

类风湿恶病质影像学进展

杨影 综述 龚沈初 审核

【摘要】 类风湿恶病质(rheumatoid cachexia, RC)是类风湿关节炎(rheumatoid arthritis, RA)常见的并发症,是类风湿关节炎发展过程中长期存在的问题。RC 患者可能不会出现明显的体重减轻,所以人们往往会低估类风湿恶病质的影响。评估类风湿恶病质患者的体质成分并减少代谢并发症及其影响不容忽视。本文总结类风湿恶病质的主要检查手段并对其研究进展进行综述。

【关键词】 关节炎, 类风湿;恶病质;体质;影像学评估

【中图分类号】 R593.22;R589.2;R33;R814.4;R445.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2021)10-1316-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.10.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



恶病质是一种以食欲、体重和骨骼肌下降为特征的多因素综合征,会导致疲劳、功能障碍甚至死亡^[1]。类风湿关节炎(rheumatoid arthritis, RA)中恶病质存在经典恶病质和类风湿恶病质(rheumatoid cachexia, RC)两种亚型^[2]。经典恶病质的特征是体重严重下降包括肌肉和脂肪含量的减少,以及蛋白质分解代谢增加,可发生于感染、肿瘤、艾滋病等;而 RC 可能不会出现明显的体重减轻^[3,4],并且可以维持正常的体重指数(BMI),表现为肌肉含量降低,脂肪含量(fat mass, FM)稳定或增加^[5]。

RC 是 RA 最常见的营养并发症,是 RA 发展过程中长期存在的问题,患病率 15%~32%^[6],在炎症改善后仍然存在。经典恶病质在 RA 患者中较罕见^[5],发病率约为 1%^[6]。RC 患者可能不会出现明显的体重减轻,所以人们往往会低估类风湿恶病质的影响。RC 不仅会增加患者的医疗费用负担,而且还会导致功能残疾、生活质量下降和死亡率增加^[7]。一方面,肌肉含量不断减少,大约 13%~15%,占最大活性肌肉质量的 1/3^[8],肌肉的减少与残疾高度相关^[9]。另一方面,FM 稳定或不断增加,增加了高血压、糖尿病和心血管疾病的风险^[10,11]。因此,应认识到 RC 的存在,并定期、仔细地评估患者体质成分(body composition, BC)以期早诊断,早治疗,减少或预防并发症^[12],及时采取干预措施降低或延缓 RC 的发生。需对 RC 明确诊断标准,然后基于患者的基线特征制定个性化的管理。

类风湿恶病质的诊断标准

Engvall 等^[13]首次提出了关于 RC 的临床诊断标准:以瑞士人口作为参考,去脂体重指数(fat free mass index, FFMI) $<10\%$ 且脂肪体重指数(fat mass index, FMI) $>25\%$ 。随后,Elkan 等^[14]提出了另一诊断标准:基于相同人口,FFMI $<25\%$,FMI $>50\%$ 。与 Engvall 等相比 Elkan 等提出的 RC 诊断标准限制性较小。Santo 等^[6]在文献中发现 RC 患病率存在很大差异,这种差异取决于用于 RC 的不同诊断标准和身体成分评估方法。

RC 的诊断标准和测量体质成分的方法对 RC 患病率的估计有很大的影响,因此,影像学检查在评估肌肉含量和脂肪含量方面发挥重要的作用。

类风湿恶病质的影像学评估

RC 通常使用双能 X 线骨密度仪(DXA)、计算机断层扫描(CT)、磁共振成像(MRI)3 种影像学方法进行评估,主要评估 RC 患者的体质成分,包括脂肪、骨骼肌、骨和水分。

1. 双能 X 线骨密度仪(DXA)

DXA 是目前类风湿恶病质研究中应用最广泛的一种方法,能准确评估去脂体质量(fat-free mass, FFM)和脂肪含量,常作为体质成分测量的参考标准^[15]。DXA 测量体质成分的原理基于 X 射线束穿过人体时会根据人体的不同成分和厚度成比例衰减,利用两种不同的能谱(40 keV 和 70~80 keV)衰减差异,使用经过验证的预测算法^[16]分别定量骨、肌肉和脂肪的含量^[17]并提供脂肪量的测量,预测疾病风险。目前,DXA 可在几分钟内实现全身扫描,辐射剂量较低,大约为 10~8.6 mSV,相当于胸部 X 射线的 1%~

作者单位:236000 江苏,南通大学第二附属医院

作者简介:杨影(1995-),男,江苏泰兴人,硕士,主要从事骨肌影像诊断工作。

通讯作者:龚沈初, E-mail: gongshenchu@msn.com

10%^[18]。

DXA 可用于全身、四肢及多个局部体质成分的测量,测量的精确度非常高。量化全身体质成分时,总脂肪含量百分比、总脂肪含量及瘦组织含量的变异系数分别为 1.89%、2.0% 及 1.1%。DXA 对于局部体质成分测量的精确度不如全身测量,四肢肌肉含量误差大约为 1%~3%^[19],双臂肌肉含量的误差较高,大约为 4%^[20,21]。RC 的研究中通常使用全身测量作为体质成分的评估。Marie Hugo 等^[11]对 57 位 RA 患者进行全身测量评估体质成分,研究结果表明糖皮质激素的使用与 RC 明显相关,为患者的治疗预后提供一个可靠的评价指标。Ann-Charlotte Elkan 等^[14]使用同样的评估方法,研究显示 RC 与血脂异常和低水平的抗磷酸胆碱的动脉粥样硬化天然抗体有关,而与饮食无关。有研究显示^[5]RC 疾病活动和生物疗法的使用与身体成分和身体功能的改变有关。此外,DXA 还可自定义独特的分区以描述不同性别体质成分的脂肪分布^[22]。

测量 FM 和 FFM 最准确的方法包括密度测量(水下称重)、水文测量(氘稀释)和全身钾计数。然而,这些方法较复杂,需要专门的专业知识和昂贵的设备,使其在临床的应用受到限制。与生物电阻抗分析(BIA)、超声、CT、MRI 相比,DXA 可行性强、准确度高、安全性好、成本低,常作为其他技术的参考方法^[23]。然而,DXA 不能提供肌肉和脂肪组织的空间分布,不能区分内脏脂肪和皮下脂肪(具有相同的 X 线衰减特性)。不同设备、软件及版本,DXA 测量的结果不同且设备不可移动,需要专业的放射科医师分析,使得 DXA 在临床实践中的使用受到限制。

2. 计算机断层扫描(CT)

CT 是另一种在临床研究中用于评估 RC 体质成分的检查技术。20 世纪 80 年代中期,CT 提供了第一个精确量化活体体质成分的方法。由于物质对 X 线的衰减不同,可手动分割或软件自动测量 CT 横断面图像上肌肉、脂肪的 CT 值及横断面积,精确定量区域内肌肉、脂肪的含量^[24]和体积,还可以量化肌肉的密度(其 CT 值与肌肉内脂肪含量呈线性关系),进而求得肌肉的大致质量^[25]。

分析机体体质成分需要进行全身扫描,然而,大多数情况下只选择局部部位进行扫描以减少辐射剂量。评估骨骼肌含量时典型解剖位置是大腿和股骨近端,辐射剂量较低(<0.5 mSv),测量误差 $<1\%$ ^[26]。Alexander Mühlberg 等^[28]在股骨干上段水平,据自动定位区域最大和最小 CT 值范围的 70% 区间作为阈值,定量肌肉和脂质含量。研究表明使用螺旋 CT 测量胸 12 椎弓根层面椎旁肌面积与不同椎体层面腰大肌面

积,重复性较好^[27],可常规应用于临床。van der Werf A 等^[29]选择腰 3 椎体水平,测量骨骼肌面积(skeletal muscle area, SMA)、骨骼肌指数(skeletal muscle index, SMI)和肌肉的 CT 值(muscle radiation attenuation, MRA)作为肌肉评估指标。脂肪评估一般在脐水平,测量皮下脂肪和内脏脂肪,窗宽大约 500 HU,窗位大约为 -40 HU,脂肪阈值为 $-40 \sim -140$ HU^[24,30]。Young Hoon Cho 等^[31]在胸 12 椎体水平,半自动测量肌肉和皮下脂肪横截面积,量化不同的身体成分。Heckman 等^[32]在评估内脏脂肪含量时选择胸 12~腰 4 椎间盘水平测量每层切片的内脏脂肪横截面积,CT 阈值由半自动计算图像处理系统获得(大约为 $-205 \sim -51$ HU)。

CT 图像的空间分辨率较高,尽管肌肉体积也可通过 MRI 测量,但典型的 MR 参数是层厚为 3 mm,像素大小 0.5 mm;CT 的层厚 1 mm,像素大小 300 微米。CT 高质量的图像重建和稳定的衰减值,有助于图像分割,也提供了体质成分和质量的测量。然而,CT 的成本相对于 DXA 较高,且过度肥胖者可能无法进行扫描,图像质量也会很差。CT 在评估癌症患者恶病质的应用较多^[33,34],在 RC 中的应用少有报道,患者往往因其他临床原因才会进行 CT 检查,CT 的辐射暴露和相对较高的成本限制了目前主要用于研究或临床的应用,在 RC 研究领域的应用受到制约。

3. 磁共振成像(MRI)

随着 MRI 技术的发展,图像采集时间逐渐缩短,适用人群逐渐增宽,磁共振评估体质成分的研究不断增多,被认为是体内身体成分定量最精确的方法之一。对于 RC 体质成分的评估可有多种序列如 T_1 加权图像、 T_2 -mapping、Dixon 序列、MRS 等^[35]。

T_1 加权图像可以清晰显示解剖结构,不仅可以通测量腹部单一层面的肌肉、脂肪面积来评估全身肌肉、脂肪含量,还可直接进行全身肌肉和脂肪含量的测定。 T_2 -mapping 通过测量组织 T_2 值来定量分析组织内部成分变化,在不同状态下肌肉的 T_2 弛豫时间不同。肌肉组织脂肪浸润时, T_2 弛豫时间延长,定量测量 T_2 值获得肌肉脂肪浸润程度^[36],成像回波次数越多,测量越准确,但扫描时间会延长。Dixon 序列基于水和脂肪之间的化学位移不同的原理获得水脂分离图像,量化组织的脂肪分数^[37]。Dixon 序列测得的脂肪分数与 MRS 测得的脂肪含量具有一致性^[38]且与 ^1H -MRS 相比,Dixon 序列不但能定量测量脂肪含量,还可以覆盖较大的空间面积,故该技术发展较快,目前广泛应用于肌肉组织的脂肪含量的测量中^[39]。Karls-son 等^[40]报道了一种用于评估全身和局部骨骼肌体积的二点 Dixon 序列自动水脂肪分割方法的发展,在使

用 3T 宽口径 MRI 扫描仪和集成正交体线圈的随访研究中^[41]显示了极佳的可重复性和手工分割图像一致性。IDEAL-CPMG(iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares)技术是基于 Dixon 技术发展而来的,在一次采集中同时获得水像、脂像及同相位与反相位图像,使用非对称采集技术与迭代最小二乘水脂分离的算法,使得任意的的水脂比例都可以进行精确的水脂分离,进而可对肌肉内脂肪进行量化^[42]。MRS 是目前应用最普遍的磁共振脂肪测量技术。由于不同物质的进动频率不同,通过测量它们进动的频率值就可区分不同的化学物质;再测量相应频率处的谱线下面积就可得到化学物质的含量。¹H-MRS 技术测量脂肪准确度高、可重复性好,是肝脏脂肪含量测定的金标准,在肌肉脂肪含量测量中也被广泛应用^[38]。¹H-MRS 可以分别对肌肉细胞内及细胞外脂肪进行量化,但 MRS 对扫描设备及条件要求较高且成像时间较长,图像处理较繁琐,能测量局部脂肪^[43],类风湿恶病质患者肌肉脂肪浸润较为不均一,MRS 较局限。

MRI 具有良好的软组织对比度、分辨率高、无辐射^[25]、多参数及多方位成像的优势,不但能较准确地显示肌肉的形态和解剖结构,还可评估肌肉的脂肪化、水肿、肥大、萎缩等改变,并且能监测肌肉受累的顺序和程度,所以在肌肉疾病的诊断中发挥着重要作用。然而,磁共振检查成本高昂、技术依赖性强以及存在呼吸运动伪影,数据采集的多种协议又会影响标准化^[44]。近年来,磁共振脂肪测量技术已广泛应用于临床研究中,在肌肉疾病中的应用亦是目前的研究热点。

类风湿恶病质的研究进展

相较于传统的临床医学仅仅从视觉层面解读医学影像,影像组学可深入挖掘图像的生物学本质并提供临床决策支持^[45]。近年来,越来越多的学者关注影像组学,在体质成分研究方面进行探索,取得了大量成果,加快了 RC 的临床和转化研究。Jinzheng Cai 等^[46]利用卷积神经网络(CNNs)对比目鱼肌、腓肠肌外侧和腓肠肌内侧肌进行纹理分析并进行分类,比传统的平均脂肪分数(MFF)标准提高了 40%,为客观评估 RC 的体质成分成分提供了很好的参考。Anton S. Becker 等^[47]对脊柱旁肌肉和皮下脂肪等矩形感兴趣区进行了纹理分析,结果显示不同结构的最佳拟合程度不同,脂肪主要表现为指数型(17 个特征),肌肉主要表现为线形(12 个特征)。Aurea B. Martins-Bach 等^[48]在小鼠模型中结合 T₂ 加权图像和纹理分析肌肉变化,为评估治疗和预后的肌肉变化提供了非侵入性工具,最重要的是可以直接应用于人类研究。Sikio

等^[49]在优势大腿的两个解剖水平上对 5 块大腿肌肉、皮下脂肪和股骨骨髓进行了基于共生矩阵定量纹理分析,显示纹理分析是一种检测肌肉、脂肪和骨髓中明显结构差异的潜在方法。

影像组学是一种大数据分析,对数据的标准化、算法的可重复性和可靠性提出了很高要求,通过从不同模态影像中提取高通量特征并加以数据挖掘。影像组学是大数据技术与医学影像辅助诊断的有机融合,增加了高通量特征和数据挖掘的影像组学方法将有效提高诊断准确率^[50]。但不同厂商的机器在图像获取、重建算法和参数设置方面有很大差异,缺乏统一标准;即使同一台设备,对比剂剂量、扫描层厚、脉冲序列、成像深度和增益等也会对图像产生影响。此外,多模态多参数技术使得同一种疾病可采用多种影像方式观察。医疗机构针对不同类型疾病的检查方式并无指南或共识。因此,要获取相同或相似参数的大影像数据库十分困难。

如今还有很多技术可以用来评估 RC 代谢、营养情况。体质指数(BMI)、皮肤褶皱和周长以 BIA^[51]是相对简单的估计方法,其他方法还包括水下称重和空气置换体积描记法,营养状况通过测量无意识的体重下降、BMI 和握力来确定。同时,超声、肌酸稀释法、电阻抗肌电图等新技术不断被挖掘。尽管这些方法在 RC 的筛查和诊断中还没有得到广泛的应用,但随着技术方法的不断改善,可能成为评估 RC 的有效方法,其成本、可用性和易用性决定着这些技术是更适合临床实践,还是更适合研究。

总结和展望

人们对于类风湿恶病质的认识尚有不足,研究仍处于起步阶段,但其重要性不言而喻,评估 RC 患者体质成分并减少代谢并发症及其影响不容忽视。我们应能不断加深对 RC 的认识,改善 RC 质患者的预后。随着医学影像学数据的不断积累和标准化,以及各类图像分割、特征提取、特征选择和模式识别方法的迅速发展,影像组学将会对 RC 研究发展产生深远的影响和巨大的变革。

参考文献:

- [1] Roeland EJ, Bohlke K, Baracos VE, et al. Management of cancer cachexia: ASCO guideline[J]. J Clin Oncol, 2020, 38(21): 2438-2453.
- [2] Summers GD, Metsios GS, Stavropoulos KA, et al. Rheumatoid cachexia and cardiovascular disease[J]. Nat Rev Rheumatol, 2010, 6(8): 445-451.
- [3] Roubenoff R, Roubenoff RA, Cannon JG, et al. Rheumatoid cachexia: cytokine-driven hypermetabolism accompanying reduced body cell mass in chronic inflammation[J]. J Clin Invest, 1994, 93

- (6);2379-2386.
- [4] Roubenoff R. Rheumatoid cachexia; a complication of rheumatoid arthritis moves into the 21st century[J]. *Arthritis Res Ther*, 2009,11(2):108.
 - [5] Santo RC, Silva JM, Lora PS, et al. Cachexia in patients with rheumatoid arthritis; a cohort study[J]. *Clin Rheumatol*, 2020, 39(12):3603-3613.
 - [6] Santo R, Fernandes KZ, Lora PS, et al. Prevalence of rheumatoid cachexia in rheumatoid arthritis; a systematic review and meta-analysis[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2018,9(5):816-825.
 - [7] Norton S, Koduri G, Nikiphorou E, et al. A study of baseline prevalence and cumulative incidence of comorbidity and extra-articular manifestations in RA and their impact on outcome[J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2013,52(1):99-110.
 - [8] Son KM, Kang SH, Seo YI, et al. Association of body composition with disease activity and disability in rheumatoid arthritis[J]. *Korean J Intern Med*, 2021,36(1):214-222.
 - [9] Lemmey AB. Rheumatoid cachexia; the undiagnosed, untreated key to restoring physical function in rheumatoid arthritis patients? [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2016,55(7):1149-1150.
 - [10] Andonian BJ, Huffman KM. Skeletal muscle disease in rheumatoid arthritis; the center of cardiometabolic comorbidities? [J]. *Curr Opin Rheumatol*, 2020,32(3):297-306.
 - [11] Hugo M, Mehseu-Cetre N, Pierreisnard A, et al. Energy expenditure and nutritional complications of metabolic syndrome and rheumatoid cachexia in rheumatoid arthritis; an observational study using calorimetry and actimetry[J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2016,55(7):1202-1209.
 - [12] Sokka T, Kautiainen H, Pincus T, et al. Work disability remains a major problem in rheumatoid arthritis in the 2000s; data from 32 countries in the QUEST-RA study[J]. *Arthritis Res Ther*, 2010,12(2):R42.
 - [13] Engvall IL, Elkan AC, Tengstrand B, et al. Cachexia in rheumatoid arthritis is associated with inflammatory activity, physical disability, and low bioavailable insulin-like growth factor[J]. *Scand J Rheumatol*, 2008,37(5):321-328.
 - [14] Elkan AC, Hakansson N, Frostegard J, et al. Rheumatoid cachexia is associated with dyslipidemia and low levels of atheroprotective natural antibodies against phosphorylcholine but not with dietary fat in patients with rheumatoid arthritis; a cross-sectional study[J]. *Arthritis Res Ther*, 2009,11(2):R37.
 - [15] Earthman CP. Body composition tools for assessment of adult malnutrition at the bedside; a tutorial on research considerations and clinical applications [J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2015,39(7):787-822.
 - [16] Saarelainen J, Hakulinen M, Rikonen T, et al. Cross-calibration of GE healthcare lunarprodigy and iDXA dual-energy X-ray densitometers for bone mineral measurements [J]. *J Osteoporos*, 2016,4(2016):1-11.
 - [17] Kaul S, Rothney MP, Peters DM, et al. Dual-energy X-ray absorptiometry for quantification of visceral fat[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2012,20(6):1313-1318.
 - [18] Marra M, Sammarco R, De Lorenzo A, et al. Assessment of body composition in health and disease using bioelectrical impedance analysis (BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA): a critical overview [J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2019, 5(2019):1-9.
 - [19] Lewiecki EM, Binkley N, Morgan SL, et al. Best practices for dual-energy X-ray absorptiometry measurement and reporting; international society for clinical densitometry guidance[J]. *J Clin Densitom*, 2016,19(2):127-140.
 - [20] Baracos V, Caserotti P, Earthman CP, et al. Advances in the science and application of body composition measurement[J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2012,36(1):96-107.
 - [21] Pham DD, Lee SK, Shin C, et al. Body weight difference between dual-energy X-ray absorptiometry and multi-frequency bioelectrical impedance analysis attenuates the equivalence of body-composition assessment[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2019,73(3):387-394.
 - [22] Maskarinec G, Morimoto Y, Daida Y, et al. Comparison of breast density measured by dual energy X-ray absorptiometry with mammographic density among adult women in Hawaii[J]. *Cancer Epidemiol*, 2011,35(2):188-193.
 - [23] 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.
 - [24] Heymsfield SB, Gonzalez MC, Lu J, et al. Skeletal muscle mass and quality: evolution of modern measurement concepts in the context of sarcopenia[J]. *Proc Nutr Soc*, 2015,74(4):355-366.
 - [25] Heffler MA, Barlow R, Xi Y, et al. Multi-parametric muscle and fat correlation of computed tomography parameters to outcomes in a total hip arthroplasty population[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2018,19(1):4.
 - [26] Seeram E. Computed tomography; a technical review[J]. *Radiol Technol*, 2018,89(3):279-302.
 - [27] 都雪朝, 孙朋涛, 王若顿, 等. MSCT 在定量测量腰背部肌肉面积中的应用[J]. *放射学实践*, 2019,34(5):540-544.
 - [28] Mühlberg A, Museyko O, Laredo JD, et al. A reproducible semi-automatic method to quantify the muscle-lipid distribution in clinical 3D CT images of the thigh[J]. *PLoS One*, 2017,12(4):e0175174.
 - [29] Van der Werf A, Langius JAE, de van der Schueren MAE, et al. Percentiles for skeletal muscle index, area and radiation attenuation based on computed tomography imaging in a healthy Caucasian population[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2018,72(2):288-296.
 - [30] Lake JE, Moser C, Johnston L, et al. CT fat density accurately reflects histologic fat quality in adults with HIV on and off antiretroviral therapy[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2019,104(10):4857-4864.
 - [31] Cho YH, Do KH, Chae EJ, et al. Association of chest CT-based quantitative measures of muscle and fat with post-lung transplant survival and morbidity; a single institutional retrospective cohort study in Korean population[J]. *Korean J Radiol*, 2019,20(3):522-530.
 - [32] Heckman KM, Otemuyiwa B, Chenevert TL, et al. Validation of a DIXON-based fat quantification technique for the measurement of visceral fat using a CT-based reference standard[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2019,44(1):346-354.
 - [33] Nattenmüller J, Wochner R, Muley T, et al. Prognostic impact of CT-quantified muscle and fat distribution before and after first-line-chemotherapy in lung cancer patients[J]. *PLoS One*, 2017,

- 12(1);e0169136.
- [34] Chu MP, Lieffers J, Ghosh S, et al. Skeletal muscle density is an independent predictor of diffuse large B-cell lymphoma outcomes treated with rituximab-based chemoimmunotherapy[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2017, 8(2):298-304.
- [35] Grimm A, Meyer H, Nickel MD, et al. A comparison between 6-point Dixon MRI and MR spectroscopy to quantify muscle fat in the thigh of subjects with sarcopenia[J]. *J Frailty Aging*, 2019, 8(1):21-26.
- [36] 王玉锦, 周舒畅, 祝婷婷. T₂-mapping 和化学位移成像定量观察正常成人多裂肌内少量脂肪的价值[J]. *放射学实践*, 2019, 34(2):188-194.
- [37] Agten CA, Roskopf AB, Gerber C, et al. Quantification of early fatty infiltration of the rotator cuff muscles: comparison of multi-echo Dixon with single-voxel MR spectroscopy[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(10):3719-3127.
- [38] Forbes SC, Arora H, Willcocks RJ, et al. Upper and lower extremities in duchenne muscular dystrophy evaluated with quantitative MRI and proton MR spectroscopy in a multicenter cohort[J]. *Radiology*, 2020, 295(3):616-625.
- [39] Nozaki T, Tasaki A, Horiuchi S, et al. Predicting retear after repair of full-thickness rotator cuff tear; two-point Dixon MR imaging quantification of fatty muscle degeneration-initial experience with 1-year follow-up[J]. *Radiology*, 2016, 280(2):500-509.
- [40] Karlsson A, Rosander J, Romu T, et al. Automatic and quantitative assessment of regional muscle volume by multi-atlas segmentation using whole-body water-fat MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2015, 41(6):1558-1569.
- [41] Thomas MS, Newman D, Leinhard OD, et al. Test-retest reliability of automated whole body and compartmental muscle volume measurements on a wide bore 3T MR system[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(9):2279-2291.
- [42] Reeder SB, McKenzie CA, Pineda AR, et al. Water-fat separation with IDEAL gradient-echo imaging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2007, 25(3):644-652.
- [43] Pineda N, Sharma P, Xu Q, et al. Measurement of hepatic lipid; high-speed T₂-corrected multiecho acquisition at ¹H MR spectroscopy—a rapid and accurate technique[J]. *Radiology*, 2009, 252(2):568-576.
- [44] Prado CM, Heymsfield SB. Lean tissue imaging; a new era for nutritional assessment and intervention[J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2014, 38(8):940-953.
- [45] Lambin P, Leijenaar Ralph TH, Deist TM, et al. Radiomics; the bridge between medical imaging and personalized medicine[J]. *Nat Rev Clin Oncol*, 2017, 14(12):749-762.
- [46] Cai J, Xing F, Batra A, et al. Texture analysis for muscular dystrophy classification in MRI with improved class activation mapping[J]. *Pattern Recognit*, 2019, 86(2):368-375.
- [47] Becker AS, Wagner MW, Wurnig MC, et al. Diffusion-weighted imaging of the abdomen; impact of b-values on texture analysis features[J]. *NMR Biomed*, 2017, 30(1):10.
- [48] Martins-Bach AB, Malheiros J, Matot B, et al. Quantitative T₂ combined with texture analysis of nuclear magnetic resonance images identify different degrees of muscle involvement in three mouse models of muscle dystrophy: mdx, Largemyd and mdx/Largemyd[J]. *PLoS One*, 2015, 10(2):e0117835.
- [49] Siki? M, Harrison LC, Nikander R, et al. Influence of exercise loading on magnetic resonance image texture of thigh soft tissues[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2014, 34(5):370-376.
- [50] Vernuccio F, Cannella R, Comelli A, et al. Radiomics and artificial intelligence; new frontiers in medicine[J]. *Recent Prog Med*, 2020, 111(3):130-135.
- [51] Santillán-Díaz C, Ramírez-Sánchez N, Espinosa-Morales R, et al. Prevalence of rheumatoid cachexia assessed by bioelectrical impedance vector analysis and its relation with physical function[J]. *Clin Rheumatol*, 2018, 37(3):607-614

(收稿日期:2020-07-21 收稿日期:2020-09-09)