

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.21.023

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20231103.1246.008\(2023-11-03\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20231103.1246.008(2023-11-03))

影像学在重症监护病房获得性肌无力应用中的研究进展*

陈 静 综述,朱 洁[△] 审校

(重庆市急救医疗中心超声科,重庆 400014)

[摘要] 重症监护病房获得性肌无力(ICUAW)在ICU患者中越来越常见,ICUAW诊断困难是导致危急重症患者插管和住院时间延长的主要原因之一。ICUAW不仅影响患者预后,同时对医疗资源会造成过度消耗。因此,提高ICUAW的诊断敏感性及准确性,对ICUAW的防治和预后至关重要。随着ICUAW发病机制研究的深入和各种诊断方法的不断发展,影像学在ICUAW诊断方面取得了明显进步。该文对影像学在ICUAW的临床应用进展进行综述,以期为进一步探索ICUAW的诊疗策略提供参考。

[关键词] 重症监护病房;获得性肌无力;计算机断层扫描;磁共振成像;超声检查;综述

[中图分类号] R445 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2023)21-3324-05

Research progress in application of imageology in intensive care unit-acquired weakness*

CHEN Jing, ZHU Jie[△]

(Department of Ultrasonography, Chongqing Municipal Emergency Medical Center, Chongqing 400014, China)

[Abstract] Intensive care unit-acquired weakness (ICUAW) is becoming more and more common in ICU patients. The difficulty in diagnosing ICUAW is one of the main reasons for intubation and prolonged hospital stay in critically ill patients, which not only affects the prognosis of the patients, but also causes the excessive medical resources consumption. Therefore, improving the diagnostic sensitivity and accuracy of ICUAW is crucial to the prevention, treatment and prognosis of ICUAW. With the in-depth study of the pathogenesis of ICUAW and the continuous development of various diagnostic methods, the imageology has made the visible progress in the aspect of diagnosing ICUAW. This article reviewed the clinical application progress of imageology in ICUAW, in order to provide reference for further exploring the diagnosis and treatment strategy of ICUAW.

[Key words] intensive care unit; acquired weakness; computed tomography; magnetic resonance imaging; ultrasonography; review

重症监护病房获得性肌无力(intensive care unit-acquired weakness, ICUAW)是指在ICU治疗后发生的至少一种近端肌无力症状,和/或末梢感觉异常、感觉迟钝或疼痛症状,与其他疾病无联系,如果有能引发多发性神经病变的特定疾病(如糖尿病),必须是在ICU治疗后出现以上症状恶化或改变^[1],才能诊断ICUAW。ICUAW的概念在1993年被提出,研究人员认为是神经肌肉功能紊乱导致肌无力。随着研究的深入,ICUAW被分类为危重性多性神经病变(CIP)、危重性肌病(CIM)、多性神经肌病(CIPNM)^[2]。临床上以CIPNM最为常见^[3],主要表现为各种肌病及神经病变样症状组合;CIP多表现为

疼痛、感觉障碍和感觉异常;CIM多表现为肌肉无力,特别是近端肌肉,面部肌肉少有累及,眼肌麻痹更少见^[4]。ICUAW的短期发病率为9%~82%^[5],患者在ICU治疗7d或以上后其发生率为49%~77%^[6]。相关报道显示,脓毒血症或全身感染患者ICUAW发生率约为70%^[7];合并多器官衰竭患者ICUAW发生率可高达100%,急性呼吸窘迫综合征(ARDS)患者发生率约为67%^[8];ICU住院患者临床评估ICUAW发生率为25%~33%,电生理评估发生率约58%^[9]。ICUAW的危险因素包括全身炎症反应综合征、药物(如糖皮质激素、神经肌肉阻滞剂、血管加压剂等)、ICU住院/卧床时间、患者年龄及机械通气等^[10-11]。

* 基金项目:重庆市科卫联合医学科研项目(2022MSXM112)。
[△] 通信作者, E-mail: zhuji3485@sina.com。

作者简介:陈静(1990-),主治医师,学士,主要从事腹部、肌骨超声诊断及超声造影研究。

ICUAW 的诊断和治疗不是重症监护的重点,但 ICUAW 阻碍了 ICU 患者的治疗和康复,存在 ICUAW 的患者再插管发生率是无 ICUAW 患者的两倍^[12],会增加患者的 ICU 住院时间、医院死亡率、180 d 死亡率,降低出院后生活质量^[13-14]。因 ICU 的环境复杂、缺少易于应用的检测工具且没有能被普遍接受的“金标准”,故 ICUAW 的诊断具有挑战性。本文就影像学在 ICUAW 评估中的应用进展做一综述,分析影像学诊断 ICUAW 的价值。

1 CT

CT 可以通过评估肌肉密度和形态快速和准确地评估肌肉变化。目前认为第 3~4 腰椎(L₃~L₄)水平图像最能反映全身组织分布^[15],故 CT 用于 ICUAW 患者的肌肉质量评估中多选用 L₃~L₄ 水平,也有选用 L₃ 水平或股骨肌肉水平,测得椎旁肌肉群或腹壁的骨骼肌面积(SMA),然后通过计算机软件或公式计算全身骨骼肌的体积和质量^[16],并计算得出骨骼肌指数(SMI)。谢永鹏等^[17]验证了利用 CT 影像勾画并计算第 12 胸椎水平左右竖脊肌总横截面积诊断 ICUAW 的价值。CT 图像上感兴趣组织的平均亨氏单位(Hounsfield unit, HU)值可作为肌肉质量的替代值^[18],也可以利用 HU 值绘制肌肉直方图及 HU 值的比例来计算肌肉体积,并进行动态监测。CASAER 等^[19]使用 CT 扫描 ICU 患者的股骨肌肉,显示入院后 7 d 肌肉厚度减少最明显。目前一些图像分析软件也可以对 CT 图像进行精确的灰度分析及面积测量,提供较准确的肌肉质量信息。CT 评估肌肉质量不依赖于操作者,但需要尽量保持设备和测量技术人员的一致性,其可以对深层肌肉进行评估,并且对于 ICU 患者 CT 图像比 MRI 更容易获得。但通过公式通常会高估 ICUAW 患者的肌肉量,因为这些公式多根据健康人群和慢性疾病患者建立。且根据 CT 的分辨率不同,L₃~L₄ 水平可能存在多个切片,每次分析必须确保一致的图像采集及患者体位才能准确测量骨骼肌横截面积。此外,CT 存在辐射、耗时、需要特殊软件及水肿会增加诊断难度等缺点。

2 MRI

MRI 可以提供良好的软组织特征,它可以评估骨骼肌的形状、体积和形态学特征,确定肌肉的脂肪变性。选择骨盆及大腿部位进行 MRI,能反映 ICUAW 最常累及的近端肌肉情况^[20]。MRI 也能测量骨盆及股骨水平肌肉的横截面积,通过计算可得到肌肉体积,ICUAW 患者的肌肉体积通常随住院时间减少。在信号上 ICUAW 所累肌肉多表现为 T1 加权和脂肪抑制 T2 加权图像上肌肉弥漫性萎缩、水肿及利用顺磁性造影剂钆喷替酸葡甲胺(Gd-DTPA)后增强,若表现为 T2/短时反转恢复(STIR)信号增加和 T1 增强则提示 CIM^[21],该表现与肌肉活检结果相关。CIP 中的肌肉去神经水肿和 CIM 中的多灶性肌内水肿样

信号在 STIR 图像中均表现为高信号病变^[22-23],反映了 ICUAW 患者肌肉脂肪浸润和萎缩。严重脓毒症并发 ICUAW 的患者 MRI 可表现出肌肉萎缩、纤维变化等结构改变^[24]。肌肉 MRI 没有辐射,对病变敏感,可成为 ICUAW 的支持性诊断工具。但 MRI 成本高、检查时间长、噪音大、可检查的区域有限且有金属植入物禁忌。

3 超声

肌肉在超声中有明显且特殊的回声表现,它可以无创地提供关于肌肉质量和结构的信息,用于 ICUAW 患者的肌肉评估安全可行,检查者间获取的肌肉信息无明显差异^[25]。目前主要应用二维超声观察肌肉厚度、横截面积、回声等,M 型超声观察肌肉震颤,弹性成像观察肌肉硬度,彩色多普勒观察肌肉血流情况。超声评估 ICUAW 肌肉质量和数量的有效性已被证实^[26],ICUAW 超声采集部位多是股四头肌,测量点一般位于股骨的 2/3 处,位于髌骨上棘和髌前上棘连线的中下 1/3。超声测量肌肉厚度有较高的可靠性和重现性。ICUAW 患者肌肉厚度会随着时间推移减少,且与 ICU 住院时间呈负相关^[27]。NG 等^[28]认为 CIP 与肌肉萎缩有关,而 CIM 肌肉厚度通常不变。采用超声测量横截面积来评估 ICU 患者肌肉力量比肌力测试更可行。PARRY 等^[29]发现 ICUAW 患者的肌肉横截面积也会随着时间的推移减少。PAOLO 等^[30]发现,股四头肌羽状角丢失对 ICUAW 具有很高的诊断准确性。在 ICUAW 中肌肉回声被半定量分为 4 个级别^[31]:均质低回声(1 级)、肌肉不均质低回声(2 级)、脂肪浸润(3 级)及筋膜炎和/或坏死(4 级)。分级回声与活检肌肉病理变化相关^[32],也有学者提出 CIM 多表现为肌肉回声均匀增强,CIP 多表现为肌肉回声不均匀。相比于回声分级,通过软件计算肌肉的平均灰度水平来进行量化更为准确和客观。ICUAW 被认为是肌肉被脂肪和结缔组织替代过程,肌肉血管生成降低导致肌肉彩色多普勒血流减少^[33]。超微血管成像技术(SMI)可以检测多普勒超声无法观察到的肌肉细微血管化的微小变化,可以代表肌肉的生存能力,对 ICUAW 预后具有重要意义,通过 SMI 可以检测到 ICUAW 患者肌肉的血管生成活性明显减低^[33]。肌肉剪切波弹性成像(SWE)可用于评估 ICUAW 患者肌肉硬度^[34],SWE 值与肌肉纤维化有关,ICUAW 患者肌肉的 SWE 值明显增加^[35]。也有研究认为,高剪切模量值与肌肉僵硬有关,而低剪切模量值与慢性肌病的肌肉萎缩有关^[35]。超声造影可检测出轻微的肌肉损伤,ICUAW 患者肌肉股四头肌灌注水平明显减低^[33]。FISSE 等^[3]研究发现,CIPNM 患者腓窝胫神经的平均横截面积高于无 CIPNM 患者,腓肠神经横截面积更小。超声实时监测膈肌的厚度、活动度等参数来评估 ICUAW 患者的膈肌功能^[36],用于检测膈肌功能障碍,

预测拔管成功或失败,监测呼吸工作量,并评估膈肌萎缩情况。超声测量肌肉厚度会低估 ICU 患者肌肉萎缩,而水肿会使横截面积被高估,肥胖、皮下水肿、肌肉深度、探头角度、检查时对肌肉的按压等可影响肌肉超声回声、面积测量及结构,可能会导致肌肉损失被低估或高估,同时目前超声对测量肌肉的区域和算法缺乏统一的方法和共识,对 ICUAW 缺乏纵向的验证。

4 双能 X 射线吸收测定法(DXA)

DXA 是根据不同能量的 X 射线通过人体组织的衰减和吸收状况,测定人体骨骼、体脂和肌肉含量的方法,检测时患者需仰卧,扫描时间在 15 min 内。该方法对水合状态敏感,因此要求患者在测量前 24 h 内避免饮酒或剧烈运动,在隔夜禁食后于次日早晨进行测量^[37],适合 ICU 患者。此外,DXA 辐射轻微^[16],且用其测量 ICUAW 患者肌肉质量操作方便、成本低^[38],已在研究中被用于测量肌肉质量^[39]。但由于 DXA 只能在固定设备间操作,若患者体重超过限制则不适用,同时结果可能受水肿、皮肤温度的影响。

5 中子活化分析

中子活化分析是确定身体成分,尤其是化学成分的最古老方法之一。当原子暴露于中子时,可能会具有放射性并释放伽马辐射,通过伽马能谱法可检测。使用钾同位素可以测量全身钾含量,并可用于确定去脂体重^[40]。该方法不受严重体液潴留的影响^[41],是一种非常准确的测量方法,约需要 1 h^[40]。但很多医院没有该项设备和技术,且因该方法有一定量的辐射且耗时,不适合重复监测肌肉损失^[42],更不适合生命支持设备繁多的 ICU 患者。

6 生物阻抗

生物阻抗利用 1 个(单频)或多个(多频)射频的低幅度交变电流来表征身体的导电和非导电流体和组织成分^[15,43]。多频技术有助于提高诊断的准确性^[44]。脂肪、骨骼和含气组织传导电流能力不佳,而富含水和电解质的组织,如肌肉和血液,是极好的电流导体^[45]。通过将生物阻抗发生器放置在手和脚背 4 个表面触觉电极上测量电阻,并用公式推导肌肉质量^[46]。研究表明,生物阻抗和 CT 测得的 SMM 相关度很高^[15]。该技术便宜、无辐射且可在床边进行,为 ICUAW 的临床应用提供了可能^[47],但仍存在一定的缺陷,如依赖变量方程式,对 ICUAW 患者需要进一步细化算法,与身体可提供的成分密切相关等。

7 小 结

ICUAW 是重症患者常见的并发症,临床最常用肌力测试评估 ICUAW,多采用医学研究委员会评分(MRC)为标准,评估下肢多个肌肉群的功能,总分低于 48 分则认为存在 ICUAW;此外,还可采用手握力测定、呼吸肌力测定等,它们最理想的测量状态要求患者四肢松弛、清醒并配合,但 ICU 患者通常不能满

足,同时通过局部肌力代表整体肌肉力量也受到质疑。实验室检查也可作为 ICUAW 的诊断参考,如血浆神经丝、肌酐激酶水平升高,但无特异性。目前处于实验室阶段的内源性代谢物测量是通过收集 24 h 尿液的肌酐浓度作为身体骨骼肌质量的间接测量,但饮食、运动、感染、创伤、肾功能不全等因素会影响其准确性。肌肉病理活检是诊断 ICUAW 的金标准,可以直观地显示病变,但由于具有侵入性、价格昂贵,并可能导致并发症,故不能适用于所有患者。

随着影像技术的发展,影像学方法广泛应用于 ICUAW 的评估,尤其是 CT、MRI 及超声都能对 ICUAW 患者肌肉进行定性(肌肉无力)、定量(肌肉质量减少)评估,凭借其无创、便携、精确、可多次重复的优势,成为 ICUAW 诊断及监测的有力工具,并可作为侵入性检查前的筛查方法。其中,超声更能快速、重复地进行床边评估,新型超声技术的出现增加了评估的完整性,是很有前途的 ICUAW 诊断工具。但各种影像学手段尚没有最佳观察指标和诊断临界值,且各种影像学检查方式的可重复性、可靠性,以及检测结果与临床、电生理和病理结果之间的相关性仍需要进一步研究。

参考文献

- [1] MEYER-FRIEEM C H, MALEWICZ N M, RA TH S, et al. Incidence, time course and influence on quality of life of intensive care unit-acquired weakness symptoms in long-term intensive care survivors [J]. *Intensive Care Med*, 2021, 36(11):1313-1322.
- [2] 宛荣豪,陈一凡,李磊,等. ICU 获得性肌无力的研究进展[J/CD]. *中华神经创伤外科电子杂志*, 2018, 4(3):175-187.
- [3] FISSE A L, MAY C, MOTTE J, et al. New approaches to critical illness polyneuromyopathy: high-resolution neuromuscular ultrasound characteristics and cytokine profiling [J]. *Neurocrit Care*, 2021, 35(1):139-152.
- [4] PIVA S, FAGONI N, LATRONICO N. Intensive care unit-acquired weakness: unanswered questions and targets for future research [J]. *F1000Res*, 2019, 8:508.
- [5] APPLETON R T, KINSELLA J, QUASIM T. The incidence of intensive care unit-acquired weakness syndromes: a systematic review [J]. *J Intensive Care Soc*, 2014, 16(2):126-136.
- [6] 蔡骋,朱鹏飞. ICU 获得性肌无力研究进展 [J]. *现代医药卫生*, 2021, 37(8):1323-1326.
- [7] ROCHWERG B, OCZKOWSKI S J, SIEMIEN-

- IUK R A C, et al. Corticosteroids in sepsis: an updated systematic review and meta-analysis [J]. *Crit Care Med*, 2018, 46(9):1411-1420.
- [8] 胡燕, 胡晓莹, 肖伽, 等. 早期活动对 ICU 患者身体功能状态影响的 Meta 分析[J]. *中华危重病急救医学*, 2019, 31(4):458-463.
- [9] DE JONGHE B, SHARSHAR T, LEFAUCHEUR J P, et al. Paresis acquired in the intensive care unit: a prospective multicenter study[J]. *JAMA*, 2002, 288(22):2859-2867.
- [10] MEYER-FRIEßEM C H, MALEWICZ N M, RATH S, et al. Incidence, time course and influence on quality of life of intensive care unit-acquired weakness symptoms in long-term intensive care survivors[J]. *J Intensive Care Med*, 2020, 36(11):1313-1322.
- [11] YANG T, LI Z, JIANG L, et al. Risk factors for intensive care unit-acquired weakness: a systematic review and meta-analysis [J]. *Acta Neurol Scand*, 2018, 138(2):104-114.
- [12] THILLE A W, BOISSIER F, MULLER M, et al. Role of ICU-acquired weakness on extubation outcome among patients at high risk of reintubation[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1):86.
- [13] VAN WAGNERBERG L, WITTEVEEN E, WIESKE L, et al. Causes of mortality in ICU-acquired weakness[J]. *J Intensive Care Med*, 2020, 35(3):293-296.
- [14] 邱昱, 姜利, 席修明. 机械通气患者 ICU 获得性肌无力早期发病率及预后研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2019, 31(7):821-826.
- [15] KIM D, SUN J S, LEE Y H, et al. Comparative assessment of skeletal muscle mass using computerized tomography and bioelectrical impedance analysis in critically ill patients[J]. *Clin Nutr*, 2019, 38(6):2747-2755.
- [16] MUNDI M S, PATEL J J, MARTINDALE R, et al. Body composition technology: implications for the ICU[J]. *Nutr Clin Pract*, 2019, 34(1):48-58.
- [17] 谢永鹏, 钱颖, 袁刚, 等. 竖脊肌横截面积联合血清 GDF-15 对 ICU 机械通气患者获得性肌无力诊断及预后评估价值研究[J]. *中华急诊医学杂志*, 2020, 29(8):1059-1065.
- [18] 曾小敏. 腰椎旁肌肉退变的影像学评估及进展[J]. *临床放射学杂志*, 2022, 41(1):182-186.
- [19] CASAER M P, MESOTTEN D, HERMANS G, et al. Early versus late parenteral nutrition in critically ill adults[J]. *N Engl J Med*, 2011, 365(6):506-517.
- [20] HOKKOKU K, ERRA C, CUCCAGNA C, et al. Intensive care unit-acquired weakness and positioning-related peripheral nerve injuries in COVID-19: a case series of three patients and the latest literature review[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(9):1177.
- [21] KAYIM YILDIZ O, YILDIZ B, AVCI O, et al. Clinical, neurophysiological and neuroimaging findings of critical illness myopathy after COVID-19[J]. *Cureus*, 2021, 13(3):e13807.
- [22] BAGNATO S, BOCCAGNI C, MARINO G, et al. Critical illness myopathy after COVID-19[J]. *Int J Infect Dis*, 2020, 99:276-278.
- [23] TANKISI H, TANKISI A, HARBO T, et al. Critical illness myopathy as a consequence of Covid-19 infection[J]. *Clin Neurophysiol*, 2020, 131(8):1931-1932.
- [24] FERNANDEZ C E, FRANZ C K, KO J H, et al. Imaging review of peripheral nerve injuries in patients with COVID-19[J]. *Radiology*, 2021, 298(3):E117-130.
- [25] BASTON C M, GELLHORN A C, HOUGH C L, et al. Interrater reliability of quantitative ultrasound measures of muscle in critically ill patients[J]. *PM R*, 2022, 14(2):183-189.
- [26] 王茂生. 脾虚证 ICU 获得性肌无力与超声下肢直肌横截面积的相关性分析[D]. 广州: 广州中医药大学, 2019.
- [27] FORMENTI P, UMBRELLO M, COPPOLA S, et al. Clinical review: peripheral muscular ultrasound in the ICU [J]. *Ann Intensive Care*, 2019, 9(1):57.
- [28] NG K W, CONNOLLY A M, ZAIDMAN C M. Quantitative muscle ultrasound measures rapid declines over time in children with SMA type 1 [J]. *J Neurol Sci*, 2015, 358(1/2):178-182.
- [29] PARRY S M, EL-ANSARY D, CARTWRIGHT M S, et al. Ultrasonography in the intensive care setting can be used to detect changes in the quality and quantity of muscle and is related to muscle strength and function[J]. *J Crit Care*, 2015, 30(5):9-14.
- [30] PAOLO F, VALENTINA G, SILVIA C, et al. The possible predictive value of muscle ultrasound in the diagnosis of ICUAW in long-term critically ill patients[J]. *J Crit Care*, 2022, 71:154104.
- [31] HERNÁNDEZ-SOCORRO C R, SAAVEDRA P,

- LOPEZ-FEMANDEZ J C, et al. Assessment of muscle wasting in long-stay ICU patients using a new ultrasound protocol[J]. *Nutrients*, 2018, 10(12):1849.
- [32] GADERMAYR M, DISCH C, MÜLLER M, et al. A comprehensive study on automated muscle segmentation for assessing fat infiltration in neuromuscular diseases[J]. *Magn Reson Imaging*, 2018, 48:20-26.
- [33] HERNÁNDEZ-SOCORRO C R, SAAVEDRA P, LÓPEZ-FERNÁNDEZ J C, et al. High-quality sonographic methods to diagnose muscle wasting in long-stay critically ill patients: shear wave elastography, superb microvascular imaging and contrast-enhanced ultrasound[J]. *Nutrients*, 2021, 29, 13(7):2224.
- [34] CARPENTER E L, LAU H A, KOLODNY E H, et al. Skeletal muscle in healthy subjects versus those with GNE-related myopathy: evaluation with shear wave USA pilot study[J]. *Radiology*, 2015, 277(2):546-554.
- [35] FLATTRES A, AARAB Y, NOUGARET S, et al. Real-time shear wave ultrasound elastography: a new tool for the evaluation of diaphragm and limb muscle stiffness in critically ill patients[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1):34.
- [36] 杨莉. 膈肌超声诊断 ICU 获得性衰弱应用价值的临床研究[D]. 昆明:昆明医科大学, 2020.
- [37] LEE S Y, AHN S, KIM Y J, et al. Comparison between dual-energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analyses for accuracy in measuring whole body muscle mass and appendicular skeletal muscle mass [J]. *Nutrients*, 2018, 10(6):738.
- [38] BUCKINX F, LANDI F, CESARI M, et al. Pitfalls in the measurement of muscle mass: a need for a reference standard [J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2018, 9(2):269-278.
- [39] SERGI G, DE RUI M, VERONESE N, et al. Assessing appendicular skeletal muscle mass with bioelectrical impedance analysis in free-living caucasian older adults [J]. *Clin Nutr*, 2015, 34(4):667-673.
- [40] DUREN D L, SHERWOOD R J, CZERWINSKI S A, et al. Body composition methods: comparisons and interpretation [J]. *J Diabetes Sci Technol*, 2008, 2(6):1139-1146.
- [41] GRUTHER W, BENESCH T, ZORN C, et al. Muscle wasting in intensive care patients: ultrasound observation of the M. quadriceps femoris muscle layer [J]. *J Rehabil Med*, 2008, 40(3):185-189.
- [42] JOSKOVA V, PATKOVA A, HAVEL E, et al. Critical evaluation of muscle mass loss as a prognostic marker of morbidity in critically ill patients and methods for its determination [J]. *Rehabil Med*, 2018, 22, 50(8):696-704.
- [43] MULASI U, KUCHNIA A J, COLE A J, et al. Bioimpedance at the bedside: current applications, limitations, and opportunities [J]. *Nutr Clin Pract*, 2015, 30(2):180-193.
- [44] GLICKMAN S G, MARN C S, SUPIANO M A, et al. Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity [J]. *Appl Physiol*, 2004, 97(2):509-514.
- [45] KERR A, SLATER G J, BYRNE N. Impact of food and fluid intake on technical and biological measurement error in body composition assessment methods in athletes [J]. *Br J Nutr*, 2017, 117(4):591-601.
- [46] KYLE U G, BOSAEUS I, DE LORENZO A D, et al. Bioelectrical impedance analysis. Part I: review of principles and methods [J]. *Clin Nutr*, 2004, 23(5):1226-1243.
- [47] MONTEJO GONZÁLEZ J C, SÁNCHEZ-BAYTON GRIFFITH M, OREJÓN GARCÍA L, et al. Muscle in critically ill patients [J]. *Nutr Hosp*, 2019, 36(2):12-17.

(收稿日期:2023-03-18 修回日期:2023-07-22)

(编辑:冯甜)