

体质成分的研究现状和影像学评估

闫东, 程晓光

【关键词】 体质; 细胞结构; 骨密度; 肥胖症; 肌肉减少症; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R33; R329.24; R336; R589.25; R685; R814.4 【文献标志码】 D

【文章编号】 1000-0313(2022)10-1197-03

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.10.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



中国是世界上老年人口绝对数最多的国家。截至 2015 年底,我国 60 岁以上人口已超过 2.1 亿,约占总人口的 15.5%;65 岁以上人口近 1.4 亿,约占总人口的 10.1%^[1]。随着年龄的增长,作为人体体质主要成分的骨骼、肌肉、脂肪也会发生相应的变化^[2],继而引发骨质疏松症(osteoporosis, OP)、肌肉减少症(sarcopenia)、肥胖症等严重影响人们健康和生活方式的疾病,已成为世界各国面临的严重公共健康问题。

本期专题“体质成分的影像学评估”应用 DXA、QCT 和 MRI 等多种影像学方法评估骨密度、肌肉以及脂肪含量,反应了临床和影像医生对体质成分的高度关注。

体质成分的研究现状

1. 骨骼、肌肉和脂肪间的相互联系

体质成分主要有 3 部分组成,即骨骼、肌肉和脂肪,都是重要的内分泌器官^[3]。它们之间存在复杂的交互作用,形成骨-肌肉-脂肪的轴链反应。①肌肉与骨密度:多项研究证明肌肉质量与不同部位的骨密度正相关^[4-6]。足够的肌肉质量产生的机械负荷可以增加成骨细胞相关基因的合成和表达,刺激成骨细胞增殖、分化和矿化,从而调节骨量和骨结构,增加骨密度,降低骨折风险。肌肉退化和功能减低会导致骨组织微结构变化,最终导致骨质疏松。骨肌减少症概念的提出进一步提示骨骼、肌肉作为运动系统两大组成部分间的密切关系。②脂肪与骨密度:脂肪和肌肉类似,也可以通过骨骼施加机械应力,从而改善骨的生物力学,使骨骼质量得到提高。此外,脂肪还可以通过分泌产生的脂联素、瘦素和雌激素来调节骨密度。但是脂肪质量对骨密度的作用存在争议。一些研究认为脂肪

质量与骨密度呈正相关,前者越高,骨质疏松的程度越低,骨骼的健康程度就越好^[4,7-8]。而另一些研究则认为脂肪质量与骨密度呈负相关:肥胖导致促炎细胞因子水平的增加,从而促进骨吸收^[9];肌肉的脂肪浸润也增加了骨折风险^[10]。还有研究指出高脂肪质量只有在肌肉质量足够时才起保护作用。③脂肪与肌肉:研究表明脂肪增加会造成肌肉再生的代谢紊乱;同时,脂肪组织对肌肉的浸润也增加了发生肌肉减少症的风险^[11]。

2. 骨质疏松症、肥胖症与肌肉减少症

骨质疏松症作为最常见的骨骼疾病,是一种以骨量低,骨组织微结构损坏,导致骨脆性增加,易发生骨折为特征的全身性骨病^[12]。研究表明 2016 年我国 60 岁以上的老年人骨质疏松症患病率为 36%^[13]。预测至 2050 年因骨质疏松性骨折所致的医疗支出将高达 1745 亿元^[14],说明 OP 已成为我国重要的公共卫生问题。肥胖被 WHO 定义为与健康有明显风险相关的身体内过量脂肪积累,常伴发糖尿病、脂肪肝、高血压、冠心病等多种慢性疾病,成为威胁人类健康的主要“杀手”。肌肉减少症是指与增龄相关的进行性、广泛性肌肉含量减少、肌力下降和肌肉功能减退的综合征^[15],可导致严重的健康问题,如心肺功能受损、增加中老年人跌倒、骨折的风险和致残、致死率。

OP、肥胖症和肌肉减少症的重要临床和社会意义已不言而喻。作为诊断和评价指标的骨密度、肌肉和脂肪含量等体质成分测量就自然成为研究的焦点;而且由于其相互间存在密切关联和协同作用,也增加了研究难度。

体质成分的影像学评估

1. 双能 X 线骨密度仪(DXA)

双能 X 线骨密度仪(dual x-ray absorptiometry, DXA)最早于 20 世纪 60 年代由 Jacobson 开始使用;其原理是利用两种不同能量 X 线穿过组织时发生不同程度衰减实现对组织成分的分离和评估。DXA 可

作者单位:100035 北京,北京积水潭医院放射科

作者简介:闫东(1980—),男,吉林洮南人,博士,副主任医师,主要从事骨骼肌肉系统影像诊断和研究工作。

通讯作者:程晓光, E-mail: xiao65@263.net

基金项目:国家重点研发计划(2021YFC2501703);北京市医院管理中心临床医学发展专项(ZYLX202107);北京市优秀人才培养资助-青年骨干个人项目(2015000021467G177)

较准确地对人体骨骼、脂肪和肌肉成分进行评估^[16],是目前测量体质成分较为常用的检测方法;同时因其具有操作简便、快速、辐射低、测量结果相对准确的特点,在临床上得到了广泛应用。但 DXA 是二维扫描,所测的是面积骨密度,受骨骼大小的影响,且无法区分皮质骨和松质骨,可因骨质增生、椎小关节和间盘退变以及动脉钙化、体位等影响,使测量值产生误差^[17]。此外,DXA 无法单独对某块肌肉内部的脂肪进行精准量化测量。

2. 定量 CT (QCT)

定量 CT (quantitative computed tomography, QCT) 技术是由美国加州大学旧金山分校 (UCSF) 放射科的 Cann 和 Genant 教授于 1980 年提出^[18]。它是利用临床上常规使用的 CT 机,将校准体模置于检查部位和 CT 床之间与患者同步扫描,再经过专业软件分析从而测得骨密度。最新的非同步 QCT 无需将体模置于患者身下,只要每月扫描体模质控 1 次,就可得到与此前同步 QCT 高度一致的结果^[19],同时增加了患者的舒适度。①骨密度测量:QCT 作为一种三维成像测量技术,所测得的结果是真正意义上的体积骨密度,单位是 mg/cm^3 ,不受检测骨体积、形态的影响,能更好地反映骨质疏松时骨密度的变化;而且,其诊断骨质疏松只需做一个部位,可据临床需要选择脊柱或髌部^[20]。目前,测量腰椎松质骨骨密度是最常使用的方法;通常取 2 个腰椎,即 L_1 和 L_2 ^[21]。骨密度绝对值 $> 120\text{mg}/\text{cm}^3$ 为骨密度正常; $80 \sim 120\text{mg}/\text{cm}^3$ 为低骨量; $< 80\text{mg}/\text{cm}^3$ 为骨质疏松。②脂肪测量:QCT 作为一种无创、快速的影像检查手段,除骨密度测量的优势外,在分析内脏脂肪含量、肌肉脂肪浸润等方面也有较高的准确性和可重复性,已被广泛用于肥胖、脂肪肝、肌肉减少症等疾病的诊断与评估。①内脏脂肪测量:因为脂肪与骨骼肌肉的 CT 值有明显差异,所以 QCT 采用阈值的方法区分图像内的脂肪与非脂肪组织,并通过软件半自动勾画出腹内和皮下脂肪边界,可以测量腹部总脂肪、腹内和皮下脂肪面积,为研究肥胖提供了检测手段,已广泛用于肥胖相关的疾病风险预测和疗效评估。②肝脏脂肪测量:QCT 通过软件自动输出 QCT 骨密度、斜率和区域一致性校正值,据相关计算公式可以得到肝脏脂肪体积百分比。动物实验表明 QCT 所测得的肝脏脂肪含量与化学萃取法得到的结果高度相关^[22-23]。人体研究也证实 QCT 测量的肝脏脂肪百分数与 MR mDixon 所得结果之间有较好的一致性^[24,25]。QCT 肝脏脂肪含量测量为临床诊断肝脏脂肪变性、监测疾病进展和疗效评价提供了重要参考。③肌肉脂肪测量:肌肉脂肪浸润是肌肉力量降低、反映肌肉退变程度关键指标之一,也与肌肉减少症的

诊断、骨质疏松性骨折等密切相关。因此,肌肉脂肪测量近来成为新的研究热点^[26-29]。目前,QCT 肌肉脂肪测量主要应用在颈椎和腰椎的椎旁肌肉,通过软件得到肌肉和脂肪面积并计算出肌肉脂肪浸润程度。需要注意的是 QCT 不能直接测量肌细胞内的脂肪含量。

QCT 与 DXA 类似,具有较高辐射量;但可与常规临床 CT 检查(如胸腹部 CT、健康体检低剂量胸部 CT 等)相结合,能在不增加受试者辐射剂量的基础上,只需 1 次扫描即可在满足临床影像诊断的基础上同时进行 QCT 分析,完成骨密度、脂肪面积、肝脏和肌肉脂肪含量等测量,做到多病共检,满足临床与科研的双需求,势必在骨质疏松诊断、肥胖、脂肪肝和肌肉减少症等评价中具有越来越广泛的应用前景^[30-31]。

3. 磁共振成像

MRI 越来越显示出在体质分析方面的巨大潜力。MR 的常规 T_1 WI 和 T_2 WI 序列可以对脂肪浸润程度进行定性评估,而无法实现定量测量。磁共振波谱 (magnetic resonance spectroscopy, MRS) 成像和基于化学位移编码的水脂分离 (chemical shift encoded water-fat separation, CSE-WFS) 成像技术可以对脂肪进行定量研究,被用于评价肝脏、骨髓以及骨骼肌中脂肪含量;所测得的质子密度脂肪分数 (proton density fat fraction, PDFF) 可以实现对细胞内脂肪含量的定量测量,是目前公认的一种可以精确量化人体组织脂肪含量的影像学标志物^[32-33]。

MRS 通常采用氢质子 (^1H) 波谱技术在 1997 即被证实可以测量肌细胞内和肌细胞间脂质;随后的动物实验也进一步证实所测的脂肪含量与病理结果高度相关^[34]。但 ^1H -MRS 扫描时间长,后处理复杂,且水脂峰存在重叠,使其应用受限。Dixon 是利用 CSE-WFS 成像的技术,将不对称采集的回波与迭代算法相结合,从而提高了水脂分离的准确性和稳定性^[35];其衍生序列由于厂家不同而名称各异,如 GE 公司的 IDEAL/IDEAL-IQ、Siemens 公司的 LiverLab 和 Philips 公司的 mDixon 和 mDixon Quant。研究显示多回波 mDixon 技术能够快速、准确地完成肝脏脂肪定量测量^[36]。mDixon Quant 技术可一次屏气采集 6 个回波,同时结合 7 峰值脂肪模型和 T_2^* 校正,提供精确的脂肪定量结果^[37]。但是,由于 MRI 检查预约周期长、费用高和扫描时间较长等多方面原因,限制了其在临床的脂肪测量中的应用。

参考文献:

- [1] 马远征,王以朋,刘强,等.中国老年骨质疏松症诊疗指南(2018)[J].中国骨质疏松杂志,2018,24(12):1541-1567.
- [2] St-Onge MP, Gallagher D. Body composition changes with aging: the cause or the result of alterations in metabolic rate and macro-

- nutrient oxidation? [J]. *Nutrition*, 2010, 26(2):152-155.
- [3] 骨骼与骨质疏松学科组中国老年学和老年医学学会骨质疏松分会肌肉、肌肉、骨骼与骨质疏松[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2016, 22(10):1221-1229.
 - [4] Siddique N, Fallon N, Casey MC, et al. Statistical analysis of fat and muscle mass in osteoporosis in elderly population using total body DXA scans[J]. *Ir J Med Sci*, 2020, 189(3):1105-1113.
 - [5] Ma HT, Griffith JF, Xu L, et al. The functional muscle-bone unit in subjects of varying BMD[J]. *Osteoporos Int*, 2014, 25(3):999-1004.
 - [6] Taniguchi Y, Makizako H, Kiyama R, et al. The association between osteoporosis and grip strength and skeletal muscle mass in community-dwelling older women[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(7):1228-1235.
 - [7] Gjesdal CG, Halse JI, Eide GE, et al. Impact of lean mass and fat mass on bone mineral density: the hordaland health study[J]. *Maturitas*, 2008, 59(2):191-200.
 - [8] 袁嘉尧, 林燕平, 林贤灿, 等. 绝经后女性体质量指数、体成分与骨密度的变化特征及关系[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2022, 28(6):830-835.
 - [9] Reid IR. Relationships between fat and bone[J]. *Osteoporos Int*, 2008, 19(5):595-606.
 - [10] Sheu Y, Marshall LM, Holton KF, et al. Abdominal body composition measured by quantitative computed tomography and risk of non-spine fractures: the Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) study[J]. *Osteoporos Int*, 2013, 24(8):2231-2241.
 - [11] Zhang P, Peterson M, Su GL, et al. Visceral adiposity is negatively associated with bone density and muscle attenuation[J]. *Am J Clin Nutr*, 2015, 101(2):337-343.
 - [12] Bijlsma AY, Meskers CG, Westendorp RG, et al. Chronology of age-related disease definitions: osteoporosis and sarcopenia[J]. *Ageing Res Rev*, 2012, 11(2):320-324.
 - [13] 贺丽英, 孙蕴, 要文娟, 等. 2010-2016 年中国老年人骨质疏松症患者患病率 Meta 分析[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2016, 22(12):1590-1596.
 - [14] Si L, Winzenberg TM, Jiang Q, et al. Projection of osteoporosis-related fractures and costs in China: 2010-2050[J]. *Osteoporos Int*, 2015, 26(7):1929-1937.
 - [15] Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, et al. Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition; prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2011, 12(4):249-256.
 - [16] Kendler DL, Borges JL, Fielding RA, et al. The official positions of the international society for clinical densitometry: indications of use and reporting of DXA for body composition[J]. *J Clin Densitom*, 2013, 16(4):496-507.
 - [17] Jain RK, Vokes T. Dual-energy X-ray absorptiometry[J]. *J Clin Densitom*, 2017, 20(3):291-303.
 - [18] Cann CE, Genant HK. Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1980, 4(4):493-500.
 - [19] Wang L, Su Y, Wang Q, et al. Validation of asynchronous quantitative bone densitometry of the spine: Accuracy, short-term reproducibility, and a comparison with conventional quantitative computed tomography[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1):6284-6290.
 - [20] 邓德茂, 何欣, 李家言, 等. 绝经妇女腰椎及髋关节定量 CT 骨密度测量诊断骨质疏松的初步研究[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2012, 18(11):1008-1010.
 - [21] 程晓光, 王亮, 曾强, 等. 中国定量 CT(QCT)骨质疏松症诊断指南(2018)[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2019, 25(6):733-737.
 - [22] 徐黎, 端木羊羊, 张勇, 等. 定量 CT 测量动物肝脏脂肪含量的实验研究[J]. *放射学实践*, 2017, 32(5):466-470.
 - [23] 张雪萍, 程晓光, 程敬亮, 等. 定量 CT 评估鹅肝脏脂肪变性的实验研究[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(4):431-435.
 - [24] 徐黎, Glen Mblake, 过哲, 等. 定量 CT 与 MR mDixon-quant 测量肝脏脂肪含量的相关性研究[J]. *放射学实践*, 2017, 32(5):456-461.
 - [25] Guo Z, Blake GM, Li K, et al. Liver fat content measurement with quantitative CT validated against MRI proton density fat fraction: a prospective study of 400 healthy volunteers[J]. *Radiology*, 2020, 294(1):89-97.
 - [26] Wang L, Yin L, Zhao Y, et al. Muscle density, but not size, correlates well with muscle strength and physical performance[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2021, 22(4):751-759.
 - [27] Peng X, Li X, Xu Z, et al. Age-related fatty infiltration of lumbar paraspinal muscles: a normative reference database study in 516 Chinese females[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2020, 10(8):1590-1601.
 - [28] Zhao Y, Huang M, Serrano SM, et al. Fatty infiltration of paraspinal muscles is associated with bone mineral density of the lumbar spine[J]. *Arch Osteoporos*, 2019, 14(1):99-107.
 - [29] Addison O, Marcus RL, Lastayo PC, et al. Intermuscular fat: a review of the consequences and causes[J]. *Int J Endocrinol*, 2014, 2014:309570.
 - [30] 王玲, 袁慧书, 程晓光. 积极推进定量 CT 的临床应用[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(4):337-339.
 - [31] Cheng X, Zhao K, Zha X, et al. Opportunistic screening using low-dose CT and the prevalence of osteoporosis in China: a nationwide, multicenter study[J]. *J Bone Miner Res*, 2021, 36(3):427-435.
 - [32] Starekova J, Hernando D, Pickhardt PJ, et al. Quantification of liver fat content with CT and MRI: state of the art[J]. *Radiology*, 2021, 301(2):250-262.
 - [33] Hu HH, Yokoo T, Bashir MR, et al. Linearity and bias of proton density fat fraction as a quantitative imaging biomarker: a multicenter, multiplatform, multivendor phantom study[J]. *Radiology*, 2021, 298(3):640-651.
 - [34] 刘再毅, 梁长虹, 刘于宝, 等. 大鼠骨骼肌脂肪含量的¹H-MRS定量分析和病理对照研究[J]. *中国医学影像技术*, 2007(11):1585-1588.
 - [35] Grimm A, Meyer H, Nickel MD, et al. Evaluation of 2-point, 3-point, and 6-point Dixon magnetic resonance imaging with flexible echo timing for muscle fat quantification[J]. *Eur J Radiol*, 2018, 103(1):57-64.
 - [36] Yu H, Shimakawa A, McKenzie CA, et al. Multiecho water-fat separation and simultaneous R2* estimation with multifrequency fat spectrum modeling[J]. *Magn Reson Med*, 2008, 60(5):1122-1134.
 - [37] Baum T, Cordes C, Dieckmeyer M, et al. MR-based assessment of body fat distribution and characteristics[J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(8):1512-1518.