

智慧医疗设备在成人注意缺陷多动障碍辅助诊断中的应用前景

张国宣 罗杰 何凡

100088 首都医科大学附属北京安定医院 国家精神心理疾病临床医学研究中心 精神疾病
诊断与治疗北京市重点实验室

通信作者: 何凡, Email: fanhe@mail.ccmu.edu.cn

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2025.07.010

【摘要】 随着医学和科技的不断发展,成人注意缺陷多动障碍(ADHD)的诊断率逐年升高,关注度也日益提升。目前,智慧医疗的概念被广泛传播并应用于医疗健康各个领域。本文围绕当前智慧医疗的发展以及成人ADHD的诊断挑战进行阐述,探讨智慧医疗设备在成人ADHD领域的应用前景,论述智慧医疗设备辅助诊断成人ADHD的可行性,并提出了在研究过程中可能涉及的伦理安全问题以及可能的风险与挑战。

【关键词】 成人注意缺陷多动障碍; 智慧医疗; 人工智能; 综述

基金项目: 首都卫生发展科研专项项目(首发2024-1-2123);北京市科学技术委员会资助项目(Z221100003522013);北京市医院管理“扬帆”计划临床技术创新项目(YGLX202340)

Prospects of smart medical devices in the auxiliary diagnosis of adult attention deficit hyperactivity disorder

Zhang Guoxuan, Luo Jie, He Fan

The National Clinical Research Center for Mental Disorders & Beijing Key Laboratory of Mental Disorders, Beijing Anding Hospital, Capital Medical University, Beijing 100088, China

Corresponding author: He Fan, Email: fanhe@mail.ccmu.edu.cn

【Abstract】 As medicine and technology continue to evolve, the diagnosis rate of adult attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) has been rising year by year, and the attention is growing. Currently, the concept of smart healthcare is widely spread and applied in various fields of medical health. This paper focuses on the current development of smart medicine and the diagnostic challenges of adult ADHD, explores the prospects for the application of smart medical devices in adult ADHD, discusses the feasibility of smart medical devices to assist in the diagnosis of adult ADHD, and proposes ethical and safety issues that may be involved in the process of the research, as well as the possible risks and challenges.

【Key words】 Adult attention deficit hyperactivity disorder; Intelligent healthcare; Artificial intelligence; Review

Fund programs: Project of Capital Health Development Research Special Fund (SF2024-1-2123); Project of Beijing Municipal Science and Technology Commission (Z221100003522013); "Sail" Planning Clinical Technology Innovation Project of Beijing Hospitals Authority (YGLX202340)

注意缺陷多动障碍(attention deficit hyperactivity disorder, ADHD)是一种常见的儿童期起病的神经发育障碍,据报道,6%~10%的儿童和4.4%的成人遭受此病的困扰。在儿童期诊断的ADHD患者中,1/3~2/3的患者在成年期仍持续存在相应的症状^[1-2]。成年期ADHD患者的症状表现与童年期有所不同,注意力缺陷症状可能表现为执行任务困难、组织安排能力差,如难以遵守约定、难以在规定时间内完成工作等^[3]。除核心症状外,成人ADHD的情绪问题

也较为突出,主要表现为情绪不稳、易怒、调节能力差等^[4]。此外,87%以上的成年ADHD终生至少共患1种其他精神障碍,是普通人群的6倍,如反社会人格障碍、物质依赖、双相情感障碍等^[1]。成人ADHD生活质量及社会功能都存在较大损害,会造成患者学业工作困难、家庭婚姻问题、社会交往差、交通事故、物质滥用以及犯罪行为等不良影响^[1,4],给社会带来了极大的负担。因此,成人ADHD需要更多的关注。

一、成人 ADHD 诊断进展

ADHD 多起病于儿童时期,部分会持续至成年^[5-7]。到目前为止,尚无明确的病理变化作为诊断依据,仍以患者家长和教师提供病史、临床表现特征、体格检查(包括神经系统查体)、精神检查为主要依据,多采用描述性诊断方法。目前,在应用 DSM-5 进行诊断时除需考虑 18 条核心症状外,还需与有关背景一并考虑,以适应终生情况。对于成人 ADHD 的诊断,需要追溯至患者 12 岁之前的情况,但回顾性的调查皆具有一定的偏差。此外,随着年龄的增长,ADHD 的多动症状减轻,这使得成人 ADHD 的筛查较儿童更困难^[8],在儿童期发现的 ADHD 病例中,只有约 15% 在成年时仍符合诊断标准,但约 65% 的病例仍有残存的功能损伤^[7,9],迫切需要新的方法辅助诊断。

智慧医疗是一门以生命科学和信息技术相融合为基础形成的交叉学科,是一门新兴学科。通过数字化技术实现患者与医务人员、医疗机构、医疗设备之间的互动,逐步达到信息化、智慧化,从而使其构成了一个以患者为中心,实现医疗服务的信息化和智慧化平台。目前的智慧医疗主要涉及人工智能、大数据、信息化以及物联网几个方面^[10],其中智慧医疗设备的研究因其简便性、智能化得到了越来越多的关注。

二、智慧医疗设备在儿童与成人 ADHD 诊断中的比较

1. 智慧医疗设备在儿童青少年 ADHD 诊断中的应用:目前,在儿童与青少年的 ADHD 诊断、治疗效果评估等方面,新兴的可穿戴式智慧医疗设备的相关研究较多,ADHD 患者的更大运动强度是目前智慧医疗设备的研究热点。García Murillo 等^[11]使用基于计算机的红外运动跟踪系统和活动分析技术区分 ADHD 儿童和健康对照组,同时为 ADHD 儿童及成人较健康对照组有更大的活动提供证据。但该研究中使用的红外分析技术需与诊断量表同时使用,无法作为独立诊断方式。基于 ADHD 患儿的活动增加特点,后续有多项使用记录运动的加速度计、陀螺仪等区分 ADHD 和健康对照组以进行客观诊断,并得到了较好的结果^[12-14]。但上述运动皆是以完成任务为导向,Lin 等^[15]应用智慧手表进行了随机对照研究,同样基于 ADHD 患儿运动强度更大的特点,连续 3 d 每天跟踪 1 例 ADHD 儿童和 1 名对照组儿童,使用陀螺仪和加速器监测自然状态下的运动强度,研究共比较了 15 例 ADHD 儿童和 15 名正常儿童佩戴的智慧手表中的陀螺仪和加速度计的方差和过零率(zero-crossing rate, ZCR)的测量值,

发现 ADHD 儿童的陀螺仪和加速度计 3 个轴(x、y、z)的平均方差和 ZCR 值均高于对照组;为了评估上述数据对 ADHD 组和对照组的可区分特性,采用操作特征曲线下面积(area under the curve, AUC)进行分析,发现当加速度计中 y 轴方差用于对 ADHD 儿童和对照组进行分类时,AUC 最高,达到 0.82,可以较好地地区分 ADHD 组与对照组。Leikauf 等^[16]开发了一款智慧手表的应用程序 StopWatch,用于直接跟踪经过非药物治疗 ADHD 后其核心症状的数据,并为使用基于活动记录仪的生物反馈数据的进一步开发研究提供了支持,为诊断模式的便捷化、生活化提供了可能。此外,运动强度或可作为治疗预后评估的指标,Muñoz-Organero 等^[17]使用基于 9 名正常发育儿童训练过的循环神经网络(recurrent neural network, RNN)的三轴加速计(分别置于手腕、脚踝处),比较 9 例异常发育儿童、9 例使用药物治疗 ADHD 儿童、9 例未使用药物治疗的 ADHD 儿童的运动模式,发现未接受药物治疗的 ADHD 儿童在中等强度运动中差异有统计学意义,接受药物治疗的 ADHD 儿童在低强度运动中差异有统计学意义。在诊断共病方面,智慧医疗设备也有应用前景。Faedda 等^[18]通过应用 ActiGraph 活动记录仪监测睡眠昼夜节律以区分儿童双相情感障碍与儿童 ADHD(伴或不伴有抑郁症),发现双相情感障碍儿童在睡眠、昼夜节律和振幅波动方面与正常发育的儿童和患有 ADHD 的儿童(伴或不伴有抑郁症)不同。

2. 智慧医疗设备在成人 ADHD 诊断中的应用:多项研究证实成人 ADHD 与儿童 ADHD 在流行病学方面存在一定差异^[5],约 70% 的成人 ADHD 患者为 ADHD 混合型,约 25% 的成人 ADHD 患者为注意力缺陷为主型,< 5% 的成人 ADHD 患者为多动-冲动型,且成人 ADHD 中执行功能缺陷较多见^[19],并经常出现情绪问题,如情绪冲动、情绪不稳定和情绪过度反应等^[20]。区别于儿童 ADHD,成人 ADHD 有其特异表现,但关于成人 ADHD 的智慧医疗设备的相关研究较少。(1) 在成人 ADHD 领域,目前仍大多局限于基于脑电、影像等传统检查仪器的机器学习方面。Tenev 等^[21]提出了一种基于脑电功率谱的多分类器融合的机器学习方法用于成人 ADHD 亚型的分类,该研究测量了 117 名成年受试者(67 例 ADHD 与 50 名对照组,根据 Kropotov 分类,ADHD 受试者分为 4 个亚型,其中 QEEG 亚型 I 13 例(19.4%),QEEG 亚型 II 14 例(20.9%),QEEG 亚型 III 16 例(23.9%)和 QEEG 亚型 IV 24 例(35.8%),2 种静息状态(睁眼和闭眼)和 2 种神经心理任务(视觉连续表现测试和情绪

连续表现测试)。不同任务或条件下,唤醒水平不同,脑电图活动的传播会发生变化,脑电图地形图和功率水平有所不同。将样本分为4个数据集,每个数据集用于训练4个不同的支持向量机(support vector machine, SVM),而分类器的输出则使用从Karnaugh映射派生的逻辑表达式进行组合,最终由投票器做出结果,结果表明该机器学习方法提高了成人ADHD的分类诊断效能。Kim等^[22]研究了失匹配负波(mismatch negativity, MMN)特征区分未用药的成年ADHD患者和健康对照,对34例ADHD患者和45名健康对照的脑电图进行MMN的传感器特征研究和比较,分析MMN特征与ADHD症状的相关性,利用MMN的传感器特征进行机器学习以区分这两组,结果发现成年ADHD患者额中央电极的MMN振幅明显降低,额叶、颞叶和边缘叶的MMN源激活明显减少,提示MMN异常反映了成人ADHD患者的病理生理特征,临床中可能会成为成人ADHD的神经标志物。此外,由于成人ADHD经常共病其他情绪问题,在疾病表现方面难以鉴别。Christiansen等^[23]在机器学习中应用LightGBM算法,使用Conners成人ADHD访谈量表区分ADHD、肥胖、问题性赌博和对照组,得到了较高的准确度。上述研究皆提示机器学习应用于成人ADHD诊断的可靠性。(2)近期的一项使用针对成人ADHD执行功能缺陷设计的线上游戏相关研究是较为新颖的技术。Jylkkä等^[4]基于为研究儿童而研发的基于虚拟现实技术(virtual reality, VR)的原始头戴式显示器(head-mounted display, HMD)版本(executive performance in everyday living, EPELI)^[3]开发了EPELI 3D视频游戏的在线版本,用于对成人ADHD的目标导向行动和前瞻性记忆进行自然和可扩展的评估。研究纳入了112例成年ADHD患者和255名年龄、性别分布和受教育水平相当的对照组,参与者在真实环境中执行多项日常记忆任务,完成了EPELI和其他认知任务,包括注意力评定量表(Continuous Performance Test, CPT),填写了调查日常管理表现的问卷,并记录了为期5 d的日常前瞻性记忆错误日记,发现ADHD参与者的自我评价显示出较对照组更多的日常执行问题,EPELI游戏中的差异主要表现在ADHD参与者较高的与任务无关的行动比例方面,且ADHD男性的表现更差。研究表明,EPELI的判别效度与CPT相似,证实了EPELI在线评估的可行性。(3)目前,智慧医疗在成人ADHD领域的应用仍基于传统的影像学,通过机器学习技术提高针对成人ADHD的诊断效能,应用场景主要为医院和实验室,可及性差,且对操

作人员的要求较高,普及性差^[24]。近些年新兴的研究基于VR及互联网技术结合游戏模式对ADHD进行评估,实现了多学科融合,可及性强,但游戏虚拟模式作为评估工具仍需要排除更多的干扰因素。目前,对于成人ADHD的研究多集中于执行功能缺陷方面,这可能与成人ADHD的特征相关。García Murillo等^[11]的研究也同样提示了成人ADHD具有更大的运动强度,未来可进一步探讨。此外,大部分针对ADHD的智慧医疗研究样本量较小^[25],且可穿戴智慧医疗设备用于临床辅助诊断的可靠性仍需要更多的研究进行验证^[19]。

三、智慧医疗设备在成人ADHD诊断应用的未来发展

目前,类似儿童ADHD辅助诊断的便携式智慧医疗设备(如应用较多的智慧穿戴设备)在成人ADHD领域的研发仍较少。已有研究论述了成人ADHD也具有一定运动功能缺陷,未来可进一步考虑将加速度计、陀螺仪等应用于成人ADHD研究。此外,目前已有研究表明手环式可穿戴传感器通过检测因肌肉收缩和松弛导致的身体表面屈曲变化对应的阻力变化,能够高精度地检测出每个动作,且具备佩戴舒适、应用方便的特点^[26]。肌肉电手环也为研究提供了选择。小型化、便携性、无线通信、节能计算和先进的显示技术相结合仍是目前智慧医疗穿戴设备的发展趋势,将被应用于更多的场景。此外,应注意到相关技术局限。可穿戴设备是高度电池受限的设备,而较低的功耗、频繁充电可能会降低其吸引力并限制其适用性^[27]。除了最基本的医疗专业知识外,未来智慧医疗设备的发展仍然且必需联合多个学科领域进行共同探讨。目前,人工智能、机器学习在许多研究中备受青睐,而机器学习需要大量的数据支撑,未来可以建立成人ADHD的数据库,并收集记录不同的分型。此外,目前的大多文献样本量较小^[28],数据库的建立有助于未来进行较大规模的临床研究,相关的研究人员可以开发一个面向医生、研究人员、患者、老师及家长的ADHD云系统^[29],涵盖所有诊断工具,并记录所有诊断治疗所需的信息,其内的人工智能系统会对信息进行初步分析,用以辅助诊断、治疗和监测,并为相应的研究人员提供更大便利。

目前,大多的临床研究仍主要集中于辅助诊断、疗效监测等,未来或许可以考虑开发基于智慧医疗的ADHD的辅助治疗设备。已有一项研究试图探究睡眠机器人是否可以让ADHD的成人得到获益^[30],在6名参与者中,有2名参与者干预后注意力不集中(但没有多动/冲动)的症状更少,2名参与者干

预前后注意力不集中的症状略多,1名参与者报告了干预后多动/冲动的症状更少,1名参与者未完成干预。虽然试验有诸多限制,但也提示了未来在ADHD治疗方面应用智慧医疗的可能性。

此外,未来研发可能性更大的用于成人ADHD诊断的设备仍是基于传感器的智慧医疗设备,且结合前文所述,传感器更多的是用于监测患者运动时的肌肉变化,提示目前的智慧医疗设备发展更多的是集中于多动及冲动的症状。但不可否认的是,成人ADHD中仍有相当一部分以单纯注意缺陷为主要表现,这可能会给目前的研究应用带来一定的限制,仍有待研究者进一步挖掘。围绕以注意缺陷为主要症状进行的智慧医疗研究更多的是在传统的影像学基础上进行改进,可及性较差,而VR技术与互联网技术及游戏融合为该方向提供了思路。

四、智慧医疗设备应用限制

智慧医疗设备需要大量的数据支撑,因此数据质量及可靠性关系重大。质量和数量可能与空间分辨率、时间分辨率或数据分辨率本身有关^[31]。空间分辨率决定了来自单个源的两个连续测量值之间的物理距离,且可以是等距的,也可以是有很大差异的;时间分辨率描述了来自单个用户的两次测量之间的时间间隔;数据分辨率与用户可穿戴设备中配备的测量传感器的精度、可穿戴设备内部的设备特定处理以及影响测量本身的外部因素有关。

多个子系统的集成是现代物联网和物联网(internet of things, IoT)系统的基础。智慧医疗设备各种组件、对象、通信技术、应用程序、服务等需要无缝协作和交互,以实现自动化物联网系统的全部潜力。因此,互操作性问题需要给予一定的关注。不同的因素会引发互操作性问题,目前主要集中在2个方面:一方面是在电子医疗设备和可穿戴设备之间的互操作性上;另一方面是涉及管理集成到电子健康平台中的潜在的众多和异构候选节点^[27]。因此,必须管理物联网系统的内在异构性,并为智慧设备、传感器等之间的无缝互操作性提供有效的解决方案。

五、智慧医疗设备的应用伦理

智慧医疗大多不涉及生物样本采集,因此伦理问题易被忽视,应当予以关注。目前,智慧医疗设备面临的主要伦理问题便是受试者的隐私、数据安全问题。隐私通常是指一个实体决定是否、何时以及向谁发布或披露有关该实体的信息的能力,主要包括终端用户的任务隐私、终端用户和工作者的个人信息隐私、收集数据的隐私。安全是指保护收集到的数据和系统不被未经授权的访问、使用、泄露、

破坏、修改和销毁等。与安全相比,隐私更注重对私人信息的保护。安全有助于提高隐私,但不能保证隐私。数据安全中除了来自外部的威胁之外,也要考虑研究者及受试者内部的安全威胁,如虚假个人信息上传、研究人员奖励式伪造、假冒攻击等^[27, 32]。因此,在研究过程中,应严格遵循最小化原则、透明度原则、同意原则、安全性原则、责任原则等伦理准则。

六、总结与展望

智慧医疗技术的发展为健康医疗事业的发展提供了巨大助力,并提高了医疗行业工作的自动化、便捷化和智慧化^[33]。成人ADHD有着区别于儿童ADHD的特异表现,诊断较为困难。目前,在成人ADHD诊断领域,智慧医疗研究较少,现有研究多是基于脑电图、影像学、量表评估等基础的机器学习等,可及性差,且对于使用者的专业要求高。但在儿童ADHD研究领域,则有着较多的新兴的、便携的智慧医疗设备,尤其是基于运动功能所设计的可穿戴式智慧医疗设备,这为智慧医疗设备在成人ADHD诊断的应用提供了新的研究方向,值得研究者进一步探讨;也预示着未来在成人ADHD领域内,智慧医疗有着较大的应用潜力。关于该方向的研究,需要的不仅仅是医疗行业内的专业人员,也需要智慧识别技术、信息融合技术、移动计算技术、云计算技术等多方面的专业技术人员,合作研究是未来的发展趋势。

利益冲突 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

作者贡献声明 构思与设计为张国宣、罗杰,文献调研与整理、论文撰写为张国宣,论文修订为罗杰,何凡审校

参 考 文 献

- [1] Kessler RC, Adler L, Barkley R, et al. The prevalence and correlates of adult ADHD in the United States: results from the National Comorbidity Survey Replication[J]. *Am J Psychiatry*, 2006, 163(4): 716-723. DOI: 10.1176/ajp.2006.163.4.716.
- [2] Rasmussen P, Gillberg C. Natural outcome of ADHD with developmental coordination disorder at age 22 years: a controlled, longitudinal, community-based study[J]. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 2000, 39(11): 1424-1431. DOI: 10.1097/00004583-200011000-00017.
- [3] Seesjärvi E, Puhakka J, Aronen ET, et al. Quantifying ADHD symptoms in open-ended everyday life contexts with a new virtual reality task[J]. *J Atten Disord*, 2022, 26(11): 1394-1411. DOI: 10.1177/10870547211044214.
- [4] Jylkkä J, Ritakallio L, Merzon L, et al. Assessment of goal-directed behavior and prospective memory in adult ADHD with an online 3D videogame simulating everyday tasks[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 9299. DOI: 10.1038/s41598-023-36351-6.
- [5] Anbarasan D, Kitchin M, Adler LA. Screening for Adult ADHD[J]. *Curr Psychiatry Rep*, 2020, 22(12): 72. DOI: 10.1007/s11920-020-01194-9.

- [6] Ustun B, Adler LA, Rudin C, et al. The world health organization adult attention-deficit/hyperactivity disorder self-report screening scale for DSM-5 [J]. *JAMA Psychiatry*, 2017, 74(5): 520-527. DOI: 10.1001/jamapsychiatry.2017.0298.
- [7] Faraone SV, Biederman J, Mick E. The age-dependent decline of attention deficit hyperactivity disorder: a meta-analysis of follow-up studies [J]. *Psychol Med*, 2006, 36(2): 159-165. DOI: 10.1017/S003329170500471X.
- [8] Biederman J, Mick E, Faraone SV. Age-dependent decline of symptoms of attention deficit hyperactivity disorder: impact of remission definition and symptom type [J]. *Am J Psychiatry*, 2000, 157(5): 816-818. DOI: 10.1176/appi.ajp.157.5.816.
- [9] Sibley MH, Swanson JM, Arnold LE, et al. Defining ADHD symptom persistence in adulthood: optimizing sensitivity and specificity [J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2017, 58(6): 655-662. DOI: 10.1111/jcpp.12620.
- [10] 李春林, 赵翠, 司迁, 等. 智慧医疗的发展现状与未来 [J]. *生命科学仪器*, 2021, 19(2): 4-13. DOI: 10.11967/2021190401. Li CL, Zhao C, Si Q, et al. Development status and the future of smart medical treatment [J]. *Life Science Instruments*, 2021, 19(2): 4-13.
- [11] García Murillo L, Cortese S, Anderson D, et al. Locomotor activity measures in the diagnosis of attention deficit hyperactivity disorder: Meta-analyses and new findings [J]. *J Neurosci Methods*, 2015, 252: 14-26. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2015.03.001.
- [12] Martín-Martínez D, Casaseca-de-la-Higuera P, Alberola-López S, et al. Nonlinear analysis of actigraphic signals for the assessment of the attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) [J]. *Med Eng Phys*, 2012, 34(9): 1317-1329. DOI: 10.1016/j.medengphy.2011.12.023.
- [13] Kam HJ, Lee K, Cho SM, et al. High-resolution actigraphic analysis of ADHD: a wide range of movement variability observation in three school courses - a pilot study [J]. *Health Inform Res*, 2011, 17(1): 29-37. DOI: 10.4258/hir.2011.17.1.29.
- [14] Ricci M, Terribili M, Giannini F, et al. Wearable-based electronics to objectively support diagnosis of motor impairments in school-aged children [J]. *J Biomech*, 2019, 83: 243-252. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.12.005.
- [15] Lin LC, Ouyang CS, Chiang CT, et al. Quantitative analysis of movements in children with attention-deficit hyperactivity disorder using a smart watch at school [J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(12): 4116. DOI: 10.3390/app10124116.
- [16] Leikauf JE, Correa C, Bueno AN, et al. StopWatch: pilot study for an Apple Watch application for youth with ADHD [J]. *Digit Health*, 2021, 7: 20552076211001215. DOI: 10.1177/20552076211001215.
- [17] Muñoz-Organero M, Powell L, Heller B, et al. Using recurrent neural networks to compare movement patterns in ADHD and normally developing children based on acceleration signals from the wrist and ankle [J]. *Sensors (Basel)*, 2019, 19(13): 2935. DOI: 10.3390/s19132935.
- [18] Faedda GL, Ohashi K, Hernandez M, et al. Actigraph measures discriminate pediatric bipolar disorder from attention-deficit/hyperactivity disorder and typically developing controls [J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2016, 57(6): 706-716. DOI: 10.1111/jcpp.12520.
- [19] Kessler RC, Green JG, Adler LA, et al. Structure and diagnosis of adult attention-deficit/hyperactivity disorder: analysis of expanded symptom criteria from the adult ADHD clinical diagnostic scale [J]. *Arch Gen Psychiatry*, 2010, 67(11): 1168-1178. DOI: 10.1001/archgenpsychiatry.2010.146.
- [20] Silverstein MJ, Faraone SV, Alperin S, et al. How informative are self-reported adult attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms? An examination of the agreement between the adult attention-deficit/hyperactivity disorder self-report scale V1.1 and adult attention-deficit/hyperactivity disorder investigator symptom rating scale [J]. *J Child Adolesc Psychopharmacol*, 2018, 28(5): 339-349. DOI: 10.1089/cap.2017.0082.
- [21] Tenev A, Markovska-Simoska S, Kocarev L, et al. Machine learning approach for classification of ADHD adults [J]. *Int J Psychophysiol*, 2014, 93(1): 162-166. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2013.01.008.
- [22] Kim S, Baek JH, Kwon YJ, et al. Machine-learning-based diagnosis of drug-naive adult patients with attention-deficit hyperactivity disorder using mismatch negativity [J]. *Transl Psychiatry*, 2021, 11(1): 484. DOI: 10.1038/s41398-021-01604-3.
- [23] Christiansen H, Chavanon ML, Hirsch O, et al. Use of machine learning to classify adult ADHD and other conditions based on the Conners' Adult ADHD Rating Scales [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 18871. DOI: 10.1038/s41598-020-75868-y.
- [24] Leming MJ, Bron EE, Bruffaerts R, et al. Challenges of implementing computer-aided diagnostic models for neuroimages in a clinical setting [J]. *NPJ Digit Med*, 2023, 6(1): 129. DOI: 10.1038/s41746-023-00868-x.
- [25] Rahman MM. AI for ADHD: opportunities and challenges [J]. *J Atten Disord*, 2023, 27(8): 797-799. DOI: 10.1177/10870547231167608.
- [26] Park K. Wearable sensor for forearm motion detection using a carbon-based conductive layer-polymer composite film [J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(6): 2236. DOI: 10.3390/s22062236.
- [27] Ometov A, Shubina V, Klus L, et al. A survey on tearable technology: history, state-of-the-art and current challenges [J]. *Computer Networks*, 2021, 193(5): 108074. DOI: 10.1016/j.comnet.2021.108074.
- [28] Welch V, Wy TJ, Ligezka A, et al. Use of mobile and wearable artificial intelligence in child and adolescent psychiatry: scoping review [J]. *J Med Internet Res*, 2022, 24(3): e33560. DOI: 10.2196/33560.
- [29] Loh HW, Ooi CP, Barua PD, et al. Automated detection of ADHD: current trends and future perspective [J]. *Comput Biol Med*, 2022, 146: 105525. DOI: 10.1016/j.combiomed.2022.105525.
- [30] Støre SJ, Tillfors M, Angelhoff C, et al. A robot intervention for adults with ADHD and insomnia-a mixed-method proof-of-concept study [J]. *PLoS One*, 2023, 18(9): e0290984. DOI: 10.1371/journal.pone.0290984.
- [31] Pal D, Tassanaviboon A, Arpikanondt C, et al. Quality of experience of smart-wearables: from fitness-bands to smartwatches [J]. *IEEE Consum Electr M*, 2020, 9(1): 49-53. DOI: 10.1109/mce.2019.2941462.
- [32] Feng W, Yan Z, Zhang H, et al. A survey on security, privacy, and trust in mobile crowdsourcing [J]. *IEEE Int Things J*, 2018, 5(4): 2971-2992. DOI: 10.1109/jiot.2017.2765699.
- [33] 牟丽, 夏英华, 何群, 等. 我国智慧医疗建设现状、问题及对策研究 [J]. *中国医院*, 2021, 25(1): 24-26. DOI: 10.19660/j.issn.1671-0592.2021.1.07. Mou L, Xia YH, He Q, et al. Research on the status quo, problems and countermeasures of smart medical construction in China [J]. *Chinese Hospitals*, 2021, 25(1): 24-26.

(收稿日期: 2024-07-22)

(本文编辑: 王影)