实时三维运动评估,并且患者可以通过 3D 实时视频进行对照训练。患者可以自己选择训练项目,每次训练的持续时间、强度和发生频率由治疗师建议和调整,治疗师可以通过网络平台访问记录的数据。姜琇峰^[22]将下肢功能性电刺激可穿戴设备运用于四个社区的 25 例脑卒中偏瘫后遗症患者,治疗 6 周后,患者步行能力明显改善。

步态分析与训练是下肢康复中的重要部分,步行功能是脑卒中患者康复的主要目标之一,脑卒中后 3 个月仍有 20% 的患者需要使用轮椅,60% 的患者存在步行功能障碍。步行功能的障碍或者不正确的步态将影响患者独立进行日常活动的的能力,并且影响患者心血管的健康,步态的分析与训练将促进患者日常活动的参与,并有助于提高生存质量。穿戴式足底压力测试技术^[23]采用嵌入鞋(垫)内的柔性压力传感器实时反馈足底压力分布,连续记录运动状态下的足底压力,代替测力板技术成为了下肢康复评估与治疗的重要技术。跑动(podoon)公司研发出一款下肢受力分析鞋垫,可进行着地方式、足跟冲击指数检测,触地时间、腾空时间以及步频分析和足部内旋类型判断,并通过评估给出改善意见和训练建议,通过平台呈现训练结果。Dorsch 与 Mansfield 等^[24-25]分别收集了 135 例和 57 例脑卒中患者,在患者两个踝部佩戴上可穿戴设备,治疗师通过可穿戴设备收集的步行数据(如步行时间、步数、平均步频和异常步态数量等)进行训练的反馈,试验观察发现,佩戴可穿戴设备的试验组较对照组在步行时间和步行速度等方面都有明显改善。Dragin 等^[26]研发了一种用于步态训练的姿势辅助系统(Walkaround[®]),该系统通过一个连接动力滚动助行器和患者下肢的可穿戴设备为患者提供身体姿势支撑和躯干定向,可以帮助患者在脑卒中后康复早期就开始进行步态训练。4 周后,试验组患者的 Barthel 指数,下肢的 Fugl-Meyer 评分,Berg 平衡测试和步态速度均较对照组有显著提高。Georgiou 等^[27]利用可穿戴式触觉手环收集脑卒中患者的步行运动数据并通过振动触觉为偏瘫患者提供精准的步行节奏提示。4 例脑卒中后偏瘫患者在使用该设备进行步态训练后,步态的对称性问题得到了改善。

3.4 日常生活活动

对于特定 ADL 的评估是康复领域评估患者独立性水平的重要手段,而对于 ADL 的自动检测也是目前可穿戴设备研究的热门领域。目前常用的监测 ADL 的方法有两种:①在智能环境中放置不同功能的传感器,从患者的日常生活环境推断出患者的 ADL 功能;②将可穿戴设备放置于患者的身上,通过患者肢体的活动来监测患者的 ADL 功能,是目前监测患者 ADL 活动首选的方法。Lester 等^[28]开发出可以识别 8 种不同日常活动的可穿戴系统,12 例患者接受了评估,可穿戴设备的准确性令人满意。Hynes M 等^[29]及 Bravo J 等^[30]提出将加速度传感器嵌入到移动设备中,对患者的日常生活活动和康复训练进行诊断和监测。Lemmens 等^[31]将可穿戴设备连接到 30 例健康参与者的优势手和 1 例脑卒中患者的患手上、腕、上臂和胸部,嘱各参与者在个标准化的环境中执行任务“喝水”、“吃东西”和“梳头发”,结果显示在健康参与者和卒中患者的多个标准日常活动的记录序列中,能够明确地识别出健康参与者和脑卒中患者的各种活动。Radder 等^[32]研发了一种可穿戴的软手套,即 ironHand(iH)系统,可以在患者进行 ADL 活动期间,提高患者手部的功能性和患者 ADL 的独立性。该系统可以由患者独立使用,直接为拇指、中指和无名指提供握力支持,辅助量可以根据压力传感器和手指的运动传感器进行调节。34 例存在 ADL 功能障碍的参与者在改用可穿戴软手套后手部握力增加,ADL 功能得到改善。

除了康复评估和治疗,可穿戴设备已被用来作为治疗疗效评估的研究工具,用于比较不同的治疗方案,评价康复情况与识别病理姿势与动作。此外,可穿戴设备还能作为治疗师的支持系统来提高康复治疗效率^[33]。运用可穿戴设备评估治疗效果的定量方法有望成为临床医生在疾病管理中 有价值的工具,并且可以使治疗干预根据个体患者的需要进行调整。同时,可穿戴设备也可以通过激励反馈和自我效能 感知等方式鼓励脑卒中患者制定个性化康复目标并进行自我管理^[34]。

4 可穿戴设备在脑卒中康复评估与治疗中尚存在的问题及展望

4.1 目前尚存在的问题

可穿戴设备技术虽已开始在康复领域研究与应用,但相关研究与应用多处于实验室阶段,未能在临床广泛应用,技术目前尚有一些不足。①硬件技术相对成熟,但便于治疗师和患者使用、可以直观显示评估结果和指导患者训练的软件仍然需要进一步研究与开发;②在数据监测方面的准确性受到较多因素的影响,仍需要进一步提高以保证评估结果的有效性;③装配与校准时操作仍较复杂,需要进一步简单化;④对环境的适应性仍需进一步提高,应更具有可移动性以满足

在各种环境下的使用;⑤我国的康复可穿戴设备治疗技术明显落后于发达国家,尚处于探索发展阶段,缺少相关的自主研发产权,尤其缺少具有较高临床价值的原创性研究。

4.2 展望

4.2.1 多种传感器相结合:目前的可穿戴设备在传感器的使用方面比较单一,往往存在误差较大、功能单一、穿戴不舒适等问题。Federico等^[35]开发了基于传感器融合,包括惯性传感器、针织压阻传感器和纺织EMG电极的可穿戴传感平台INTERACTION,该设备采用模块化形式设计,由单独的衬衫、裤子、手套和鞋子组成,在动作的捕捉定位、数据的准确性和功能的多样性方面都显示了明显的优势。所以将更多的传感器进行优化以适合可穿戴设备的设计,并将多种传感器结合在一个可穿戴设备中成为了未来研究的重要领域。

4.2.2 可穿戴设备康复云端网络:可穿戴设备可以记录脑卒中康复评估与治疗的数据,并且可以在治疗过程中为患者提供治疗的反馈和监督,这为脑卒中的社区康复和家庭康复提供了便利。而如何更科学、更完善地实现脑卒中患者的社区与家庭康复,以及康复三级转诊的会诊等服务则需要将可穿戴式设备技术与云端网络技术结合。随着存储和计算变得越来越基于云端,健康监测系统越来越趋向低成本、平台独立、快速部署和普遍可访问,从而使可穿戴设备可以变得更简单和更便宜,用户能够购买现成的可穿戴设备并通过基于云端的服务访问而获得定制的康复应用。康复医生和治疗师能够使用可穿戴系统收集用于患者状态监测的大量数据,进行管理和处理,更好地优化可穿戴设备的功能。

4.2.3 智能软件:目前可穿戴设备在康复的评估与治疗方面的研究主要集中在硬件方面,而要实现可穿戴设备技术在康复方面的应用则需要更智能的软件的协助。未来的软件应具备:①进行康复评估并根据评估结果智能推荐训练计划和训练目标;②进行训练指导(患者可以通过观看软件的视频动作示范完成训练,也可以通过完成软件的VR或AR训练游戏完成训练);③反馈训练完成的效果并记录训练情况;④便于与云端进行数据交换等功能。

精确监测与准确评估脑卒中患者的日常生活活动是未来可穿戴设备努力的重要方向之一。除了多种可穿戴设备结合外,校准技术对于测量数据的精确度是至关重要的,特别是患者在活动的动态条件下更难实现,除加速度传感器之外的传感器都需要有效的校准技术。此外,可穿戴设备的便捷性、美观性、易使用性都能提高患者在使用设备时的依从性,值得未来进一步的研究与提高。

5 小结

脑卒中患者对于高质量的康复治疗需求越来越大,而在我国康复治疗师资源明显不足的情况下,可穿戴设备技术在

脑卒中康复评估与治疗中的应用可以使更多的脑卒中患者在社区或家庭中得到高质量的康复治疗。目前研究热点仍集中在可穿戴设备对患者活动的监测与数据记录及可穿戴设备的临床应用,虽然可穿戴设备技术的软件和硬件系统都在不断提高完善,但目前国内外仍缺少一套完整的脑卒中康复可穿戴评估与训练解决方案。未来有望通过多种传感器的结合而设计出更准确有效的硬件,进而结合智能软件与云端网络,给脑卒中患者带来一套全新、全面、智能化和信息化的具有更高价值的临床解决方案,期待并值得我们努力而为之奋斗。

参考文献

- [1] Pan A, De Silva DA, Yuan JM, et al. Sleep duration and risk of stroke mortality among Chinese adults: Singapore Chinese health study[J]. *Stroke*, 2014, 45(6):1620—1625.
- [2] 张通.中国脑卒中康复治疗指南(2011完全版)[J].中国医学前沿杂志电子版,2012,04(6):55—76.
- [3] 刘媛,李晨辉,方吟荃,等.脑卒中康复治疗的研究进展[J].临床合理用药杂志,2016,9(17):174—176.
- [4] 罗晓兰,樊卫国.健康医疗可穿戴设备与医疗模式创新[J].中华健康管理学杂志,2016,(1):70—75.
- [5] Saunders JB, Inman VT, Eberhart HD. The major determinants in normal and pathological gait[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1953, 35-A(3):543—558.
- [6] Hadjidi A, Souil M, Bouabdallah A, et al. Wireless sensor networks for rehabilitation applications: Challenges and opportunities[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2013, 36(1): 1—15.
- [7] Lounis A, Hadjidi A, Bouabdallah A, et al. Healing on the cloud: Secure cloud architecture for medical wireless sensor networks[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2016, 55: 266—277.
- [8] 单新颖,张腾宇,张晓玉.可穿戴技术在康复辅具领域的应用研究[J].中国康复医学杂志,2016,31(10):1149—1151.
- [9] Sungkarat S, Fisher BE, Kovindha A. Efficacy of an insole shoe wedge and augmented pressure sensor for gait training in individuals with stroke: a randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2011, 25(4):360—369.
- [10] Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review[J]. *Lancet Neurol*, 2009, 8(8): 741—754.
- [11] Markopoulos P, Timmermans AAA, Beurgens L, et al. Us'em: The user-centered design of a device for motivating stroke patients to use their impaired arm-hand in daily life activities[C]//Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE. IEEE, 2011: 5182—5187.

- [12] Uswatte G, Giuliani C, Winstein C, et al. Validity of accelerometry for monitoring real-world arm activity in patients with subacute stroke: evidence from the extremity constraint-induced therapy evaluation trial[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87:1340—1345.
- [13] Patel S, Hughes R, Hester T, et al. A novel approach to monitor rehabilitation outcomes in stroke survivors using wearable technology[J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98: 450—461.
- [14] Delbressine F, Timmermans A, Beurgens L, et al. Motivating arm-hand use for stroke patients by serious games[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2012, (2012):3564—3567.
- [15] Beurgens L, Timmermans A, Markopoulos P. Playful ARM hand training after stroke[C]// CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2012: 2399-2404.
- [16] Wang Q. Designing posture monitoring garments to support rehabilitation[C]//Proceedings of the TEI'16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction. ACM, 2016: 709—712.
- [17] Wang HP, Guo AW, Bi ZY, et al. A novel distributed functional electrical stimulation and assessment system for hand movements using wearable technology[C]//Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), 2016 IEEE. IEEE, 2016: 74—77.
- [18] Lipovský R, Ferreira HA. Self hand-rehabilitation system based on wearable technology[C]//Proceedings of the 3rd 2015 Workshop on ICTs for improving Patients Rehabilitation Research Techniques. ACM, 2015: 93—95.
- [19] Bianchi M, Carbonaro N, Battaglia E, et al. Exploiting hand kinematic synergies and wearable under-sensing for hand functional grasp recognition[C]//Wireless Mobile Communication and Healthcare (MobiHealth), 2014 EAI 4th International Conference on. IEEE, 2014: 168—171.
- [20] Olivares A, Olivares G, Mula F, et al. Wagyromag: Wireless sensor network for monitoring and processing human body movement in healthcare applications[J]. Journal of Systems Architecture, 2011, 57(10): 905—915.
- [21] Torres A, López G, Guerrero LA. Using non-traditional interfaces to support physical therapy for knee strengthening[J]. J Med Syst, 2016, 40(9):194.
- [22] 姜琇峰. 下肢功能性电刺激可穿戴设备在社区康复中的应用[J]. 医药前沿, 2015, (30):373—374.
- [23] 金曼, 丁辛, 甘以明, 等. 穿戴式足底压力测试技术的研发与进展[J]. 纺织学报, 2011, 32(1):145—148.
- [24] Dorsch AK, Thomas S, Xu X, et al. SIRRAC: An international randomized clinical trial of activity feedback during inpatient stroke rehabilitation enabled by wireless sensing[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2015, 29(5):407—415.
- [25] Mansfield A, Wong JS, Bryce J, et al. Use of accelerometer-based feedback of walking activity for appraising progress with walking-related goals in inpatient stroke rehabilitation: A randomized controlled trial[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2015, 29(9):847—857.
- [26] Dragin AS, Konstantinović LM, Veg A, et al. Gait training of poststroke patients assisted by the walkaround (body postural support)[J]. Int J Rehabil Res, 2014, 37(1):22—28.
- [27] Georgiou T, Holland S, van der Linden J, et al. Questioning classic patient classification techniques in gait rehabilitation: insights from wearable haptic technology[M]//eHealth 360°. Springer International Publishing, 2017: 327—339.
- [28] Lester J, Choudhury T, Borriello G. A practical approach to recognizing physical activities, in 4th International Conference on Pervasive Computing. 2006: Dublin.
- [29] Hynes M, Wang H, Kilmartin L, McCarrick E. Monitoring of activity levels of the elderly in home and community environments using off the shelf cellular handsets. in 2010 International Conference on Consumer Electronics. 2010.
- [30] Bravo J, Navarro F J, Fontecha J, et al. A mobile proposal for frailty monitoring by rehabilitation and physical daily activity[C]//Consumer Electronics- Berlin (ICCE- Berlin), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011: 176—180.
- [31] Lemmens RJ, Janssen-Potten YJ, Timmermans AA, et al. Recognizing complex upper extremity activities using body worn sensors[J]. PLoS One, 2015, 10(3):e0118642.
- [32] Radder B, Prange-Lasonder GB, Kottink AIR, et al. Preliminary evaluation of a wearable soft-robotic glove supporting grip strength in ADL[M]//Converging clinical and engineering research on neurorehabilitation II. Springer International Publishing, 2017: 1245—1250.
- [33] B. P. Jarochowski, S. Shin, D. Ryu, H. Kim, Ubiquitous rehabilitation center: An implementation of a wireless sensor network based rehabilitation management system, in: International Conference on Convergence Information Technology, 2007, Gyeongju, Korea, 2007, pp. 2349—2358.
- [34] Mawson S, Nasr N, Parker J, et al. A personalized self-management rehabilitation system with an intelligent shoe for stroke survivors: a realist evaluation[J]. JMIR Rehabil Assist Technol, 2016, 3(1):e1.
- [35] Lorussi F, Carbonaro N, De Rossi D, et al. Wearable textile platform for assessing stroke patient treatment in daily life conditions[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2016, (4):28.