

康复机器人:未来十大远景展望*

喻洪流^{1,2,3}

中国乃至全球范围内,人口老龄化已成为大势所趋。2019年我国60岁及以上人数约为2.54亿人,占总人口的18.1%,并每年以800多万的速度增加^[1];至2017年,我国有脊髓损伤及脊柱裂患者约530万,这些患者长期瘫痪卧床需要照顾^[2]。另外其他神经损伤所引起的功能障碍患者更是数量巨大,如现在我国脑卒中引起的偏瘫患者数量高达1100多万^[3-4]。世界许多国家,尤其是发达国家纷纷进入老龄化及深度老龄社会,沉重的老龄化与少子化并存压力正给社会、经济及家庭带来愈来愈无法承受的负担。无论是康复医疗还是助老助残,机器人的功能康复与辅助都将在未来直面巨大的社会群体需求。

康复机器人是康复医学和机器人技术的完美结合,主要用于功能障碍者日常生活的辅助与康复治疗。广义上的康复机器人包括功能辅助、康复治疗与复合功能三大类,而功能辅助机器人又可以分为功能增强机器人与功能代偿机器人两个次类,康复治疗机器人也可以分为康复理疗机器人与康复训练机器人两个次类。

康复机器人可以帮助患者完成各种物理治疗,并能增强或代偿患者功能,减轻康复治疗及康复护理人员的劳动强度。与传统康复治疗手段相比,康复训练机器人更平稳可控,可以保证训练的效率和强度,并可以实时记录数据用于康复评估,因此近年来康复机器人成为国内外研究热点^[5]。随着5G技术、大数据、新型材料、3D打印、传感与控制、柔性可穿戴设备及仿生学等技术的快速发展,将进一步加速以人机融合为特征的新一代智能康复机器人的发展,康复智能化将成为未来发展的主旋律,本文对未来10—50年康复机器人技术的十大方向进行远景展望。

1 “机器人治疗师”——未来康复治疗领域的主力军

个性化动态适应的机器学习、智能交互、自主导航等技术将更多地应用到康复领域,新型仿生学设计、刚柔耦合机器人以及多自由度冗余复杂系统智能控制技术也将获得突破,这将大幅度提高康复机器人智能化与仿人化水平,使康复治疗机器人能完全模拟或近似模拟人类治疗师运动治疗

的复杂手法。各类人型“康复机器人治疗师”或将成为在医院、社区和家庭辅助患者完成康复训练与治疗的主要劳动力。另一方面,治疗师人体增强或辅助用协作机器人技术也将实现真正的“人机共融”,诞生“半机器人治疗师”,可以自适应协作或辅助人类康复治疗师进行治疗,以减轻治疗师工作量。

2 “机器人康复医师”——替代人类医生给出治疗处方

随着人工智能、云计算、大数据及物联网康复等技术发展,一个“康复机器人医师”将掌握现在世界最先进的康复理念,并不断在人类的指导下升级临床康复诊疗知识库,可以实现极具针对性的个性化智能评估。尽管这种评估仍借助各种评估设备进行数据采集,但基于大数据的医生专家知识库可以对测量结果进行智能判断,自动给出评估结果,评估准确性将可能超越人类康复医师。康复医生对患者的传统功能评估工作大部分将被机器人所取代,机器人将实现对患者步态、肌力、肌张力、活动范围、平衡、认知能力等进行自动与定量的评估,并基于大数据临床知识库与智能推理机自动地给出个性化康复处方。

3 “网联康复”——足不出户与医生“面对面”

远程康复使更多患者从医院转向家庭治疗,并且可以实现一名康复医师或治疗师同时诊疗多名患者的拓扑关系网络,优化康复治疗资源配置。“网联康复”是一种基于物联网的康复诊疗手段,这一新的技术将大大拓展远程康复概念。随着5G、6G等新兴超高速、大宽带通讯技术的进步,使超大规模用户同步实现居家康复机器人物联网的数据实时传送与实时控制成为可能,医生或治疗师可以“远程指挥”居家患者周围的康复评估、治疗及功能辅助等各种机器人工作,也可以实时掌握这些机器人上传的患者评估、治疗、辅助等相关数据,同时各种康复机器人还可以实时协同工作。例如,新冠肺炎患者的ICU康复在未来将可以由康复治疗师远程操控康复机器人进行物联康复机器人治疗或功能辅助,包括理疗、康复训练,甚至生活辅助等。新的通讯技术也将显著

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.08.002

*基金项目:国家重点研发计划项目资助(2020YFC2005800,2020YFC2005804)

1 上海理工大学康复工程与技术研究所,上海,200093; 2 上海康复器械工程技术研究中心; 3 民政部神经功能信息与康复工程重点实验室
第一作者简介:喻洪流,男,教授; 收稿日期:2020-05-28

提高远程交互康复的使用体验,沉浸式远程增强现实交互将使患者和治疗师在真实感增强虚拟环境中进行互动并实现力反馈^[6]。这种交互物联康复模式能大大提高现处在的不同空间的医生、治疗师与患者沟通效率。

4 “心灵相通”——真情实感的“机器人亲属”温暖老人生活

人工智能将有可能在未来50年获得从弱智能到强智能的突破,康复陪护机器人将改变现有弱人工智能机器人的缺陷,具备通过多通道数据识别照料者的情绪及情感的“智慧”,完全或接近模拟亲属来陪伴孤单的老年人,耐心且全方位照顾老年人和功能障碍者的身心健康,提高他们的生活质量。“机器人亲属”可以模拟老人真实世界的任何亲属的语调、性格及情感,自如地转换各种角色,让孤独的老人身边围绕着“亲人”的陪伴,内心充满温情。“机器人亲属”还将随时随地为患者提供各种日常资讯、语音求助等功能,智能地筛查健康指标,预防及跟踪威胁人类功能的各种慢性病进程,提供暖心的康复医疗指导服务,为健康保驾护航。

5 “人机合一”——“意念控制”从科幻走向现实

神经接口是指植入人体体内或佩戴在体外的、可以记录或刺激大脑和周围神经系统活动的设备。神经接口可以创造一个像人类肢体一样灵活的、与大脑融为一体的智能假肢,可以让像渐冻症患者那样重度肢体障碍者用想象控制康复辅助机器人,真正实现“意念控制”从科幻走向现实^[7]。现有脑控技术仍是基于体外脑电或植入式脑部电极来获取人体意图,但这存在脑电信号不稳定或手术创伤大的缺陷,现阶段的脑控技术离实际应用仍距离遥远,更无法做到“随心所欲”的控制。未来的新型神经接口技术将为日常生活护理、助行、训练等康复机器人的发展和应用为肢体功能障碍者提供了一个崭新途径。随着新型无创脑电传感技术的突破,未来脑机神经接口技术将日趋成熟,能够让机械假肢直接感知到大脑或脊髓运动神经元发出的电信号,只需在脑海中想象运动的动作,假肢便能完成所想即所得的动作。同时,假肢对于环境传感信号也可以在闭环的神经接口回路中反馈给大脑,作为生成下一个运动信号的参考量。

6 “机器感觉”——重新感受世界“温度”

人体的运动控制离不开感觉器官的反馈信息,如视觉、听觉、触觉和本体的感觉等。感觉正常的人可以通过皮肤的感受与外界交互,但对于感觉功能障碍的患者无法通过自身感受触觉信息,这影响到机器的交互效果。未来神经接口技术的发展也将为康复机器人实现“感觉”提供可能。“机器感觉”可以通过感觉神经刺激实现对人体感觉反馈通路的干预,通过机器人传感单元将触觉信息传递到感觉神经或者通

过刺激大脑来模拟触觉感受。未来的假肢将会像正常肢体一样有感觉功能。瑞典一名手截肢患者成为骨神经肌肉植入物的第一个受体,将钛植入物放置在桡骨和尺骨,提取神经和肌肉信号来控制机器人手并提供触觉反馈,用于控制手部假肢^[8]。康复机器人实现多模态的人体感觉反馈,还将能使感觉功能障碍的患者能够重新触摸世界“温度”。

7 “智能骨骼”——“钢铁侠”机器人为人类助力

外骨骼机器人相当于帮助人类在体外安装代偿功能的“新骨骼”。外骨骼机器人技术经历了近二十年的发展,已经可以帮助严重肢体功能障碍的老年人、偏瘫及脊髓损伤患者正常行走。然而,目前国内外下肢外骨骼机器人价格昂贵,而且还存在体积大、重量重、无自平衡功能、控制智能及仿生性不足等问题^[8]。目前市场上只有新西兰的Rex下肢外骨骼机器人具有自平衡功能,但其重量达38kg,步行速度极慢,且售价昂贵,只能作为训练使用,实际尚不具备步行作用^[8]。新材料、新能源、智能控制及新驱动技术的突破,将出现具有自平衡功能的轻便式穿戴式下肢动力外骨骼,辅助下肢功能障碍者使用下肢外骨骼时像托尼·斯塔克穿着“钢铁侠”一样,高功率密度驱动单元及电池、人机共融控制等技术将使其在轻便及顺应性上超越“钢铁侠”,即使是四肢瘫的患者也可以重新获得“行走自如”的能力,实现真正的社会回归。穿戴式“智能骨骼”将实现模块化设计,针对患者的局部肢体功能障碍选择相应的穿戴模块。这种轻型自平衡外骨骼还将可用于正常人的力量增强,帮助人类成为“超人”。

8 “柔性机械服”——实现“蜘蛛侠”超能力

相比“钢铁侠”,柔性外骨骼“机械服”具有更好的可穿戴性、人机耦合性、轻量化、运动柔顺性等优点,适用于具有站立稳定性及一定行走能力的肢体功能障碍者。穿上柔性外骨骼“机械服”可能拥有“蜘蛛侠”的身体机能、运动能力、“蜘蛛能量”等。哈佛大学Walsh团队设计了一款轻便型柔性外骨骼,采用电机与套索的传动方式,通过腰部电机驱动将力量沿着特殊编织而成的柔性外衣传递到足跟,但目前这种柔性外骨骼驱动效率仍很低^[9-10]。未来优化组织结构的柔性外衣的材料,使其具有更高刚度、力量传递效率和响应特性。新型材料将推动柔性外骨骼实现有效助力且更轻质柔软,就像衣服一样轻便且符合人体肌肉骨骼运动特性,采用轻质柔软并具有一定的强度和韧性的功能性纺织材料模拟人体肌肉在运动中的特性,并可根据不同身材的穿戴者智能自适应调整尺寸^[11-13]。

9 “老有所托”——“机器人护士”提升养老品质

随着我国社会老龄化与少子化程度加剧,将有越来越多

失能老人面临护理困境。然而,未来智能护理机器人的出现将为社会提供无数“机器人护士”来助力老年人的生命质量提升。具有高度智能与运动仿生的康复护理“机器人护士”将为失能老人提供助浴、助食、助穿、移位、二便处理等全面的日常生活辅助与照护。这种“机器人护士”既可以自主学习、自主工作,也可以通过物联网由亲属或护理人员进行远程“遥控”。未来将可以为有生活辅助需求的老年人个性化定制随身机器人“护士”,为老年人生活保驾护航,让每个人都能实现“老有所托”的幸福晚年。

10 “再生康复”——“半机器人”重启人体功能

广义的康复工程也包括应用工程技术对人体内部器官功能的康复。“再生康复”用机器人替代或增强生物体的部分,这种用机器人代替人体的部分器官的生物融合机器人也称“半机器人”。生物拥有的适应能力不只是通过大脑的信息处理系统实现的,还需通过神经系统与身体和环境之间巧妙相互作用塑造而成的。因此,研究生物与机器人之间的融合系统中脑部、身体与环境相互作用,对解开生物适应能力之谜的意义重大^[14-15]。

伴随仿生学和生物学的发展,假肢和器官假体会从外形、功能甚至组织结构上更接近于人的肢体和器官。现今人造骨骼、人工肌肉和人造组织等研究已相当深入,人工神经及接口已在初步得到应用。神经接口另一个重大突破——电子人工眼,为全盲患者带来光明,重获新生^[16]。未来,人类将来会为截肢者和器官假体需求者提供个性化“智能假体克隆”服务,不可逆的创伤将不再是患者重回社会的拦路虎^[17]。随着人工心脏、人工肾、人工肺、脑起搏器、人工假肢等机器人器官技术的成熟,“半机器人”将成为修复人体功能、让功能障碍者重获新生的理想未来。

11 小结

随着未来通讯、物联网、人工智能、新型材料、机器人仿生、神经接口、柔性穿戴等技术的快速发展,预计康复机器人的研究在未来10—50年迎来突破性发展,“机器人治疗师”、“机器人康复医师”、“网联康复机器人”、“机器人亲属”、“意念控制”、“机器感觉”、“智能骨骼”、“柔性机械服”、“机器人护士”和“半机器人”等十大方向有望成为康复机器人的未来。这尽管有些“科幻”,但很多时候人类的梦想决定着未来,故以期此文为未来康复机器人的研究与开发提供些许借鉴。

参考文献

[1] 国家统计局. 2019年末,我国老年人口达到2.54亿人[EB/OL]. <http://feng.ifeng.com/c/7tJA9u9P5jt>, 2020-01-21.

[2] 许小宁. 中国有脊髓损伤和脊柱裂患者约530万[EB/OL]. http://news.cnr.cn/native/gd/20170311/t20170311_523651452.shtml, 2017-03-11.

[3] 喻洪流, 石萍. 康复器械技术及路线图规划[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.

[4] 《中国脑卒中防治报告2018》编写组. 我国脑卒中防治仍面临巨大挑战——《中国脑卒中防治报告2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(2): 105—119.

[5] 杨启志, 曹电锋, 赵金海. 上肢康复机器人研究现状的分析[J]. 机器人, 2013(05): 120—130.

[6] Farina D, Vujaklija I, Sartori M, et al. Man/machine interface based on the discharge timings of spinal motor neurons after targeted muscle reinnervation[J]. Nature Biomedical Engineering, 2017, 1: 0025.

[7] 全球第一个灵巧且有感觉的假手已成功植入[EB/OL]. https://www.sohu.com/a/297387442_354973

[8] Shi D, Zhang W, Zhang W, et al. A review on lower limb rehabilitation exoskeleton robots[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2019, 32(1): 74.

[9] Chang SR, Kobetic R, Audu ML, et al. Powered lower-limb exoskeletons to restore gait for individuals with paraplegia: A review[J]. Case Orthopaedic Journal, 2015, 12(1): 75.

[10] 周伟杰, 韩亚丽, 朱松青, 等. 柔性外骨骼助力机器人发展现状综述[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2019, 17(1): 31—38.

[11] Asbeck AT, Dyer RJ, Arnar F, et al. Biologically-inspired Soft Exosuit[C]. 2013 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, Washington USA, 2013.

[12] Crea S, Nann M, Trigili E, et al. Feasibility and safety of shared EEG/EOG and vision-guided autonomous whole-arm exoskeleton control to perform activities of daily living[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 1—9.

[13] Kim SK, Kirchner EA, Stefes A, et al. Intrinsic interactive reinforcement learning-using error-related potentials for real world human-robot interaction[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 1—16.

[14] Farina D, Vujaklija I, Sartori M, et al. Man/machine interface based on the discharge timings of spinal motor neurons after targeted muscle reinnervation[J]. Nature Biomedical Engineering, 2017, 1: 25.

[15] 日本机器人学会, 许郁文, 曹茹苹, 等. 机器人科技: 技术变革与未来图景[J]. 智能制造, 2016(7): 54—54.

[16] Xiaotian Zhang, Fan Kiat Chan, Tejaswin Parthasarathy, et al. Modeling and simulation of complex dynamic musculoskeletal architectures[J]. Nature Communications, 2019, 10(1): 4825.

[17] 张付祥, 付宜利, 王树国. 康复机器人研究进[J]. 河北工业科技, 2005, 22(2): 100—105.