

· 综述 ·

DOI: 10.12025/j.issn.1008-6358.2019.20190431

家庭睡眠呼吸暂停监测在阻塞性睡眠呼吸暂停诊断中的应用与研究进展

徐淑桦, 朱敏*

上海交通大学医学院附属第九人民医院口腔医学院口腔颌面外科, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 上海市口腔医学重点实验室, 上海市口腔医学研究所, 上海 200011

【摘要】 多导睡眠描记 (polysomnography, PSG) 是诊断阻塞性睡眠呼吸暂停 (obstructive sleep apnea, OSA) 的金标准, 但因导联众多、需要场地及专业医师介入或值守等原因缺乏可及性和经济性。家庭睡眠呼吸暂停监测 (home sleep apnea testing, HSAT) 凭借其简便、快捷、经济等优势, 作为 PSG 的替代方式, 正受到越来越多的关注。本文就 HSAT 的分类、应用范围、不同种类的可靠性和不同分析方法可能带来的差异等内容作一综述, 总结了 HSAT 现存问题, 并提出可能的解决问题的研究方向。

【关键词】 阻塞性睡眠呼吸暂停; 多导睡眠监测; 家庭睡眠呼吸暂停监测

【中图分类号】 R 563.8 **【文献标志码】** A

Application and research progress on home sleep apnea monitoring in diagnosis of obstructive sleep apnea

XU Shu-hua, ZHU Min*

Department of Oral and Craniomaxillofacial Surgery, Shanghai Ninth People's Hospital, College of Stomatology, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine; National Clinical Research Center for Oral Diseases; Shanghai Key Laboratory of Stomatology & Shanghai Research Institute of Stomatology, Shanghai 200011, China

【Abstract】 Polysomnography (PSG) is the gold standard test for the diagnosis of obstructive sleep apnea (OSA). However, PSG is inconvenient and uneconomical because of the large number of electrodes and sensors, the need for venues and intervention or duty of professional doctors. As a result, home sleep apnea testing (HSAT) is attracting more and more attention as an alternative to PSG, because of its simplicity, rapidness, and economy. This review introduces the classification, application scope, reliability of different types of HSAT, and possible differences caused by different analysis methods, and summarizes the existing problems and puts forward the prospect.

【Key Words】 obstructive sleep apnea; polysomnography; home sleep apnea testing

阻塞性睡眠呼吸暂停 (obstructive sleep apnea, OSA) 是指睡眠时上气道塌陷阻塞引起的呼吸暂停和低通气, 患者常伴有打鼾、睡眠结构紊乱、频繁发生血氧饱和度下降、白天嗜睡、注意力不集中等病症, 并可导致高血压、冠状动脉粥样硬化性心脏病、糖尿病等多器官多系统损害。OSA 可发生于任何年龄阶段, 不仅严重影响患者的生活质量和工作效率, 还易并发心脑血管疾病, 具有潜在的危险性。儿童 OSA 的常见原因是腺样体和 (或) 扁桃体的病理性肥大对气道的阻塞, 严重者可影响生长发育, 出现牙颌面畸形^[1]。

虽然临床工作中诊断 OSA 的方法较多, 如多导睡眠描记 (polysomnography, PSG)、家庭睡眠呼吸暂停监测 (home sleep apnea testing, HSAT) 以及症状体

征、各种评分量表 (如 Berlin 问卷、Epworth 睡眠量表、STOP-BANG 问卷等)、各种临床预测模型 (如形态学预测模型等) 等^[2], 但目前公认的诊断金标准是 PSG。标准 PSG 记录受试者睡眠过程的呼吸、神经生理、睡眠阶段等参数, 包括脑电图 (electroencephalogram, EEG)、下颌肌电图 (chin electromyograph, chin EMG)、眼电图 (electrooculogram, EOG)、气流、呼吸运动、动脉血氧饱和度 (SaO₂) 和心电图 (electrocardiogram, ECG)。监测过程需在睡眠室中进行, 并有专业人员监测和分析数据^[3]。

然而, 传统 PSG 存在许多不便。一方面, 它需要受试者在睡眠监测室过夜, 使得一些受试者不能在熟悉环境中一样入睡; 另一方面, 传统 PSG 导

[收稿日期] 2019-03-31

[接受日期] 2019-05-09

[作者简介] 徐淑桦, 硕士生. E-mail: xsh9024@126.com

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-23271699, E-mail: zhumi1612@sh9hospital.org

联众多,大部分位于头面部,不适感明显,也会一定程度上影响受试者的睡眠。此外,传统 PSG 受场地、床位、人工限制,费用较高。因此,研究者一直在探索可以替代标准 PSG 的诊断手段,如前述的家庭睡眠呼吸暂停监测(HSAT),或称便携式监测仪(portable monitors, PM),亦称中心外监测仪(out-of-center testing devices, OCST)。HSAT 具有导联少、舒适、可让患者在熟悉环境中入睡的优势,不需专人值守,简便易行,且对患者来说花费更少,在医疗条件差的地区有更大的需求^[4-5]。2017年美国 AASM 新版指南中推荐,对于并不复杂的有症状体征且高度怀疑中-重度 OSA 的成人患者,推荐使用 PSG 或设备技术足够的 HSAT 检查(强烈推荐)^[2]。

1 睡眠监测的分类

应用最广泛的分类是 1994 年美国睡眠障碍协会(American Sleep Disorders Association, ASDA)分类。该分类方法将睡眠检测仪分为 4 个等级^[3]。

I 型:标准 PSG,含有至少 7 个参数,包括脑电图、心电图、眼电图、下颌肌电图、气流、呼吸努力、血氧,体位需有记录,腿部运动可由肌电图或运动传感器记录(可选),需专业人员整夜值守,必要时做出调整;II 型:全指标便携式 PSG,参数要求与 I 级相同,区别在于不需在睡眠室中进行,无专业人员值守;III 型:改良便携式睡眠呼吸暂停检查,含有至少 4 个参数,包括 2 个通气参数(呼吸运动和气流)、心率或心电图、血氧,体位需记录,腿动记录非必需,无人值守;IV 型:单/双参数持续记录,最少含有 1 个参数(典型为血氧或气流),不记录体位、腿动,也无人值守。

2 HSAT 的适用范围

2007 年美国 AASM 在无人值守的便携式睡眠监测仪临床应用指南中提出^[6],HSAT 最少应能监测气流、呼吸努力,血氧三个方面的参数。当无人值守的 HSAT 用于 OSA 的诊断时,应同时伴有综合性的睡眠评估。使用 HSAT 进行临床睡眠评估时,必须在 1 名有睡眠医学专业资格认定或符合睡眠医学认证考试资格标准的专业人员监督下进行。HSAT 可作为 PSG 的替代措施,用于高度怀疑为中到重度 OSA 的患者中。但 HSAT 不适合诊断有严重并发症的患者的 OSA,这可能会降低 HSAT 的准确性。HSAT 也不适合对 OSA 疑似合并患有其他睡眠障碍,如中枢性睡眠呼吸暂停综合征、周期性肢体运动障碍、失眠症、异态睡眠、昼夜节律睡眠障

碍或发作性睡病的患者进行诊断评估。此外,HSAT 不适合对无症状人群进行一般筛查。HSAT 可能适用于睡眠室内 PSG 无法完成的情况,如患者无法移动,或出于某些安全考虑,或患者患有一些危重疾病。HSAT 也可能适用于监测患者对非 CPAP 的睡眠暂停治疗措施的反应。因此当口腔医师利用口腔矫治器减轻 OSA 的症状时,可利用 HSAT 进行疗效评估。Wittine 等^[7]的研究表明,HSAT 至少需要 300 min 的记录时间,才能准确诊断阻塞性睡眠呼吸暂停,并确定阻塞性睡眠呼吸暂停的严重程度。Vat 等^[8]的研究则发现当 HSAT 记录使用血氧降低 3% 并不伴有脉搏波振幅下降作为脑电图觉醒的替代指标,以确定低通气发生时,才能达到最高的精确度。

2017 年美国 AASM 提出的成人 OSA 诊断指南中,推荐家庭睡眠呼吸暂停测试使用技术上足够的 HSAT 设备,用于不复杂的成人患者的 OSA 诊断,即表现出中度至重度的 OSA 风险增加的症状和体征的患者。但是如果一个单独的家庭睡眠呼吸暂停测试结果是阴性的、不确定的,或者技术上不充分时,还应使用标准 PSG 来诊断 OSA(强烈推荐)^[3]。

而对于儿童,在学龄儿童中,HSAT 似乎在技术上是可行的。但对不同层次的研究,以及不同年龄群的研究,HSAT 在诊断中度儿童 OSA 的特异性上存在着很大的差异^[9]。Suzuki 等^[10]比较了 HSAT 对成人和儿童的诊断可靠性,发现在成人中,HSAT 对于截断点为 AHI = 20/h 或 5/h 的诊断是可靠的。然而在儿童中,HSAT 的可靠性较低,学龄前儿童尤甚,因此不能单独使用 HSAT 进行诊断。

3 HSAT 的应用进展

目前的指南尚未推荐 HSAT 应用于具有其他并发症的成人患者的诊断中。而 Saletu 等^[11]研究了 HSAT 对卒中患者住院康复期间 OSA 的诊断应用的可行性和准确性。这项对 265 例患者的研究以 HSAT 所得呼吸事件指数/监测时间(REI/MT)与无人值守的 PSG 所得呼吸暂停低通气指数/总睡眠时间(AHI/TST)相比较来评价准确性,以评估 HSAT 的记录质量的可接受度来评价可行性,证实 HSAT 在卒中患者住院康复期间诊断 OSA 是可行且足够精确的。因此他们建议指南在适用范围中加入此类患者。Patel 等^[12]认为夜间氧气的除氧能力已被证明是卒中的一个强有力的预测因子,并且可能有助于确定哪些低 AHI 患者应该被提供治疗。当使用一种改进的 OSA 定义,使用较低的 AHI 截断点,

并在 HSAT 的设置中加入 1 个血氧降低的截断点 (即使用 $AHI \geq 5 \sim 14.9/h$ 且 $SaO_2 \leq 88\%$ 作为诊断标准以代替 $AHI \geq 15$ 的诊断标准),用于卒中或短暂性脑缺血发作(TIA)的患者,可以改善其白天嗜睡后的嗜睡症发作,而不显著影响 CPAP 的依赖性,也不影响自动评分的准确性。Cabezas 等^[13]也将 HSAT 应用于针对肺癌患者的研究中,以证明 OSA 在肺癌患者中的流行度。Gamaldo 等^[14]将 HSAT 应用于在神经疾病就诊时临床上被认为有高 OSA 风险的患者中,从中发现 61% 的受试者 $AHI \geq 5$,从而使他们得到及时的治疗和转诊。他们认为专业的睡眠医师和社区神经病学实践应当联合起来,将 HSAT 应用在这些具有 OSA 风险的患者身上,以开辟一条更好的睡眠医疗护理的道路。Abumumar 等^[15]对 100 例心律不齐的患者比较了含有 EEG 的 HSAT 与标准 PSG 的差异,发现二者在呼吸指数方面并无差异。他们认为,对心律不齐的患者,合并 EEG 的 HSAT 是可靠、方便、经济的睡眠监测方法。Romem 等^[16]对患或不患有心肺并发症的受试者进行了单导联的 IV 型 HSAT (Morpheus Ox) 监测,发现无论是否患有心肺并发症,HSAT 的结果均与标准 PSG 有较好的一致性。

4 HSAT 的可靠性研究进展

HSAT 因其追求简便,大部分都省去了 EEG 导联,因而使入睡-觉醒无法准确判断,在计算 AHI 时只能以记录时间 (TRT) 来代替总入睡时间 (TST),而 $TRT \geq TST$ 故而使 AHI 被低估^[17]。在重度患者中,因 AHI 基数较大,这种低估对诊断结果的干扰不大,而对中轻度患者,尤其是轻度患者,诊断的准确性则受到较大影响。即使 HSAT 对呼吸事件的侦测与标准 PSG 一样准确,AHI 的低估仍然存在。Bianchi 等^[18]将标准 PSG 的 TST 用 TRT 代替后重新计算 AHI,即发现诊断的严重程度被低估,即假阴性 (轻度被低估为正常) 的出现和严重等级降低 (重度低估为中度,中度低估为轻度)。此外,如果低通气导致的是觉醒而不伴有血氧降低,则不会被 HSAT 发现并记录。且 HSAT 大部分无法区分睡眠分期,因而缺失了对患者睡眠结构的判断。

目前已投入临床应用的 HSAT 种类繁多,对它们的诊断性试验也大都证实了这一点^[19-21]。系统性综述发现,对诊断 OSA ($AHI \geq 5$), III 型的灵敏度可达到 0.93 (对在家中使用的研究的综合估计) 和 0.96 (对在睡眠室使用的研究的综合估计),特异度 0.60 (对在家中使用的研究的综合估计) 和 0.76 (对

在睡眠室使用的研究的综合估计)。IV 型灵敏度为 0.85 以上,特异度则范围较大,可达 0.50 ~ 1。当诊断轻中度 ($AHI \geq 15$) 或重度 (AHI 大于或等于 30) 时,灵敏度增加,而特异度相应降低^[6]。Abrahamyan 等^[22]共囊括 2 068 例受试者的荟萃分析则得出,当以 $AHI \geq 5$ 为截断点时,IV 型的灵敏度介于 0.675 ~ 1,而特异度介于 25% ~ 100%。III 型的准确性整体高于 IV 型。

由此看来,除了不同类型 HSAT 对呼吸暂停和低通气的判别精确性不同之外,目前制约 HSAT 应用的主要原因是缺乏对入睡-觉醒及睡眠结构的有效判断。

为解决这一问题,一些研究者试图将 EEG 简化。Light 等^[23]在 HSAT 中加入了 1 个额叶 EEG 导联,发现在 92% ~ 95% 的样本中这种单通道导联和全脑电图在判别睡眠-觉醒时间上一致。Chen 等^[24]建立了 1 个利用单信号 EEG 推断睡眠阶段的模型 SleepStageNet。该模型利用多尺度卷积神经网络提取睡眠脑电图特征,然后利用递归神经网络和条件随机场捕捉相邻时点之间的上下文信息,从而推断睡眠阶段的类型。在 OSA 人群中该模型的准确度可达到 ($F4-M1$ 0.8), Kappa 值可达到 ($F4-M1$ 0.67); 在健康人群中该模型的平均准确度为 ($Fpz-Cz$ 0.88; $Pz-Oz$ 0.85), Kappa 值 ($Fpz-Cz$ 0.82; $Pz-Oz$ 0.77)。Sabil 等^[25]将单信号 EEG ($FP2-M1$) 与 HSAT 探测的其他信号如气流、打鼾、运动、光和呼吸诱导性容积描记结合起来,做出一种自动评分系统,以判断清醒睡眠分期,清醒状态检测的敏感度为 (0.765 1 ± 0.216 7), 特异度为 (0.954 8 ± 0.052 7), 阳性预测值为 (0.818 4 ± 0.154 2), 阴性预测值为 (0.938 5 ± 0.062 3), 与单独的 HSAT 信号相比, AHI 增加了 22.12%。但是,包含单导联 EEG 的 HSAT 尚未形成成熟的产品,也尚无诊断价值研究。

另外一种方法是抛开 EEG,利用其他原理来估计睡眠分期。这其中比较有代表性的是心肺耦合式睡眠监测仪 (CardioPulmonary Coupling, CPC),按 AASM 1994 年分类属于 IV 型睡眠监测设备,仅收集心电信号。其从连续单导联心电信号提取正常窦性心律间期序列,并由心电信号推导出呼吸信号,然后采用希尔伯特-黄和傅里叶变换技术,将这两种信号的相干度与互谱功率生成睡眠期间心肺耦合动力学频谱,从而给出睡眠的分期结果并判定呼吸暂停综合征,能区分中枢型与阻塞型^[26]。CPC 与 PSG 机制不同,分析结果报告不是基于传统的睡眠分期,而是将睡眠分为浅睡 (不稳定睡眠,对应 CPC

分析的低频部分)、深睡(稳定睡眠,对应CPC分析中的高频部分),以及觉醒或REM期睡眠(对应CPC分析中的极低频部分)^[27]。Lee等^[28]一项37例儿童的回顾性研究用传统PSG睡眠分期和CPC比较儿童腺样体/扁桃体切除术后睡眠质量,发现术后CPC指标(高频耦合,低频耦合)、AHI、觉醒指数有明显变化,而PSG指标除了觉醒指数外,其他未表现出术后改变,因此他们认为CPC在睡眠质量的改变方面,比传统的PSG更灵敏。Schramm等^[29]采用CPC技术分析轻度OSA不同治疗方法(“网球法”体位干预治疗;吸氧;口腔矫正器;吸氧与口腔矫正器并用)对睡眠质量的改善,结果显示,口腔矫正器治疗明显优于体位改变和低流量吸氧等其他保守治疗方法,高频偶联与低频偶联的比值增大。对于该型监测仪的诊断价值,谢敏等^[30]对44例受试者(诊断为OSA者33例,正常者11例)同样进行了标准PSG和CPC的同时监测,发现当AHI分别>5、15、30次/h时,心肺耦合诊断敏感度分别为0.82、0.96、0.77,特异度分别为0.50、0.72、0.86,阳性预测值分别为0.85、0.83、0.85,阴性预测值分别为0.55、0.93、0.79。ROC曲线下面积分别为0.868、0.915、0.921。冯晶等^[31]则对292例患者(AHI>5者173例,AHI<5者119例)同时进行了标准PSG和CPC的监测,发现以AHI=5为OSAHS诊断截点时,ROC曲线下面积为0.81。但是,尚无该型监测仪估计的睡眠分期准确性评价的研究。

目前指南中推荐HSAT使用手动分析,但推荐证据强度较弱。为更加实现简化,许多HSAT都带有自动分析的软件。目前,自动分析能否达到和手动分析一致的效果,尚无共识。Aurora等^[32]分析了200份两种Ⅲ型HSAT[ApneaLink Plus(ResMed)和Embletta(Embla Systems)]自动分析和手动分析的结果,发现手动分析可以减少对OSA严重程度的错误分类,特别是对中度患者。Labarca等^[33]198例利用Embletta[®]MPR(Embla Systems)的研究同样认为自动分析低估了呼吸事件的发生率,改变了疾病的严重程度,并可能改变治疗方法。但这几项研究均是仅由1名分析者分析,没有考虑到不同的分析者判别可能不一致的因素。Magalang等^[34]则让9名来自睡眠呼吸暂停全球跨学科联盟(SAGIC)的有经验的技术人员和2种自动分析系统(Remlogic和Noxturnal)分别对15份Ⅲ型设备的记录进行分析,发现AHI的结果在自动和手动分析间有很强的一致性。但这项研究的样本量较少,说服力仍显不足。

5 总结与展望

在发现和诊断OSA的过程中,由于条件的限制,家庭睡眠监测因其简便、经济、舒适的优势正受到越来越多的关注,也越来越多地应用在了成人OSA的诊断中。但是,HSAT仍有一些缺点制约了其应用,如对轻度人群的诊断价值不理想、大部分缺失睡眠结构的信息等,目前尚未推荐应用在儿童患者和患有其他综合征的人群的诊断中。如何提高其对轻度患者的诊断精确性,是目前的一大热门研究方向。在伴有其他综合征人群中的应用,也是一个值得探索的方向。此外,睡眠图谱自动分析的可靠性也仍需进一步研究。如能找到一种可替代脑电图,精确判别睡眠-觉醒状态的方法,或一种可靠的脑电图简化方法,则可以提高HSAT的诊断价值,HSAT的应用将大大拓宽,尤其是在轻度成人患者和更需要简便舒适诊断方法的儿童患者的诊断中。

参考文献

- [1] 田勇泉. 耳鼻咽喉头颈外科学[M]. 8版. 北京:人民卫生出版社,2013:152.
- [2] KAPUR V K, AUCKLEY D H, CHOWDHURI S, et al. Clinical practice guideline for diagnostic testing for adult obstructive sleep apnea: an American academy of sleep medicine clinical practice guideline[J]. J Clin Sleep Med, 2017, 13(3): 479-504.
- [3] FERBER R, MILLMAN R, COPPOLA M, et al. Portable recording in the assessment of obstructive sleep apnea. ASDA standards of practice[J]. Sleep, 1994, 17(4): 378-392.
- [4] KIM R D, KAPUR V K, REDLINE-BRUCH J, et al. An economic evaluation of home versus laboratory-based diagnosis of obstructive sleep apnea[J]. Sleep, 2015, 38(7): 1027-1037.
- [5] KRISHNASWAMY U, ANEJA A, KUMAR R M, et al. Utility of portable monitoring in the diagnosis of obstructive sleep apnea[J]. J Postgrad Med, 2015, 61(4): 223-229.
- [6] COLLOP N A, ANDERSON W M, BOEHLECKE B, et al. Clinical guidelines for the use of unattended portable monitors in the diagnosis of obstructive sleep apnea in adult patients. Portable monitoring task force of the American Academy of Sleep Medicine[J]. J Clin Sleep Med, 2007, 3(7): 737-747.
- [7] WITTINE L M, OLSON E J, MORGENTHAUER T I. Effect of recording duration on the diagnostic accuracy of out-of-center sleep testing for obstructive sleep apnea[J]. Sleep, 2014, 37(5): 969-975.
- [8] VAT S, HABA-RUBIO J, TAFTI M, et al. Scoring criteria for portable monitor recordings: a comparison of four hypopnoea definitions in a population-based cohort[J]. Thorax, 2015, 70(11): 1047-1053.
- [9] MARCUS C L, BROOKS L J, DRAPER K A, et al. Diagnosis and management of childhood obstructive sleep apnea syndrome

- [J]. *Pediatrics*, 2012, 130(3): e714-e755.
- [10] SUZUKI M, FURUKAWA T, SUGIMOTO A, et al. Comparison of diagnostic reliability of out-of-center sleep tests for obstructive sleep apnea between adults and children [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2017, 94: 54-58.
- [11] SALETU M T, KOTZIAN S T, SCHWARZINGER A, et al. Home sleep apnea testing is a feasible and accurate method to diagnose obstructive sleep apnea in stroke patients during in-hospital rehabilitation [J]. *J Clin Sleep Med*, 2018, 14(9): 1495-1501.
- [12] PATEL N, RAISSI A, ELIAS S, et al. A modified definition for obstructive sleep apnea in home sleep apnea testing after stroke or transient ischemic attack [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(6): 1524-1532.
- [13] CABEZAS E, PÉREZ-WARNISHER M T, TRONCOSO M F, et al. Sleep disordered breathing is highly prevalent in patients with lung cancer: results of the sleep apnea in lung cancer study [J]. *Respiration*, 2019, 97(2): 119-124.
- [14] GAMALDO C E, GAMALDO A A, HOU L T, et al. When a private community neurology practice executes home sleep apnea testing: benefits identified and lessons learned in a retrospective observational study [J]. *Sleep Health*, 2018, 4(2): 217-223.
- [15] ABUMUAMAR A M, DORIAN P, NEWMAN D, et al. A comparison of two nights of ambulatory sleep testing in arrhythmia patients [J]. *Sleep Disord*, 2018, 2018: 2394146.
- [16] ROMEM A, ROMEM A, KOLDOBSKIY D, et al. Diagnosis of obstructive sleep apnea using pulse oximeter derived photoplethysmographic signals [J]. *J Clin Sleep Med*, 2014, 10(3): 285-290.
- [17] SETTY A R. Underestimation of sleep apnea with home sleep apnea testing compared to in-laboratory sleep testing [J]. *J Clin Sleep Med*, 2017, 13(4): 531-532.
- [18] BIANCHI M T, GOPARAJU B. Potential underestimation of sleep apnea severity by at-home kits: rescoring in-laboratory polysomnography without sleep staging [J]. *J Clin Sleep Med*, 2017, 13(4): 551-555.
- [19] CHEN H, LOWE A A, BAI Y, et al. Evaluation of a portable recording device (ApneaLink) for case selection of obstructive sleep apnea [J]. *Sleep Breath*, 2009, 13(3): 213-219.
- [20] BALLESTER E, SOLANS M, VILA X, et al. Evaluation of a portable respiratory recording device for detecting apnoeas and hypopnoeas in subjects from a general population [J]. *Eur Respir J*, 2000, 16(1): 123-127.
- [21] CLAMAN D, MURR A, TROTTER K. Clinical validation of the Bedbug in detection of obstructive sleep apnea [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2001, 125(3): 227-230.
- [22] ABRAHAMIAN L, SAHAKYAN Y, CHUNG S, et al. Diagnostic accuracy of level IV portable sleep monitors versus polysomnography for obstructive sleep apnea: a systematic review and meta-analysis [J]. *Sleep Breath*, 2018, 22(3): 593-611.
- [23] LIGHT M P, CASIMIRE T N, CHUA C, et al. Addition of frontal EEG to adult home sleep apnea testing: does a more accurate determination of sleep time make a difference? [J]. *Sleep Breath*, 2018, 22(4): 1179-1188.
- [24] CHEN K, ZHANG C, MA J, et al. Sleep staging from single-channel EEG with multi-scale feature and contextual information [J]. *Sleep Breath*, 2019.
- [25] SABIL A, VANBUIJS J, BAFFET G, et al. Automatic identification of sleep and wakefulness using single-channel EEG and respiratory polygraphy signals for the diagnosis of obstructive sleep apnea [J]. *J Sleep Res*, 2019, 28(2): e12795.
- [26] THOMAS R J, MIETUS J E, PENG C K, et al. An electrocardiogram-based technique to assess cardiopulmonary coupling during sleep [J]. *Sleep*, 2005, 28(9): 1151-1161.
- [27] 樊 蕾. 心肺耦合分析技术的临床应用与研究进展 [J]. *世界睡眠医学杂志*, 2017, 4(3): 169-174.
- [28] LEE S H, CHOI J H, PARK I H, et al. Measuring sleep quality after adenotonsillectomy in pediatric sleep apnea [J]. *Laryngoscope*, 2012, 122(9): 2115-2121.
- [29] SCHRAMM P J, THOMAS R J. Assessment of therapeutic options for mild obstructive sleep apnea using cardiopulmonary coupling measures [J]. *J Clin Sleep Med*, 2012, 8(3): 315-320.
- [30] 谢 敏, 雷 飞, 郭 丹, 等. 心肺耦合分析技术对阻塞性睡眠呼吸暂停的诊断价值 [J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(20): 1565-1569.
- [31] 冯 晶, 吴惠涓, 王宗文, 等. 心肺耦合技术与多导睡眠图对睡眠呼吸事件判读的一致性分析 [J]. *中华神经科杂志*, 2017, 50(8): 606-612.
- [32] AURORA R N, SWARTZ R, PUNJABI N M. Misclassification of OSA severity with automated scoring of home sleep recordings [J]. *Chest*, 2015, 147(3): 719-727.
- [33] LABARCA G, DREYSE J, SALAS C, et al. Differences between manual and automatic analysis in determining the severity of obstructive sleep apnea using home sleep apnea testing [J]. *Sleep Med*, 2018, 47: 66-71.
- [34] MAGALANG U J, JOHNS J N, WOOD K A, et al. Home sleep apnea testing: comparison of manual and automated scoring across international sleep centers [J]. *Sleep Breath*, 2019, 23(1): 25-31.

[本文编辑] 廖晓瑜, 贾泽军