·综述·

可穿戴式设备在帕金森病中的应用及进展*

罗雨鹭[1] 陈 曦[1,2]

帕金森病(Parkinson's disease, PD)是一种进行性的神经系统变性性疾病,临床上典型的运动症状包括静止性震颤、运动迟缓、僵直和姿势不稳,其发病机制与黑质多巴胺能神经元的丢失有关[1—2]。研究表明,我国55岁以上人群中约有170万人患有帕金森病,与发达国家的患病率相当[3]。由于我国人口老龄化问题日趋严重,患病人数在未来将保持增长并长期维持在高水平状态[4]。同时,帕金森病的异质性很强,其症状的个体化监测与治疗一直是一项难题。如今随着计算机技术及互联网技术的发展,使用基于信息技术的设备对疾病进行客观评估与治疗越来越受到学界的重视和认可,第4版的中国帕金森病治疗指南也新增了人工智能及移动技术在帕金森病管理上的应用[5]。这项技术可以简化数据管理,长时间持续进行数据采集,发现可能被忽略的细微变化,也使患者个体化、智能化的长期家居随访和生活辅助治疗成为可能[6]。

可穿戴设备(wearable devices)是近年来受到广泛关注的新型个体化医疗的有力手段,因其全面有效的评估患者的健康状况,尤其适用于帕金森病患者等需要进行长期疾病监测和治疗的慢性病患者[7]。应用于帕金森病的可穿戴式设备主要对运动障碍方面进行监测及治疗。与卒中或骨科康复等其他康复领域不同,用于帕金森病的设备除了监测步态、平衡等与跌倒风险及生存时间关联较高的指标外,还针对帕金森病特有的运动障碍模式,如运动迟缓、静止性震颤及冻结步态等进行评估。在运动症状的评估上,它有效地避免了量表评估的主观性,更准确、更加客观系统地判断疾病的进程[8—9]。可穿戴式设备在医院外的移动健康(mobile health, mHealth)应用提供了在日常活动及研究中远程传输、高保真、客观、以患者为中心的数据[10]。同时,可穿戴式设备可与远程医疗视频协同使用,降低了康复治疗的成本,利于专业人员对患者居家康复进行专业指导,提高其治疗依从性[11],也可为研究人员提供一系列重要的临床数据。该技术的发展既提高了患者参与疾病管理的积极性,同时有助于实现远程医疗,实现立足于社区、家庭的医疗监测、指导和远程评估。

本文现基于目前已投入商品化的可穿戴式设备及有望广泛应用于临床的可穿戴式技术的发展,对现今可穿戴式设备在帕金森病临床监测及康复治疗中的应用及进展进行综述。

1 可穿戴设备概念

可穿戴设备是指将生物传感器、信号采集与处理、数据通信等模块集成在衣物等日常用品或附着于人体上,以测量多种生理指标或进行治疗的一种便携式和可移动设备[12—13]。随着人工智能及互联网的发展,可穿戴式设备更可通过硬件数据交互、软件支持、云端交互来实现强大功能[7]。在医学生物领域上的可穿戴式设备在帕金森病的应用上主要有两个方面:①运用生物电传感器和运动传感器进行帕金森病症状的监测[14];②运用光线视觉、听觉提示及脉冲电刺激改善帕金森病的运动症状。

2 用于运动症状监测的可穿戴式设备

帕金森病的症状常变化多样。随着基于微机电系统(microelectro mechanical systems, MEMS)、惯性传感技术等发展[15],多种可穿戴式设备用于帕金森病运动模式识别及追踪,如识别异常步态姿势、震颤、冻结步态等,进而判断跌倒状态并发出可被患者接受识别的预警信号[14]。此种可穿戴式设备主要由加速度计及陀螺仪和磁力计等传感器组成,这种组合被称为惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)。其收集的数据经分析后,对临床数据的类型、数量、质量提供高敏感度的测量[10]。同时,不同于标准的评估方法(如UPDRS)在诊断早期帕金森病的局限性,可穿戴设备同时具有高特异性和敏感性的特点,可以识别早期症状[13],甚至可以有效评估新诊断、未治疗的运动异常患者[16],也可更好地评估轻-中度帕金森病患者的活动障碍及跌倒风险[17],提高生活质量及预期寿命。

用于帕金森病监测的可穿戴式设备主要由5个评价系统组成:①在安静站立状态下的姿势摇摆(sway);②对外部扰动的自动姿势响应(automatic postural responses, APRs);③步态启动前的预期姿势调整(anticipatory postural adjust-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.08.026
*基金项目:国家自然科学基金面上项目(81972147)
1 中山大学附属第一医院康复医学科,广东省广州市,510080; 2 通讯作者
第一作者简介:罗雨鹭,女,硕士研究生;收稿日期:2021-03-28

ments, APAs);④行走时的动态平衡(gait);⑤稳定极限(limits of stability, LOS)[18]。一项探究帕金森病中的姿态平衡控制的最佳指标的研究表明,sway、APRs、APAs和gait都较敏感,其中对gait的测量最敏感[19]。

2.1 Kinesia系列

Kinesia是第一个广泛应用于帕金森病运动症状监测的产品。它基于患者佩戴的MEMS传感器模块,并通过运行于平板电脑或手机终端的软件来监测帕金森病震颤和运动迟缓的严重程度[8]。最新开发的应用程序可直接连接智能手机、手表等个人电子设备来监测帕金森病运动症状。

2.1.1 Kinesia ONE™:该运动感应装置是针对帕金森病运动症状监测的产品。它基于预定的任务等级量表(如UPDRS)[20],主要通过佩戴在受疾病影响较重手指上的传感器,使患者完成如手臂静息或伸展、指鼻试验、手指捏合等任务,观察并评估患者静止性或姿势性震颤、手指敲击速度、幅度和节奏等指标[21]。它将传感器收集的数据实时上传至运动门户网站[22],并使用算法计算等级量表上的严重程度评分来评估帕金森震颤和运动迟缓等症状。优点是小巧便携且可通过蓝牙将运动数据传输到移动设备。最新的改进可将传感器佩戴在脚跟上增加了肌肉僵直和姿态步态障碍的测量功能,缺点是每次测量结束需要人工在测量系统用户界面点击并判断是否接受测量结果。

2.1.2 Kinesia 360™:Kinesia 360™使用可穿戴式传感器和移动应用程序在白天持续客观地监测帕金森病症状,为远程、连续测量患者症状提供了有效且便捷的方法。它同时使用两个传感器,分别戴在手腕及脚踝上,两者结合以便对帕金森的运动症状进行综合准确评估。传感器通过蓝牙与在安卓智能手机和智能手表的移动终端通信,上传到运动门户网站或Kinesia U™运动评估系统应用程序[22],评估患者的震颤(tremor)、迟缓(slowness)、运动障碍(dyskinesia)、移动能力(mobility)、步态(steps)及姿势(body position)。其中系统程序内含用于记录患者报告结果的电子日记及可定制的个人药物日记,对帕金森病长期的运动及药物治疗监测提供了有效的辅助手段,有助于临床跟踪及长期随访[23]。

2.2 移动实验室系统

移动实验室系统(mobility lab system)是主要用于步态和平衡分析的系统,所使用的动态帕金森监测(ambulatory Parkinson's disease monitoring, APDM)传感器The Opal可在运动障碍研究中量化人体运动和一般疾病情况。该传感器是一个手表大小的无线移动传感器[24],可附于身体多部位进行运动监测,包括日常活动或实验室中预定任务下的步态分析、活动量、姿势摇摆、平衡等[10]。在一个无线网络上最多可与24个传感器同步,每个传感器上可记录超过30天的运动学连续流数据,并可在多种环境下使用。系统包含起立行走试验(instrumented timed up and go test, iTUG)和姿势摇摆(iSway)等模块,能进行姿势摇摆(速度、频率、距离),下肢步态(节奏、步幅、步态速度、步态周期时间),姿势转换(步数、持续时间、步长),上肢步态和躯干(躯干运动范围)的测量[6]。

2.3 Physilog®

Physilog®是瑞士洛桑大学附属医院及洛桑联邦理工学院的附属公司Gait up设计的一款可穿戴式设备,目前已进入第5代(Physilog 5)。它主要监测下肢的活动,是一种运用动态分析的方法来评估步态、摇摆、身体活动、震颤和运动迟缓的时间及空间测量器。分析者可使用1—7个惯性传感器组合,放置于足部的任何位置。传感器所收集的数据可通过蓝牙传输至电脑或移动设备进行原始数据访问及分析。该系统可以成功地评估步态参数,具有很高的精度,同时因为获得的结果与常用量表获得的临床评分相关性高,因此也可用于评估帕金森病患者的步态变化[25]。在体力活动方面,它可以计算坐立转换过程中躯干运动的运动学特征,对帕金森病患者的坐姿、卧姿和步行等基本体位分配具有较高的敏感性和特异性[6]。隶属于Gait up的实验室Gait up Lab可基于两个传感器收集的数据分析并提供报告,如基于6mins步行试验的患者的行走速度(speed);变异性(variability);左右足不对称性(asymmetry);摇晃(swing)、站立姿势(stance);步幅(stride)、角度(angle)、足廓清程度(clearance)等5个子项的步态周期详细参数及步态分析[26],为客观量化帕金森病患者的身体活动提供了一种简单、准确、有效的手段,并有助于评估患者的运动功能水平。

2.4 McRoberts DynaPort

此项可穿戴式设备仅需一个附着在腰后的装置[27]。其数量传感器指标包括:步行活动总次数、步行时间占生活活动的百分比、步数、步行活动时长中位数、步数中位数;质量传感器指标包括:基于频率的测量-反应步态模式的变异性、规律性测量-反应步态的节律性和连贯性、谐波比-步态平稳性的指标。该设备能够测量3个平面的加速度和角速度,以及量化几个移动性子任务,可以直接用于监测和促进身体活动,也可监测帕金森病患者日常生活活动中的失误[6]。有研究表明使用该装置进行运动试验的量化评估比人工评估更加精确,有助于对患者功能状况的掌握及实验研究[28]。佩戴传感器后的数据也可用于分析预测帕金森病患者在家中和社区活动时的跌倒风险。

2.5 其它可应用于症状监测的可穿戴式设备

2.5.1 Axivity(AX3):这是一种佩戴在手腕上的三轴加速度计,其内包含温度传感器、环境光传感器、实时时钟(real-time clock, RTC)等,适用于各种环境并有效防水。它可进行日志记录[10],评估自由生活环境中的跌倒风险,并潜在地预测跌倒[6]。

2.5.2 Step Watch 3™(SAM)：用于分析不同年龄和功能限制的行走活动的差异。设备约传呼机大小，固定在脚踝上，结合加速度、位置和时间信息来计算步态周期。监视器以1min间隔记录步幅数，同步到24h计时器内并存储于监视器中。它可计算步数、活动时间、活动次数、每分钟活动可变性、每分钟活动波动的随机性的日平均值[6]。

2.5.3 TriTrac RT3：这是一种三轴加速度计，可适用于家庭环境中自由生活体育运动的持续跟踪，可放置于任何一个部位进行监测。此设备很小，在收集数据时无需任何外部控制。它可以区分不同运动水平的帕金森病患者，且适于佩戴，患者耐受良好[6]。

2.5.4 有研究利用一般智能手表上的应用程序可从智能手表的陀螺仪上获取原始数据，有效评估帕金森病患者的震颤程度[29]，提供相关的诊断信息，且从智能手表中获取的数值与临床评估中获得的数值有很高的一致性[30]，表明日常使用的智能手表亦有量化帕金森病患者手部震颤症状的能力，并具有便携性及易用性，可有效进行社区及家庭使用[31—32]。

3 用于改善症状的可穿戴式设备或技术

目前可穿戴式设备同样也可用于改善帕金森病运动症状，主要是通过视听觉提示及脉冲电极改善步态、平衡及手部震颤。研究显示，当有外部引导光线时，有冻结步态的帕金森病患者行走时的步长、步幅、步速等均有所改善，且对明显的抖动和碎步症状也有所缓解[33]。使用脉冲电极也可改善帕金森病患者的冻结步态。虽然通过肌肉电刺激抑制震颤的机制尚不完全清楚，但抗震技术成功减轻了手部震颤情况，为患有顽固性震颤的帕金森病患者提供了一项潜在的干预手段[34]。

3.1 智能眼镜

AR智能眼镜能配合外部信号(如节拍器、闪光灯、光流及听觉提示)可使患者保持更稳定的步态。AIRO SXGA HMD是运用增强现实技术(augmented reality，AR)的智能眼镜。它是一种头戴式显示器，具有3D视觉透明效果和宽视场(50°)，并可用于医疗导航。研究表明，运用该种智能眼镜等视觉辅助工具可帮助患者保持身体平衡、改善睡眠模式和情绪，从而提高患者的生活质量[35]。

Google Glass带有模拟光流的有限阵列可编程的LED、有节奏闪烁的LED，或者投射虚拟固定线路的LED，并且包括有GPS、WI-FI、加速计和视听输出等多种功能，便于使用，且显示屏可像传统眼镜一样佩戴。它可提供移动个性化提示，还具有语音和手势控制等免提界面[36]。

3.2 激光腰带和激光鞋

除了通过智能眼镜提供AR视觉辅助，佩戴在腰上或鞋上的可穿戴式设备可直接投影出激光为帕金森病患者提供视觉提示，帮助帕金森病患者开步走。Agilitas™是一种佩戴在腰上的设备，通过内置的IMU进行采样。在相位模式下，当设备监测到符合冻结步态的一系列步态紊乱运动模式时，会触发红光指示器，在患者前方投射一个红点(投影距离可调节)；当数据显示恢复稳态行走至少3s后，灯光就会熄灭。该设备也可以设置连续视觉提示模式。研究表明[37]，连续模式在简单环境下(如宽敞的道路上)更好地辅助行走，而相位模式在复杂环境(如家居环境下)更具优势。而激光鞋主要是在鞋面前端顶部设置有激光灯，当患者足部接触地面时，激光灯将红色光束投影在正前方，行走时双足激光灯交替投影，即可通过视觉提示辅助迈步。

3.3 抗震颤手套/手表技术

抗震颤手套是一种特殊设计的含有震颤检测模块和肌肉电刺激(electrical muscle stimulation，EMS)模块的医疗设备，以检测和抑制手的静止性震颤。它由3个部分组成：①可调节的手套，内置震颤检测模块和EMS模块；②一个可以系在腰带上的控制盒，内含微控制器、蓝牙模块和两个锂电池；③安装了该设备软件应用程序的安卓智能手机。其中震颤检测模块是一种惯性传感器，可测量手部运动的线性位移和角位移，并将震动信号通过蓝牙数字化记录到智能手机中；EMS模块是将一个肌肉电刺激通过两个自粘电极放置在手套内面的拇短展肌及第一、第二背侧骨间肌上。研究表明[34]，基于EMS的抗震颤手套能有效抑制帕金森病患者的静止性手震颤，医疗工作者也可用此设备进行震颤分析。抗震颤手套重量轻，安全性好，是未来治疗帕金森病难治性震颤的潜在选择。目前也有装置设计为手表外形，作用原理与震颤手套相似，应用则更方便。

微软在2017年发布的原型手表Emma Watch则通过注意力转移的方式来控制帕金森病患者的手部震颤。它使用振动马达来分散大脑的注意力，使其专注于其他事情而非试图控制手部震颤。通过该设备患者可顺利地进行书写、绘画，有效提高生活质量。

3.4 可穿戴腓总神经电刺激技术

由我国科研团队研发的可穿戴腓总神经电刺激技术[38]采用可穿戴低频电子脉冲刺激仪交替刺激受试者双侧腓总神经。该刺激器通过电刺激腓总神经收缩其支配的胫骨前肌等肌肉控制双足，使其产生背屈和外翻运动，内置的传感器追踪患者步行时小腿前后摆动的角度及速度以调整刺激时机。本设备有效提供本体觉线索，有助于改善冻结步态，减少原地转身、起步、转弯所用时间，有望作为一种应用于帕金森病冻结步态的新的康复治疗方式。

4 小结与展望

可穿戴式设备具有便携、智能、高保真的特点，为现今帕

金森病康复监测、治疗及研究提供了新的技术及思路。然而目前可穿戴技术在国内康复医学领域的应用报道仍十分有限,此项技术尚有很大的提升空间。对于帕金森病的非运动症状,如体位性低血压、尿失禁、快动眼睡眠行为障碍(rapid eye movement sleep behavior disorder, RBD)、焦虑抑郁等非多巴胺能神经元损害的相关症状仍主要通过自评量表来评估[39]。并且,多种用于改善症状的可穿戴式技术尚处于起步阶段。此外,如何保证动态监测条件下的信号可靠性、可穿戴设备长期使用的舒适性以及基于个人隐私的数据安全性等也是该领域未来研究的方向[40]。

随着新型的传感技术、无线通信技术、数据分析技术及低功耗芯片技术等创新驱动[7],可穿戴技术必将更好地促进传统就医康复治疗与居家康复相结合;监测-治疗一体化的智能医疗手段必将进一步推进长程监测、精准康复。充分利用和积极开发可穿戴设备会有效提高帕金森病患者生活自理能力,改善康复治疗医学模式,对患者康复治疗及医学研究的发展起到重大的促进作用。

参考文献

[1] Kalia LV, Lang AE. Parkinson's disease[J].Lancet,2015,386(9996):896—912.

[2] Raza C, Anjum R, Shakeel NUA. Parkinson's disease: mechanisms, translational models and management strategies [J]. Life Sci,2019,226:77—90.

[3] Zhang ZX, Roman GC, Hong Z, et al. Parkinson's disease in China: prevalence in Beijing, Xian, and Shanghai[J].Lancet,2005,365(9459):595—597.

[4] 刘疏影,陈彪.帕金森病流行现状[J].中国现代神经疾病杂志,2016,16(2):98—101.

[5] 中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组,中国医师协会神经内科医师分会帕金森病及运动障碍学组.中国帕金森病治疗指南(第四版)[J].中华神经科杂志,2020,53(12):973—986.

[6] Godinho C, Domingos J, Cunha G, et al. A systematic review of the characteristics and validity of monitoring technologies to asses Parkinson's disease[J].J Neuroeng Rehabil,2016,13:24—33.

[7] 张文豪,李建军,高峰,等.可穿戴技术在康复医学领域中的研究进展[J].中国康复理论与实践,2017,23(7):792—795.

[8] 戴厚德,熊永生,蔡国恩,等.基于可穿戴式传感装置的帕金森运动症状量化评估的研究进展[J].中国生物医学工程学报,2018,37(2):229—236.

[9] Bouça-Machado R, Jalles C, Guerreiro D, et al. Gait Kinematic parameters in Parkinson's disease: a systematic review [J].J Parkinsons Dis,2020,10(3):843—853.

[10] Dobkin BH, Martinez C. Wearable sensors to monitor, enable feedback, and measure outcomes of activity and practice[J].Curr Neurol Neurosci Rep,2018,18(12):87.

[11] Dobkin BH. A rehabilitation-internet-of-things in the home to augment motor skills and exercise training[J].Neurorehabil Neural Repair,2017,31(3):217—227.

[12] 曹阳.医疗设备产业发展趋势概述[J].医疗卫生装备,2015,36(8):109—112.

[13] Lu R, Xu Y, Li X, et al. Evaluation of wearable sensor devices in Parkinson's disease: a review of current status and future prospects[J].Parkinsons Dis,2020:4693019.

[14] 谭颖,郝红琳,李延峰.可穿戴设备在帕金森病慢病管理中的发展现状[J].中国神经免疫学和神经病学杂志,2019,26(1):52—55.

[15] Shaeffer DK. MEMS inertial sensors: a tutorial overview[J]. IEEE Commun Mag,2013,51(4):100—109.

[16] Ricci M, Di Lazzaro G, Pisani A, et al. Assessment of motor impairments in early untreated Parkinson's disease patients: the wearable electronics impact[J].IEEE J Biomed Health Inform,2020,24(1):120—130.

[17] Rehman RZU, Klocke P, Hryniv S, et al. Turning detection during gait: algorithm validation and influence of sensor location and turning characteristics in the classification of Parkinson's disease[J].Sensors (Basel),2020,20(18):5377.

[18] Schoneburg B, Mancini M, Horak F, et al. Framework for understanding balance dysfunction in Parkinson's disease [J].Mov Disord,2013,28(11):1474—1482.

[19] Hasegawa N, Shah VV, Carlson-Kuhta P, et al. How to select balance measures sensitive to Parkinson's disease from body-worn inertial sensors—separating the trees from the forest[J].Sensors (Basel),2019,19(15):3320.

[20] Giuffrida JP, Riley DE, Maddux BN, et al. Clinically deployable Kinesia technology for automated tremor assessment[J].Mov Disord,2009,24(5):723—730.

[21] Heldman DA, Espay AJ, LeWitt PA, et al. Clinician versus machine: reliability and responsiveness of motor endpoints in Parkinson's disease[J].Parkinsonism Relat Disord,2014,20(6):590—595.

[22] Great Lakes Neurotechnologies. Pioneering innovative biomedical technologies[EB/OL]. https://www.glneurotech.com/,2021—05—16.

[23] Heldman DA, Giuffrida JP, Cubo E. Wearable sensors for advanced therapy referral in Parkinson's disease[J].J Parkinsons Dis,2016,6(3):631—638.

[24] APDM Wearable Technologies, an ERT Company. Wearable sensors[EB/OL]. https://apdm.com/wearable- sensors/,2021—05—16.

[25] Salarian A, Russmann H, Wider C, et al. Quantification of tremor and bradykinesia in Parkinson's disease using a novel ambulatory monitoring system[J].IEEE Trans Biomed Eng,2007,54(2):313—322.

[26] Gait up lab. Gait analysis report[EB/OL].https://research.gaitup.com/gait-up-lab/,2021—05—16.

[27] Mcroberts. Move Monitor [EB/OL]. https://www.mcroberts.nl/products/movemonitor/,2021—05—16.

[28] van Lummel RC, Walgaard S, Maier AB, et al. The instrumented sit-to-stand test (iSTS) has greater clinical relevance than the manually recorded sit-to-stand test in older adults[J].PLoS ONE,2016,11(7):e0157968.

[29] López-Blanco R, Velasco MA, Méndez-Guerrero A, et al. Smartwatch for the analysis of rest tremor in patients with Parkinson's Disease[J].J Neurol Sci,2019,401:37—42.
[30] Sigcha L, Pavón I, Costa N, et al. Automatic resting tremor assessment in Parkinson's disease using smartwatches and multitask convolutional neural networks[J].Sensors (Basel),2021,21(1):291.
[31] Wile DJ, Ranawaya R, Kiss ZH. Smart watch accelerometry for analysis and diagnosis of tremor[J].J Neurosci Methods,2014(230)1—4.
[32] Lu TC, Fu CM, Ma MH, et al. Healthcare applications of smart watches. a systematic review[J].Appl Clin Inform, 2016,7(3):850—869.
[33] 丁航,吴曦,袁心一,等.便携式设备光线视觉提示改善帕金森病患者冻结步态的数字化评估[J].中国临床医学,2017,24(6):858—862.
[34] Jitkritsadakul O, Thanawattano C, Anan C, et al. Tremor's glove-an innovative electrical muscle stimulation therapy for intractable tremor in Parkinson's disease: a randomized sham-controlled trial[J].J Neurol Sci, 2017(381)331—340.
[35] Janssen S, Bolte B, Nonnekes J, et al. Usability of three-dimensional augmented visual cues delivered by smart glasses on (freezing of) gait in Parkinson's disease[J].Front Neurol,2017(8)279.
[36] Zhao Y, Nonnekes J, Storcken EJ, et al. Feasibility of external rhythmic cueing with the Google glass for improving gait in people with Parkinson's disease[J].J Neurol, 2016,263(6):1156—1165.
[37] Marsh R, Cole MH, Dissanayaka NNW, et al. The cueped trial: how does environmental complexity impact cue effectiveness? a comparison of tonic and phasic visual cueing in simple and complex environments in a Parkinson's disease population with freezing of gait[J]. Parkinsons Dis,2019:2478980.
[38] 李娟,任粹萍,焦悦,等.利用可穿戴腓总神经电刺激器改善帕金森病冻结步态[J].中华神经科杂志,2019,52(10):817—822.
[39] 张平辰,高超,陈生弟.可穿戴设备在帕金森病诊治中的应用[J].中华老年医学杂志,2019,38(1):91—95.
[40] 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.

·综述·

国际近二十年血流限制技术的知识图谱可视化研究*

商小锐[1] 赵祥虎[2] 许文远[3] 杨 玺[2] 孙武东[2] 孙庶维[1] 崔 军[1] 马 明[2,4]

血流限制(blood flow restriction,BFR)是指在四肢部位使用某些特殊加压装置(魔术贴式或充气式加压带、止血带、弹性绷带等)来限制肌肉中血流量的一种训练方式[1]。近年来,BFR训练的刺激人体肌肉肥大、缓解疼痛、增强肌力、改善运动等功能被广泛应用于国内外不同人群的运动和康复训练中,但目前学术界对BFR的最佳运动方案未达成共识[2]。

CiteSpace V是一款可视化计量分析软件,它由德雷塞尔大学的陈超美教授研究开发。CiteSpace通过对文献进行统计学分析并绘制一系列渐进式可视化图谱,以展现该研究领域发展趋势、知识结构关系和里程碑式文献[3]。在图谱中,大节点表示该对象的高发生率或被引频率,也暗示该对象在该研究领域做出突出贡献或占重要地位。图谱中不同的颜色代表不同的年份,颜色越鲜艳表示年份越新。在进行突现性分析时,红色圆圈的节点称为突发节点,表示在一定时期内共现或被引频次急剧增加[4—5]。本文使用CiteSpace V软件,以Web of Science数据库作为文献检索来源,对国际上近二十年有关血流限制相关研究进行检索、收集和分析,总结了该领域内具有深厚影响力的国家、机构、作者、核心期刊等,并探讨了未来的发展趋势。

1 资料与方法

1.1 文献来源

以“blood flow restriction”(血流限制)为主题词在Web of Science数据库中检索2000—2020年血流限制相关的文献,检索日期自2000年1月1日—2020年8月12日,并于2020年8月12日进行数据采集。将检索所得的877条文献

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.08.027
*基金项目:江苏省体育局重大体育科研课题(ST191101);2020年江苏省研究生科研创新计划(KYCX20_1734);南京市卫生科技发展课题(YKK19163)
1 南京体育学院研究生院,江苏省南京市,210014; 2 东南大学附属中大医院康复医学科; 3 苏州卫生职业技术学院; 4 通讯作者
第一作者简介:商小锐,女,硕士研究生; 收稿日期:2020-08-25