

心肺运动试验在呼吸系统疾病中的应用

应桃 吴镜

(成都市第三人民医院老年科 西南交通大学附属医院,四川 成都 610031)

【摘要】心肺运动试验作为一项新兴的,动态化测量患者心肺功能的评估工具,已在心血管疾病中广泛运用。如今心肺运动试验具有巨大的潜力,在越来越多的非心血管疾病中发挥作用,现就心肺运动试验在呼吸系统疾病中的应用做一综述。

【关键词】心肺运动试验;呼吸系统;应用

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2023.04.017

Application of Cardiopulmonary Exercise Testing in Respiratory Disease

YING Tao, WU Jing

(Department of Geriatrics, The Third People's Hospital of Chengdu, The Affiliated Hospital of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China)

【Abstract】 Cardiopulmonary exercise testing has been widely used in cardiovascular disease as an emerging, dynamic assessment tool to measure cardiopulmonary function in patients. Nowadays, cardiopulmonary exercise testing has great potential to play a role in an increasing number of non-cardiovascular diseases, and the application of cardiopulmonary exercise testing in respiratory diseases is reviewed.

【Key words】 Cardiopulmonary exercise test; Respiratory system; Application

心肺运动试验(cardiopulmonary exercise test, CPET)可通过测量呼吸道内的气体交换,测量心电图、心率、血压等指标,整体评估个体在静息和运动状态下的心肺功能,是目前量化评估心肺功能的最佳手段和“金标准”。美国胸科学会/美国胸科医师学会(American Thoracic Society/American College of Chest Physicians, ATS/ACCP)的声明^[1]将 CPET 描述为“对涉及肺、心血管、造血、神经心理和骨骼肌系统的综合运动反应的评估”。根据 2022 年最新的《心肺运动试验临床规范应用中国专家共识》^[2],其应用包括运动不耐受的诊断和鉴别、心肺疾病严重程度评价与危险分层、运动处方制订与康复指导、医疗干预效果评价以及外科手术前风险评估等。随着科技不断发展,其他先进检测手段与 CPET 的有效结合使 CPET 能在更广泛的疾病中应用,在呼吸系统疾病中,其主要应用有评估肺部疾病严重性、评估有氧能力、鉴别诊断、评估术前风险、预测预后、评价干预疗效、制定个性化肺康复等。目前还未有关于 CPET 在呼吸系统疾病中应用的详细总结,现结合相关指南、共识和文献做一综述。

1 慢性阻塞性肺疾病中的应用

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)是一种可预防和可治疗的疾病,具有一

些显著的肺内外影响^[3]。

1.1 COPD 中 CPET 的作用和重要参数及意义

目前 CPET 在 COPD 中已有广泛的应用,主要有:(1)评估 COPD 严重性;(2)帮助临床诊断;(3)确定干预措施的效果并协助预后分层;(4)疾病鉴别;(5)制定个性化康复处方;(6)与其他技术结合共同评估、预测疾病。

整理 2016 年欧洲呼吸学会(European Respiratory Society, ERS)关于运动试验在干预效果评估中的应用的官方声明^[4]、2019 年 ERS 关于慢性肺部疾病心肺运动检测标准化的声明^[5]和其他相关文献得出:(1)评估 COPD 严重性中,最重要的参数是峰值摄氧量(peak oxygen uptake, $VO_2\text{peak}$), $VO_2\text{peak}$ 可根据生存率和慢性阻塞性肺疾病全球倡议(Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, GOLD)分期对严重程度进行分层;(2) $VO_2\text{peak}$ 和无氧阈(anaerobic threshold, AT)作为重要变量用于诊断运动不耐受;(3)评价干预措施中,主要参数有 $VO_2\text{peak}$ 和峰值功率(peak work rate, $WR\text{peak}$), 动脉氧分压斜率(arterial partial pressure of oxygen slope, $PaO_2\text{slope}$)有一定评估预后的作用^[6-7], $VO_2\text{peak}$ 的小幅度改善在评估非药物干预(下肢耐力肌肉训练)和药物干预(短效和长效吸入支

气管扩张剂)效果方面有一定价值, $VO_2\text{peak}$ 还在预测生存率和死亡风险中有重要作用, $WR\text{peak}$ 也在非药物干预(肺康复、连续训练和间歇训练、氧疗)和药物干预(沙丁胺醇、异丙托溴铵、福莫特罗、沙美特罗和噻托溴铵)后增加;(4)在一小部分中度和重度 COPD 患者中,二氧化碳通气当量斜率($\text{minute ventilation/carbon dioxide output slope}$, $VE/VCO_2\text{ slope}$)可区分是否有肺动脉高压($\text{pulmonary artery hypertension}$, PAH),每分钟静息通气量($\text{minute ventilation at rest}$, VE)经分析处理后可能是区分 COPD 与射血分数保留性心力衰竭($\text{heart failure with preserved ejection fraction}$, HFpEF)和射血分数降低性心力衰竭($\text{heart failure with reduced ejection fraction}$, HFrEF)患者的有效方法^[8]; (5)在 COPD 康复研究中,最大摄氧量($\text{maximal oxygen consumption}$, $VO_2\text{max}$)和 AT 等参数的变化可体现康复后心肺功能的改善;(6) $VE/VCO_2\text{ slope}$ 与计算机断层扫描评估 COPD 患者的肺气肿程度($r=0.77$),此外在 COPD 共病中(尤其是 COPD 与心力衰竭),CPET 与超声心动图的结合是现在和未来的研究趋势,用于早期发现和管理 COPD 中隐蔽的心力衰竭患者^[9],具有一定的预测价值。

在未来的研究中,研究者们可通过 CPET 在呼吸系统的应用发展来改善心血管疾病中原本棘手的评估、诊断鉴别及预后问题,即使 CPET 参数数值不同,CPET 在这二者之间并非独立发展,而是融会贯通,这是需注意的一点。

2 肺癌中的应用

肺癌是中国癌症死亡的主要原因,近年来发病率和死亡率显著上升,由于生活方式和社会经济发展的多样性,存在着地域和性别差异^[10]。

2.1 肺癌中 CPET 的 3 个主要作用和重要参数及意义

CPET 应用主要涵盖肺切除术前评估与预后、康复运动处方制定与运动效果评估、肺癌治疗效果评估等方面^[11]。

CPET 已在肺部术前评估与危险分层中广泛应用,2013 年的指南^[12]中也有相关说明,ACCP 关于考虑手术切除的肺癌患者评估程序的临床实践指南^[13]建议使用 CPET 来评估风险。 $VO_2\text{peak}$ 、在通气阈时的耗氧量($VO_2\text{ at ventilatory threshold}$, $VO_2\text{ at VT}$)和 $VE/VCO_2\text{ slope}$ 是 2016 年欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)指南明确指出能始终如一证明肺切除术后预后意义的 3 个 CPET 变量^[14]。

近几年,研究人员逐渐把肺癌中 CPET 的研究热点聚焦于术前预康复,用 CPET 来评估康复治疗效果与预测预后,研究对于术前康复是否能增加患者的有

氧能力和心肺能力的观点不一致。Licker 等^[15]和 Bhatia 等^[16]的较大型随机对照试验($\text{randomized controlled trial}$, RCT)中,采用了高强度间歇训练($\text{high intensity interval training}$, HIIT)计划,即每周 2~4 次,采用功率自行车在 $WR\text{peak}$ 下进行 $2 \times 10\text{ min}$,每组间隔 15 s 的高强度锻炼计划,在运动前后还需进行各 5 min 的热身(50% $WR\text{peak}$)和冷却(30% $WR\text{peak}$),研究一致认为 HIIT 计划可增强肺癌手术前的心肺健康,显著改善有氧能力(主要表现在康复组 $VO_2\text{peak}$ 和 6 分钟步行试验距离增加),即使未能减少肺癌切除术后早期并发症。而 2017 年一项涉及 151 例患者的 RCT 研究^[17]中,康复组($n=74$)和常规护理组($n=77$)表现出相似的 $VO_2\text{peak}$ 减少,因此认为 HIIT 的短期术前康复不能改善肺癌切除术后 1 年测量的肺功能和有氧能力。因此,未来仍需大量 RCT 研究去验证肺康复与肺癌切除术后长期预后的关系,增加 CPET 的数据证据基础。

肺癌治疗效果研究主要集中于非小细胞肺癌,并缺少大型研究支持。CPET 可评估术前新辅助化疗的治疗效果与影响,且接受新辅助化疗与术前较低的 $VO_2\text{peak}$ 相关^[18]。

2.2 CPET 参数的研究现状

综合以上研究, $VO_2\text{peak}$ 、 $VO_2\text{ at VT}$ 和 $VE/VCO_2\text{ slope}$ 这 3 个公认的肺切除术后预测因子,在实际应用中仍以 $VO_2\text{peak}$ 为 CPET 主要研究变量,对于 $VO_2\text{ at VT}$ 和 $VE/VCO_2\text{ slope}$ 的研究重视程度不高。这说明即使在指南指导下,临床医生与研究人员对于 CPET 的了解与掌握程度仍不令人满意,未来需加大相关专业人员培训力度,扩大 CPET 基础知识教育广度,以满足临床所需和推进 CPET 研究发展。

2.3 CPET 在肺癌中的重要影响及长远意义

首先,CPET 在肺切除术前危险分层中的应用已非常广泛与成熟,提高了医院就诊和手术效率,使肺切除术更规范化、有效化,有益于手术方案的制定,使患者拥有更好的预后,患者也能更好地了解自身病情,增加医患间信任度;其次,随着越来越多的早期肺癌的发现与治疗,肺康复已成为改善肺癌患者心肺能力的主要方法,CPET 有助于临床医生制定康复计划,评估康复疗效,使肺康复更个性化、动态化,令患者更好地改善运动不耐受,提高心肺能力;最后,CPET 可结合影像检查评估肺癌辅助治疗手段如放疗、靶向药物等的治疗效果,对患者的生存期有一定的预测作用,有助于晚期肺癌患者提高生活质量,延长生存期。

综上,CPET 对于肺癌术前分层、肺康复、早期和晚期肺癌患者的评估治疗都具有深远的影响,为不同类型、分期的肺癌提供更全面的数据支持和治疗方案

选择。

3 肺移植中的应用

肺移植是一种因各种肺部疾病导致肺部功能丧失,而将健康肺部移植入体内的方法,是大多数终末期肺病的有效治疗手段。

3.1 肺移植中 CPET 的作用和重要参数及意义

根据 ATS/ACCP 关于心肺运动测试的声明^[1]和其他文献,CPET 在肺移植中的作用有以下 6 个方面:(1)术前危险分层;(2)提供预后信息(包括生存率、死亡率等);(3)帮助肺康复,为移植前后的肺康复提供运动处方,评价康复治疗效果;(4)评估有氧能力和心肺健康;(5)定量运动限制的原因;(6)评估移植前的疾病进展。

术前分层与预后:CPET 可能有助于临床医生确定患肺部疾病的患者是否需要进行肺移植的手术问题,改善终末期肺病患者预后,并且研究发现在囊性纤维化患者中 Cox 比例风险模型是最能预测死亡率和/或肺移植的参数组合^[19]。相关参数有 $VO_2\text{peak}$ 、 $VR\text{peak}$ 、氧通气当量、二氧化碳通气当量、呼吸储备指数和峰值脉搏氧饱和度。

评估有氧能力和心肺健康,帮助康复治疗:研究者们经常采用 CPET 来评估肺移植前后的有氧运动能力及心肺功能,以帮助制定康复计划和评价治疗效果。一部分研究显示肺移植患者的心肺功能受损和运动能力低下,Ulvestad 等^[20]发现 54 例肺移植受体中只有 3 例心肺功能正常,且体力活动水平很低,较低的体力活动水平与较低的心肺功能有关,强调了肺移植术后有针对性运动干预的必要性。然而,2021 年一项研究^[21]首次报告了长期的、无慢性移植肺功能障碍的肺移植受体接近正常的 $VO_2\text{peak}$ 和正常运动能力。尽管因患者的高选择性,研究人数较少,但作者认为其样本具有高代表性。在未来,仍需大样本研究进一步发掘。

3.2 肺移植与 CPET 面临的共同难题

一直以来,CPET 在肺移植应用中最大的难题就是肺移植供体少。虽然 2018 年中国内地共录得 6 302 例死亡捐赠者,数量居全球第二位^[22],但考虑到中国人口众多,每年的肺移植数量仍很少,2018 年的肺转化率仅为 6.4%,明显低于其他许多国家^[23]。供肺利用率低导致中国肺移植数量受限,受限的肺移植数量又进一步限制了 CPET 在这个临床和研究环境中无法发挥出全部的潜力,这是肺移植和 CPET 共同面临的挑战与困难。

4 新型冠状病毒肺炎中的应用

2019 年,新型冠状病毒(新冠病毒)的爆发引发了一场全世界公共卫生安全危机。新型冠状病毒肺炎

(corona virus disease 2019, COVID-19) 主要被定义为急性流行呼吸道疾病,2020 年,ATS/ERS^[24] 建议在所有 COVID-19 患者的随访中进行 CPET。基于 COVID-19 全球大流行的环境背景,研究者们^[25] 提出了许多建议措施以预防 CPET 期间的病毒感染,保证工作室的准确测量。

4.1 COVID-19 中 CPET 的作用和重要参数及意义

COVID-19 中的 CPET 有以下作用:评估疾病症状,评估患者心肺健康和运动能力,评价干预措施(康复治疗及疫苗等),探索疾病症状机制等。

评估:(1)疾病症状。通过 CPET 评估,COVID-19 患者中较常见的症状有疲劳、呼吸困难、肌肉无力或疼痛等^[26],相关参数是较低的 $VO_2\text{peak}$ 和较高的 VE/VCO_2 slope。(2)心肺健康和运动能力。相关变量有 $VO_2\text{peak}$ 和 $VO_2\text{peak}$ 占预计值的百分比,在出院患者中观察到 $VO_2\text{peak}$ 降低和 $VO_2\text{peak}$ 小于预测值的 80%^[27-28]。

评价干预措施:几乎全部的相关研究都肯定了康复干预的有益影响。

探索疾病症状机制:(1) COVID-19 患者肺部、心脏和骨骼肌系统受损是 $VO_2\text{peak}$ 受限的原因^[29];(2)探索 COVID-19 呼吸困难的病理生理机制,相关变量有 VO_2 、 VE/VCO_2 slope 和脉搏氧饱和度^[30];(3)探索运动通气效率低下,主要参数为 VE/VCO_2 和呼气末二氧化碳分压^[31]。

4.2 COVID-19 中 CPET 的新运用

CPET 前沿领域内容在 COVID-19 的较新运用,包括采用新型病毒过滤器进行 CPET、侵入性心肺运动测试、磁共振增强心肺运动测试等。Arena 团队^[32] 提出了一种病毒感染的心肺运动测试算法,强调这些 CPET 指标和有利与不利反应的阈值。CPET 作为诊断心肺功能的金标准,可改善新冠病毒对人体造成的影响,改善 COVID-19 患者的预后结局。

根据上文的研究,可思考是否可建立专门的针对未治愈的 COVID-19 患者进行 CPET 来预测愈后的结局并依此制定诊疗计划和运动处方,对他们进行早期的心肺康复改善预后。总之,CPET 在 COVID-19 中的应用是广泛而深刻的,在全世界庞大的患者基数中应用的潜力巨大。

5 $VO_2\text{peak}$ 在 PAH 中的重要意义

PAH 是一组严重的肺部临床疾病,2014 年慢性血栓栓塞性肺动脉高压立场文件认为对疑似慢性血栓栓塞性肺动脉高压的患者应进行超声心动图和 CPET^[33]。

整理 2016 年 ERS 关于运动试验在干预效果评估中的应用的官方声明^[4] 和 2018 年第 6 届世界肺动脉

高压研讨会^[34]得出:(1) $VO_2\text{peak}$ (6 分钟步行试验除外)能预测特发性 PAH 的临床稳定性;(2) $VO_2\text{peak}$ 可评估 PAH 患者的严重程度;(3) 在 PAH 患者中, $VO_2\text{peak}$ 值已被建议作为治疗目标, $VO_2\text{peak} < 10 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ 提示预后不良,需升级治疗, $VO_2\text{peak} > 15 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ 提示预后较好;(4) $VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$ 和 VE/VCO_2 评价药物干预和非药物干预,包括检测几种批准的 PAH 药物的长期(即 3~12 个月)治疗效果和耐力训练、肺康复;(5) 诊断作用,可无创或与血流动力学试验联合进行^[35],相关参数有 $VO_2\text{peak}$ 、 VE/VCO_2 峰值每分通气量占每分最大通气量比值等;(6) $WR\text{peak}$ 和 VE/VCO_2 预测成人 PAH 生存率;(7) 潜在 PAH 鉴别,无症状运动性肺出血患者筛查、转诊^[36]。

6 其他肺疾病中的应用

除了以上提及的肺部疾病, CPET 还涉及了许多其他呼吸系统疾病,由于受到疾病病理生理学因素、CPET 的发展、研究者的临床理解等多方面的限制,近年来还未能很好地研究。

已知的是,间质性肺疾病中 CPET 能评估心肺功能和运动能力、制作运动处方、探索运动受限和呼吸困难机制,并评估各种干预措施的效果以及评估预后,最常用的指标是 $VO_2\text{peak}$ 和 $WR\text{peak}$ ^[37]。

在哮喘中 CPET 的应用有:运动诱发的支气管收缩的诊断;评估运动能力并确定限制运动的因素;评估动态过度充气(呼气末肺容积的增加)严重程度;通过调查治疗前后运动变量的变化来评估对几种治疗干预措施的反应^[38]。

7 总结

本文整理了在相关领域较新的发展成果:(1) COPD 共病中(尤其是 COPD 与心力衰竭) CPET 与超声心动图的结合;(2) COVID-19 中应用新型病毒过滤器进行 CPET、侵入性心肺运动测试、磁共振增强心肺运动测试等;(3) COVID-19 中提出了一种病毒感染的 CPET 算法。此外也整理了一些相关 CPET 参数,如已被指南明确的 $VO_2\text{peak}$ 和 AT(用来检测运动不耐受), $VO_2\text{peak}$ 、 VO_2 at VT 和 $VE/VCO_2\text{slope}$ (肺切除术有高预后价值),详见表 1。

表 1 与呼吸系统疾病有关的 CPET 常见变量及应用

疾病	应用	常见变量
COPD	评估疾病严重性	$VO_2\text{peak}$
	帮助临床诊断	$VO_2\text{peak}$ 、AT
	确定干预措施的效果并协助预后分层	$VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$ 、 PaO_2 slope
	疾病鉴别	VE/VCO_2 slope、 VE
	制定个性化康复处方	$VO_2\text{max}$ 、AT
肺癌	与其他技术结合共同评估、预测疾病	VE/VCO_2 slope
	肺切除术前评估与预后判断	$VO_2\text{peak}$ 、 VO_2 at VT、 VE/VCO_2 slope
	康复运动处方制定与运动效果评估	$VO_2\text{peak}$
肺移植	肺癌治疗效果评估	$VO_2\text{peak}$
	术前危险分层、提供预后信息、评估移植前的疾病进展	$VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$ 、 $VE/VO_2\text{peak}$ 、 VE/VCO_2 、 $VE\text{peak}/MVV$ pred、 $SpO_2\text{peak}$
	肺康复、提供运动处方、评价康复治疗效果	$VO_2\text{peak}$
COVID-19	定量运动限制的原因	$VO_2\text{peak}$ 、AT
	评估疾病症状	$VO_2\text{peak}$ 、 VE/VCO_2 slope
	评估患者心肺健康和运动能力	$VO_2\text{peak}$ 、 $VO_2\text{peak}\%$ pred
	探索疾病症状机制	$VO_2\text{peak}$ 、 VE/VCO_2 、 VE/VCO_2 slope、 SpO_2 、 $PETCO_2$
PAH	评价干预措施	$VO_2\text{peak}$
	评估 PAH 严重程度	$VO_2\text{peak}$
	评估预后	$VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$ 、 VE/VCO_2
	评价干预疗效	$VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$ 、 VE/VCO_2
	预测特发性 PAH 的临床稳定性	$VO_2\text{peak}$
间质性肺疾病	诊断	$VO_2\text{peak}$ 、 VE/VCO_2 、 $VE\text{peak}/MVV$
	评估功能能力	$VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$
	评估各种干预措施的效果	$VO_2\text{peak}$
	评估预后	$VO_2\text{peak}$ 、 VE/VCO_2 、 PaO_2 slope
	制作运动处方	$VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$ 、AT
哮喘	探索运动受限和呼吸困难的机制	$VO_2\text{peak}$ 、 VE/VCO_2 、BR、 $PETCO_2$
	运动诱发的支气管收缩的诊断	FEV_1
	评估运动能力并确定限制运动的因素	$VO_2\text{peak}$ 、 $WR\text{peak}$
	评估动态过度充气严重程度	IC
	评估治疗干预措施效果	$VO_2\text{peak}$ 、 $VE\text{peak}$ 、AT、 $VO_2/HR\text{peak}$

注: $VE/VO_2\text{peak}$, 峰值氧通气当量; VE/VCO_2 , 二氧化碳通气当量; $VE\text{peak}/MVV$ pred, 呼吸储备指数; $SpO_2\text{peak}$, 峰值脉搏氧饱和度; $VO_2\text{peak}\%$ pred, $VO_2\text{peak}$ 占预计值的百分比; SpO_2 , 脉搏氧饱和度; $PETCO_2$, 呼气末二氧化碳分压; BR, 呼吸储备; FEV_1 , 第 1 秒用力呼气容积; IC, 深吸气量; $VE\text{peak}$, 峰值分钟通气量; $VO_2/HR\text{peak}$, 峰值氧脉搏。

CPET 长期以来一直被用作心脏病的诊断工具。从开始发展仅应用于心脏疾病,到近十年开始广泛应用于呼吸系统疾病中,CPET 的潜力不局限于此。CPET 在呼吸系统疾病中发展的较新成果,能否进行适当的改良,用于解决一些心血管疾病中棘手的问题值得思考。例如先心病儿童通常具有运动不耐受,并且无法精确评估测量安全的运动强度指标,而在肺部疾病儿童患者中,则可使用 CPET 进行较为安全有效的评估。据此研究者们或许可制作出适用于患有肺部疾病儿童的 CPET 仪器,并结合其他心肺指标,为先心病儿童提供一个合理的运动强度指标预测值,对先心病儿童日常活动和心肺健康的改善具有巨大意义。因此,应加大 CPET 在呼吸系统疾病乃至非心肺系统疾病中临床应用和研究力度,也许能从另一个角度帮助解决目前心肺疾病 CPET 中棘手的问题。目前,中国 CPET 的临床研究仍处于发展中,近十年来国内关于 CPET 的研究在心肺功能的基础上,逐渐向康复治疗、运动耐力等方面拓展,包括肺康复的评估、处方制定、疗效评价和探索运动不耐受机制。随着新冠病毒在国内大面积的传播,COVID-19 患者人口基数大大增加,COVID-19 感染后所造成的心肺功能下降、运动不耐受、易疲劳等现象极为普遍,CPET 作为无创的、动态化的评估工具,能与多种检查方法结合,将在 COVID-19 患者心肺功能评估、肺康复等方面发挥极为重要的作用。其次,在 COPD 与肺癌中,通过 CPET 进行危险分层和预后预测,辅助肺康复,能增加患者的生存期,改善患者心肺功能和生活质量,对慢性肺疾病具有重要意义。但应注意 CPET 应用的成本效益,如何让较高成本的 CPET 广泛应用于心肺慢性病及共病患者,是所有医学研究者们应重视和积极解决的问题。

参 考 文 献

- [1] Ross RM. ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2003, 167(2):211-277.
- [2] 中华医学会心血管病分会,中国康复医学会心肺预防与康复专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会. 心肺运动试验临床规范应用中国专家共识[J]. *中华心血管病杂志*, 2022, 50(10):973-986.
- [3] Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2007, 176(6):532-555.
- [4] Puente-Maestu L, Palange P, Casaburi R, et al. Use of exercise testing in the evaluation of interventional efficacy: an official ERS statement[J]. *Eur Respir J*, 2016, 47(2):429-460.
- [5] Radtke T, Crook S, Kaltsakas G, et al. ERS statement on standardisation of cardiopulmonary exercise testing in chronic lung diseases[J]. *Eur Respir Rev*, 2019, 28(154):180101.
- [6] Hiraga T, Maekura R, Okuda Y, et al. Prognostic predictors for survival in patients with COPD using cardiopulmonary exercise testing[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2003, 23(6):324-331.
- [7] Tojo N, Ichioka M, Chida M, et al. Pulmonary exercise testing predicts prognosis in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Intern Med*, 2005, 44(1):20-25.
- [8] Smith JR, van Iterson EH, Johnson BD, et al. Exercise ventilatory inefficiency in heart failure and chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Int J Cardiol*, 2018, 274:232-236.
- [9] Cherneva Z, Valev D, Youroukova V, et al. Left ventricular diastolic dysfunction in non-severe chronic obstructive pulmonary disease—A step forward in cardiovascular comorbidity[J]. *PLoS One*, 2021, 16(3):e0247940.
- [10] Cao M, Chen W. Epidemiology of lung cancer in China[J]. *Thorac Cancer*, 2019, 10(1):3-7.
- [11] Ha D, Mazzone PJ, Ries AL, et al. The utility of exercise testing in patients with lung cancer[J]. *J Thorac Oncol*, 2016, 11(9):1397-1410.
- [12] Brunelli A, Kim AW, Berger KI, et al. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed; American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines[J]. *Chest*, 2013, 143(5 suppl):e166S-e190S.
- [13] Colice GL, Shafazand S, Griffin JP, et al. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: ACCP evidence-based clinical practice guidelines (2nd edition) [J]. *Chest*, 2007, 132(3 suppl):161S-177S.
- [14] Guazzi M, Arena R, Halle M, et al. 2016 focused update: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations[J]. *Circulation*, 2016, 133(24):e694-e711.
- [15] Licker M, Karenovics W, Diaper J, et al. Short-term preoperative high-intensity interval training in patients awaiting lung cancer surgery: a randomized controlled trial[J]. *J Thorac Oncol*, 2017, 12(2):323-333.
- [16] Bhatia C, Kayser B. Preoperative high-intensity interval training is effective and safe in deconditioned patients with lung cancer: a randomized clinical trial[J]. *J Rehabil Med*, 2019, 51(9):712-718.
- [17] Karenovics W, Licker M, Ellenberger C, et al. Short-term preoperative exercise therapy does not improve long-term outcome after lung cancer surgery: a randomized controlled study[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 52(1):47-54.
- [18] Fresard I, Licker M, Adler D, et al. Preoperative peak oxygen uptake in lung cancer subjects with neoadjuvant chemotherapy: a cross-sectional study[J]. *Respir Care*, 2016, 61(8):1059-1066.
- [19] Hebestreit H, Hulzebos EHJ, Schneiderman JE, et al. Cardiopulmonary exercise testing provides additional prognostic information in cystic fibrosis[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(8):987-995.
- [20] Ulvestad M, Durheim MT, Kongerud JS, et al. Cardiorespiratory fitness and physical activity following lung transplantation: a national cohort study[J]. *Respiration*, 2020, 99(4):316-324.
- [21] Saez-Gimenez B, Barrecheguren M, Ramon MA, et al. Near-normal aerobic capacity in long-term survivors after lung transplantation[J]. *ERJ Open Res*, 2021, 7(1):00381-2020.
- [22] Shi BY, Liu ZJ, Yu T. Development of the organ donation and transplantation system in China[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2020, 133(7):760-765.
- [23] Zhao J, Liu D, Huang J, et al. The low utilization rate of donor lungs in China: a single-center experience[J]. *Ann Transplant*, 2021, 26:e931409.
- [24] Bai C, Chotirmall SH, Rello J, et al. Updated guidance on the management of COVID-19: from an American Thoracic Society/European Respiratory Society coordinated International Task Force (29 July 2020) [J]. *Eur Respir Rev*, 2020, 29(157):200287.
- [25] Mihalick VL, Canada JM, Arena R, et al. Cardiopulmonary exercise testing during the COVID-19 pandemic[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2021, 67:35-39.
- [26] Raman B, Cassar MP, Tunnicliffe EM, et al. Medium-term effects of SARS-CoV-2 infection on multiple vital organs, exercise capacity, cognition, quality of life and mental health, post-hospital discharge [J]. *EclinicalMedicine*, 2021, 31:100683.
- [27] Skjorten I, Ankerstjerne OAW, Trebinjac D, et al. Cardiopulmonary exercise

- capacity and limitations 3 months after COVID-19 hospitalisation[J]. *Eur Respir J*, 2021, 58(2):2100996.
- [28] Cassar MP, Tunnicliffe EM, Petousi N, et al. Symptom persistence despite improvement in cardiopulmonary health—Insights from longitudinal CMR, CPET and lung function testing post-COVID-19 [J]. *EclinicalMedicine*, 2021, 41:101159.
- [29] Vonbank K, Lehmann A, Bernitzky D, et al. Predictors of prolonged cardiopulmonary exercise impairment after COVID-19 infection: a prospective observational study[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8:773788.
- [30] Frésard I, Genecand L, Altarelli M, et al. Dysfunctional breathing diagnosed by cardiopulmonary exercise testing in ‘long COVID’ patients with persistent dyspnoea[J]. *BMJ Open Respir Res*, 2022, 9(1):e001126.
- [31] Aparisi A, Ybarra-Falcón C, García-Gómez M, et al. Exercise ventilatory inefficiency in post-COVID-19 syndrome: insights from a prospective evaluation [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(12):2591.
- [32] Arena R, Myers J, Kaminsky LA. Cardiopulmonary exercise testing algorithm for viral infection: assessing health risk and short- to long-term effects [J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2021, 41(4):E7-E8.
- [33] Wilkens H, Lang I, Blankenburg T, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension—A position paper [J]. *Dtsch Med Wochenschr*, 2014, 139(suppl 4):S155-S165.
- [34] Frost A, Badesch D, Gibbs JSR, et al. Diagnosis of pulmonary hypertension [J]. *Eur Respir J*, 2019, 53(1):1801904.
- [35] Berry NC, Manyoo A, Oldham WM, et al. Protocol for exercise hemodynamic assessment: performing an invasive cardiopulmonary exercise test in clinical practice [J]. *Pulm Circ*, 2015, 5(4):610-618.
- [36] Qutrio Baloch Z, Abbas SA, Prasad RM, et al. Potential role of cardiopulmonary exercise testing as an early screening tool for patients with suspected pulmonary hypertension including exercise-induced pulmonary hypertension: results from a retrospective analysis [J]. *Perm J*, 2021, 25(3):1-11.
- [37] Gille T, Laveneziana P. Cardiopulmonary exercise testing in interstitial lung diseases and the value of ventilatory efficiency [J]. *Eur Respir Rev*, 2021, 30(162):200355.
- [38] Boutou AK, Daniil Z, Pitsiou G, et al. Cardiopulmonary exercise testing in patients with asthma: What is its clinical value? [J]. *Respir Med*, 2020, 167:105953.

收稿日期:2022-12-14

《心血管病学进展》对来稿中表格制作的要求

表格可用全线表、省线表(包括三线表)和无线表。表格应是完整的、可独立存在的形象化语言,表格的内容应简洁直观,以数字表达为主,避免与文字表述过于重复,同时表格应具有自明性。

1. 表格的组成:(1)表序和表题:表序即表格的序号,一篇论文中如只有一个表格则表序编为表1,有两个及以上的表格,应按先后标出表的序号。序号用阿拉伯数字表示,置于表的上方。表题应准确得体、简洁精练,中间不用标点,末尾不加句号。(2)表头:对表格各行和各列单元格内容进行概括和提示的栏目,反映了表身中该栏信息的特征或属性。(3)表身:表头之外的单元格总体,是表格的主体,表身中单元格内的数值不宜带单位;表身中如果一个单元格内包含两个数据,其中一个数据应用括号,同时需要在表头或标注中说明;表身中单元格内可使用空白或一字线“—”填充,如果需要区别数据“不适用”和“无法获得”,前者可采用空白单元格,后者可采用一字线,并在正文或标注中说明这种区别。(4)表注:必要时,应将表中的符号、标记、代码,以及需要说明的事项,以最简练的文字,横排于表身下。

2. 表格制作的要求:(1)主谓清楚:表的横表头为主语,指表中所要说明的对象;纵表头为谓语,表示对主语的说明,读表的顺序为:主语→谓语→数据。特殊情况时,主、谓语可以换位,但换位后的主谓语的性质不变。作者在设计表格时,应力求科学、准确、一目了然。一个好的表格应具有语言学上的逻辑性,即主谓清楚、层次分明、标目合理。(2)数字准确:表格内的数字应准确无误,一律用阿拉伯数字,上下个位数对齐,数字中如有“±”或“~”号,则以其为中心对齐。表内不宜用“同上”“同左”“同类”词,须填入具体的数字或文字。(3)表格内的单位:表头中量和单位的标注形式应为“量的名称或符号/单位符号”;表格中涉及的单位全部相同时,宜在表的右上方统一标注。(4)表格中的统计学符号:论文中的显著性检验,只在表下注释 *P* 值是不够的,应将检验方法、计算结果及 *P* 值均列出,以便读者进一步了解实际差异的大小。

本刊编辑部