

## 4D打印在常见矫形器技术领域的应用前景初探\*

张志强<sup>1,2</sup> 杨 荣<sup>1</sup> 宋 亮<sup>1,2,3</sup> 云 晓<sup>1</sup>

矫形器是用于人体四肢、躯干等部位,借助外力作用矫正身体畸形、治疗肌骨系统疾病并补偿其功能的康复辅助器具,它能够帮助患者增强自理能力、减轻身心痛苦、提高生活质量,从而最大程度地减少社会和家庭的负担<sup>[1-2]</sup>。近年来,随着我国“健康中国”战略的实施和康复辅助器具的发展,矫形器已经逐渐由手工制作时代步入个性化3D打印制作时代,实现了矫形器的快速成型与适配<sup>[3-5]</sup>。然而,3D打印成型后的矫形器往往保持固定结构形式,并不能够随着矫形历程中人体组织的变化而进行自适应动态调整,没有达到智能化自适应精准矫形的程度。因此,现有3D打印矫形器结构设计技术和制造技术无法满足智能化精准矫形,对矫形器设计和制造技术提出了新的迫切需求。与此同时,结合时间和空间维度的4D打印技术逐渐成为研究热点,在工业、航天、医疗、服装等领域均已表现出巨大应用潜力<sup>[6-10]</sup>。4D打印的技术特征与矫形器的智能化需求高度契合,将会成为未来智能矫形器不可或缺的重要制造技术,具有重大的变革性意义。

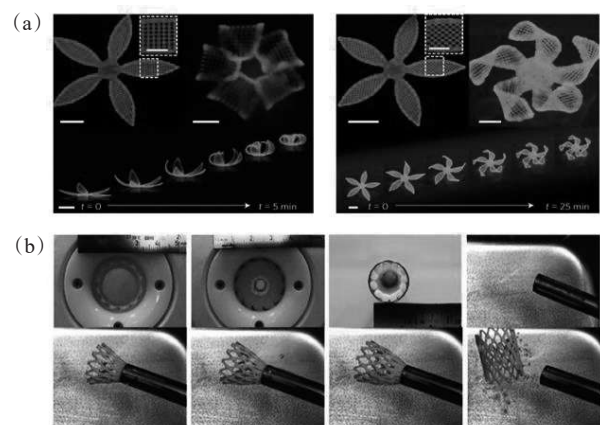
本文结合矫形器的发展趋势及智能化需求,探讨了4D打印技术的概念、材料及制造方法,比较了未来4D打印矫形器与现有3D打印矫形器的功能特征和优势,分析了4D打印技术在几种矫形器上的应用潜力,并阐明了发展4D打印智能矫形器存在的主要障碍及应对措施。

### 1 4D打印的概念、实现流程及技术要求

4D打印是指在3D打印的三个空间维度上增加一个时间维度。4D打印技术是随着3D打印技术的迅猛发展而诞生的一种新型智能化增材制造技术。这一概念自美国麻省理工学院的Tibbitts S<sup>[11]</sup>在TED大会上首次提出以来,已经得到了不同领域众多研究人员的关注、跟进和总结<sup>[12-15]</sup>。例如如图1(a)所展示的,Lewis等<sup>[16]</sup>把将木浆纤维素纤维与丙烯酸胶水凝胶混合后制成一种溶胀型智能材料并展示了这种4D打印花朵的逐步绽放,如图1(b)所示,Cabrera等<sup>[17]</sup>通过FDM(fused deposition modeling)方式制备了一种可应用于心脏

瓣膜体内重塑手术的4D打印支架,该支架通过微创植入手术植入心脏(37℃的水浴模拟的心脏环境)后可由卷曲状态自动膨胀为需要的形状;国内西安交通大学卢秉恒团队<sup>[18]</sup>将智能材料与4D打印技术结合,制造出了可应用于微创手术器械中的多自由度操作臂。以上这些典型案例,均显示出4D打印技术在智能制造和结构自主动态变形方面的特色,同时也反映出其在生物医疗方面的潜力。

图1 典型的4D打印应用案例<sup>[16-17]</sup>



4D打印应用的整个设计和制造流程见图2。首先,根据目标结构,选用一种或多种智能材料通过力学仿真分析“编程”设计出包含智能响应信息的数字化模型;其次,选择合适的工艺以多材料混合打印方式完成初始静态结构的制造;最后,在该初始静态结构的全域或局域施加以特定外界刺激(如温度、湿度、声波、电场、光波、磁场等),使其以执行程序的方式进行结构变形、刚度变化、自行组装、修补或变色等响应,经一步或多步响应后即可得到目标结构。使用3D打印技术只能得到个性化的静态结构,而运用4D打印技术得到的结构能够随着时间的推移以预先设计的规律进行大

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.07.023

\*基金项目:河北省重点研发计划项目(18277610D);国家自然科学基金青年科学基金资助项目(11902091);国家重点研发计划项目(2018YFB1107002);民政部康复领域重点实验室课题

1 国家康复辅具研究中心,北京市老年功能障碍康复辅助技术重点实验室,民政部人体运动分析与康复技术重点实验室,北京市,100176;

2 国家康复辅具研究中心秦皇岛研究院;3 通讯作者

第一作者简介:张志强,男,博士,高级工程师; 收稿日期:2020-09-25

小、刚度、形状、颜色等动态变化,可以实现结构的智能化。

4D打印技术应用需进行多学科交叉,集合机械、力学、材料、化学、物理等多个领域的专业知识才能满足变形状、变刚度、变颜色、自组装等不同种类的功能需求。特别是与矫形器的智能化需求高度契合的变结构和变刚度4D打印技术,对智能材料、力学设计和制造工艺均有着严苛而独特的要求。其中,智能材料是4D打印结构的“感受器”和“驱动器”,只有将其融合应用于打印结构之中,它才能识别和感知外界施加的刺激并自主驱动打印成型的初始静态结构有序地发生各种动态响应。根据不同的驱动能力和用途,目前常见的智能材料主要包括温度响应型、溶胀响应型、光响应型、磁响应型等<sup>[12]</sup>。若使打印得到的初始静态结构进行复杂的动态时序变化,除使用上述智能材料外还须进行合理的力学设计。只有通过力学仿真设计逆向求解出初始静态结构中智能材料的配比、分布位置和排布方式,才能在3D打印制造后控制并实现该结构的按需精准变形,因此力学设计可被看作4D打印结构的“控制器”或“控制程序”。经过力学设计“编码”完成的4D打印结构数字模型,要最终实现结构的实物化还依赖于高质量的打印制造方法和制造工艺。4D打印制造方法与现有的3D打印制造方法相一致,主要包括熔融沉积式(fused deposition modeling, FDM)、粉末烧结成型(selective laser sintering, SLS)、光固化成型(stereo lithography appearance, SLA)、墨水直写式(direct ink writing, DIW)等<sup>[14]</sup>。但4D打印结构在实现复杂精准的动力学变形、打印精度、几何偏差以及打印效率等制造工艺方面比3D打印的要求高。

综合4D打印的实现流程和关键技术来看,该技术目前还处于实验探索的上升阶段,在智能材料、力学设计和制造工艺方面还存在许多困难和挑战,例如:4D打印所用智能材料种类较少,且响应效率和精度不高;力学逆向设计算法仅能够仿真分析弯曲、扭转等基于应变失配理论的简单变形模式,缺乏用于复杂结构变形的逆向分析设计程序;打印制造方法也不是十分成熟,特别是在多种软硬不同材料复合打印的精度和效率控制方面仍然面临很多障碍。但随着智能材料的逐步增多、多材料力学逆向设计算法的深入研究和3D

打印技术的日益成熟,4D打印的可变结构和可变刚度优势将使该技术在智能矫形器领域取得变革性的广泛应用。

## 2 4D打印技术在智能矫形器设计中的潜在应用

采用4D打印技术且考虑智能矫形器的设计需求,将智能材料应用于矫形器的整体或局部区域,并根据矫形病情进行预编程和3D打印制造,而后在矫形过程中进行一系列激励—控制,便能实现智能矫形器的4D打印制造和应用。本文将对4D打印智能矫形器的几种典型潜在应用如矫形鞋垫、假肢接受腔、脊柱侧弯矫形器等进行展望,并总结4D打印矫形器的通用设计制造流程。根据不同的矫形器需求,其他穿戴式矫形器均可采用4D打印的设计理念和方法。

### 2.1 智能矫形鞋垫

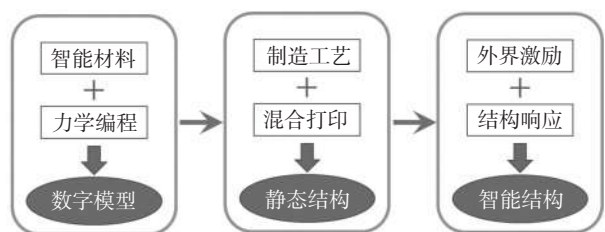
在人类的足部疾病中,足部畸形如扁平足、足底筋膜炎、足内翻等,会严重影响患者的生活质量和身体健康。对此,足踝矫形医生通常使用定制式的个性化矫形鞋垫循序渐进地治疗这些足部疾病,使其足骨畸形逐步得到矫正,直至恢复患者足部的正常功能。随着目前3D打印技术的普及,矫形鞋垫的制作方法已由过去的传统石膏取型转变为3D快速打印方式<sup>[19-20]</sup>。然而,3D打印的矫形鞋垫支撑面均是固定不变的,无法根据患者矫形病程自动调节支撑形状和刚度,需要根据病程变化进行多次3D打印制造新的矫形鞋垫,这无疑增加了患者的经济负担。另外,现有机械式矫形鞋垫虽然可以做到刚度的连续调节,但比较笨重,人为增加的足部负重实际应用时不利于足部正常矫形,同时制造过程也较为复杂。

若采用4D打印技术,在矫形鞋垫中使用智能材料,并根据患者足部畸形程度运用4D打印设计方法对该智能材料进行一系列预编程,使之形成与患者足部畸形矫形历程相协调的形状和刚度序列,在矫形过程中利用热、电、光等外场激励促使智能材料在鞋垫的矫形区域形成与患者足部畸形相适应的形状和刚度,从而实现矫形鞋垫的智能化调整。显然,4D打印智能矫形鞋垫在满足患者足部自适应矫形的情况下,避免了在不同的治疗阶段多次打印不同的矫形鞋垫,节约了材料及能源,经济性高,大大减少了废弃矫形鞋垫对环境的污染。整个矫形鞋垫结构简洁轻便,避免了以往机械式可调节矫形鞋垫因重量过大对患者畸形足造成的不良影响,增强了患者穿戴的舒适性。

### 2.2 智能假肢接受腔

由于工业伤害、疾病、自然灾害、交通事故等造成的下肢肢残人群普遍需要通过安装假肢的方式实现最大程度的恢复肢体功能。在这其中,假肢接受腔是一种将患者残肢和假肢功能部件进行对接、匹配的重要连接部件,其直接与残肢接触、容纳残肢并包容残肢的软组织,匹配性不佳的假肢接

图2 4D打印技术流程



受腔往往易引起患者残端瘀血、水肿,对患者造成二次伤害。因此,假肢接受腔的匹配程度直接影响着假肢的穿戴安全性、舒适性及使用功效。由于患者的肢体残端形状、硬度各不相同,假肢接受腔的形状和硬度均因人而异。目前,为了实现假肢接受腔与佩戴者肢体残端的最佳匹配,在假肢接受腔的制作上除传统的石膏取型手工翻模外,已经有很多康复辅具装配部门采取了3D打印技术。然而,由于假肢接受腔形状与佩戴者的残肢受力情况、肌肉松紧程度、行走状态等密切相关,现阶段石膏取型和3D打印形成的假肢接受腔形状均是固定不变的,成型后并不能够根据患者的行走状态、肌肉松紧程度等进行适当的动态调整,严重制约了假肢接受腔的舒适性和使用功效。

针对以上假肢接受腔的不足,利用4D打印技术,则可以实现其形状和硬度随患者需求的智能自适应调控,形成智能假肢接受腔。例如,可以按照佩戴者残肢的三维形貌和生物力学特征,在设计阶段将假肢接受腔内部使用智能可变形材料并进行预编程设定多种形状和硬度。当患者残肢负载、肌肉萎缩等情况变化时,利用温度、湿度等外场激励促使智能材料发生设定的膨胀、扭曲等自我变形,形成与患者肢体残端相适应的假肢接受腔形状和硬度,填充假肢接受腔与肢体残端之间的空隙,使假肢的穿戴更舒适。

### 2.3 智能脊柱侧弯矫形器

脊柱侧弯矫形器是一种矫正儿童青少年中度脊柱侧弯的可穿戴式矫形器,通常是尼龙材质。它主要利用三点弯曲力学原理在患者胸部、腰部和骨盆部施加适当的作用力,通过不断调整作用力大小和作用区域来促使患者的脊柱逐步恢复至健康状态。目前,脊柱侧弯矫形器已由过去的手工制作转变为3D打印制造,但由于脊柱侧弯恢复是一个循序渐进的过程,所以患者往往需要在矫正的不同阶段穿戴不同的3D打印脊柱侧弯矫形器,这显然造成资源的浪费和环境的污染,同时也增加了患者的治疗成本。为解决这一问题,不少研究人员在3D打印脊柱侧弯矫形器的基础上增加步进电机或气囊,以对应地通过电机牵拉约束带或给气泵充气的方式调整施力区域的作用力来实现脊柱侧弯的自适应矫形。然而,附加的电机和气泵会给患者的日常生活带来诸多不便,目前具有自适应矫形功能的智能矫形器设计方法实用性不强。

若使用4D打印技术,在脊柱侧弯矫形器的某些区域引入智能材料,制造出能够自适应变形的智能脊柱侧弯矫形器,将解决现有3D打印脊柱侧弯矫形器的不足。在设计阶段可将脊柱侧弯矫形器需变形的区域设计为蜂窝状、圆孔状等不同形式和大小的镂空结构,并结合医生的治疗方案对镂空结构的材料进行预编程,使各个镂空状结构单元能够进行不同程度的伸长、收缩、弯曲、扭转等基本变形,最终达到矫

形器整体变形的设定。脊柱侧弯患者穿戴一段时间后,可根据矫形治疗方案和患者的实际矫形效果在该4D打印脊柱侧弯矫形器的变形区域施加特定的光、热等激励,使其发生所需要的形状改变,从而实现智能化的脊柱侧弯矫形。从以上整个设计、制造和治疗过程可以看出,4D打印技术能够使脊柱侧弯矫形器做到在不增加额外驱动装置的情况下进行与矫形需求相适应的自我变形调节,为智能脊柱侧弯矫形器实现提供了一种全新的思路,必将有力地推进智能变形技术在脊柱侧弯矫治方面的临床应用。

此外,未来穿戴式矫形器还可以对与患者身体接触部位的温度和汗液(湿度)做出感应,小幅度地调节接触区域的温湿度,从而使矫形器穿戴更加舒适。例如,有研究人员已经提出利用活细胞的吸湿性和生物荧光行为仿生设计对人体汗水具有多功能反应的可穿戴设备,概念如图3所示<sup>[21]</sup>。他们拟将微生物沉积在湿度惰性材料上获得微生物密度不均匀的多层结构,使这种生物多层结构可在几秒钟内对环境湿度梯度做出响应,实现形状和生物荧光强度的可逆性改变,最终实现能够与人体的冷却需求协同动态地调节通风。这种设计方法也可以用于穿戴式矫形器,得到更加广泛的4D打印智能矫形器。

图3 4D打印可穿戴设备概念图<sup>[21]</sup>



### 3 4D打印智能矫形器的设计制造流程

4D打印智能矫形器的设计制造流程与3D打印矫形器的设计制造流程类似,均需根据人体矫形部位获取个性化的矫形器数字模型。不同的是,由于4D打印矫形器采用了智能材料,因此在设计、制造以及后期矫形过程中都需增加一系列步骤。4D打印智能矫形器设计制造流程可以分为个性化矫形器数字建模→矫形过程虚拟仿真→智能材料预编程→4D打印制造→场激励下的个性化智能矫形,详细的步骤如下:①个性化矫形器数字建模:针对患者脊柱、肢体、手、足等所需矫形部位,利用三维扫描设备获得患者身体畸形部位的个性化三维形貌特征数据,并建立与之相匹配的三维矫形

器初始数字模型;②矫形过程虚拟仿真:运用磁共振、CT等技术获得患者身体畸形部位的三维肌骨组织数字模型,并与①中的三维矫形器初始数字模型相结合构建出患者的畸形部位——矫形器耦合数字模型,而后根据矫形医生的处方进行矫形全过程的虚拟仿真,得到矫形器在矫形历程中各个阶段的几何变形和刚度变化特征,即得到矫形器的动态矫形规划路径;③智能材料预编程:根据上述所得模型和路径选用智能材料布局方法和外场激励方式,结合弹性应变失配准则和材料力学属性从变形程度、变形速率和变形方向三个角度对矫形器进行顺序预编程,使之与患者畸形部位所需动态矫形规划路径相适应,从而形成包含智能响应信息的三维矫形器数字模型;④4D打印制造:运用3D打印机切片处理软件处理步骤③中的三维矫形器数字模型,形成可供3D打印机打印的矫形器模型数据,打印制造后便得到4D智能矫形器的静态结构;⑤智能矫形器的装配与动态矫形:按照医嘱将4D打印智能矫形器装配于患者畸形部位,在不同矫形阶段施加与动态矫形规划路径相一致的光、热等外场激励对矫形器进行调控,以满足不同矫形阶段的需求,即实现了智能化矫形。

#### 4 4D打印矫形器的优势和挑战

4D打印矫形器能够根据矫形需求做出硬度、刚度、形状等方面的改变,实现矫形器的智能化。相比3D打印矫形器,4D打印矫形器具有明显的优势:①在不依赖额外驱动机构的情况下,4D打印矫形器能够满足患者不同矫形阶段的需求,很容易使智能矫形器实用化;②4D打印矫形器能够借助智能材料对与患者接触部位的温度和湿度进行一定的调控,提高矫形器的穿戴舒适性;③4D打印矫形器仅需制造一个便能完成患者的全病程矫形,避免了在不同的矫治阶段需要不同的矫形器,经济性能高,大大减少了废弃矫形器对环境的污染;④4D打印技术能够通过智能材料的不断变形和组装,使医生和研究人员设计并制造出更加复杂精巧的矫形器,更适用于矫形的精准控制。

同时,不论是4D打印矫形器使用的金属材料还是高分子材料,这些材料在安全性、生物相容性等方面的要求也将是未来探讨的问题。目前,我国没有对4D打印矫形器等接触皮肤辅具进行生物安全性评价的标准。但矫形器为二类医疗器械,可参考GB/T 16886 医疗器械生物学评价中相关标准。在矫形器的穿戴过程中,穿戴者皮肤与材料形成临界接触面,界面环境会影响材料的腐蚀、降解、磨损,导致材料中的物质释放。如果材料中有毒性物质渗出,将会对穿戴者皮肤表面及皮下组织等产生不良影响,长时间穿戴可能会造成二次伤害。所以,4D打印矫形器材料可考虑应满足GB/T 16886.5—2003 医疗器械生物学评价第5部分:体外细胞

毒性试验中的相关要求。

4D打印技术在智能化矫形器方面具有很大的应用前景,但由于矫形器对设计有很高的要求,应用基础研究与产业化应用之间还有很大的挑战,尚有很多问题亟待攻克。例如:①4D打印矫形器由于受力较大,往往需要硬材料作为支撑结构,而变形区域则需采用软材料,研究软材料和硬材料之间的混合无缝打印是今后4D打印矫形器实际应用需进一步完善的问题;②4D打印技术目前还处于基础研究阶段,打印机存在打印效率过低、打印精度不够高等问题,打印机与多种打印材料匹配方面也存在问题,打印工艺也较为繁杂,必须解决这些问题才能够使4D打印矫形器实现精准矫形;③4D打印矫形器的方式是将矫形需求按矫治病程设计内置到智能材料中,通过对不同材料和结构进行排布组合来得到可控的变形、变刚度矫形器,但是目前缺少能够进行多材料、多构型的4D动态仿真设计软件,打印出来的结构较为简单,因此需进一步开发4D打印矫形器仿真设计软件;④相对目前的3D打印矫形器,4D打印矫形器由于采用各种智能材料和复杂的打印方式,将导致其成本很高,难以在短时间内实现产业化应用,寻求价格低廉的智能材料和打印方法,也是一个有待深入研究的方向。

#### 5 结论及展望

4D打印技术是以3D打印技术为基础,通过引入智能材料和逆向力学编程设计产生的一种新型制造技术。它能够使打印得到的结构具有变形状、变刚度等智能化属性,是继3D打印技术后对传统制造方式的又一次重要升级,在工业、航天、医疗、服装等领域均有着巨大的潜在应用价值。本文分析了4D打印技术的特点和优势,针对目前矫形器的智能化需求,对4D打印矫形器的典型应用案例进行了设想,并阐明了4D打印智能矫形器的优势和存在的主要障碍。

与现有3D打印矫形器相比,4D打印矫形器可以根据矫形需求做出硬度、刚度、形状等方面的改变,能够实现精准智能矫形,并且可大大减少废弃矫形器对环境的污染,为康复领域中智能矫形器的研究提供了一条全新的发展方向。目前,4D打印在智能矫形器仍面临打印精度低、智能驱动材料种类少、逆向力学设计软件缺乏、打印成本高等众多挑战,距离实际应用尚需时间,但是从新技术发展的普遍历程来看,这些技术障碍将被逐一攻克,本文提出的4D打印智能矫形器必将得以实现。

#### 参考文献

- [1] 蒲放,樊瑜波. 康复辅具设计中的生物力学研究[J]. 医用生物力学, 2013, 28(4):363—365.
- [2] 全国残疾人康复和专用设备标准化技术委员会. GB/T 16432—2016 康复辅助器具分类和术语[S]. 2016.

- [3] 樊瑜波. 抓住机遇 乘势而上 推动我国康复辅助器具产业发展——关于对《国务院关于加强发展康复辅助器具产业的若干意见》的思考[J]. 中国民政, 2016,(21):40—42.
- [4] 廖政文, 莫诒向, 张国栋, 等. 3D打印个性化康复矫形器的设计制作[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(4):470—477.
- [5] 邵景娇, 陶毓博, 潘玲, 等. 康复矫形器的设计与材料的应用现状[J]. 现代生物医学进展, 2019, 19(4):794—797.
- [6] Liu G, Zhao Y, Wu G, et al. Origami and 4D printing of elastomer-derived ceramic structures [J]. Science Advance, 2018, 4:eaat0641.
- [7] 汪新刚, 邵兆申. 4D 打印技术在卫星有效载荷中的应用展望[J]. 空间电子技术, 2016, 3:96—100.
- [8] Javaid M, Haleem A. 4D printing applications in medical field: A brief review [J]. Clinical Epidemiology and Global Health, 2019, 7(3):317—321.
- [9] 李春妍, 张风华, 王亚立, 等. 4D打印形状记忆聚合物在生物医疗领域的研究进展[J]. 中国科学: 技术科学, 2019, 49(1):13—25.
- [10] 信辰星, 赵彤, 穆宏赫, 等. 4D打印在可穿戴首饰服饰领域的运用[J]. 宝石和宝石学杂志, 2018, 20(5): 58—67.
- [11] Tibbitts S. 4D printing: Multi—material shape change[J]. Architectural Design, 2014, 84(1):116—121.
- [12] Momeni F, Liu X, Ni J, et al. A review of 4D printing [J]. Materials & Design, 2017, 122:42—79.
- [13] Mitchell A, Lafont U, Hołynska M, et al. Additive manufacturing—a review of 4D printing and future applications [J]. Additive Manufacturing, 2018, 24:606—626.
- [14] 陈花玲, 罗斌, 朱子才, 等. 4D打印:智能材料与结构增材制造技术的研究进展[J]. 西安交通大学学报, 2018, 52(2): 1—12.
- [15] Zhang ZZ, Demir KG, Gu GX. Developments in 4D-printing: a review on current smart materials, technologies, and applications [J]. International Journal of Smart and Nano Materials, 2019, 10(3):205—224.
- [16] Gladman AS, Matsumoto EA, Nuzzo RG, et al. Biometric 4D printing [J]. Nature materials, 2016, 15:413—418.
- [17] Cabrera MS, Sanders B, Goor O, et al. Computationally designed 3d printed self-expandable polymer stents with biodegradation capacity for minimally invasive heart valve implantation: a proof-of-concept study[J]. 3D Printing and Additive Manufacturing, 2017, 4(1):19—29.
- [18] 卢秉恒, 李涤尘. 增材制造(3D 打印技术)发展[J]. 机械制造及其自动化, 2013, 4:1—4.
- [19] 曹萍, 吴小高. 3D打印技术在矫形鞋垫中的应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(7):753—756.
- [20] 苏宏伦, 郭俊超, 莫中军, 等. 个性化扁平足矫形鞋垫的生物力学研究[J]. 医用生物力学, 2016, 31(6):490—494.
- [21] Wang W, Yao L, Chen CY, et al. Harnessing the hygroscopic and biofluorescent behaviors of genetically tractable microbial cells to design biohybrid wearables [J]. Science Advance, 2017, 3:e1601984.

· 综述 ·

## 双重任务在老年轻度认知障碍患者中的应用进展\*

韩静雨<sup>1</sup> 李庆雯<sup>1,2</sup>

轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)是介于正常老龄与失智(痴呆)之间的一种过渡状态,其认知功能损害程度较正常老化严重,但临床症状并未达到失智(痴呆)的标准<sup>[1]</sup>。随着年龄增大,MCI发病率逐渐增高<sup>[2]</sup>。调查显示,我国65岁及以上的老年人MCI患病率达20.8%<sup>[3]</sup>,且向失智(痴呆)的转化率高达约6%—10%<sup>[4]</sup>。

认知是人脑加工、储存和提取信息的能力,集中体现于执行功能、注意力与记忆力等,MCI患者以记忆力减退最为

常见<sup>[5]</sup>。而随着认知能力的下降,MCI老年人步态、平衡能力等运动功能也下降,跌倒风险增加。相关研究证明认知障碍老年人的死亡风险为正常老年人的2—3.5倍,认知损害越严重死亡风险越高<sup>[6]</sup>。MCI在某些情况下能够好转,而如果进展为失智就无法好转<sup>[7]</sup>。因此,有必要积极对老年人进行筛查,尽早发现疑似的MCI患者,并通过及时的干预,降低认知障碍造成的各种危害。

当前对MCI的筛查主要应用包括简易智能精神状态检

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.07.024

\*基金项目:天津体育学院科研发展基金项目(TJUSKF202138)

1 天津体育学院社会体育与健康科学学院,天津市,301617; 2 通讯作者  
第一作者简介:韩静雨,女,硕士研究生; 收稿日期:2020-08-07