

阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征临床与居家监测设备的应用现状

周豹, 李轩涛, 张敬剑, 郑琴

引用本文:

周豹, 李轩涛, 张敬剑, 等. 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征临床与居家监测设备的应用现状[J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48(3): 306-311.

ZHOU Bao, LI Xuanta, ZHANG Jingjian, et al. Analysis of the Current Application Status for Clinical and Home Monitoring of Obstructive Sleep Apnea-Hypopnea Syndrome[J]. *Chinese Journal of Medical Instrumentation*, 2024, 48(3): 306-311.

<https://doi.org/10.12455/j.issn.1671-7104.230605>

收稿日期: 2023-10-24

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

用于监测睡眠呼吸暂停患者生命体征的集成系统

Integration of Micro Sensors with Mobile Devices for Monitoring Vital Signs of Sleep Apnea Patients

中国医疗器械杂志. 2019, 43(1): 29-31 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2019.01.008>

基于PPG信号的呼吸监测系统的研制

Development of Respiratory Signal Monitoring System Based on Photoplethysmography

中国医疗器械杂志. 2022, 46(4): 368-372 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2022.04.004>

一种新型多参数睡眠质量评测系统的研制

Development of a New Multi-parameter Sleep Quality Evaluation System

中国医疗器械杂志. 2020, 44(3): 226-230 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2020.03.008>

用于智能睡眠监测设备的心率与呼吸频率模拟装置

Simulator of Heart Rate and Respiratory Rate for Monitoring Accuracy of Intelligent Sleep Monitoring Devices

中国医疗器械杂志. 2023, 47(4): 445-448 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2023.04.018>

基于脑电信号的无线可穿戴睡眠监测系统的研制

Development of Wireless Wearable Sleep Monitoring System Based on EEG Signal

中国医疗器械杂志. 2024, 48(2): 173-178 <http://doi.org/10.12455/j.issn.1671-7104.230414>

一种基于心冲击图的床垫式睡眠姿态检测系统

A Mattress System of Recognizing Sleep Postures Based on BCG Signal

中国医疗器械杂志. 2019, 43(4): 243-247 <http://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7104.2019.04.003>



微信公众号



网站二维码

文章编号: 1671-7104(2024)03-0306-06

阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征临床与居家监测设备的应用现状

【作者】周豹¹, 李轩涛¹, 张敬剑², 郝琴²

1 上海理工大学 健康科学与工程学院, 上海市, 200093

2 上海市杨浦区市东医院 呼吸与危重症医学科, 上海市, 200433

【摘要】该研究介绍了睡眠障碍监测设备的发展状况。目前, 诊断睡眠障碍的金标准是多导睡眠图 (PSG), 但 PSG需要多个导联, 且必须在睡眠实验室进行整夜监测, 这些因素给患者带来了不便。尽管如此, 通过对睡眠障碍的监测和睡眠分期的优化研究, PSG的性能得到了提升。另一种设备是家庭睡眠呼吸暂停监测设备 (HSAT), 它允许患者在家中睡眠监测。然而, HSAT在睡眠分期准确性方面无法达到PSG的水平, 因此不适用于无症状或轻度阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征 (OSAHS) 的筛查。研究提出, 建立中国的睡眠分期数据库, 并开发能够替代PSG的家庭监测睡眠障碍设备是未来的发展方向。

【关键词】阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征; 多导睡眠呼吸监测仪; 家庭睡眠呼吸暂停监测技术; 睡眠事件; 睡眠分期

【中图分类号】R197.39;TH774

【文献标志码】A

doi: 10.12455/j.issn.1671-7104.230605

Analysis of the Current Application Status for Clinical and Home Monitoring of Obstructive Sleep Apnea-Hypopnea Syndrome

【Authors】ZHOU Bao¹, LI Xuantao¹, ZHANG Jingjian², JIA Qin²

1 School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093

2 Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Shidong Hospital of Shanghai Yangpu District, Shanghai, 200438

【Abstract】The study provides an overview of the development status of sleep disorder monitoring devices. Currently, polysomnography (PSG) is the gold standard for diagnosing sleep disorders, necessitating multiple leads and requiring overnight monitoring in a sleep laboratory, which can be cumbersome for patients. Nevertheless, the performance of PSG has been enhanced through research on sleep disorder monitoring and sleep staging optimization. An alternative device is the home sleep apnea testing (HSAT), which enables patients to monitor their sleep at home. However, HSAT does not attain the same level of accuracy in sleep staging as PSG, rendering it inappropriate for screening individuals with asymptomatic or mild obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome (OSAHS). The study suggests that establishing a Chinese sleep staging database and developing home sleep disorder monitoring devices that can serve as alternatives to PSG will represent a future development direction.

【Key words】obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome, polysomnography, home sleep apnea testing, sleep events, sleep staging

0 引言

近年来, 随着经济不断发展和医疗诊治水平的

收稿日期: 2023-10-24

基金项目: 上海市2021年度“科技创新行动计划”科学仪器和化学试剂项目申报指南/仪器共享配套操作与应用技术研究 大型多导睡眠监测仪模块拓展及共享配套应用技术研究 (21142203600)

作者简介: 周豹, E-mail: 18553712750@163.com

通信作者: 郝琴, E-mail: jiaqin1969@163.com

不断提高, 人们对睡眠健康的要求和睡眠疾病的认识越来越高。阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征 (obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS) 是一种常见的睡眠呼吸疾病, 主要症状为睡眠过程中反复发生的呼吸暂停导致的间歇性低氧和睡眠片段化^[1]。OSAHS可引起白天头痛和嗜睡、频繁的觉醒和睡眠结构紊乱等表现, 对睡眠质量和日常工作生活有较大影响^[2]。国外流行病学数据显

示, OSAHS (AHI \geq 5次/小时) 的整体患病率为9%~38%, 在特定的老年人群中, 男性和女性的比例可高达90%和78%; 中度以上 OSAHS (AHI \geq 15次/分) 在一般成年人人群中的患病率为6%~17%, 在老年人群中可高达49%^[3]。

多导睡眠呼吸图 (polysomnography, PSG) 与家庭睡眠呼吸暂停监测 (home sleep apnea test, HSAT) 是目前使用较多的2种睡眠呼吸监测方式。PSG是OSAHS诊断的金标准, 该方法无创伤、无副作用且不损害被检查者的健康^[4]。PSG可以同时实时监测患者睡眠时的脑电图 (electroencephalogram, EEG)、心电图 (electrocardiogram, ECG)、肌电图 (electromyogram, EMG)、眼动图 (electrooculogram, EOG)、胸式和腹式呼吸张力图、口鼻气流、体位体动以及血氧饱和度等多项指标, 并同步分析它们的因果关系^[5], 但PSG同时存在有线导联过多、必须在睡眠实验室监测等缺点^[6]。目前, PSG正在完善中以更准确地辅助疾病的诊断以及疗效的判定。HSAT是代替PSG进行居家睡眠监测的一种技术, 较PSG使用更方便, 有线导联更少。美国睡眠医学学会 (American Academy of Sleep Medicine, AASM) 规定, HSAT需报告的一般参数包含气流传感器、呼吸努力传感器、血氧饱和度、心率等参数。HSAT

判断呼吸暂停的方式一般有2种: 呼吸气流和 (或) 呼吸努力以及外周动脉张力^[7]。为了居家使用更便捷, HSAT基本不依靠脑电进行睡眠分期, 而是大部分依靠心电、体位、脉搏波等进行判断, 所以HSAT睡眠分期的精准度无法达到PSG的水平^[8-9]。虽然AASM规定, HSAT不适用于无症状人群的一般筛查与轻度OSAHS的诊断, 而可用于中、重度患者的诊断^[10], 但是HSAT发展迅速, 产品不断更新完善, 越来越多的研究证明其可以在临床中扮演更为重要的角色。本研究聚焦PSG和HSAT对OSAHS的评估, 从睡眠呼吸监测的方法出发, 叙述PSG的优化研究, 同时介绍HSAT的应用研究, 探讨目前HSAT的发展现状, 并总结其应用效果。对这些研究的总结有助于更好地了解该领域的研究现状及进展, 为今后的研究和仪器优化提供切实的方向。

1 PSG的优化研究

1.1 睡眠事件监测的研究

睡眠呼吸事件是如呼吸暂停、低通气和觉醒等诊断OSAHS的重要依据之一, 这也是PSG主要监测的目标之一。在识别与区分不同类型睡眠呼吸事件的领域中有很多研究, 其中的一些研究获得的准确率高于目前的PSG自动识别软件 (见表1)。

表1 睡眠事件监测的相关研究
Tab.1 Researches on sleep event monitoring

来源	目标	样本	方法	结论
TÖLGYESSY等 ^[11]	验证非接触式深度传感器监测呼吸暂停的能力	57组睡眠监测实验	将深度传感器的监测与睡眠专家手动处理PSG的结果相比	识别结果92.2% (敏感性89.1%, 特异性98.8%), 且有效避免被子和衣服的干扰
VAQUERIZO-VILLAR等 ^[12]	使用氧饱和度将呼吸暂停和低通气与正常呼吸区分开	来自成年 OSAHS患者共398个 SpO ₂ 信号	使用卷积神经网络对正常呼吸、低通气、呼吸暂停进行分类	呼吸事件的三级分类准确率为80.3%, Kappa系数为0.539
SUN等 ^[13]	使用鼾声识别呼吸暂停与低通气	14名男性患者4062次打鼾发作的数据集	根据鼾声幅度谱的趋势设计了一个新特征值, 使用该特征值识别呼吸暂停与低通气	新特征值的识别率可以达到87.05%, 高于传统特征值的85.97%
BALCI等 ^[14]	引入更多的信号特征提高呼吸暂停自动分型的能力	19例PSG记录结果	加入信号的时域与频域共35个特征, 使用机器学习对其分类	分类准确率提高到86.6%, 诊断阻塞型的准确率为89.7%
LIU等 ^[15]	监测非呼吸努力觉醒	含994个PSG记录的CinC 2018数据集	使用多个卷积神经网络提取并分类PSG的信号特征, 利用随机森林给出最终结果	为该数据集结果平均值1倍以上, 并在大多数患者上都能获得显著的检测结果

在PSG中常使用鼻气流与胸腹式呼吸监测呼吸暂停和低通气的发生, 但过多的导联会影响患者的睡眠, 且易受被褥衣物的影响, 所以选取新的监测方式也是重要的研究热点之一。深度传感器是一种可以非接触、远距离采样的传感器, 并且具有更高的采样率、分辨率和精度^[16]。将深度传感器布置在

床边可同时监测身体活动, 并通过监测呼吸过程中胸腹部容积变化和心率变化来判断呼吸暂停的发生^[17]。有相关研究表明, 这种监测方式可以获得很高的识别率, 并且可以消除传统导联易受被褥和衣物影响的缺点^[11]。另一些研究使用氧饱和度与鼾声来识别呼吸暂停与低通气, 也取得了有效的成

果^[12-13]。这些方法可以从已有的其他生理参数中识别呼吸暂停与低通气,因此可以减少一些原有的监测该事件的导联,提高患者舒适度,并更加真实地反映睡眠。

睡眠呼吸暂停可表现为阻塞性、中枢性和混合性,及时且准确地将不同的呼吸暂停区分开对疾病的诊治有很大的积极意义。一般专科医生使用鼻气流信号与胸腹式呼吸信号的时域特征(如时域频率、幅值等)来区分不同类型的呼吸暂停,计算机计算与机器学习可以使用更多肉眼无法分辨的信号特征来辅助区分以达到更高的识别率。近年来,有研究将更多的信号时域与频域特征结合起来,并通过机器学习算法将所有特征进行数据分类,使3种呼吸暂停类型的分类准确率达到86.6%,诊断阻塞性呼吸暂停的准确率达到89.7%^[14]。因此,睡眠呼吸暂停的信号有更多可被挖掘的时域和频域特征,这些特征可以作为新的分类依据来提高PSG软件的准确率。

频繁觉醒也是OSAHS的主要表现之一,由呼吸暂停导致的觉醒是研究最多且成果最显著的类型之一,但呼吸暂停并不是造成频繁觉醒的唯一原因^[18]。其他原因,如呼吸努力相关的觉醒、打鼾和磨牙等引起的觉醒,统称为非呼吸暂停觉醒。检测由呼吸暂停引起的觉醒相对容易,现有的方法已经能够给出高质量的结果^[19]。因此,越来越多的学者

将目光放在了非呼吸暂停觉醒,这也是2018年心脏病学物理网络计算挑战赛(CinC 2018)的主题^[20]。有学者使用多个卷积神经网络来提取PSG信号特征进行初步分类,并利用随机森林来确定这些初始分类器的权重以给出最终结果。他们对包含994个PSG记录的CinC 2018数据集进行测试,结果的准确率超过了该大赛中的最好成绩,并且超过了平均值1倍^[15]。其研究表明,在区分非呼吸暂停觉醒的方法上还有很大的研究潜力,有效区分不同的觉醒有助于判断睡眠质量低下的原因、及时给出有效的治疗建议、减少医生工作量,所以后续可以在该领域展开更深入的研究。

1.2 优化睡眠分期与监测方法的研究

睡眠分期可以分析患者的睡眠结构并判断是否存在问题,同时可以判断患者的呼吸暂停是否在睡眠期间或在哪个睡眠阶段发生,帮助医生诊断疾病类型与明确严重程度。高精度的自动分期系统可以大大减少医生的工作量,并可消除人工分期引起的出错概率。目前的分期系统存在一定的误差,医生需要审核并修改错误的部分,该方向有很多研究方法,基于人工智能技术提高睡眠分期的研究便是其一。另外,PSG中繁杂的导联在很大程度上影响患者的真实睡眠反应,并且脱落现象也会影响检查的准确率。很多学者将目光放在了优化睡眠分期与监测方法的研究上(见表2)。

表2 提高睡眠分期精准的相关研究

Tab.2 Relevant researches to improve the accuracy of sleep staging

来源	方法	样本	结论
SCHÄTZ等 ^[21]	在PSG信号的时域与频域特征中提取与睡眠分期最相关的特征,减少相关性低的数据	睡眠数据集Sleep-EDF dataset和SleepExpanded-EDF database共28名成年人PSG记录	总体精度达到91.10%与96.67%,超出现有分期系统
PROCHÁZKA等 ^[22]	通过双层神经网络模型将多种生理信号结合,提高特征分类与睡眠分期准确率	来自OSAHS患者PSG记录的1731个30 s片段	准确率高于80%,与睡眠阶段生理信号特征的数量和选择有关
ABDULLA等 ^[23]	使用单通道EEG,对每个30 s的信号降维作为图中的节点,最后使用相关图进行分期	来自睡眠数据集PysioNet的61组EEG记录与来自医院与大学的25组PSG的EEG记录	2个数据集的平均准确率为93%和94%,比现有技术的效果更好
LI等 ^[24]	通过双通道EOG与单通道EMG,使用新提出的归一化进行特征分类,最后使用随机森林算法进行睡眠分期	来自睡眠数据集ISRUC-Sleep的126条PSG记录	Kappa系数为0.749,准确率为80.8%
MAGGIO等 ^[25]	使用包括6个EEG通道、2个EOG(左右)通道、1个下颌肌电通道和2个腿部肌电通道的PSG记录,利用反卷积神经网络开发了分期系统	来自SDCP数据集的21名儿童PSG记录来自Sept-EDFX的197个成人PSG记录	儿童的总体分期准确率为84.27%,成人的总体分期准确率为90.89%

自动睡眠分期算法的核心是对不同睡眠时期生理信号特征的计算与分类。不同睡眠时期有不同的信号特征,所以提取出与某时期最相关的特征可以减少无关计算量、减少不相干特征对识别和分类的干扰。有研究从该角度出发,从PSG信号的时域与频域特征中提取最相关的特征进行分类。他们

设计的系统在2个公共数据集上获得了91.10%与90.68%的总体精确率和睡眠分期准确率,比目前最先进的算法更高^[21]。研究发现,在去除相关度低的特征并减少数据量与无关干扰后,分期速度和准确率得到了提高。PSG的优势之一在于可以同时监测多种生理信号并综合分析睡眠详情。有学者尝试

将多种生理信号结合以提高分期的精准度。他们将呼吸信号、EEG和EOG多种信号结合起来,设计了一个用于睡眠分期检测的多模式多导睡眠图数据自适应分割算法。该算法通过双层神经网络模型,使用30 s长的时间窗和选定的多峰信号的特征对特征分类与睡眠分期进行构建和优化。结果表明,觉醒阶段和REM阶段的分类准确率分别高于80%和90%,性能有了提高^[22],提示将不同生理信号的特征进行结合可提高分期的精准度。

目前研究主要集中在通过判断生理信号不同时期的特征来进行睡眠分期,但也有学者从其他角度出发,开发了基于相关图相似性、结合集成极限机器学习算法的脑电图睡眠分期系统。该系统使用脑电图作为分期依据,首先将每个30 s的EEG片段分为一组子片段,使用统计模型降低每个子片段的维度。然后将每个子片段转换成一张图,并将其视为图中的一个节点,根据它们的相关系数计算每对节点之间的链接,最后把图模块化用作集成分类器的输入特征再进行睡眠分期。结果表明,该系统在2个数据集上分别达到了93%和94%的平均准确率,高于现有的最先进技术取得的识别结果^[23]。研究表明,除了使用传统的时域或频域特征进行睡眠分期外,新方法的效果也很好。因此,后续研究可以找到更多的新方法以达到更好的分期效果。

传统的PSG需要连接数十个导联,这会对患者的睡眠产生很大的影响,并且导联易发生脱落或粘贴不牢等情况,也会影响信号质量。如果使用更少的导联就可以得到很好的分期结果,这可以提高患者体验,得到更真实的睡眠反应。有学者设计了一款无需脑电图的自动睡眠阶段分类方法,该方法仅使用双通道EOG与单通道EMG进行睡眠分期,在126条PSG记录中,对清醒、N1、N2和N3和快速眼动睡眠5个阶段进行分类,其综合准确率可达80.8%^[25]。该方法在排除脑电图后,仅使用眼电图和肌电图结合进行睡眠分期可以减轻睡眠监测的负担,并达到与睡眠阶段分类“金标准”脑电图、眼电图和肌电图结合相当的性能。该方法不使用脑电图,在很大程度上提升了患者的检查体验感,能更真实地反映患者的睡眠情况,并获得了不亚于睡眠分期金标准的准确率。

2 HSAT的应用研究

虽然PSG是诊断OSAHS的金标准,但由于导联过多且必须在睡眠实验室进行,很多患者使用困难或并不适合该项检查。HSAT是代替PSG进行居

家睡眠监测的一项技术,在患者无法使用PSG时,可以选择该技术进行睡眠监测,于是很多学者在不同人群中对HSAT进行了效果评价(见表3)。

在2~8岁儿童中OSAHS的患病率为2%~4%,及时的诊断与治疗对儿童生长发育有重大意义^[25]。儿童会对陌生的睡眠实验室和连接的导联产生一定的抗拒,影响正常睡眠,并且儿童在睡眠期间活动程度较大,容易造成导联脱落,所以HSAT有时比PSG更优先选择^[26]。有学者测试了HSAT在该方面的有效性,他们将100名平均年龄为5.2岁的儿童随机分配到PSG组或HSAT组,比较2组数据来分析HSAT的准确率。结果表明,HSAT可以提供与PSG同等质量的数据,并可提高儿童的睡眠质量和持续时间^[27]。研究证明,在在线技术人员的实时监督下,考虑到它的优点,HSAT可成为诊断儿童OSAHS的首选。

高于60%的认知障碍患者有不同程度的OSAHS,这提示OSAHS与认知障碍密切相关,并会加重患认知障碍的风险和认知障碍的程度^[28]。陌生的睡眠实验室与繁杂的导联可能会使认知障碍患者产生焦虑情绪,影响睡眠甚至无法完成完整的睡眠监测,所以居家且导联较少的睡眠监测对有认知障碍的患者诊断OSAHS有重大意义^[29]。已有研究分析了在认知障碍人群中进行无人值守的HSAT的可行性。85.9%接受HSAT的患者获得了可分析的数据,表明该技术可行和实用。此外,该研究还发现当受试者的认知量表MMSE的分值 ≥ 22 、MoCA的分值 ≥ 19 时,可以选择使用HSAT^[30]。

OSAHS在某些疾病中的发生率大大增加。46%~81%的成人慢性心力衰竭(chronic heart failure, CHF)患者同时患有睡眠呼吸障碍(sleep-disordered breathing, SDB)^[31],因此AASM也建议对CHF等心肺系统疾病的成人患者进行PSG以诊断SDB。近年新型冠状病毒感染的大流行导致心肺健康问题愈发常见,这有可能会使CHF恶化或预后不良^[32]。因此在该人群中进行早期而有效的SDB筛查有助于减少不良预后。此外,SDB的持续气道正压通气(continuous positive airway pressure, CPAP)可改善心肺功能和生活质量,所以及时诊断SDB对CHF的健康管理非常重要^[33]。有学者评价了在患有CHF的成人人群中使用HSAT诊断SDB的可行性,他们将93名患者的HSAT结果与PSG对比,结果表明HSAT可以帮助诊断CHF患者睡眠呼吸疾病的严重程度^[34]。暂无证据证明HSAT可以有效区分阻塞性和中枢性睡眠呼吸暂停,这是今后研究方向之一。

表3 HSAT应用的相关研究
Tab.3 Researches on HSAT application

来源	人群	样本	结论
TERZAGHI等 ^[27]	儿童面对陌生的睡眠实验室和繁多的	100名平均年龄为5.2岁的儿童，	HSAT可以提供与实验室 PSG 同
	导联可能会产生较大的抗拒性，导致	随机分配到实验室内的完整 PSG	等质量的数据，同时可以提高儿
	PSG效果不好，使用HSAT可以减少该	组或 HSAT 组	童的睡眠质量和持续时间
	类影响		
COLELLI等 ^[60]	认知障碍与OSAHS密切相关，但睡眠	对78名患有认知障碍的患者进行	85.9%的患者获得了可分析的数
	实验室可能会引起认知障碍患者的焦	了HSAT测试	据，受试者的认知量表的分值分
	虑情绪影响结果，使用HSAT可以减少		别大于等于一定值时可以选择使
	该类影响		用HSAT
LI等 ^[34]	慢性心力衰竭会使患OSAHS的概率增	93名患有CHF的成人，同时获取	HSAT可以帮助诊断患有CHF成
	加，同时OSAHS的正压通气治疗可以	他们的HSAT93名患有CHF的成	人不同严重程度的睡眠呼吸疾病
	改善心肺功能，可以使用HSAT对该类	人，同时获取他们的HSAT结果	与PSG结果
	患者进行普查		

3 结论

本研究从PSG的优化和HSAT的应用评价出发，综合分析了国际上的多篇文献。研究提出了很多新的PSG优化方法以及HSAT的应用，取得了非常显著的成果。这些新的方法相比现有PSG，能获得更高的准确率，如果将多种研究相结合，可以有更高的提升空间。虽然HSAT目前还无法替代PSG做出临床诊断，但在特定的情况或在某些疾病患者的睡眠问题监测上有较好的表现。虽然HSAT有了很大的进步，但是设计出一款可以完全替代PSG的舒适的家庭化产品依然是研究热点。此外，我国还缺乏一定规模的中国人睡眠数据库，这对开发适合中国人的睡眠监测的产品研究形成了一定的阻力。因此，后续的研究也同样需要聚焦于建立一定规模的中国人睡眠数据库。

参考文献

- [1] AKASHIBA T, INOUE Y, UCHIMURA N, et al. Sleep apnea syndrome (SAS) clinical practice guidelines 2020[J]. *Respir Investig*, 2022, 60(1): 3-32.
- [2] IANNELLA G, MANIACI A, MAGLIULO G, et al. Current challenges in the diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea syndrome in the elderly[J]. *Pol Arch Intern Med*, 2020, 130(7-8): 649-654.
- [3] ZASADZIŃSKA-STEMPNIAK K, ZAJĄCZKIEWICZ H, KUKWA A. Prevalence of obstructive sleep apnea in the young adult population: a systematic review[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(5): 1386.
- [4] QIAN Z J, HOWARD J M, COHEN S M, et al. Use of polysomnography and CPAP in children who received adenotonsillectomy, US 2004 to 2018[J]. *Laryngoscope*, 2023, 133(1): 184-188.
- [5] KWON S, KIM H, YEO W H. Recent advances in wearable sensors and portable electronics for sleep monitoring[J]. *iScience*, 2021, 24(5): 102461.
- [6] SATAPATHY S K, KONDAVEETI H K, LOGANATHAN D, et al. A Machine Learning Model for Automated Classification of Sleep Stages Using Polysomnography Signals[C]/International Conference on Innovative Computing and Communications, 2022: 285-296.
- [7] WESTENBERG J N, PETROF B J, NOEL F, et al. Validation of home portable monitoring for the diagnosis of sleep-disordered breathing in adolescents and adults with neuromuscular disorders[J]. *J Clin Sleep Med*, 2021, 17(8): 1579-1590.
- [8] REVANA A, VECCHIO J, GUFFEY D, et al. Clinical application of home sleep apnea testing in children: a prospective pilot study[J]. *J Clin Sleep Med*, 2022, 18(2): 533-540.
- [9] LAMBING K, CHALMERS E, GERARDY B, et al. 0731 what is HSAT missing? A comparison of respiratory events and OSA diagnosis across type 2 and type 3 studies[J]. *Sleep*, 2022, 45: A319-A320.
- [10] CAPLES S M, ANDERSON W M, CALERO K, et al. Use of polysomnography and home sleep apnea tests for the longitudinal management of obstructive sleep apnea in adults: an American Academy of Sleep Medicine clinical guidance statement[J]. *J Clin Sleep Med*, 2021, 17(6): 1287-1293.
- [11] SCHÄTZ M, PROCHÁZKA A, KUCHYŇKA J, et al. Sleep apnea detection with polysomnography and depth sensors[J]. *Sensors (Basel)*, 2020, 20(5): 1360.
- [12] VAQUERIZO-VILLAR F, ÁLVAREZ D, GUTIÉRREZ-TOBAL G C, et al. Deep-learning model based on convolutional neural Networks to classify apnea-hypopnea events from the oximetry signal[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2022, 1384: 255-264.
- [13] SUN J P, HU X Y, ZHAO Y Y, et al. Apnea and hypopnea events classification using amplitude spectrum trend feature of snores[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2018: 6036-6039.
- [14] BALCI M, TASDEMIR S, OZMEN G, et al. Machine learning-based detection of sleep-disordered breathing type using time and time-frequency features[J]. *Biomed Signal Process Control*, 2022, 73: 103402.
- [15] LIU Y T, LIU H X, YANG B F. Automatic sleep arousals

- detection from polysomnography using multi-convolution neural network and random forest[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 176343-176350.
- [16] TÖLGYESSY M, DEKAN M, CHOVANEC L, et al. Evaluation of the Azure Kinect and Its Comparison to Kinect V1 and Kinect V2[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(2): 413.
- [17] ADDISON P S, SMIT P, JACQUEL D, et al. Continuous respiratory rate monitoring during an acute hypoxic challenge using a depth sensing camera[J]. *J Clin Monit Comput*, 2020, 34(5): 1025-1033.
- [18] BITNERS A C, SIN S, AGRAWAL S, et al. Effect of sleep on upper airway dynamics in obese adolescents with obstructive sleep apnea syndrome[J]. *Sleep*, 2020, 43(10): zsa071.
- [19] SEPPÄ-MOILANEN M, ANDERSSONS, KIRJAVAINEN T. Spontaneous and apnea arousals from sleep in preterm infants[J]. *Pediatr Res*, 2021, 89(5): 1261-1267.
- [20] GHASSEMI M M, MOODY B E, LEHMAN L W H, et al. You snooze, you win: the PhysioNet/computing in cardiology challenge 2018[J]. *Comput Cardiol (2010)*, 2018, 45: 1-4.
- [21] SATAPATHY S K, BHOI A K, LOGANATHAN D, et al. Machine learning with ensemble stacking model for automated sleep staging using dual-channel EEG signal[J]. *Biomed Signal Process Control*, 2021, 69: 102898.
- [22] PROCHÁZKA A, KUCHYŇKA J, YADOLLAHI M, et al. Adaptive segmentation of multimodal polysomnography data for sleep stages detection[C]//2017 22nd International Conference on Digital Signal Processing (DSP). London, UK, 2017: 1-4.
- [23] ABDULLA S, DIYKH M, LAFT R L, et al. Sleep EEG signal analysis based on correlation graph similarity coupled with an ensemble extreme machine learning algorithm[J]. *Expert Syst Appl*, 2019, 138: 112790.
- [24] LI Y J, XU Z, ZHANG Y, CAO Z, et al. Automatic sleep stage classification based on a two-channel electrooculogram and one-channel electromyogram[J]. *Physiol Meas*, 2022, 43(7): 07NT02.
- [25] MAGGIO A B R, BEGHETTI M, CAO VAN H, et al. Home respiratory polygraphy in obstructive sleep apnea syndrome in children: comparison with a screening questionnaire[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2021, 143: 110635.
- [26] MURATA E, KATO-NISHIMURA K, TANIKE M, et al. Evaluation of the validity of psychological preparation for children undergoing polysomnography[J]. *J Clin Sleep Med*, 2020, 16(2): 167-174.
- [27] GREEN A, NAGEL N, KEMER L, et al. Comparing in-lab full polysomnography for diagnosing sleep apnea in children to home sleep apnea tests (HSAT) with an online video attending technician[J]. *Sleep Biol Rhythms*, 2022, 20(3): 397-401.
- [28] GUARNIERI B, ADORNI F, MUSICCO M, et al. Prevalence of sleep disturbances in mild cognitive impairment and dementing disorders: a multicenter Italian clinical cross-sectional study on 431 patients[J]. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 2012, 33(1): 50-58.
- [29] DIJKSTRA F, DE VOLDER I, VIAENE M, et al. Polysomnographic predictors of sleep, motor, and cognitive dysfunction progression in Parkinson's disease[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2022, 22(10): 657-674.
- [30] COLELLI D R, BLACK S E, MASELLIS M, et al. Feasibility of unattended home sleep apnea testing in a cognitively impaired clinic population[J]. *J Clin Sleep Med*, 2021, 17(3): 435-444.
- [31] ARZT M, WOEHRLE H, OLDENBURG O, et al. Prevalence and predictors of sleep-disordered breathing in patients with stable chronic heart failure: the SchlaHF registry[J]. *JACC Heart Fail*, 2016, 4(2): 116-125.
- [32] KLOCEK M, WOJCIECHOWSKA W, TERLECKI M, et al. Cardiac biomarkers on admission and in-hospital mortality in COVID-19 patients with or without concomitant heart failure[J]. *Pol Arch Intern Med*, 2022, 132(7-8): 16256.
- [33] GORBACHEVSKI M, SPIESSHOEFER J, ARZT M, et al. Adaptive servo-ventilation therapy does not favourably alter sympatho-vagal balance in sleeping patients with systolic heart failure and central apnoeas: preliminary data[J]. *Int J Cardiol*, 2020, 315: 59-66.
- [34] LI S N, XU L Y, DONG X S, et al. Home sleep apnea testing of adults with chronic heart failure[J]. *J Clin Sleep Med*, 2021, 17(7): 1453-1463.