



阻塞性睡眠呼吸暂停严重度评估参数 及诊断技术*

付卓志¹⁾ 吴亚岑²⁾ 李媚希²⁾ 尹平平²⁾ 林海军¹⁾ 张甫^{1)**} 杨宇祥^{1)**}

(¹⁾ 湖南师范大学工程与设计学院, 长沙 410081; (²⁾ 湖南师范大学附属第一医院康复医学科, 长沙 410005)

摘要 阻塞性睡眠呼吸暂停 (OSA) 是一种日益广泛的睡眠呼吸障碍性疾病, 是很多高风险慢性疾病如高血压、冠心病、中风、心律不齐和糖尿病的独立危险因素, 具有潜在的致命性。OSA 防治的关键是早诊断、早治疗, 因此 OSA 的评估与诊断技术成为研究热点。本文综述了 OSA 的严重度评估参数与诊断技术的研究进展, 并探讨了未来发展的方向。在 OSA 严重度评估参数方面, 呼吸暂停低通气指数 (AHI) 作为黄金标准, 其与呼吸暂停低通气持续时间百分比 (AH%)、最低氧饱和度 (LSpO₂)、心率变异性 (HRV)、氧减指数 (ODI) 及新兴的生物标志物, 共同构成了多维度评估体系。OSA 诊断技术包括金标准多导睡眠监测 (PSG)、便捷的家庭睡眠监测 (HSAT) 和心肺耦合 (CPC) 技术; 而机器学习与人工智能作为新兴的诊断技术, 由于其智能化和高准确度而日益受到青睐; 此外, 标准化问卷和 Epworth 嗜睡评分 (ESS)、影像学检查和声音检测技术也为 OSA 诊断提供了支持。多模态融合、跨学科整合研究、个性化诊疗模式的构建以及高新技术在临床应用中的推广将成为 OSA 评估与诊断领域的发展趋势。

关键词 阻塞性睡眠呼吸暂停, 评估参数, 诊断技术

中图分类号 R318, R766, R725.4

DOI: 10.16476/j.pibb.2024.0214

CSTR: 32369.14.pibb.20240214

阻塞性睡眠呼吸暂停 (obstructive sleep apnea, OSA) 是指睡眠过程中上气道反复塌陷阻塞引起的上气道闭塞或狭窄, 导致气流受限或完全阻断的睡眠呼吸障碍疾病^[1], 主要表现为打鼾、间歇性低氧血症、高碳酸血症、睡眠结构紊乱、白天嗜睡、注意力不集中等症^[2]。OSA 靶向损害心血管系统和代谢相关系统, 是很多高风险慢性疾病如高血压、冠心病、中风、心律不齐和糖尿病的独立危险因素, 已成为一种潜在的致命性慢性全身性睡眠疾病^[3-5]。

研究表明, OSA 的患病率在总体人群中约占 3%~7%, 在儿童中的占比为 1.2%~5.7%^[6], 在成人的占比为 6%~17%, 男性比例明显高于女性^[7]。一项涉及多达 193 个国家的 OSA 流行病学调查研究显示, 以睡眠呼吸暂停低通气指数 (apnea hypopnea index, AHI) ≥ 5 次/h 为诊断标准, 全球 30~69 岁人群中约有 9.36 亿人患有 OSA, 其中中重度 OSA 患者约 4.25 亿^[8]。由此可见, 全球范围内的

OSA 形势十分严峻。而中国的情况也不容乐观, 资料显示, 中国 OSA 患者高达 1.76 亿, 其中中重度患者达 6 600 万人, 居世界首位^[9]。一项针对中国人群的 OSA 患病率 Meta 分析研究结果显示, 60~74 岁组 OSA 患病率为 16%, 其次分别为 75~89 岁组的 13%、45~59 岁组的 13% 和 ≥ 90 岁组的 11%^[10]。根据文献推算, 从 2015 年至 2019 年, 中国 30~69 岁年龄段 OSA 患病人数从 1.8 亿上升至 1.9 亿; 预计到 2024 年, 中国 OSA 患病人数将增加到 2.1 亿^[11]。OSA 防治的关键是早诊断、早治疗。但是与此形成鲜明反差的是, 根据中国睡眠研究会统计, 中国的 OSA 诊断率仅在 1% 左右, 远低于美国 20% 的诊断率^[2], 中国大量的 OSA 患者亟需有效

* 国家自然科学基金 (32171366, 32201134) 和湖南省自然科学基金 (2024JJ5271) 资助项目。

** 通讯联系人。

张甫 Tel: 0731-88872543, E-mail: fuzhang@hunnu.edu.cn

杨宇祥 Tel: 0731-88872543, E-mail: yuxiang.yang@hunnu.edu.cn

收稿日期: 2024-05-16, 接受日期: 2024-07-10

诊治和精细化慢病管理, OSA 的及时诊断和治疗已成为一项国家重大需求。

OSA 的严重度评估参数是用来量化和评价患者在睡眠中呼吸暂停和低通气事件的频繁程度和严重性的指标^[12], 它对于评估 OSA 严重程度、监测治疗效果以及预测患者的健康风险具有重要意义^[13]。通过这些评估参数, 医生可以更好地理解患者的病情, 制定个性化的治疗计划, 并及时调整治疗方案以达到最佳的治疗效果^[14]。OSA 的诊断技术是指用于识别、评估和监测 OSA 存在的一系列方法和工具^[15], 它们使医护人员可以对疾病机制、病程、治疗效果以及患者预后的进行深入了解^[16-18]。OSA 的诊断技术对于疾病的早期发现、有效治疗和长期管理至关重要, 同时它对于改善患者的生活质量和减少公共卫生负担具有显著的长远影响。

综上所述, OSA 的严重度评估参数和诊断方法对于临床实践和科学研究的重要程度是不容忽视的。它们不仅有助于医生为患者提供个性化的治疗方案, 还十分有利于研究人员深入探索 OSA 病因的形成和制定治疗策略, 从而为患者带来更好的生活质量和健康预后。本文对 OSA 的严重度评估参数和诊断方法的研究现状及发展趋势进行综述, 首先归纳了若干典型的 OSA 严重度评估参数并对比了它们的优缺点, 然后对比分析了传统和新兴的 OSA 诊断技术, 最后对 OSA 评估与诊断技术的发展趋势进行了展望。

1 OSA 严重度评估参数

OSA 严重度评估参数是通过科研工作者研究患者在睡眠期间的快速眨眼频率、鼻气流和胸腹运动等物理行为和生理状况, 分析得出的一系列评估参数, 这些评估参数包括 AHI、呼吸暂停低通气持续时间百分比 (percentage of sleep time with apnea hypopnea, AH%)、最低氧饱和度 (lowest oxygen saturation, LSpO₂)、心率变异性 (heart rate variability, HRV)、氧减指数 (oxygen desaturation index, ODI) 和生物标志物等。通过对这些评估参数的分析, 医生能够更准确地评估 OSA 的严重程度, 并为患者制定合适的治疗计划。

1.1 呼吸暂停低通气指数 (AHI)

AHI 表示在睡眠期间平均每小时发生呼吸暂停与低通气的次数, 可用于 OSA 的诊断或者严重程度的分级^[19]。科研工作者通过测量患者在睡眠期

间每小时发生的呼吸暂停和低通气事件的总数来计算 AHI。这个计算方法是将这些事件的总数除以患者睡眠的总小时数。要计入 AHI 的事件, 呼吸暂停或低通气必须持续至少 10 s^[20]。AHI 通常是由多导睡眠监测 (polysomnography, PSG) 来获取的, 具体步骤为记录气流、检测胸腹运动以及测量血氧水平。根据美国睡眠医学会 (AASM) 发布的《2014 国际睡眠障碍分类》^[8], OSA 可分为轻度 ($5 < \text{AHI} \leq 15$)、中度 ($15 < \text{AHI} \leq 30$) 和重度 ($\text{AHI} > 30$)^[21]。AHI 作为公认的 OSA 诊断标准为 OSA 严重度提供了统一的评估依据。在评估 OSA 时, 使用 AHI 可确定 OSA 的严重程度, 这对医护人员给患者制定适当的治疗计划至关重要。同时在患者接受 OSA 监测治疗之后, 医护人员还可以通过 AHI 变化能评估所选治疗方法的有效性^[22]。但是使用 AHI 测量呼吸暂停和低通气事件的频率时, 它并未涵盖一些关键因素, 比如睡眠碎片化、氧饱和度下降, 以及患者的主观睡眠体验。此外, 由于 AHI 的测量结果可能受到使用的具体方法和设备的影响, 这种变化可能会影响到对 OSA 的准确诊断。更重要的是, AHI 与患者实际感受到的症状严重程度通常相关度较低, 因此可能未能充分反映 OSA 对患者生活质量的整体影响。

2022 年 Cederberg 研究团队^[23]进行了一项深入的研究, 旨在探究生物标志物与 AHI 之间的关联。该研究分析了 1 391 名参与者的血液和 PSG 测量数据, 这些数据来源于斯坦福大学科技分析与基因组睡眠研究项目。研究团队利用了一种高度复杂的适配体基阵列技术, 对所有血浆样本中的 5 000 种蛋白质进行了量化。通过这种方法, 他们识别出了与 AHI 显著相关的 84 种蛋白质。更值得注意的是, 在用于区分 $\text{AHI} \geq 15$ 与 $\text{AHI} < 15$ 的机器学习分类器中, 他们从前 15 个最重要的特征中发现了 8 个关键的标志物, 这些标志物对于 AHI 和 OSA 的识别具有重要意义。这项研究为理解 AHI 与特定蛋白质之间的联系提供了新的见解, 并为 OSA 的诊断和治疗提供了潜在的新途径。

1.2 呼吸暂停低通气持续时间百分比 (AH%)

AH% 是用来评估睡眠质量和呼吸相关障碍的一个重要指标, 尤其在睡眠呼吸障碍如 OSA 的诊断和评估中具有重要作用^[24]。这个指标的计算方式是将患者睡眠时间中发生呼吸暂停和低通气的总时间以百分比形式表示, 反映了患者在睡眠过程中有多大比例的时间受到了呼吸障碍的影响。在评估

OSA的严重度时, AH%的优势在于其综合性和深度^[25]。这一指标不仅衡量呼吸障碍事件的频率, 还考虑了这些事件在整个睡眠周期中所占的时间比例, 为理解OSA对睡眠质量的影响提供了全面视角, 因此也为评估OSA严重度提供了更多维度的信息^[26]。但是将AH%作为指标也存在一些局限。首先, 准确测量AH%需要复杂且成本较高的睡眠监测设备。其次, 尽管AH%能够反映呼吸障碍的持续时间, 但它并不涵盖其他关键因素, 如事件严重程度和氧饱和度的变化。最后, 由于其复杂性, AH%的结果可能难以以为非专业人士理解和解读^[27]。因此, 尽管AH%在某些方面有其独特价值, 但在实际应用中, 它应与其他指标如AHI和ODI结合使用, 以提供更全面的病情评估。

1.3 最低氧饱和度 (LSpO₂)

LSpO₂在睡眠医学和呼吸疾病研究领域中扮演着至关重要的角色^[28]。这一指标通过在全夜睡眠监测中使用脉搏血氧仪来测量, 反映了患者在睡眠期间血液中氧气浓度的最低点^[29]。LSpO₂的核心价值在于其能够直观地揭示患者睡眠中所遭遇的最为严重的氧合不足状态, 从而为OSA的严重程度提供关键证据^[30]。在OSA的治疗过程中, 特别是在持续正压呼吸机 (continuous positive airway pressure, CPAP) 治疗的情况下, LSpO₂的提高被认为是治疗效果的重要标志^[31]。随着医学技术的发展和对该指标影响的更深层次理解, LSpO₂正逐步成为评估睡眠质量和呼吸障碍的核心指标。然而, 由于不同患者对氧饱和度下降的反应各异, 相同水平的氧饱和度下降可能对不同个体产生不同的影响^[32]。因此, 在实际临床应用中, 推荐综合使用LSpO₂与其他睡眠评估指标, 如AHI和睡眠结构分析, 以确保对OSA进行更全面和准确的评估。

2020年一项研究提出了一种新的评估工具——近似熵 (ApEn), 可用于更精确地评估OSA患者的低氧血症严重程度^[33]。通过ApEn对低氧血症进行量化评估, 不仅丰富了OSA的评估方法, 还有助于更深入地理解OSA的病理机制, 特别是在低氧血症方面。最新一项研究显示, 体重指数 (BMI) 与OSA之间可以通过评估LSpO₂的指标来展示二者的关联程度。当前普遍认为肥胖与OSA息息相关, 但这项研究发现, BMI与OSA患病程度并无显著关系, 对BMI作为OSA的严重程度衡量标准的有效性提出了质疑, 同时也让我们得以思考LSpO₂是否在BMI相关的生理参数 (如体脂、基

础代谢和血糖等) 与OSA之间的关联程度研究上具有更大的研究价值^[34]。

1.4 心率变异性 (HRV)

HRV作为心跳间隔变化的关键测量指标, 在评估OSA时尤为重要^[35]。HRV主要反映自主神经系统对心脏功能的调节。在OSA患者中, 反复的呼吸暂停事件会干扰自主神经系统, 从而导致HRV降低, 这一变化揭示了自主神经系统的紊乱^[36]。此外, HRV降低还与心血管风险增加相关, 由于这一特点的存在, HRV在未来成为心血管事件的预测指标方面具有很大的潜力, 这对心血管问题高发的OSA患者来说至关重要。因此, HRV在评估OSA的严重程度、预测心血管风险以及监控治疗反应方面扮演着重要的角色, 是一个综合性且信息丰富的生理指标^[37]。但是HRV在评估OSA严重度时也存在一些自身的局限。首先, 作为一个间接指标, HRV主要反映自主神经系统的活动, 而不能直接测量OSA的关键特征。此外, HRV易受个体生活方式、心血管健康状态和心理压力等多种因素的影响, 这些因素的波动可能导致HRV读数发生变化, 影响其在OSA诊断中的准确性。因此, 尽管HRV为OSA的评估提供了有价值的视角, 但在应用时应谨慎, 并结合其他诊断工具和临床信息以获得更全面的病情评估。

近期一项研究便表明, OSA患者的HRV在正常标准差 (SDNN) 中表现为白天低、夜间高, 尤其是重度OSA男性^[38]。这说明将HRV与昼夜节律整合为昼夜节律HRV轨迹来评估OSA十分具有前瞻性, 且该研究得出了昼夜节律HRV轨迹可能有助于识别OSA的严重程度。众所周知, 熬夜或失眠是引发昼夜节律HRV紊乱的重要诱因^[39], 这将使得研究熬夜或失眠与OSA之间的关联不可避免, 甚至有可能成为未来OSA研究的一个重点方向。

1.5 氧减指数 (ODI)

ODI在OSA的诊断和评估中发挥着关键作用。作为量化睡眠中血氧饱和度显著下降事件的指标, ODI通过监测每小时血氧饱和度降低3%或以上的事件数量, 为了解患者夜间氧合状态提供直接且客观的数据^[40]。高ODI值通常表明OSA的高严重度, 并与心血管疾病风险的增加密切相关。尽管ODI在评估OSA中具有独特的价值, 且ODI能有效反映氧饱和度的显著降低, 但它无法区分这些降低是由呼吸暂停、低通气事件还是其他因素如体位变化或运动引起的^[41]。因此, ODI可能无法准确

反映OSA的全部临床特征。

在过去几年中, ODI的研究取得了显著进展, 推动了OSA严重度评估方法的不断优化。2021年Malhotra等^[42]的研究验证了ODI在重度肥胖患者中的有效性, 发现其与AHI具有高度相关性, 表明ODI可在资源有限的环境中替代复杂的AHI进行初步诊断。一年后, Wang等^[43]通过详细比较ODI和AHI, 指出在中重度OSA患者中, ODI的诊断准确性与AHI相当, 且测量过程更为简便, 从而巩固了ODI作为可靠诊断工具的地位。而到了2023年, ODI的应用进一步扩展至门诊筛查和长期监测, 研究表明, 利用ODI进行初步筛查可以减少PSG的使用, 降低医疗成本并提高诊断效率^[44]。目前最新的研究则聚焦于技术改进, 提升ODI测量的精确性和稳定性, 简化OSA诊断过程并提高护理质量^[45]。总而言之。这些研究从多角度验证了ODI在OSA诊断中的有效性和优势, 逐步优化其应用方法, 提高了诊断效率和患者护理质量。

1.6 生物标志物

在OSA的临床评估中, 特定的生物标志物因其在疾病进展中的重要作用而备受关注。最关键的几个标志物包括C反应蛋白(c-reactive protein, CRP)、肿瘤坏死因子 α (tumor necrosis factor α , TNF- α), 以及B型钠利尿肽(B-type

natriuretic peptide, BNP)^[46]。CRP作为炎症的一个显著指标, 其升高反映了OSA与系统性炎症的关联, 并可能指示心血管风险的增加^[47]。TNF- α 的增高与炎症反应及睡眠质量下降密切相关, 为理解OSA的全面影响提供了见解^[48-49]。同时, BNP的升高也通常与心脏功能缺乏相关, 特别是在心血管风险增加的OSA患者中^[50]。这些标志物共同提供了关于OSA患者炎症状态、心脏健康和整体系统健康的关键信息。在评估OSA严重度时, 生物标志物相比其他评估参数的主要缺点在于其非特异性和解释的复杂性^[51]。这些标志物的变化不一定专门由OSA引起, 可能也受到其他健康问题的影响, 使得将其直接与OSA的严重度相关联变得困难^[52]。此外, 对生物标志物的解读需要综合考虑患者的整体健康状况, 这一过程需要专业知识并且解读复杂。加之检测成本较高且一般情况下获取难度较高, 使得生物标志物在评估OSA严重度时十分受限。因此, 尽管生物标志物提供了有价值的洞察, 但最佳做法是将它们作为诊断OSA的辅助手段。

上述各个OSA严重度评估参数的科学原理、测量方法以及实施评估所需的技术要求如表1所示, 其优缺点的比较如表2所示。

Table 1 Principles, methods and technical requirements for OSA severity assessment parameters

表1 OSA严重度评估参数的原理、方法和技术要求

评估参数	评估原理	评估方法	技术要求
呼吸暂停低通气指数(AHI)	AHI所反映的每小时睡眠中呼吸暂停和低通气的次数, 是评估OSA频率和严重程度的关键指标 ^[19]	通过PSG或HSAT记录一整夜的呼吸事件 ^[19]	需要高精度的监测设备和专业的分析软件来处理和计算数据 ^[21]
呼吸暂停低通气持续时间百分比(AH%)	通过反映呼吸暂停和低通气事件总时长占总睡眠时间的比例来评估OSA的影响持续时间 ^[24]	监测并记录每次呼吸事件的持续时间, 然后计算其占总睡眠时间的百分比 ^[26]	需要能够精确检测事件持续时间的设备和复杂的数据分析能力 ^[24]
最低氧饱和度(LSpO ₂)	LSpO ₂ 估计的低氧血症的严重程度与OSA高度相关 ^[28]	使用脉搏血氧仪连续监测血氧饱和度, 记录最低值 ^[28]	需要高准确性和稳定性的脉搏血氧仪以及可靠的数据记录系统 ^[28]
心率变异性(HRV)	HRV与自主神经系统的调节有关, 可反映OSA对心脏自主功能的影响 ^[35]	通过ECG记录心跳时间间隔, 分析其变异性 ^[37]	需要专业的ECG监测设备和HRV分析软件, 以及对数据进行专业解读的能力 ^[37]
氧减指数(ODI)	ODI衡量每小时血氧饱和度下降事件的频率, 反映低氧血症的频率 ^[40]	通过脉搏血氧仪记录血氧饱和度的变化, 计算下降事件的次数 ^[40]	需要能够识别血氧饱和度下降的脉搏血氧仪和相应的数据分析工具 ^[41]
生物标志物	生物标志物如CRP、TNF- α 和BNP与氧化应激相关, 会反映OSA引起的炎症和氧化损伤 ^[46]	通过血液样本分析这些生物标志物的水平 ^[46]	需要生物化学分析技术、实验室设备和专业的生物标志物检测方法 ^[51]

Table 2 Comparison of the advantages and disadvantages of OSA severity assessment parameters

表2 OSA严重程度评估参数优缺点比较

评估参数	优点	缺点
呼吸暂停低通气指数 (AHI)	直接衡量事件频率 ^[21]	不反映事件持续时间或日间影响 ^[22]
呼吸暂停低通气持续时间百分比 (AH%)	包括事件持续时间 ^[24]	不考虑事件的严重程度或氧饱和度变化 ^[24]
最低氧饱和度 (LSpO ₂)	指示最严重的氧合不足 ^[28]	仅为单一测量, 不显示整夜趋势 ^[28]
心率变异性 (HRV)	反映自主神经活动 ^[35]	受多种生理因素影响 ^[37]
氧减指数 (ODI)	显示氧饱和度下降频率 ^[42]	忽略低氧事件的时间长度 ^[45]
生物标志物	提供生理和炎症反应信息 ^[46]	缺乏特异性, 受多种因素影响 ^[46]

2 OSA诊断技术

OSA 诊断技术主要有标准化问卷及 Epworth 嗜睡评分 (Epworth sleepiness scale, ESS)、多导睡眠监测 (polysomnography, PSG)、家庭睡眠测试 (home sleep apnea testing, HSAT)、心肺耦合 (cardiopulmonary coupling, CPC)、机器学习 (machine learning, ML) 和人工智能 (artificial intelligence, AI) 算法、影像学检查和声音检测等。

2.1 标准化问卷及 Epworth 嗜睡评分 (ESS)

使用标准化问卷和 ESS 对 OSA 进行初步筛查是一种简便且有效的方法^[53]。这些工具通过收集关于患者睡眠习惯、夜间呼吸障碍症状 (如打鼾、夜间窒息)、日间嗜睡程度以及相关健康信息, 帮助医生评估患者的 OSA 风险^[54]。标准化问卷详细询问患者的生活方式、医疗和家族病史, 睡眠呼吸监测标准化问卷基本指标包括: 睡眠过程中憋气、打鼾、呼吸暂停情况、是否有头痛、嗜睡、记忆力下降、性格改变, 有无疾病史 (如高血压、糖尿病、冠心病、反酸烧心、耳鼻咽喉科疾病、手术史等) 等进行问卷调查^[55]。而 ESS 量表则专注于评估日间嗜睡程度, 通过 8 个不同场景的自我评分来确定, 与 PSG 或 HSAT 相比, 其假阴性率高、敏感性低、特异性较高, Meta 分析总体质量等级定为低度。高 ESS 分数表明日间嗜睡程度严重, 可能是 OSA 的一个重要指标。

标准化问卷和量表用于 OSA 的筛查效果可能因地区和种族差异而有所不同, 尤其是考虑到不同人群在肥胖程度和头面部解剖结构上的差异。为了提高筛查的准确性, 调整这些工具以适应特定文化和国情是有益的。然而, 问卷和量表在筛查中可能存在一定的局限性, 例如, 某些评判标准可能主观性较强, 加之部分受试者可能因教育水平限制而难

以完全理解问卷内容, 从而影响了评估的准确度。因此, 作为 OSA 的初步筛查手段, 选择适合的量表进行评估是一种有效的方法。

2.2 多导睡眠监测 (PSG)

PSG 是诊断 OSA 的金标准^[23, 56]。PSG 是一种全面的睡眠检查, 可以记录多种生理信号, 为医生提供关于患者睡眠模式、结构和相关生理活动的详尽数据^[57]。在 PSG 监测中, 脑电图 (electroencephalography, EEG) 监测大脑活动, 有助于确定睡眠阶段和周期。眼动图 (electrooculogram, EOG) 记录眼球运动, 有助于区分快速眼动 (rapid eye movement, REM) 睡眠和非快速眼动 (non-rapid eye movement, NREM) 睡眠。肌电图 (electromyography, EMG) 记录肌肉活动, 尤其是下颌肌和腿部肌肉的活动, 对检测睡眠中的肌肉松弛状况重要。心电图 (electrocardiogram, ECG) 监测心脏活动, 了解睡眠过程中的心律变化。鼻咽气流通过传感器监测呼吸气流, 识别呼吸暂停和低通气事件。胸腹带测量呼吸努力和模式, 而脉搏血氧仪监测血氧饱和度, 检测夜间的氧饱和度变化^[58-59]。通过这些数据, PSG 能够全面分析患者的睡眠结构, 识别呼吸障碍事件, 并量化这些事件的频率和严重性^[60]。但是与此同时, 也正是由于诊断的全面性导致 PSG 对监测环境的要求高, 接线繁琐, 电极导联多, 这使得 PSG 诊断技术具有以下局限性: a. PSG 检查耗时较长, 需整夜连续监测 7 h, 受试者必须在技术人员在场的情况下在睡眠实验室过夜^[61]; b. 导联线多, 检查过程繁琐, 对人员、场地、设备等要求较高, 需要训练有素的技术人员和护士操作^[62]; c. 价格昂贵, 仪器资源缺乏, 导致预约等待时间长, 检查费用偏高; d. 需要在专业睡眠实验室中进行, 受试者出现“首夜效应”, 测量结果缺乏真实性^[63]。

2.3 家庭睡眠测试 (HSAT)

HSAT 提供了一种在家中诊断 OSA 的便利方法。这种测试主要监测呼吸气流、胸腹呼吸努力、血氧饱和度, 以及心率, 为医生提供关于患者夜间呼吸状况的关键数据, 被指南推荐用于疑似中重度 OSA 且不存在合并症的患者^[64]。HSAT 的主要优点是其便利性和成本效益, HSAT 不占用睡眠中心的床位, 患者更容易配合, 医疗费用更低, 要求的睡眠专科技术人员的工作量更低^[65]。由于以上优点, HSAT 在临床被广泛应用。

据研究表明, 15%~30% 的患者在进行 HAST 后仍无法明确诊断 OSA。HSAT 的无效检查主要原因包括导联脱落和数据丢失^[66]。即使 HAST 结果显示患者的 AHI 低于 5, 也不能完全排除 OSA 的可能性。对于这些 HAST 结果为阴性的疑似 OSA 患者, 通过 PSG 复测, 假阴性率高达 17%^[65, 67-68]。因此, 美国睡眠医师协会 (AASM) 在 2017 年的指南中建议, 对于单次 HSAT 结果阴性的疑似 OSA 患者, 应进一步进行 PSG 检查以明确诊断。

虽然 HSAT 具有成本低和方便的优点, 但由于其结果的不确定性和可能需要的复测, 它可能延长患者的就医周期, 增加疾病负担, 并降低患者对治疗的依从性^[69]。若临床医生能够早期识别出更可能产生阴性 HAST 结果的患者, 并直接推荐他们进行 PSG 检查, 将有助于减轻患者及医疗系统的负担。开发一个基于问诊和体格检查的 OSA 预测模型, 能有效帮助临床医生识别这部分患者, 对于降低 OSA 诊断和治疗的整体负担具有重要意义。

2.4 心肺耦合 (CPC)

CPC 是 2005 年由哈佛医学院 Thomas 等^[70]提出来的睡眠监测和评估新方法, 其主要原理是从单导联 ECG 信号中提取的 HRV 和 ECG 衍生呼吸信号 (ECG-derived respiration, EDR), 应用傅立叶变换技术计算二者耦合功率谱, 以定量的方法评价睡眠质量和筛选睡眠呼吸事件。CPC 功率谱包括高频耦合、低频耦合和极低频耦合带, 分别和稳定睡眠、不稳定睡眠及醒梦相关, 还可以分析出睡眠呼吸暂停事件并计算出基于 CPC 算法的 AHI 指数^[71]。通过这种技术, 可以在睡眠期间分析心肺间的耦合关系, 识别不同睡眠状态和相关疾病。CPC 技术通过测量和解析心电图周期与呼吸模式间的互动, 提供了深入理解睡眠过程及其病理变化的新途径。

CPC 技术在睡眠分析方面与 PSG 有所不同。CPC 并不依赖于传统的 NREM 睡眠分期, 而是将

睡眠分为浅睡、熟睡及醒/梦期。该技术能够检测出睡眠呼吸暂停事件, 包括阻塞性和中枢性暂停, 并基于 CPC 算法计算出 AHI。虽然 CPC 与 PSG 所用的报告模式和参数指标有区别, 但两者之间有着很强的相关性和很高的判断一致性^[72-74]。有研究通过对睡眠呼吸暂停患者与健康人群进行的睡眠数据比较, 发现 PSG 与 CPC 记录的睡眠数据吻合度超过 80%^[72-74]。2013 年 Harrington 等^[75]通过比较 PSG 及 CPC 对睡眠呼吸暂停病人睡眠质量的评估及对非持续 CPAP 治疗是否成功的研究, 表明 PSG 和 CPC 能区分患者是否患有 OSA, 且能区分 OSA 的严重程度。这些发现表明, CPC 在睡眠质量评估方面不仅与 PSG 具有一致性, 甚至在某些方面更具优势。

CPC 技术目前在评估儿童睡眠情况方面也得到了应用。例如, Guo 等^[76]和 Lee 等^[77]分别应用了 CPC 来评估儿童的睡眠呼吸暂停问题, 尽管这方面的准确性仍需进一步研究。同时, 研究人员通过模拟心脏和肺部感受器间的反馈调节机制, 探究这种反馈调节对心率变异性的影响。2012 年 Porta 等^[78]的研究通过模拟心肺生理过程, 为理解 HRV 的生成提供了新的见解。2021 年 Chen 等^[79]的研究则探讨了 OSA 与动脉硬化之间的关系及其对糖脂代谢的影响, 强调了心肺耦合技术在及时诊断 OSA 中的重要性。最近的一项研究由中国科学院大学和中国科学院健康科技研究所开展^[80], 探索了使用心肺特征自动检测睡眠周期交替模式和诊断睡眠相关病理的可能性。这项研究突显了结合 CPC 数据和机器学习算法的潜力, 为自动化诊断 OSA 开辟了新的视野。

虽然 CPC 技术优势明显, 但同时也存在若干缺陷^[81-82]: a. 与 PSG 相比, CPC 不能准确判读入睡时间; b. CPC 分析是基于正常窦性心律的心率变异度分析, 故心律失常患者不适用 CPC 进行监测; c. 无论是哪一种低频刺激, 只要导致觉醒, 均可增加低频耦合部分的能量, 从而可能影响 CPC 的睡眠呼吸紊乱指数 (respiratory disturbance index, RDI), 对睡眠结构分析产生影响; d. CPC 频谱具有显著的个体差异, 因此 CPC 分析无法提供判别睡眠质量好坏的特定阈值。

综上所述, CPC 技术在评估睡眠情况和相关病理方面的应用正在不断扩展, 它为我们提供了新的工具来理解和诊断睡眠相关问题, 但同时它应用于 OSA 时因为自身独特的诊断方式而存在较大的局

限性, 需要更进一步探索, 思考尝试多模态技术, 通过多种技术结合完善心肺耦合技术。

2.5 机器学习 (ML) 和人工智能 (AI) 算法

ML 和 AI 算法正在改变 OSA 的诊断方法, 此项技术通过分析大量睡眠数据, 有效辅助诊断和评估 OSA。而通过海量数据训练的 ML 模型能够处理来自 PSG 或 HSAT 的复杂数据, 识别出呼吸暂停和低通气事件, 甚至可以捕捉到传统方法可能忽略的细微模式^[83-84]。2003 年, Olson 等^[85]的研究侧重于使用传统临床信息和实验室测试来诊断 OSA, 为后续 ML 和 AI 技术在这一领域的应用奠定了基础。这项研究强调了全面理解 OSA 的重要性, 标志着 OSA 研究的一个重要转折点。2016 年, Sharma 等^[86]提出了一种基于单导联 ECG 的睡眠呼吸暂停检测算法, 运用了赫米特基函数, 展示了 ML 在广泛的医学数据分析中的应用。这一发展代表了 ML 和 AI 技术在 OSA 诊断领域的重要进步, 它通过引入人工神经网络的诊断模型, 展示了 AI 处理复杂医学数据的潜力, 这是从传统临床诊断到 AI 驱动诊断的一个显著转变。在 2020 年, Wang 等^[87]进一步拓展了 AI 在 OSA 诊断中的应用, 特别是在利用深度学习技术方面。其研究显示, 深度学习模型能有效识别高血压和 OSA 患者, 突显 AI 技术在提高筛查准确性和实现早期干预方面的巨大潜力。这些研究表明了 ML 和 AI 技术在 OSA 诊断领域的演进过程, 从初步的应用探索到深度学习和高级 AI 模型的发展, 标志着这一领域的显著进步和技术革新。

此后, AI 技术在开发预测 OSA 风险的模型方面显示出巨大潜力, 过去几年中, ML 和 AI 算法在 OSA 诊断领域取得了显著进展。2020 年, Chang 等^[88]提出了使用长短时记忆递归神经网络模型来分类不同睡眠呼吸模式的方法, 展示了深度学习在识别复杂睡眠模式方面的潜力, 毫无疑问这在 OSA 诊断中是一个关键挑战。同年, Shen 等^[89]通过使用卷积神经网络分析打鼾声, 展示了利用声音特征进行 OSA 非侵入性和简单诊断的可能性, 通过关注声音数据, 强调了 AI 在提供易于接受和对患者友好的诊断方法方面的潜力, 同时也将 OSA 检测范围扩展到临床环境之外。到了 2023 年, Shi 等^[90]开发了一种基于临床特征和问卷数据的 ML 模型, 用于预测成人 OSA 风险, 进一步强调了 ML 在健康风险评估中的应用价值, 有助于早期检测和预防性医疗策略。这些研究突显了 ML 和 AI 技术

在改善 OSA 诊断方法方面的潜力, 尤其在提供非侵入性、自动化和精准诊断方面的潜力。通过这些先进的 ML 和 AI 技术, 能够更有效地分析和解读大量复杂的睡眠数据, 从而为临床诊断提供更加精确和便捷的方法。

然而, ML 和 AI 在 OSA 诊断中的应用也面临一些挑战。这些挑战主要包括数据质量的依赖性、高级模型的解释性和透明度问题, 以及严格的临床验证和规范化的需求^[91]。因此, 尽管这些先进技术为 OSA 的诊断提供了新的视角和方法, 它们的应用应在保证数据质量和模型透明性的基础上谨慎进行。

2.6 影像学检查

在 OSA 的诊断中, 影像学检查提供了关键性的解剖结构信息, 帮助医生识别和评估可能导致气道阻塞的结构性问题。X 光片作为基本的影像学方法, 能够揭示颈部和头部的骨骼结构异常, 如颈椎排列、颌骨形状和大小等, 这对于理解气道开放性受到哪些骨骼结构因素影响至关重要^[92]。而计算机断层扫描 (computed tomography, CT) 以其三维成像的优势, 提供了对头部和颈部更为深入的结构性观察, 有助于评估如鼻窦、颅底异常和颌骨畸形等对气道阻塞的影响^[93]。磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 以高分辨率的软组织成像而显著, 可以详尽展现咽部、软腭等软组织结构, 特别适用于评估软组织变化与气道阻塞的相关性, 如软腭增厚或舌根下沉等^[94]。多排螺旋 CT 在动态评估上气道方面显示了独特价值, 它可以在不同呼吸阶段展示气道的变化, 进而帮助医生理解气道在睡眠期间的动态特性^[95]。此外, 锥形束 CT (cone beam computed tomography, CBCT) 特别适用于口腔颌面解剖结构的评估, 其精确的三维成像有助于评估上颌骨、下颌骨和牙齿排列对气道尺寸和形状的影响^[96]。

总而言之, 这些影像学技术通过从不同维度展现上气道的结构, 为 OSA 的诊断提供了全面而深入的视角。虽然影像学检查在 OSA 的诊断中变得越来越重要, 但图像质量可能受到运动伪影、噪声干扰以及患者体型和位置变化的影响, 从而降低诊断的准确性。因此, 尝试将多种成像技术结合使用将会是影像学检查方法的发展趋势, 然而, 多模态成像数据的整合和分析具有很高的技术复杂性, 任重道远。

2.7 声音检测

打鼾是导致OSA气道阻塞的最早且最主要的征兆之一，鼾声声音特征与呼吸暂停和低通气事件有关，因此可以通过捕捉和分析鼾声信号识别出与OSA相关的特定模式和特征。近年来，通过分析鼾声特征的声音检测技术作为一种非侵入性的诊断手段，在OSA的诊断中得到了探索和应用。

在利用声音检测技术诊断OSA的研究中，发现呼吸暂停后的打鼾和正常打鼾之间存在显著差异。基于这一发现，Mesquita等^[97]提出通过研究不规则打鼾来检测呼吸暂停，利用打鼾的声学参数对OSA的严重程度进行筛查。Karci等^[98]提出了通过分析呼吸暂停后期的打鼾来诊断OSA的方法，这种方法通过数据分段来排除安静片段，降低分类复杂性，提高OSA的检测精度。de Silva等^[99]考虑到不同性别个体的上呼吸道属性差异，提出了一种基于打鼾声的多参数OSA筛选方法，并考虑了性别差异。同时还有研究还表明，在OSA诊断研究中，需要手动划分数据以得到孤立的打鼾事件，而发展自动化的打鼾分析方法能提供更长时间睡眠的客观信息。为了解决这一难题，Jané等^[100]提出了一种新的自动打鼾检测和分析系统，用于监测整晚的打鼾，以评估打鼾的声学特性与AHI的关联，并根据AHI对打鼾对象进行分类。

总体而言，上述研究在利用声音检测技术诊断OSA方面取得了重要进展，不仅提高了对打鼾和呼吸暂停的理解，也为开发更有效的诊断工具奠定了基础。在使用声音检测技术诊断OSA方面，除了打鼾声之外，呼吸声也是重要的信息来源。

Moussavi等^[101]研究表明，OSA与相关的呼吸声学特性之间存在关联。通过计算每个呼吸阶段的声音功率谱能量及其相位，他们发现OSA患者通常上呼吸道较为狭窄，这一发现与影像学研究成果相吻合，为诊断OSA提供了新的途径。Soltanzadeh等^[102]也研究了呼吸声音与呼吸暂停之间的关系，分析了呼吸声音在从清醒到睡眠状态的过程中发生的频谱和高阶统计量特性(HOS)的变化，发现这些变化与OSA的严重程度相关，并发现这些特征在OSA患者从清醒进入睡眠状态时的变化最为明显，而在非OSA患者中并未观察到此类显著变化。

综上所述，通过对打鼾和呼吸声音的细致分析，研究人员能够提取出与OSA相关的重要信息，通过分析打鼾和呼吸声音的特定特征，可以为OSA的诊断提供重要的信息。这些研究不仅提高了我们对OSA病理特征的理解，也为开发新型的、基于声音分析的OSA诊断工具提供了科学依据。然而在实际情况中，环境中的背景噪声，如交通噪音、电视声等，会干扰睡眠时记录的声音数据。患者的体内噪声，如心跳、胃肠运动等也会对声音检测产生影响。准确定位呼吸声源和其他声源并进行分离是一个复杂的问题，如果患者有多个呼吸声源(如鼻腔、口腔)，分离各个声源的信号在未来也是一个需要重视的技术难点。总体而言，声音检测技术在诊断OSA方面具有重要的应用潜力，但仍需进一步的研究和验证，以确保其准确性和可靠性，并与现有的诊断标准相协调。

上述各种OSA诊断技术的优缺点比较如表3所示。

Table 3 Comparison of the advantages and disadvantages of diagnostic technologies for OSA

表3 OSA的诊断技术优缺点比较

诊断技术	优点	缺点
标准化问卷及Epworth嗜睡评分 (ESS)	简单快捷，易于广泛应用 ^[54]	结果依赖患者主观报告，可能有偏差 ^[53]
多导睡眠监测 (PSG)	全面监测，提供睡眠各阶段的详尽数据 ^[57]	需在睡眠实验室进行，成本高，可能影响患者自然睡 ^[62]
家庭睡眠测试 (HSAT)	方便、在家测试，成本相对低 ^[65]	数据不如PSG全面，可能漏检轻微或复杂案例 ^[66]
心肺耦合 (CPC)	提供睡眠稳定性和结构的新见解 ^[72-74]	对设备和分析方法有特定要求，且标准化程度不如PSG ^[81-82]
机器学习 (ML) 和人工智能 (AI) 算法	可以处理大量数据，揭示复杂模式 ^[83-84]	需要高质量的数据集训练，解释模型决策可能具挑战性 ^[91]
影像学检查	提供气道结构的详细图像 ^[92]	通常不反映患者睡眠时的实际情况，成本较高 ^[92]
声音检测	非侵入性，可长期在家监测 ^[97]	可能受环境噪音干扰，需要进一步分析以确定诊断 ^[101]

同时, 为了直观地了解各项 OSA 诊断技术的有效性, 本文通过整理相关文献并做出统计^[16-18, 53-54, 61-63, 65, 67-68, 72-74, 81-84, 90, 92-93, 97-99, 103], 对各项 OSA 诊断技术的准确率、灵敏度和特异性进行

了比较, 并绘制了条形图(图1), 作为“金标准”的 PSG, 其准确率、灵敏度和特异性均最高; 而 ML 和 AI 算法的三项指标都在 90% 以上, 超过了传统的 CPC 和 HAST, 预示了其巨大的潜力。

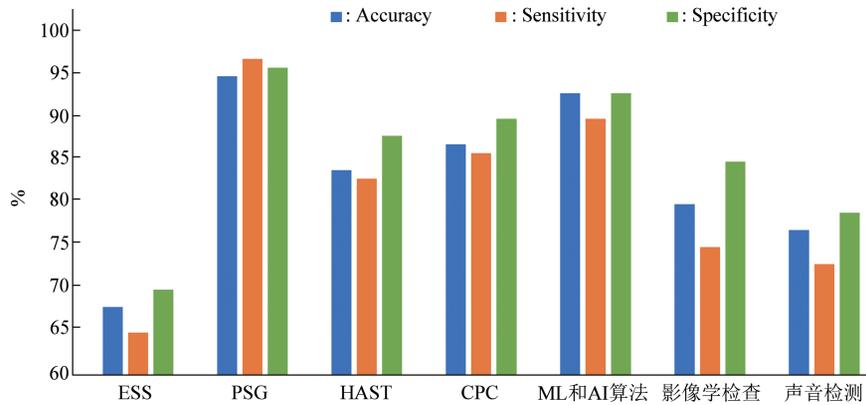


Fig. 1 Comparison of accuracy, sensitivity and specificity of various diagnostic technologies for OSA

图1 各项OSA诊断技术的准确率、灵敏度和特异性对比图

3 结论与展望

OSA 是最常见的睡眠呼吸障碍, 是高血压、糖尿病、冠心病、中风、心律不齐等高风险慢性疾病的独立危险因素, 具有潜在的致命性, 威胁着全球数亿人的生命健康。然而, OSA 的诊断率不足 20%, 在中国尤为严重, 严重阻碍了 OSA 患者的有效诊治和精细化管理。因此, OSA 的严重程度评估参数和诊断技术对于 OSA 的准确评估, 及早介入治疗非常关键。本文对 OSA 的严重程度评估参数与诊断技术进行了综述, 系统介绍了 AHI、AH%、LSpO₂、HRV、ODI 和生物标志物等 OSA 严重程度评估参数, 以及 PSG、HSAT、CPC、ML 与 AI、标准化问卷、ESS、影像学检查和声音检测等 OSA 诊断技术, 并对它们的优缺点进行了综合对比。

需要认识到, 每一种 OSA 严重程度评估参数都有其独特的优势和局限性。例如: AHI 是评估 OSA 严重度的标准参数, 但它不能单独反映患者的日间症状或生活质量影响; HRV 和 LSpO₂ 提供了关于患者心血管风险和夜间低氧血症的宝贵信息, 然而这些数据无法揭示上气道的解剖学阻塞情况; 此外, 影像学检查如 CT 和 MRI 能够提供关于患者气道结构的详细图像, 但无法在患者睡眠时持续监测其呼吸模式。同样, 每一种 OSA 诊断技术也存在其独特的优势和局限性。例如, PSG 作为目

前 OSA 诊断的金标准, 测量参数非常全面, 其准确率、灵敏度和特异性更是分别达到了 95%、97% 和 96%, 远远优于其他诊断技术, 但存在耗时长、导联过多、操作繁琐、需在专业睡眠实验室中进行检测等缺点。HSAT 作为 PSG 的一个精简且可在家操作的版本, 为 OSA 患者提供了一种便利且经济的诊断选择。近期研究显示, 大约 80% 的无并发症 OSA 患者能够通过 HSAT 得到准确的诊断。然而, HSAT 的阴性结果并不意味着可以完全排除 OSA 的疑虑, 因为在 HSAT 呈阴性的患者中有高达 65% 的人在随后进行的 PSG 中被确诊为 OSA 阳性, 这表明 HSAT 在进行 OSA 诊断时具有较大的不确定性^[103]。CPC 技术以其仅依赖 ECG 信号的简化检测方式, 为 OSA 的诊断提供了一种便捷途径。有研究揭示, 基于 CPC 分析得出的 AHI 与通过 PSG 手动评分的 AHI 存在显著相关性。研究同时指出, 若直接采用 PSG 的标准, CPC 可能会错过一些 OSA 的诊断, 因此有必要为 OSA 诊断提出新的基于 CPC 的 AHI 临界值, 研究表明, 当 CPC 的 AHI 临界值设定为 9.1 次/h 时, 诊断能够实现 100% 敏感性以及 93.63% 的特异性^[72]。所以使用 CPC 的简单诊断方式可能是标准 PSG 的替代方案, 但是 CPC 在进行 OSA 诊断时存在不能准确判读入睡时间、个体差异显著等缺点。此外, 文化、语言和教育水平的差异也可能影响标准化问卷和 ESS 评分的准确

性。由此可见, 单个评估参数或诊断方法不能提供 OSA 全面的临床画面。

展望未来, 多模态融合、跨学科的综合研究、个性化诊疗模式的构建以及高新技术在临床应用中的推广将成为 OSA 评估与诊断领域的发展趋势^[104]。未来的研究应集中在优化上述技术的组合使用, 以及在现有技术的基础上探索新的诊断方法^[105]。例如, 整合 PSG、HSAT 和生物标志物数据来开发新的 ML 模型, 以提高诊断的准确性和效率。此外, 研究者应继续探索非侵入性的诊断工具, 如通过可穿戴设备进行的长期监测和声音分析技术, 以及利用最新的影像学技术来更好地理解 OSA 的解剖学和生理学基础。对于现有诊断方法的局限性, 如文化和教育背景对问卷和 ESS 评分的影响, 也需要进一步的研究和改进。在实际临床实践中, 首先可以使用简便的标准化问卷和 ESS 评分作为初筛工具, 以识别高风险患者群体。对于筛查结果表明高风险的患者, 可以进一步使用 HSAT 或 PSG 进行详细的睡眠模式评估。而对于那些呈现出异常的患者, 尤其是在 HSAT 中无法明确诊断的情况下, 影像学检查可以进一步用来评估患者的气道解剖结构, 特别是在考虑手术治疗时。此外, 声音检测技术可以作为一个非侵入性的持续监测工具, 用于长期跟踪患者的症状变化和治疗响应。

参 考 文 献

- [1] Patel S R. Obstructive sleep apnea. *Ann Intern Med*, 2019, **171**(11): ITC81-ITC96
- [2] Gottlieb D J, Punjabi N M. Diagnosis and management of obstructive sleep apnea: a review. *JAMA*, 2020, **323**(14): 1389-1400
- [3] Patil S P, Ayappa I A, Caples S M, *et al.* Treatment of adult obstructive sleep apnea with positive airway pressure: an American academy of sleep medicine clinical practice guideline. *J Clin Sleep Med*, 2019, **15**(2): 335-343
- [4] Panahi L, Udeani G, Ho S, *et al.* Review of the management of obstructive sleep apnea and pharmacological symptom management. *Medicina: Kaunas*, 2021, **57**(11): 1173
- [5] 苏琳凡, 肖毅. 睡眠呼吸障碍年度进展 2022. *中华结核和呼吸杂志*, 2023, **46**(2): 182-186
Su L F, Xiao Y. *Chin J Tuberc Respir Dis*, 2023, **46**(2): 182-186
- [6] Quinlan C M, Otero H, Tapia I E. Upper airway visualization in pediatric obstructive sleep apnea. *Paediatr Respir Rev*, 2019, **32**: 48-54
- [7] Senaratna C V, Perret J L, Lodge C J, *et al.* Prevalence of obstructive sleep apnea in the general population: a systematic review. *Sleep Med Rev*, 2017, **34**: 70-81
- [8] Sateia M J. International classification of sleep disorders-third edition: highlights and modifications. *Chest*, 2014, **146**(5): 1387-1394
- [9] Benjafield A V, Ayas N T, Eastwood P R, *et al.* Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea: a literature-based analysis. *Lancet Respir Med*, 2019, **7**(8): 687-698
- [10] 苏小凤, 刘霖, 仲琳, 等. 中国阻塞性睡眠呼吸暂停综合征患病率的 Meta 分析. *中国循证医学杂志*, 2021, **21**(10): 1187-1194
Su X F, Liu L, Zhong L, *et al.* *Chin J Evid Based Med*, 2021, **21**(10): 1187-1194
- [11] Santilli M, Manciocchi E, D'Addazio G, *et al.* Prevalence of obstructive sleep apnea syndrome: a single-center retrospective study. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, **18**(19): 10277
- [12] Ng S S S, Wong V W S, Wong G L H, *et al.* Continuous positive airway pressure does not improve nonalcoholic fatty liver disease in patients with obstructive sleep apnea. A randomized clinical trial. *Am J Respir Crit Care Med*, 2021, **203**(4): 493-501
- [13] Trzepizur W, Blanchard M, Ganem T, *et al.* Sleep apnea-specific hypoxic burden, symptom subtypes, and risk of cardiovascular events and all-cause mortality. *Am J Respir Crit Care Med*, 2022, **205**(1): 108-117
- [14] Lang C J, Appleton S L, Vakulin A, *et al.* Associations of undiagnosed obstructive sleep apnea and excessive daytime sleepiness with depression: an Australian population study. *J Clin Sleep Med*, 2017, **13**(4): 575-582
- [15] 王宏艳. 计算流体力学在阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者上气道阻塞平面评估中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
Wang H Y. *Application of Computational Fluid Dynamics in The Evaluation of Upper Airway Obstruction Level in Patients With Obstructive Sleep Apnea Hypopnea Syndrome*[D]. Changchun: Jilin University, 2022
- [16] Singh M, Liao P, Kobah S, *et al.* Proportion of surgical patients with undiagnosed obstructive sleep apnoea. *Br J Anaesth*, 2013, **110**(4): 629-636
- [17] Tan A, Cheung Y Y, Yin J, *et al.* Prevalence of sleep-disordered breathing in a multiethnic Asian population in Singapore: a community-based study. *Respirology*, 2016, **21**(5): 943-950
- [18] Zavanelli N, Kim H, Kim J, *et al.* At-home wireless monitoring of acute hemodynamic disturbances to detect sleep apnea and sleep stages *via* a soft sternal patch. *Sci Adv*, 2021, **7**(52): eabl4146
- [19] Bertelli F, Suehs C M, Mallet J P, *et al.* Apnoea-hypopnoea indices determined *via* continuous positive airway pressure (AHI-CPAP_{flow}) versus those determined by polysomnography (AHI-PSG_{gold}): a protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 2021, **11**(5): e044499
- [20] Kong D, Hu C, Zhu H. Oxygen desaturation index, lowest arterial oxygen saturation and time spent below 90% oxygen saturation as diagnostic markers for obstructive sleep apnea. *Am J Transl Res*, 2023, **15**(5): 3597-3606
- [21] Veugen C C A F M, Teunissen E M, den Otter L A S, *et al.* Prediction of obstructive sleep apnea: comparative performance of three screening instruments on the apnea-hypopnea index and the

- oxygen desaturation index. *Sleep Breath*, 2021, **25**(3): 1267-1275
- [22] Platon A L, Stelea C G, Boișteanu O, *et al.* An update on obstructive sleep apnea syndrome-a literature review. *Medicina: Kaunas*, 2023, **59**(8): 1459
- [23] Cederberg K L J, Hanif U, Peris Sempere V, *et al.* Proteomic biomarkers of the apnea hypopnea index and obstructive sleep apnea: insights into the pathophysiology of presence, severity, and treatment response. *Int J Mol Sci*, 2022, **23**(14): 7983
- [24] 马长秀. 呼吸暂停低通气持续时间在阻塞性睡眠呼吸暂停症状及严重程度评价中的意义[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2021
- Ma C X. Significance of Duration of Apnea Hypopnea in The Evaluation of Symptoms and Severity of Obstructive Sleep Apnea [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2021
- [25] Varghese L, Rebekah G, N P, *et al.* Oxygen desaturation index as alternative parameter in screening patients with severe obstructive sleep apnea. *Sleep Sci*, 2022, **15**(spec 1): 224-228
- [26] Oksenberg A, Leppänen T. Duration of respiratory events in obstructive sleep apnea: in search of paradoxical results. *Sleep Med Rev*, 2023, **68**: 101728
- [27] Tan L, Li T, Luo L, *et al.* The characteristics of sleep apnea in tibetans and Han long-term high altitude residents. *Nat Sci Sleep*, 2022, **14**: 1533-1544
- [28] Semler M W, Casey J D, Lloyd B D, *et al.* Oxygen-saturation targets for critically ill adults receiving mechanical ventilation. *N Engl J Med*, 2022, **387**(19): 1759-1769
- [29] Wen Y, Zhang H, Tang Y, *et al.* Research on the association between obstructive sleep apnea hypopnea syndrome complicated with coronary heart disease and inflammatory factors, glycolipid metabolism, obesity, and insulin resistance. *Front Endocrinol*, 2022, **13**: 854142
- [30] Hao L, Peng K, Bian Q, *et al.* Assessing the contribution of mild high-altitude exposure to obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome comorbidities. *Front Neurol*, 2023, **14**: 1191233
- [31] Pattipati M, Gudavalli G, Zin M, *et al.* Continuous positive airway pressure vs mandibular advancement devices in the treatment of obstructive sleep apnea: an updated systematic review and meta-analysis. *Cureus*, 2022, **14**(1): e21759
- [32] He J, Wang C, Li W. Laryngopharyngeal reflux in obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome: an updated meta-analysis. *Nat Sci Sleep*, 2022, **14**: 2189-2201
- [33] Liu J, Huang R, Xiao Y, *et al.* ApEn for assessing hypoxemia severity in obstructive sleep apnea hypopnea syndrome patients. *Sleep Breath*, 2020, **24**(4): 1481-1486
- [34] Uzair A, Waseem M, Bin Shahid A, *et al.* Correlation between body mass index and apnea-hypopnea index or nadir oxygen saturation levels in patients with obstructive sleep apnea. *Cureus*, 2024, **16**(4): e59066
- [35] Ucak S, Dissanayake H U, Sutherland K, *et al.* Heart rate variability and obstructive sleep apnea: current perspectives and novel technologies. *J Sleep Res*, 2021, **30**(4): e13274
- [36] Shin J H, Song M J, Kim J H. Acute effect of positive airway pressure on heart rate variability in obstructive sleep apnea. *J Clin Med*, 2023, **12**(24): 7606
- [37] Qin H, Steenbergen N, Glos M, *et al.* The different facets of heart rate variability in obstructive sleep apnea. *Front Psychiatry*, 2021, **12**: 642333
- [38] Zhang B, Zhao M, Zhang X, *et al.* The value of circadian heart rate variability for the estimation of obstructive sleep apnea severity in adult males. *Sleep Breath*, 2024, **28**(3): 1105-1118
- [39] Efazati N, Rahimi B, Mirdamadi M, *et al.* Changes in heart rate variability (HRV) in patients with severe and moderate obstructive sleep apnea before and after acute CPAP therapy during nocturnal polysomnography. *Sleep Sci*, 2020, **13**(2): 97-102
- [40] Zaffanello M, Ferrante G, Zoccante L, *et al.* Predictive power of oxygen desaturation index (ODI) and apnea-hypopnea index (AHI) in detecting long-term neurocognitive and psychosocial outcomes of sleep-disordered breathing in children: a questionnaire-based study. *J Clin Med*, 2023, **12**(9): 3060
- [41] Rashid N H, Zaghi S, Scapuccin M, *et al.* The value of oxygen desaturation index for diagnosing obstructive sleep apnea: a systematic review. *Laryngoscope*, 2021, **131**(2): 440-447
- [42] Malhotra A, Ayappa I, Ayas N, *et al.* Metrics of sleep apnea severity: beyond the apnea-hypopnea index. *Sleep*, 2021, **44**(7): zsab030
- [43] Wang L, Ou Q, Shan G, *et al.* Independent association between oxygen desaturation index and cardiovascular disease in non-sleepy sleep-disordered breathing subtype: a Chinese community-based study. *Nat Sci Sleep*, 2022, **14**: 1397-1406
- [44] Wang Y, Fietze I, Salanitro M, *et al.* Comparison of the value of the STOP-BANG questionnaire with oxygen desaturation index in screening obstructive sleep apnea in Germany. *Sleep Breath*, 2023, **27**(4): 1315-1323
- [45] Tschoop S, Borner U, Caversaccio M, *et al.* Long-term night-to-night variability of sleep-disordered breathing using a radar-based home sleep apnea test: a prospective cohort study. *J Clin Sleep Med*, 2024, **20**(7): 1079-1086
- [46] Zhang Y, Wu X, Sun Q, *et al.* Biomarkers and dynamic cerebral autoregulation of obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. *Nat Sci Sleep*, 2021, **13**: 2019-2028
- [47] Lee B T, Ahmed F A, Hamm L L, *et al.* Association of C-reactive protein, tumor necrosis factor-alpha, and interleukin-6 with chronic kidney disease. *BMC Nephrol*, 2015, **16**: 77
- [48] Cao Y, Song Y, Ning P, *et al.* Association between tumor necrosis factor alpha and obstructive sleep apnea in adults: a meta-analysis update. *BMC Pulm Med*, 2020, **20**(1): 215
- [49] El-Kattan M M, Rashed L A, Shazly S R, *et al.* Relation of serum level of tumor necrosis factor-alpha to cognitive functions in patients with Parkinson's disease. *Egypt J Neurol Psychiatry Neurosurg*, 2022, **58**(1): 25
- [50] Wu Q, Ma X, Wang Y, *et al.* Efficacy of continuous positive airway pressure on NT-pro-BNP in obstructive sleep apnea patients: a meta-analysis. *BMC Pulm Med*, 2023, **23**(1): 260
- [51] Santamaria-Martos F, Benítez I, Ortega F, *et al.* Circulating microRNA profile as a potential biomarker for obstructive sleep

- apnea diagnosis. *Sci Rep*, 2019, **9**(1): 13456
- [52] Kong W, Zang Y. Alzheimer's disease biomarkers in patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome and effects of surgery: a prospective cohort study. *Front Aging Neurosci*, 2022, **14**: 959472
- [53] Godoy P H, dos Santos Nucera A P C, de Paiva Colcher A, *et al.* Screening for obstructive sleep apnea in elderly: performance of the Berlin and STOP-Bang questionnaires and the Epworth Sleepiness Scale using polysomnography as gold standard. *Sleep Sci*, 2022, **15**(S01): 203-208
- [54] Sun D S, Xu S K, Wang L, *et al.* The weighted combination of the epworth sleepiness scale and the STOP-Bang questionnaire improved the predictive value of for OSAHS in hypertensive patients. *Int J Gen Med*, 2022, **15**: 6909-6915
- [55] 梁译尹. 成人阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征危险因素的相关性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2022
Liang Y Y. Correlation Study on Risk Factors of Adult Obstructive Sleep Apnea Hypopnea Syndrome[D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2022
- [56] Rundo J V. Obstructive sleep apnea basics. *Cleve Clin J Med*, 2019, **86**(9 suppl 1): 2-9
- [57] 何权瀛, 王莞尔. 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征诊治指南(基层版). *中国呼吸与危重监护杂志*, 2015, **14**(4): 398-405
He Q Y, Wang W E. *Chin J Respir Crit Care Med*, 2015, **14**(4): 398-405
- [58] 冉谋. 高血压合并阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者血压节律与心脏结构和功能的关系[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2022
Ran M. Relationship Between Blood Pressure Rhythm and Cardiac Structure and Function in Patients With Hypertension Complicated With Obstructive Sleep Apnea Hypopnea Syndrome [D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2022
- [59] 仵晨雨. 阻塞性睡眠呼吸暂停与非酒精性脂肪性肝病相关性分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2022
Wu C Y. Correlation Analysis Between Obstructive Sleep Apnea and Nonalcoholic Fatty Liver Disease[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2022
- [60] Röcken J, Schumann D M, Herrmann M J, *et al.* Peripheral arterial tonometry versus polysomnography in suspected obstructive sleep apnoea. *Eur J Med Res*, 2023, **28**(1): 251
- [61] Chinoy E D, Cuellar J A, Huwa K E, *et al.* Performance of seven consumer sleep-tracking devices compared with polysomnography. *Sleep*, 2021, **44**(5): zsa291
- [62] 雷培良, 朱庆文, 蒋新霞. 《便携式睡眠监测在阻塞性睡眠呼吸暂停诊疗中的临床应用专家共识(2021)》要点解读. *河北医科大学学报*, 2022, **43**(11): 1241-1243, 1249
Lei P L, Zhu Q W, Jiang X X. *J Hebei Med Univ*, 2022, **43**(11): 1241-1243, 1249
- [63] Kukwa W, Migacz E, LIS T, *et al.* The effect of in-lab polysomnography and home sleep polygraphy on sleep position. *Sleep Breath*, 2021, **25**(1): 251-255
- [64] 洪培川. 门诊患者阻塞性睡眠呼吸暂停患病预测模型研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2022
Hong P C. Study on Prediction Model of Obstructive Sleep Apnea in Outpatients[D]. Shantou: Shantou University, 2022
- [65] Pivetta B, Chen L, Nagappa M, *et al.* Use and performance of the STOP-Bang questionnaire for obstructive sleep apnea screening across geographic regions: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open*, 2021, **4**(3): e211009
- [66] Zancanella E, do Prado L F, de Carvalho L B, *et al.* Home sleep apnea testing: an accuracy study. *Schlaf Atmung*, 2022, **26**(1): 117-123
- [67] Portier F, Portmann A, Czernichow P, *et al.* Evaluation of home versus laboratory polysomnography in the diagnosis of sleep apnea syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000, **162**(3 Pt 1): 814-818
- [68] 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 Clin Sleep Med*, 2007, **3**(7): 737-747
- [69] Massie F, Van Pee B, Bergmann J. Correlations between home sleep apnea tests and polysomnography outcomes do not fully reflect the diagnostic accuracy of these tests. *J Clin Sleep Med*, 2022, **18**(3): 871-876
- [70] Thomas R J, Mietus J E, Peng C K, *et al.* An electrocardiogram-based technique to assess cardiopulmonary coupling during sleep. *Sleep*, 2005, **28**(9): 1151-1161
- [71] Mendonça F, Mostafa S S, Morgado-Dias F, *et al.* A method based on cardiopulmonary coupling analysis for sleep quality assessment with FPGA implementation. *Artif Intell Med*, 2021, **112**: 102019
- [72] Seo M Y, Yoo J, Hwang S J, *et al.* Diagnosis of obstructive sleep apnea in adults using the cardiopulmonary coupling-derived software-generated apnea-hypopnea index. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2021, **14**(4): 424-426
- [73] Zhai F, Li Y, Chen J. Comparison of polysomnography, sleep apnea screening test and cardiopulmonary coupling in the diagnosis of pediatric obstructive sleep apnea syndrome. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2021, **149**: 110867
- [74] Barber C, Chopra S, Holzer R, *et al.* 0948 End-to-End utility of the cardiopulmonary coupling sleep spectrogram in sleep medicine. *Sleep*, 2023, **46**(Supplement_1): A417-A418
- [75] Harrington J, Schramm P J, Davies C R, *et al.* An electrocardiogram-based analysis evaluating sleep quality in patients with obstructive sleep apnea. *Sleep Breath*, 2013, **17**(3): 1071-1078
- [76] Guo D, Peng C K, Wu H L, *et al.* ECG-derived cardiopulmonary analysis of pediatric sleep-disordered breathing. *Sleep Med*, 2011, **12**(4): 384-389
- [77] Lee S H, Choi J H, Park I H, *et al.* Measuring sleep quality after adenotonsillectomy in pediatric sleep apnea. *Laryngoscope*, 2012, **122**(9): 2115-2121
- [78] Porta A, Bassani T, Bari V, *et al.* Model-based assessment of

- baroreflex and cardiopulmonary couplings during graded head-up tilt. *Comput Biol Med*, 2012, **42**(3): 298-305
- [79] Chen J, Lin S, Zeng Y. An update on obstructive sleep apnea for atherosclerosis: mechanism, diagnosis, and treatment. *Front Cardiovasc Med*, 2021, **8**: 647071
- [80] Cui J, Huang Z, Wu J. Automatic detection of the cyclic alternating pattern of sleep and diagnosis of sleep-related pathologies based on cardiopulmonary resonance indices. *Sensors*, 2022, **22**(6): 2225
- [81] 莫晓云, 刘建红. 心肺耦合技术在睡眠呼吸障碍疾病诊断中的应用. *现代医学与健康研究电子杂志*, 2020, **4**(6): 105-108
Mo X Y, Liu J H. *Mod Med Health Res*, 2020, **4**(6): 105-108
- [82] 宋璇. 心肺耦合分析技术对睡眠障碍诊断的可靠性研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2020
Song X. Study on The Reliability of Cardiopulmonary Coupling Analysis Technology in The Diagnosis of Sleep Disorders[D]. Hefei: Anhui Medical University, 2020
- [83] Feng H W, Jiang T, Zhang H P, *et al.* Comparisons of thyroid hormone, intelligence, attention, and quality of life in children with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome before and after endoscopic adenoidectomy. *Biomed Res Int*, 2015, **2015**: 523716
- [84] Cheng S, Wang C, Yue K, *et al.* Automated sleep apnea detection in snoring signal using long short-term memory neural networks. *Biomed Signal Process Contr*, 2022, **71**: 103238
- [85] Olson E J, Moore W R, Morgenthaler T I, *et al.* Obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. *Mayo Clin Proc*, 2003, **78**(12): 1545-1552
- [86] Sharma H, Sharma K K. An algorithm for sleep apnea detection from single-lead ECG using Hermite basis functions. *Comput Biol Med*, 2016, **77**: 116-124
- [87] Xiong X, Xiang Y, Shao D G, *et al.* Deep forest-based hypertension and OSAHS patient screening model. *Int J Inf Commun Technol*, 2020, **16**(2): 112
- [88] Chang H C, Wu H T, Huang P C, *et al.* Portable sleep apnea syndrome screening and event detection using long short-term memory recurrent neural network. *Sensors*, 2020, **20**(21): E6067
- [89] Shen F, Cheng S, Li Z, *et al.* Detection of snore from OSAHS patients based on deep learning. *J Healthc Eng*, 2020, **2020**: 8864863
- [90] Shi Y, Zhang Y, Cao Z, *et al.* Application and interpretation of machine learning models in predicting the risk of severe obstructive sleep apnea in adults. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2023, **23**(1): 230
- [91] Gutiérrez-Tobal G C, Álvarez D, Kheirandish-Goza L, *et al.* Reliability of machine learning to diagnose pediatric obstructive sleep apnea: systematic review and meta-analysis. *Pediatr Pulmonol*, 2022, **57**(8): 1931-1943
- [92] Bezerra P C, do Prado M, Gaio E, *et al.* The use of dual-energy X-ray absorptiometry in the evaluation of obesity in women with obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2013, **270**(4): 1539-1545
- [93] Liu C N, Kang K T, Yao C J, *et al.* Changes in cone-beam computed tomography pediatric airway measurements after adenotonsillectomy in patients with OSA. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2022, **148**(7): 621-629
- [94] Ghaderi S, Mohammadi S, Mohammadi M. Obstructive sleep apnea and attention deficits: a systematic review of magnetic resonance imaging biomarkers and neuropsychological assessments. *Brain Behav*, 2023, **13**(11): e3262
- [95] 苏筱芮, 张博薇, 栗丽, 等. 128层螺旋CT对OSAHS患者软腭、硬腭及下颌骨的评估. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2015, **29**(19): 1723-1726
Su X, Zhang B, Su L, *et al.* *Journal of Clinical Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery*, 2015, **29**(19): 1723-1726
- [96] Gurgel M L, Junior C C, Cevidanes L H S, *et al.* Methodological parameters for upper airway assessment by cone-beam computed tomography in adults with obstructive sleep apnea: a systematic review of the literature and meta-analysis. *Sleep Breath*, 2023, **27**(1): 1-30
- [97] Mesquita J, Fiz J A, Sola-Soler J, *et al.* Normal non-regular snores as a tool for screening SAHS severity. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011, **2011**(10): 3197-3200
- [98] Karci E, Dogrusoz Y S, Ciloglu T. Detection of post apnea sounds and apnea periods from sleep sounds. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011, **2011**(12): 6075-6078
- [99] de Silva S, Abeyratne U, Hukins C. Gender dependant snore sound based multi feature obstructive sleep apnea screening method. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012, **2012**: 6353-6356
- [100] Jané R, Fiz J A, Solà -Soler J, *et al.* Snoring analysis for the screening of Sleep Apnea Hypopnea Syndrome with a single-channel device developed using polysomnographic and snoring databases. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011, **2011**(12): 8331-8333
- [101] Moussavi Z, Elwali A, Soltanzadeh R, *et al.* Breathing sounds characteristics correlate with structural changes of upper airway due to obstructive sleep apnea. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2015, **2015**(10): 5956-5959
- [102] Soltanzadeh R, Moussavi Z. Breathing sounds spectral and higher order statistics changes from wakefulness to sleep in apneic and non-apneic people. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2014, **2014**(8): 4228-4231
- [103] Kholoane L, Baran C, Gandhi Z J, *et al.* Home sleep apnea testing: how far did we come with diagnosing and treating sleep apnea at home?. *Chest*, 2023, **164**(4): A6295
- [104] Piccirillo F, Crispino S P, Buzzelli L, *et al.* A state-of-the-art review on sleep apnea syndrome and heart failure. *Am J Cardiol*, 2023, **195**: 57-69
- [105] Zeng J, He J, Chen M, *et al.* Association between mean platelet volume and obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome: a systemic review and meta-analysis. *PLoS One*, 2024, **19**(2): e0297815

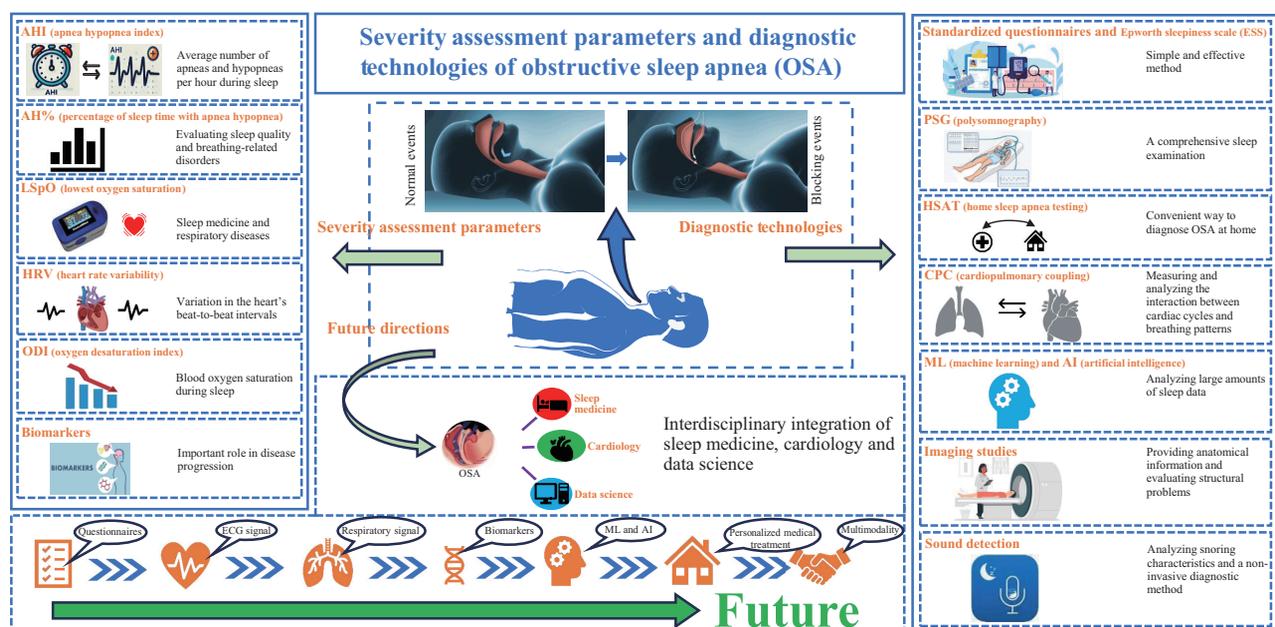
Severity Assessment Parameters and Diagnostic Technologies of Obstructive Sleep Apnea*

FU Zhuo-Zhi¹⁾, WU Ya-Cen²⁾, LI Mei-Xi²⁾, YIN Ping-Ping²⁾, LIN Hai-Jun¹⁾,
ZHANG Fu^{1)**}, YANG Yu-Xiang^{1)**}

¹⁾College of Engineering and Design, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

²⁾Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Hunan Normal University, Changsha 410005, China)

Graphical abstract



Abstract Obstructive sleep apnea (OSA) is an increasingly widespread sleep-breathing disordered disease, and is an independent risk factor for many high-risk chronic diseases such as hypertension, coronary heart disease, stroke, arrhythmias and diabetes, which is potentially fatal. The key to the prevention and treatment of OSA is early diagnosis and treatment, so the assessment and diagnostic technologies of OSA have become a research hotspot. This paper reviews the research progresses of severity assessment parameters and diagnostic technologies of OSA, and discusses their future development trends. In terms of severity assessment parameters of OSA, apnea hypopnea index (AHI), as the gold standard, together with the percentage of duration of apnea hypopnea (AH%), lowest oxygen saturation (LSpO₂), heart rate variability (HRV), oxygen desaturation index (ODI) and the

* This work was supported by grants from The National Natural Science Foundation of China (32171366, 32201134) and Hunan Provincial Natural Science Foundation of China (2024JJ5271).

** Corresponding author.

ZHANG Fu. Tel: 86-731-88872543, E-mail: fuzhang@hunnu.edu.cn

YANG Yu-Xiang. Tel: 86-731-88872543, E-mail: yuxiang.yang@hunnu.edu.cn

Received: May 16, 2024 Accepted: July 10, 2024

emerging biomarkers, constitute a multi-dimensional evaluation system. Specifically, the AHI, which measures the frequency of sleep respiratory events per hour, does not fully reflect the patients' overall sleep quality or the extent of their daytime functional impairments. To address this limitation, the AH%, which measures the proportion of the entire sleep cycle affected by apneas and hypopneas, deepens our understanding of the impact on sleep quality. The LSpO₂ plays a critical role in highlighting the potential severe hypoxic episodes during sleep, while the HRV offers a different perspective by analyzing the fluctuations in heart rate thereby revealing the activity of the autonomic nervous system. The ODI provides a direct and objective measure of patients' nocturnal oxygenation stability by calculating the number of desaturation events per hour, and the biomarkers offers novel insights into the diagnosis and management of OSA, and fosters the development of more precise and tailored OSA therapeutic strategies. In terms of diagnostic techniques of OSA, the standardized questionnaire and Epworth sleepiness scale (ESS) is a simple and effective method for preliminary screening of OSA, and the polysomnography (PSG) which is based on recording multiple physiological signals stands for gold standard, but it has limitations of complex operations, high costs and inconvenience. As a convenient alternative, the home sleep apnea testing (HSAT) allows patients to monitor their sleep with simplified equipment in the comfort of their own homes, and the cardiopulmonary coupling (CPC) offers a minimal version that simply analyzes the electrocardiogram (ECG) signals. As an emerging diagnostic technology of OSA, machine learning (ML) and artificial intelligence (AI) adeptly pinpoint respiratory incidents and expose delicate physiological changes, thus casting new light on the diagnostic approach to OSA. In addition, imaging examination utilizes detailed visual representations of the airway's structure and assists in recognizing structural abnormalities that may result in obstructed airways, while sound monitoring technology records and analyzes snoring and breathing sounds to detect the condition subtly, and thus further expands our medical diagnostic toolkit. As for the future development directions, it can be predicted that interdisciplinary integrated researches, the construction of personalized diagnosis and treatment models, and the popularization of high-tech in clinical applications will become the development trends in the field of OSA evaluation and diagnosis.

Key words obstructive sleep apnea, assessment parameters, diagnostic technologies

DOI: 10.16476/j.pibb.2024.0214

CSTR: 32369.14.pibb.20240214