

·综述·

人工智能技术在孤独症谱系障碍儿童认知及社会功能康复中的应用进展*

闫婷婷¹ 郑蔚^{1,2}

孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)又称自闭症,是一种具有生物基础的发育障碍类疾病,包括一系列复杂的神经发育障碍^[1],核心症状为社交障碍、沟通交流障碍、兴趣狭窄和有限的、重复刻板行为^[2]。ASD病因复杂多样,包括遗传、环境、孕妇高龄等,其症状特征和严重程度各异,多起病于3—5岁婴幼儿^[3]。世界范围内孤独症谱系障碍患病率高达1%—2%^[4],而我国孤独症谱系障碍患儿数已达100多万^[5]。人工智能技术是新近应用到孤独症谱系障碍儿童发育行为康复及照护的技术,在改善儿童发育行为和提升其生存质量等方面具有良好的适用性,同时提高了照护水平、减轻照顾者负担。本综述对国内外相关文献进行综合分析,对人工智能技术在孤独症谱系障碍儿童认知功能及社会行为功能康复中的应用进展进行总结,为更好地开展针对性康复及照护提供参考,对后续将人工智能技术引入临床康复具有启示意义。

1 人工智能技术的定义及分类

1.1 人工智能技术的定义

人工智能(artificial intelligence, AI)于1956年达特茅斯会议上被首次定义,指能模拟人类智能活动的智能机器或智能系统,研究领域涉及广泛,包括智能识别、机器学习、人工智能平台等,但至今尚未统一^[6]。从最初的神经网络、模糊逻辑,到现在的深度学习、图像搜索,人工智能技术经历一系列起伏,但作为21世纪的三大尖端技术(基因工程、纳米科学、人工智能)之一,仍在蓬勃发展^[7]。目前许多人工智能技术已经应用到医疗及护理领域,技术的发展对手术治疗和康复护理也产生了巨大的影响。如在医学图像处理中,利用多种算法和多Agent技术识别MR图像、超声图像、CT图像等,取得快速进展^[8];使用深度卷积神经网络开发的智能机器,通过视觉图像进行皮肤病变分类,用于皮肤癌的诊断^[9];国内,达芬奇机器人在宫颈癌、胃癌、肺叶切除等手术中的广泛应用,涉及机器人系统运行及管理,手术程序和护理内容也随之发生

改变^[10];以及技术发展与临床需求促使新型智能护理机器人、护士助手机器人^[11]的研发;或者利用人工智能系统或远程机器人对医生及护士开展培训及课程^[12]。除了上述方面,国外目前的研究多侧重智能机器人护士用于老年人的照护,以应对人口严重老龄化及护理人力资源短缺问题^[13],应用智能机器动物陪伴痴呆或认知障碍患者来减轻医院及家庭的照护负担^[14]等。

1.2 人工智能技术的分类

目前对于人工智能技术的分类存在不同的标准。基于其解决问题的方法是对目标函数的可预测性处理还是模仿人类大脑能够理解外部事物并自发决策,将其区分为强人工智能技术和弱人工智能技术两类^[15]。按照其核心技术不同,可以分为数据挖掘与学习技术、知识和数据智能处理技术、人机交互技术^[7]。其中数据挖掘与学习技术多指机器学习技术,研究使用计算机模拟或实现近似人类神经网络的自主学习活动。知识和数据智能处理技术则多用于研究具有专家级别知识经验的智能程序系统,采用人工智能中的推理技术来求解和模拟复杂问题。人机交互技术又包括机器学习和模式识别技术,研究模拟人行为的机械和代替人类或帮助人类感知的模式识别系统。

将人工智能技术与医疗领域结合,促进医学科技创新,运用人工智能技术提升医疗、护理工作水平是当前政策鼓励及今后卫生事业发展前进的热点创新方向。

2 人工智能技术在孤独症谱系障碍儿童康复中的优势

孤独症谱系障碍发病人数持续增高,其干预周期长,相关护理专家及康复师的人力不足问题日益突出,已引起广泛关注。孤独症谱系障碍儿童常畏惧与人沟通,或无法及时理解正常人交流,组织护理专家康复课程耗费多且效果不佳,是目前推广的难点所在。

而相比人类护理专家及康复师,具有可预测性和重复性的人工智能技术机器比人类让孤独症谱系障碍儿童更有安

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.08.024

*基金项目:河南省医学科技攻关计划省部共建项目(201701014)

1 郑州大学第二附属医院发育行为智能干预技术研究院,郑州,450014; 2 通讯作者

作者简介:闫婷婷,女,硕士研究生; 收稿日期:2017-10-10

全感^[16]。在干预中引入人工智能技术产品,相比护理专家及康复师,可较快速获得患儿信任,患儿遵循它的指导也比人类更容易^[17]。其次,人工智能技术机器更可能对患儿产生实质的作用,智能机器对患儿更有吸引力,同时支持多模式的交互,包括手势、语言和触摸等。再者,人工智能技术机器不仅可以作为同伴,也可以作为玩具。它们可以根据患儿的具体需要进行编程,以适应患儿的孤独症谱系障碍严重程度及特有行为,从而使护理和康复达到个体化^[18]。另外,人工智能技术异于医护人员及康复师的稳定性、可长期应用的耐久性和智能机器的可复制性使其应用耗费降低,并且具有同样康复效果甚至更好。同时,人工智能技术应用可以做到康复内容科学化、系统化、精准化,便于采集患儿各项指标及数据以用于评估、临床反馈或研究,这对于孤独症谱系障碍领域的研究发展具有重要意义。

3 人工智能技术在孤独症谱系障碍儿童中应用方法及模式

到目前为止,人工智能技术相关的机器人或智能机器已经被应用于孤独症谱系障碍儿童康复领域的下列目标:改善自闭症患儿的眼神交流、自我互动、轮流互动、模仿、情绪识别、共同注意(joint attention)等^[19-20]。从外形上来分,实际应用中最常见为人工智能技术机器人,其次为智能机器动物、非人形智能机械装置、智能可穿戴设备等。目前研究中常见的人工智能技术机器人有Nao^[21]、Kaspar^[22]、Flobi、Tito^[23]、Parlo等;常见的智能机器动物有POL(小鸡)、Pleo(恐龙)^[24]、Aibo(小狗)^[25]等;常见的非人形智能机械装置有Touch pad^[26]、Procom系统^[27]等。

3.1 合作同伴模式

将人工智能机器应用到孤独症谱系障碍儿童中时,将其作为患儿友好的同伴、特定任务情境下的合作伙伴或者与外界交流的游戏中的玩具。在物理治疗、运动干预、教育课堂以及游戏等活动中,利用人工智能机器吸引患儿注意力,促进其加入交往互动,在智能机器的指导下改善认知功能及社会行为^[21]。或者智能机器与患儿合作,通过其智能处理系统对患儿的反应或者行为做出反馈,使之成为与患儿共同学习的同伴,提升患儿的情绪理解。

3.2 认知重塑模式

利用人工智能技术直接弥补或改善患儿在认知上的缺陷。此模式研发的一系列人工智能设备大多为机械装置、移动设备或可穿戴系统。人工耳蜗技术中,根据耳蜗生理原理开发出实质为电子仿生装置的人工耳蜗,用于治疗重度耳聋至全聋。认知重塑模式中,孤独症谱系障碍儿童借助人工智能技术产品直接改善自身状态,如穿戴Procom系统^[27]可帮助患儿对社交距离进行感知、理解以及作出恰当反应,可以减少其行为异常,改善其社会障碍。又如主要通过移动设备

实现利用人工智能技术在新兴框架下为孤独症谱系障碍儿童提供日常沟通的视觉方法,并改进其语言指导^[28]。

3.3 情境教育模式

此模式下,包含人工智能技术相关的机器人及人工智能设备的角色更倾向于简单模式下的教育课程老师,或者患儿的故事分享者。孤独症谱系障碍儿童在接受干预内容时,会被智能机器人展示的特定环境下的社会交往行为激发模仿功能,促使其通过观察模仿而学习,并与机器人互动。或者智能机器展示一个故事,吸引患儿浸入式体验部分细节,教会患儿同样分享自己的故事或者情绪。

3.4 互动中介模式

引导和促进孤独症谱系障碍儿童与他人的互动行为时,多通过训练其共同注意来实现。将人工智能机器伙伴作为患儿与他人沟通互动的中介与桥梁。孤独症谱系障碍儿童对人工智能机器伙伴会产生强烈兴趣,但对其他人极少关注。在这种背景下,利用人工智能机器将患儿的注意力引向他人,患儿会注意到智能机器人的简单表情、动作、语言等与父母、护理专家等的相似之处,会尝试对他人表达自己的情绪和感受。或者人工智能机器、患儿、成人三方同时一起活动,将人工智能机器作为互动团体中的核心与媒介,改善患儿的整体状态。

4 人工智能技术在孤独症谱系障碍儿童中的康复效果

4.1 改善社会行为

对ASD儿童而言,人类之间的交流过于复杂,智能机器人相对简单的表情以及动作变化使得患儿对人机互动有更高的接受程度,对改善其社会行为更为有效。不仅如此,它还可以促进患儿与成人的沟通,鼓励患儿的协作技能。国内研究表明,有Nao参与的干预中,患儿的刻板行为,交流行为(高达50%评分值)及社会活动改善这三个方面,表现更好^[21]。英国多项研究^[29-30]中,对患儿进行Kaspar干预后,患儿均表现出较好的协同行为,并且延续到他们与成人(包括护理专家和父母)进行第二次沟通时,会话内容会出现比首次还多的情况。日本的一项研究^[26]发现触摸垫智能机器干预后的患儿社交表达的成功率更高,并且对于颜色变化等有更良性的互动。法国一项研究^[25]在互动对象分别是人、计算机游戏、智能机器时,将患儿的社会行为分别进行了对比,发现面对智能机器时,患儿会倾向展示更多表达和语言交流,功能磁共振成像也显示其颞区有更高的活跃度。这个角度表明,智能机器人通过互动成为孤独症谱系障碍患儿内在的社交技能强化和激励的动力,促进患儿沟通方法的改善,可优化其社会行为^[31]。

4.2 提高认知功能

4.2.1 增强专注力:智能机器有限的运动能力可吸引孤独症

谱系障碍患儿,并影响其专注力,包括眼睛凝视、共同注意等,它还通过模仿患儿熟悉的身体动作等形式更好地与患儿配合,为增强患儿对学习或沟通的专注力提供了一个有效的方法。李睿强等^[32]的研究表明,人工智能技术干预试验中,患儿平均注视机器人次数和平均注视时间高于无机器人干预课堂。陈东帆等^[5]的研究则发现,患儿与Nao互动后,注视行为实际次数达到试验理论互动次数的50%以上,行为准确率达到80%,说明机器人有助于改善患儿的眼神交流及注意力。加拿大一探索性研究^[18]发现,与两名Tito调解员配对康复的孤独症儿童,比与人类配对的患儿表现出更多的共同关注(视觉接触,生理接触以及对手势的关注)。此外,由于专注力在某些试验中难以量化界定,部分研究对此方面做了定性分析。其中法国Anzalone等^[33]及美国Bekele等^[34]的研究证实人工智能机器可改善孤独症谱系障碍患儿的专注力,但同时也提出如果机器人同伴对患儿过于有吸引力,则可能成为干预目标的干扰因素。

4.2.2 提升情绪理解水平及语言能力:相对于人类,智能机器虽然在言语表达上有较少的变化和应答模式,但在对孤独症谱系障碍儿童的干预中却成为其首选的互动对象,不仅增加了患儿的语言数量及自我表达欲望,还对患儿的语言沟通能力和情绪理解起到了有益的影响,促进了患儿与人类的互动。国内,陈东帆等^[5]的研究发现,9例患儿接受Nao机器人干预后,7例“说你好”的行为互动次数达到试验理论互动次数的50%以上,4例行为准确率超过50%。一项美国的研究中,将成年人类干预、触屏电脑游戏干预和Pleo智能机器人干预进行对比,结果显示人工智能技术机器人干预方式使得孤独症患儿的话语总数量优于其他两种方式^[24]。此外,有法国的研究^[35]发现,在干预过程中,孤独症儿童与智能机器人互动会出现多模式的语言表达。在有智能机器人的“游戏环境”下的语言表达比没有智能机器人环境下更为频繁。并且只有在有机器人时,患儿们才会表达“开心、美好、很棒”和积极情绪“喜欢”。研究结果还表明智能机器人干预可改善患儿的大脑多模态活动,与他们的语言表达存在正相关。西班牙Torrado等^[36]的研究则发现,人工智能程序植入的特制手表干预孤独症谱系障碍患者试验后,其情绪理解及调节状况都有所改善。

4.3 减轻照护负担,改善康复水平

针对孤独症谱系障碍儿童的传统干预模式及康复护理中,需要患儿及其父母定期到医院专门科室进行康复护理或者长期参与多位康复专家组织的培训课程,完成多种综合疗法的逐步尝试,这种状态下患儿父母会投入巨大的时间成本和干预成本,很多家庭难以承受。而相关护理专家及康复治疗师也处于紧缺状态,使得目前的专家们不仅要去治疗患儿,还要培养新的孤独症护理专家,承担着高强度的工作。

研究发现,将人工智能技术应用到孤独症儿童的照护中,帮助减轻了医院护理负担,同时减轻患儿家庭照顾者的照护负担,对患儿的干预效果还优于传统康复干预模式,提升康复水平^[37-38]。另外,在人工智能技术的协助下,提升了整个康复团队对整体决策的满意度,涉及新的康复师培养教育的效果也得到大幅提升。

5 应用展望及反思

以人工智能技术为基础的机器人和相关设备为孤独症谱系障碍患儿提供了一个相对简化的环境,并能够逐渐增加患儿需要面对的认知变化及社会行为的复杂性。虽然国内人工智能技术发展迅速,接近世界领先水平,应用机器人干预孤独症谱系障碍儿童的研究次第涌现,但在原始设计医学智能机器(人)应用于孤独症患儿方面的相关研究仍起步较晚^[39]。国外人工智能技术应用的种类较多,常针对不同的康复目的应用不同的人工智能机器。国内应用的多集中在Nao机器人或其程序系统改良版本,而且目前很少研究将重心从技术发展转移到探索最佳的临床实践方式上。人工智能技术是ASD治疗的一种有前景的方法,但是目前该领域内有关阐明患儿的性别、智商和年龄等是否影响治疗结果的研究,以及在机器人对患儿康复的有益影响是否在临床/试验之外仍可体现的研究仍处于起步阶段。有国外既往研究表明,机器人对女性患儿康复效果比男性患儿要好^[33],对智力中度范围内受损的患儿康复效果未发现模式差别^[40],并且由于参与研究的患儿年龄是异质的,故仍没有研究确定年龄与机器人康复治疗结果之间的相关性^[41]。因此,未来研究可以在探讨人工智能技术在孤独症儿童认知及社会功能康复的应用中有关适应证情况的基础上,尝试建立新的干预理论并推广适用于临床的模式,将来可应用于医院、特殊儿童训练养护中心,产业化之后甚至可以应用到家庭中,为早期干预孤独症谱系障碍儿童的认知水平及社交技能提供助力。

但是,人工智能技术在实际的康复应用中仍然存在一些问题。目前大多数研究并没有系统地评估人工智能技术应用于孤独症谱系障碍康复效果的普适性,大多研究样本量偏小,期待未来更多研究加以验证。值得关注的是,康复的最终目的是孤独症谱系障碍儿童在社会环境下互动能力增强,而不仅仅局限于与智能机器(人)沟通。有研究提示人工智能技术的应用或对患儿存在负面影响:①机器人干预可能使患儿产生情感依恋问题。依恋可以帮助患儿更好地训练社交技能和情感表达。但产生依恋问题后,使机器人与患儿分离会对其造成困扰,并影响医师控制康复治疗时间。②机器人不仅可以触发正面情绪(例如幸福),还可能触发患儿的消极情绪(如恐惧)。③机器人如何被患儿感知也被视为重要的“认知问题”,或对患儿产生不良影响。机器人应当倾向动

物化、人类化或类人动物中哪一种,是否应该自动回应患儿的行为,是否应当具有性别、年龄、外向性格等特征等一系列问题均需未来研究进行验证。也因此,尽管人工智能技术应用于孤独症谱系障碍康复治疗被诸多研究证明是有效的,仍有学者认为“康复治疗”应该主要为“人类”的活动和实践,主张应当保留康复治疗师的在ASD治疗中的核心角色。未来研究中应着重于将改善患儿的效果推广到与人类互动时仍然成立。再者,在中国文化环境下,虽然应用人工智能技术干预被证明有效且成本降低,部分孤独症谱系障碍儿童父母仍可能倾向于传统康复及护理。

6 小结

我国孤独症谱系障碍儿童的数量逐年增加,对医疗干预及康复护理需求的急剧增长也亟待重视。将人工智能技术应用到对孤独症儿童认知功能及社会行为的干预中能够改善患儿的社交状态、专注力、情绪以及语言表达。智能机器(人)不受使用时间的限制,节省医疗资源;面对不同患儿可保证康复内容的稳定性、准确性,通过改变程序可以提供个性化照护;相比医护人员,更易被患儿接受;有助于信息收集并施行网络化管理,建立照护大数据。此项技术的应用不仅改善患儿状态,减轻其孤独症症状,提高其生存质量;还降低了患儿父母压力,帮助患儿父母分担照护任务;同时减轻相关医护人员、专业康复师的护理负担,缓和其人才紧缺问题的紧迫性,有利于医疗资源优化。

目前人工智能技术在孤独症谱系障碍儿童认知功能及社会行为中的应用仍处于初级探索阶段,国家政策已鼓励人工智能技术方面加大科研及应用投入,但受到技术转化、智能机器(人)产业化、多学科合作、国内文化背景下应用接受度等多方面制约,人工智能技术应用到孤独症谱系障碍仍未取得快速进展。因此,在不忽视传统康复及护理对患儿的重要性的同时,加快人工智能技术与孤独症谱系障碍干预的整合、普及与应用,是目前研究需要关注的重要方向。

参考文献

- [1] Baio J. Prevalence of autism spectrum disorders--Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 14 sites, United States, 2008[J]. Centers for Disease Control and Prevention, 2012, 61(3):1—19.
- [2] American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM—5®)[M]. American Psychiatric Pub, 2013.
- [3] 段云峰,吴晓丽,金锋.自闭症的病因和治疗方法研究进展[J].中国科学:生命科学,2015,45(9):820—844.
- [4] 毕云霄,李文涛,安力彬.儿童孤独症的研究进展[J].中国妇幼保健,2010,25(32):4788—4790.
- [5] 陈东帆,李睿强,韩琨.人形机器人技术在孤独症儿童干预中的应用[J].中国康复理论与实践,2015,21(11):1325—1328.
- [6] 蔡自兴,徐光祐.人工智能及其应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 贺倩.人工智能技术发展研究[J].现代电信科技,2016,46(2):18—21.
- [8] 王弈,李传富.人工智能方法在医学图像处理中的研究新进展[J].中国医学物理学杂志,2013,30(3):4138—4143.
- [9] Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks[J]. Nature, 2017, 542(7639):115—118.
- [10] 王伟,李丽霞,许晓晓,等.机器人辅助腹腔镜实施前列腺癌根治术的护理配合[J].中华护理杂志,2009,44(7):647—648.
- [11] 黄大志,游栖霞,杭智刚,等.护士助手机器人的设计[J].机床与液压,2013,41(4):31—34.
- [12] 唐鲁,郭志红,朱国雄,等.香港达芬奇机器人手术护士培训课程介绍[J].护理学杂志:外科版,2015,30(7):15—17.
- [13] Graf B, Heyer T, Klein B, et al. Service robots in elderly care. Possible application areas and current state of developments[J]. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 2013, 56(8):1145—1152.
- [14] Moyle W, Beattie E, Draper B, et al. Effect of an interactive therapeutic robotic animal on engagement, mood states, agitation and psychotropic drug use in people with dementia: a cluster-randomised controlled trial protocol[J]. BMJ Open, 2015, 5(8):e009097.
- [15] 顾泽苍.人工智能技术深度剖析[J].机器人技术与应用,2017, (1):23—28.
- [16] Ismail L I, Shamsudin S, Yusof H, et al. Robot—based intervention program for autistic children with humanoid robot nao: Initial response in stereotyped behavior[J]. Procedia Engineering, 2012, 41: 1441—1447.
- [17] Ismail L, Shamsuddin S, Yusof H, et al. Face detection technique of Humanoid Robot NAO for application in robotic assistive therapy[C]//Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011: 517—521.
- [18] Duquette A, Michaud F, Mercier H. Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with low—functioning autism[J]. Autonomous Robots, 2008, 24 (2): 147—157.
- [19] Chita-Tegmark M. Social attention in ASD: A review and meta-analysis of eye-tracking studies[J]. Res Dev Disabil, 2016, (48):79—93.
- [20] Poon KK, Watson LR, Baranek GT, et al. To what extent do joint attention, imitation, and object play behaviors in infancy predict later communication and intellectual func-

- tioning in ASD[J]. J Autism Dev Disord, 2012, 42(6): 1064—1074.
- [21] 张婷.NAO机器人在自闭症干预中的应用[J].系统仿真技术, 2013,(4):327—331.
- [22] Wainer J, Dautenhahn K, Robins B, et al. A pilot study with a novel setup for collaborative play of the humanoid robot KASPAR with children with autism[J]. International Journal of Social Robotics, 2014, 6(1): 45—65.
- [23] Michaud F, Salter T, Duquette A, et al. Assistive technologies and child—robot interaction[C]//AAAI spring symposium on multidisciplinary collaboration for socially assistive robotics. 2007.
- [24] Kim ES, Berkovits LD, Bernier EP, et al. Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism[J]. J Autism Dev Disord, 2013, 43(5):1038—1049.
- [25] François D, Powell S, Dautenhahn K. A long—term study of children with autism playing with a robotic pet: Taking inspirations from non—directive play therapy to encourage children's proactivity and initiative—taking[J]. Interaction Studies, 2009, 10(3): 324—373.
- [26] Lee J, Obinata G. Developing therapeutic robot for children with autism: A study on exploring colour feedback[C]//Proceedings of the 8th ACM/IEEE international conference on Human—robot interaction. IEEE Press, 2013: 173—174.
- [27] 蒋鑫龙,陈益强,刘军发,等.面向自闭症患者社交距离认知的可穿戴系统[J].浙江大学学报(工学版),2017,51(4):637—647.
- [28] Schafer EC, Wright S, Anderson C, et al. Assistive technology evaluations: Remote—microphone technology for children with Autism Spectrum Disorder[J]. J Commun Disord, 2016, (64):1—17.
- [29] Mengoni SE, Irvine K, Thakur D, et al. Feasibility study of a randomised controlled trial to investigate the effectiveness of using a humanoid robot to improve the social skills of children with autism spectrum disorder (Kaspar RCT): a study protocol[J]. BMJ Open, 2017, 7(6):e017376.
- [30] Wainer J, Robins B, Amirabdollahian F, et al. Using the humanoid robot KASPAR to autonomously play triadic games and facilitate collaborative play among children with autism[J]. IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, 2014, 6(3): 183—199.
- [31] Diehl JJ, Schmitt LM, Villano M, et al. The Clinical Use of Robots for Individuals with Autism Spectrum Disorders: A Critical Review[J]. Res Autism Spectr Disord, 2012, 6(1): 249—262.
- [32] 李睿强.基于NAO机器人的自闭症儿童康复训练核心模块的研究与应用[D].上海:华东师范大学,2016.
- [33] Anzalone S M, Tilmont E, Boucenna S, et al. How children with autism spectrum disorder behave and explore the 4—dimensional (spatial 3D + time) environment during a joint attention induction task with a robot[J]. Research in Autism Spectrum Disorders, 2014, 8(7): 814—826.
- [34] Bekele E, Crittendon JA, Swanson A, et al. Pilot clinical application of an adaptive robotic system for young children with autism[J]. Autism, 2014, 18(5):598—608.
- [35] Puyon M, Giannopulu I. Emergent emotional and verbal strategies in autism are based on multimodal interactions with toy robots in free spontaneous game play[C]//ROMAN, 2013 IEEE. IEEE, 2013: 593—597.
- [36] Torrado JC, Gomez J, Montoro G. Emotional Self-Regulation of Individuals with Autism Spectrum Disorders: Smartwatches for Monitoring and Interaction[J]. Sensors (Basel), 2017, 17(6):1359.
- [37] Pennisi P, Tonacci A, Tartarisco G, et al. Autism and social robotics: A systematic review[J]. Autism Res, 2016, 9(2):165—183.
- [38] Huijnen CAGJ, Lexis MAS, Jansens R, et al. How to Implement Robots in Interventions for Children with Autism? A Co-creation Study Involving People with Autism, Parents and Professionals[J]. J Autism Dev Disord, 2017, 47(10): 3079—3096.
- [39] 乔红,解仑,李方兴,等.可用于孤独症辅助康复的医疗机器人系统研究[J].机器人技术与应用,2011,(4):43—46.
- [40] Shamsuddin S, Yusof H, Mohamed S, et al. Stereotyped behavior of autistic children with lower IQ level in HRI with a humanoid robot[C]//Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO), 2013 IEEE Workshop on. IEEE, 2013: 175—180.
- [41] Zheng Z, Zhang L, Bekele E, et al. Impact of robot—mediated interaction system on joint attention skills for children with autism[C]//Rehabilitation Robotics (ICORR), 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013: 1—8.