

• 骨骼肌肉影像学 •

双能 CT 肌-水分分离技术对健康人腰椎旁肌的定量研究

邓惠婷, 李平, 高辉, 范春华, 张堃

【摘要】 目的:应用双能 CT 肌-水分分离技术定量评估健康人腰椎旁肌的肌和水含量随年龄的变化规律。**方法:**回顾性分析 125 例健康人 $L_{1/2}$ — $L_{4/5}$ 椎间隙水平竖脊肌、 $L_{2/3}$ — L_5/S_1 椎间隙水平多裂肌及腰大肌的肌和水含量。比较青年组(20~39 岁)、中年组(40~59 岁)及老年组(60~89 岁)在各椎间隙水平椎旁肌的肌和水含量差异。**结果:**多裂肌的肌含量:老年组于 $L_{3/4}$ 水平低于中年组($t=3.090, P=0.006$), $L_{4/5}$ 水平低于青年组($t=2.800, P=0.015$), 老年组于 L_5/S_1 水平分别低于青年组($t=3.191, P=0.004$)、中年组($t=3.239, P=0.004$)。竖脊肌、腰大肌的肌含量不同年龄组各椎间隙水平差异无统计学意义($P>0.05$)。多裂肌水含量:老年组于 $L_{2/3}$ 、 $L_{3/4}$ 水平分别高于青年组($t=-6.270, P=0.000$; $t=-6.021, P=0.000$)、中年组($t=-5.701, P=0.000$; $t=-5.466, P=0.000$), 各年龄组间于 $L_{4/5}$ 水平随年龄组增大而增加(青-中年组: $t=-3.291, P=0.003$, 青-老年组: $t=-8.355, P=0.000$; 中-老年组: $t=-5.108, P=0.000$), 各年龄组间于 L_5/S_1 水平随年龄组增大而增加(青-中年组: $t=-3.146, P=0.005$; 青-老年组: $t=-8.525, P=0.000$; 中-老年组: $t=-5.428, P=0.000$)。竖脊肌水含量:于 $L_{1/2}$ 、 $L_{2/3}$ 、 $L_{3/4}$ 水平老年组分别高于青年组($t=-5.727, P=0.000$; $t=-6.357, P=0.000$; $t=-6.230, P=0.000$)、中年组($t=-3.917, P=0.000$; $t=-4.336, P=0.000$; $t=-4.181, P=0.000$), 各年龄组间于 $L_{4/5}$ 水平随年龄增大而增加(青-中年组: $t=-3.514, P=0.001$; 青-老年组: $t=-8.310, P=0.000$; 中-老年组: $t=-4.835, P=0.000$)。腰大肌水含量:老年组于 $L_{2/3}$ — L_5/S_1 水平分别高于青年组($t=-5.246, P=0.000$; $t=-4.785, P=0.000$; $t=-4.133, P=0.000$; $t=-4.277, P=0.000$)、中年组($t=-4.786, P=0.000$; $t=-3.143, P=0.005$; $t=-3.897, P=0.000$; $t=-3.264, P=0.003$)。**结论:**双能 CT 肌-水分分离技术有助于定量评估健康人腰椎旁肌随年龄增长时肌含量减少、水含量增加的变化规律。

【关键字】 双能 CT; 体层摄影术, X 线计算机; 腰椎; 椎旁肌; 基物质对; 定量研究

【中图分类号】 R685; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)05-0652-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.05.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Dual-energy CT muscle-water decomposition technique on lumbar paraspinal muscles in healthy participants DENG Hui-ting, LI Ping, GAO Hui, et al. Department of Radiology, First Affiliated Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410007, China

【Abstract】 Objective: To quantitatively evaluate the changes of muscle and water content of lumbar paraspinal muscles in healthy participants with age by using dual-energy CT muscle-water decomposition technique. **Methods:** The data from 125 healthy participants who underwent lumbar spine examination using dual-energy CT were retrospectively collected. The participants were divided into three age groups: young (20~39 years old), middle-aged (40~59 years old), and elderly (60~89 years old) group. The measurement included muscle content and water content of the bilateral erector spinae muscles at L_1 — L_2 to L_4 — L_5 levels, and muscle content and water content of the bilateral multifidus and psoas muscles at L_2 — L_3 to L_5 — S_1 levels. Muscle and water content of the paraspinal muscles among three age groups at different lumbar vertebrae level were compared. **Results:** The muscle content of the multifidus muscle: the elderly group was lower than the middle-aged group at $L_{3/4}$ level ($t=$

作者单位: 410007 长沙, 湖南中医药大学第一附属医院放射科(邓惠婷, 李平, 高辉, 范春华, 张堃); 410208 长沙, 湖南中医药大学中西医结合学院(张堃)

作者简介: 邓惠婷(1995—), 女, 湖南衡阳人, 硕士, 医师, 主要从事骨肌系统影像诊断工作。

通讯作者: 张堃, E-mail: kun_zhang0102@163.com

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(81603482); 湖南省自然科学基金(2016JJ6115); 中国博士后科学基金面上项目(2017M622586); 湖南中医药大学重点学科建设项目(4901-020000200806)。

3.090, $P=0.006$), lower than the young group at $L_{4/5}$ level ($t=2.800$, $P=0.015$), respectively lower than the young and middle-aged groups at L_5/S_1 level ($t=3.191$, $P=0.004$; $t=3.239$, $P=0.004$). There was no significant difference in each age group and each level between the erector spinae and psoas muscle ($P>0.05$). The water content of the multifidus muscle: the elderly group was higher than those in the young and middle-aged groups respectively at the $L_{2/3}$ and $L_{3/4}$ levels ($t=-6.270$, $P=0.000$; $t=-6.021$, $P=0.000$), at the $L_{4/5}$ level the age group increased with the age (young-middle group: $t=-3.291$, $P=0.003$; young-elderly group: $t=-8.355$, $P=0.000$; middle-elderly group: $t=-5.108$, $P=0.000$), and at L_5/S_1 levels the age group increased with the age (young-middle group: $t=-3.146$, $P=0.005$; young-elderly group: $t=-8.525$, $P=0.000$; middle-elderly group: $t=-5.428$, $P=0.000$). The water content of the erector spinae muscle: the elderly group was higher than the young group ($t=-5.727$, $P=0.000$; $t=-6.357$, $P=0.000$; $t=-6.230$, $P=0.000$) and middle-aged group ($t=-3.917$, $P=0.000$; $t=-4.336$, $P=0.000$; $t=-4.181$, $P=0.000$) at $L_{1/2}$, $L_{2/3}$ and $L_{3/4}$ levels, and the age group increased with age at the $L_{4/5}$ level (young-middle group: $t=-3.514$, $P=0.001$; young-elderly group: $t=-8.310$, $P=0.000$; middle-elderly group: $t=-4.835$, $P=0.000$). The water content of the psoas muscle: the elderly group was higher than that in the young group ($t=-5.246$, $P=0.000$; $t=-4.785$, $P=0.000$; $t=-4.133$, $P=0.000$; $t=-4.277$, $P=0.000$) and middle group ($t=-4.786$, $P=0.000$; $t=-3.143$, $P=0.005$; $t=-3.897$, $P=0.000$; $t=-3.264$, $P=0.003$) at $L_{2/3}-L_5/S_1$ level ($P<0.05$). **Conclusions:** Dual-energy CT muscle-water decomposition technique is helpful to quantitatively evaluate the changes of decreased muscle content and increased water content of the lumbar paraspinal muscles in healthy participants with age.

【Key words】 Dual energy CT; Tomography, X-ray computed; Paraspinal muscle; Material decomposition; Quantitative study

椎旁肌退变作为一种衰老过程,引起肌肉萎缩、脂肪变性及肌间结缔组织增加等多种组织学变化,可增加椎体压缩性骨折、滑脱及腰椎间盘突出等疾病的发生风险,严重影响老年人的生活质量^[1-3]。目前国内外针对椎旁肌退变的研究主要是运用 B 超、CT 及 MRI 对下腰痛患者进行椎旁肌主观视觉评估或根据椎旁肌横截面积、脂肪浸润及微观结构等生物组织特性进行多参数定量分析^[4-6]。尽管多数研究表明常规及功能 MRI 对椎旁肌成像具有分辨率高及多参数成像等优势,但由于 MRI 扫描时间长、费用高及使用禁忌症等因素在临床应用受限。双能 CT 经过几代发展,具有辐射剂量低,扫描时间短,后处理便捷等优势,在未来辅助诊疗中具有独特潜力^[7-9]。然而,目前运用双能 CT 对健康人椎旁肌进行定量研究少见。本研究运用双能 CT 肌-水分离技术定量研究健康人腰椎旁肌的肌/水含量变化规律,旨在为诊断和预防下腰痛疾病提供更多依据。

材料与方法

1. 研究对象

搜集 2018 年 7 月—2019 年 3 月于本院接受腰椎双能 CT 平扫体检的健康人 125 例,其中男 61 例,女 64 例,平均年龄(50.6 ± 17.4)岁。按年龄将 125 例受

检者分为三组^[10]:青年组(20~39 岁)40 例,其中男 20 例,女 20 例,平均年龄(30.4 ± 5.0)岁;中年组(40~59 岁)42 例,其中男 20 例,女 22 例,平均年龄(50.1 ± 5.1)岁;老年组(60~89 岁)43 例,其中男 21 例,女 22 例,平均年龄(70.1 ± 8.6)岁。

病例纳入标准:年龄在 20~89 岁之间;既往无下腰痛病史;体重指数正常($18.5 \sim 23.9 \text{ kg/m}^2$)。病例排除标准:患有肌肉系统疾病、肾功能不全、心血管疾病、糖尿病、神经功能缺陷及其它系统性疾病;脊柱畸形、腰部感染性病变、腰部肿瘤及肿瘤样病变;影响肌肉代谢药物的使用史及酗酒史;腰部外伤及手术史;影像资料不全或图像质量不佳者。

2. 检查方法

双能 CT 成像采用 Revolution CT (GE Medical healthcare, Milwaukee, WI, USA),在 GSI 扫描模式下行腰椎成像,受检者取常规仰卧位。扫描参数:管电压 80~140 kV,管电流 230 mA,准直宽度 0.625 mm,螺距 0.984:1,球管旋转时间 0.8 s/r,CTDIvol 9.09 mGy。采用标准算法重建,自适应迭代重建 (Adaptive statistical iterative reconstruction-V, ASiR-V)权重取 30%。

3. 图像分析

在 ADW 4.6 后处理工作站 (GE Medical health-

care, Milwaukee, WI, USA) 上进行肌-水物质分离。采用 70 KeV 单能量、5 mm 层厚及层间隔的腰椎横轴面勾画感兴趣区,在物质分离图像上进行测量,测量内容包括 $L_{1/2}$ — $L_{4/5}$ 椎间隙水平双侧竖脊肌、 $L_{2/3}$ — L_5/S_1 椎间隙水平双侧多裂肌及腰大肌的肌含量和水含量(mg/cm^3),测量 3 次取平均值用于后续分析。感兴趣区设置:手工勾画每一块肌肉的轮廓,保持感兴趣区距离肌肉边缘以内 2~3 mm 以避免肌肉外缘的脂肪、肌肉表面的筋膜以及可视的血管(图 1)。

4. 统计学分析

采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。计量资料进行正态性检验,符合参数检验标准以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 t 检验比较不同年龄组男女平均年龄的差异。方差齐时组间比较采用单因素方差分析,方差不齐时则采用非参数 Kruskal-Wallis H 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

不同年龄组中男女平均年龄比较差异均无统计学意义($P > 0.05$,表 1)。不同年龄组各椎间隙水平椎旁肌的肌和水含量见表 2 及图 2。多裂肌肌含量:老年组于 $L_{3/4}$ 水平低于中年组($t = 3.090, P = 0.006$), $L_{4/5}$ 水平低于青年组($t = 2.800, P = 0.015$),老年组于 L_5/S_1 水平分别低于青年组($t = 3.191, P = 0.004$)、中年组($t = 3.239, P = 0.004$)。竖脊肌、腰大肌内肌含量不同年龄组各椎间隙水平差异无统计学意义($P > 0.05$)。多裂肌水含量:老年组于 $L_{2/3}$ 、 $L_{3/4}$ 水平分别高于青年组($t = -6.270, P = 0.000; t = -6.021, P = 0.000$)、中年组($t = -5.701, P = 0.000; t = -5.466,$

$P = 0.000$),各年龄组间于 $L_{4/5}$ 水平随年龄组增大而增加,差异有统计学意义(青-中年组: $t = -3.291, P = 0.003$,青-老年组: $t = -8.355, P = 0.000$;中-老年组: $t = -5.108, P = 0.000$),各年龄组间于 L_5/S_1 水平随年龄组增大而增加,差异有统计学意义(青-中年组: $t = -3.146, P = 0.005$,青-老年组: $t = -8.525, P = 0.000$,中-老年组: $t = -5.428, P = 0.000$)。竖脊肌水含量:于 $L_{1/2}$ 、 $L_{2/3}$ 、 $L_{3/4}$ 水平老年组分别高于青年组($t = -5.727, P = 0.000; t = -6.357, P = 0.000; t = -6.230, P = 0.000$)、中年组($t = -3.917, P = 0.000; t = -4.336, P = 0.000; t = -4.181, P = 0.000$),各年龄组间于 $L_{4/5}$ 水平随年龄组增大而增加,差异有统计学意义(青-中年组: $t = -3.514, P = 0.001$;青-老年组: $t = -8.310, P = 0.000$;中-老年组: $t = -4.835, P = 0.000$)。腰大肌水含量:老年组于 $L_{2/3}$ — L_5/S_1 水平分别高于青年组($t = -5.246, P = 0.000; t = -4.785, P = 0.000; t = -4.133, P = 0.000; t = -4.277, P = 0.000$)、中年组($t = -4.786, P = 0.000; t = -3.143, P = 0.005; t = -3.897, P = 0.000; t = -3.264, P = 0.003$)。多裂肌、竖脊肌、腰大肌水含量随年龄增长呈增加趋势(图 3)。椎旁肌的水含量增多始于 L_5/S_1 或 $L_{4/5}$ 水平,随椎间隙水平向上水含量相对减低。

讨 论

肌少症作为一种增龄性疾病,日益影响老年人的生活质量,而世界上约 84% 的人有下腰痛的症状,且 Serra-Prat 等研究表明肌肉 76% 的成分是水,故以椎旁肌的肌和水含量改变影响肌肉功能为假设,进行相关研究探索具有潜在价值,可为后续识别下腰痛相关

表 1 不同年龄组男女平均年龄比较

组别	男(岁)	女(岁)	例数比(男:女)	t 值	P 值
青年组	30.7±5.9	30.2±4.0	1:1(20:20)	0.312	0.756
中年组	49.6±5.3	50.5±5.0	0.9:1(20:22)	-0.592	0.557
老年组	70.3±8.8	69.8±8.7	1.1:1(21:22)	0.193	0.848



图 1 $L_{3/4}$ 椎间隙水平多裂肌(MF)、竖脊肌(ES)、腰大肌(PS)感兴趣区。a) 70kev 单能量 CT 图; b) 肌含量图; c) 水含量图。

表 2 健康成人不同年龄组各椎间隙水平椎旁肌的肌和水含量均值比较 (mg/cm³)

组别	青年组	中年组	老年组	H 值	P 值
多裂肌					
L _{2/3}					
肌含量	1288.9±284.9	1373.4±356.8	1179.7±424.3	4.312	0.116
水含量	383.6±220.7	447.8±352.9	1081.0±539.1	48.471	0.000
L _{3/4}					
肌含量	1358.5±344.2	1406.1±354.8	1192.4±376.2	9.996	0.007
水含量	390.8±244.9	452.5±297.7	1085.7±588.0	44.638	0.000
L _{4/5}					
肌含量	1189.4±283.4	1126.9±293.1	991.2±341.5	8.272	0.016
水含量	462.5±283.7	823.7±415.9	1472.9±430.3	71.202	0.000
L ₅ /S ₁					
肌含量	1346.8±332.3	1344.4±338.4	1080.5±405.9	13.893	0.001
水含量	488.0±276.0	880.9±455.3	1687.5±449.5	74.790	0.000
L _{1/2}					
肌含量	1069.0±254.1	1108.8±281.1	1144.5±328.2	1.413	0.493
水含量	411.8±192.1	517.4±221.3	849.3±378.8	34.456	0.000
竖脊肌					
L _{2/3}					
肌含量	1069.0±258.0	1099.7±231.0	1092.0±347.9	0.514	0.773
水含量	425.7±195.6	568.3±237.5	990.8±421.0	42.408	0.000
L _{3/4}					
肌含量	1072.2±324.7	1093.4±256.4	1060.2±392.5	0.715	0.699
水含量	473.7±232.4	613.5±237.0	1078.2±489.0	40.522	0.000
L _{4/5}					
肌含量	1019.9±340.3	909.8±308.6	865.8±403.1	4.727	0.094
水含量	622.9±306.3	1032.4±439.3	1721.9±472.5	69.847	0.000
腰大肌					
L _{2/3}					
肌含量	1575.9±304.9	1703.6±308.4	1653.9±405.3	3.427	0.180
水含量	91.5±178.4	110.3±148.7	440.6±336.0	34.027	0.000
L _{3/4}					
肌含量	1440.3±339.1	1427.8±293.2	1465.6±438.9	0.118	0.943
水含量	181.0±156.0	269.4±185.1	602.4±1028.8	23.777	0.000
L _{4/5}					
肌含量	1411.3±311.4	1559.0±265.6	1542.8±381.4	5.413	0.067
水含量	172.0±153.5	165.0±176.7	401.0±273.3	21.718	0.000
L ₅ /S ₁					
肌含量	1705.6±291.8	1807.4±288.9	1857.5±662.6	1.963	0.375
水含量	153.8±157.0	196.0±197.7	394.6±280.3	20.110	0.000

椎旁肌的早期和异常退化奠定基础^[11-13]。双能 CT GSI 扫描根据感兴趣内物质分别在高、低能量 X 线下的衰减特性不同,并将其等效为两种衰减特性已知的基物质组合所产生的密度成像效应,从而计算出特定基物质含量^[7,14,15]。相关研究表明合适地设定双能 CT GSI 扫描参数,双能 CT 较常规 CT 扫描辐射剂量更低^[16-18]。本研究旨在运用双能 CT 对健康人椎旁肌的肌和水含量进行物质分离,探讨健康人腰椎旁肌的肌和水含量随年龄的变化规律。

本研究结果表明多裂肌的肌含量随年龄增长而减少,而竖脊肌、腰大肌的肌含量无显著变化。在动物及人体研究中,Rowan 等^[19]及 Spendiff 等^[20]发现随着

年龄增长骨骼肌去神经支配可引起肌肉萎缩。多裂肌位于 L₁—L₅ 水平棘突两侧,腰背伸肌群最内侧,脊柱运动及稳定时受应力影响较大。同时与竖脊肌、腰大肌相比,多裂肌受单节段单一神经支配,分支间无交通支配,进而更容易造成多裂肌去神经支配^[3]。

本研究结果显示多裂肌、竖脊肌、腰大肌的水含量随年龄增长呈增加趋势。虽然既往研究已证实人体水总量随年龄的增长而减少,但衰老过程中总脂肪含量会增加 5%~10%,相当于水总量减少程度,所以水含量主要是相对脂肪含量的减少^[21]。而双能 CT 研究结果表明椎旁肌水含量增龄性增加是指水占肌肉组织单位体积内的比例上升。水总量约占成年人体重的

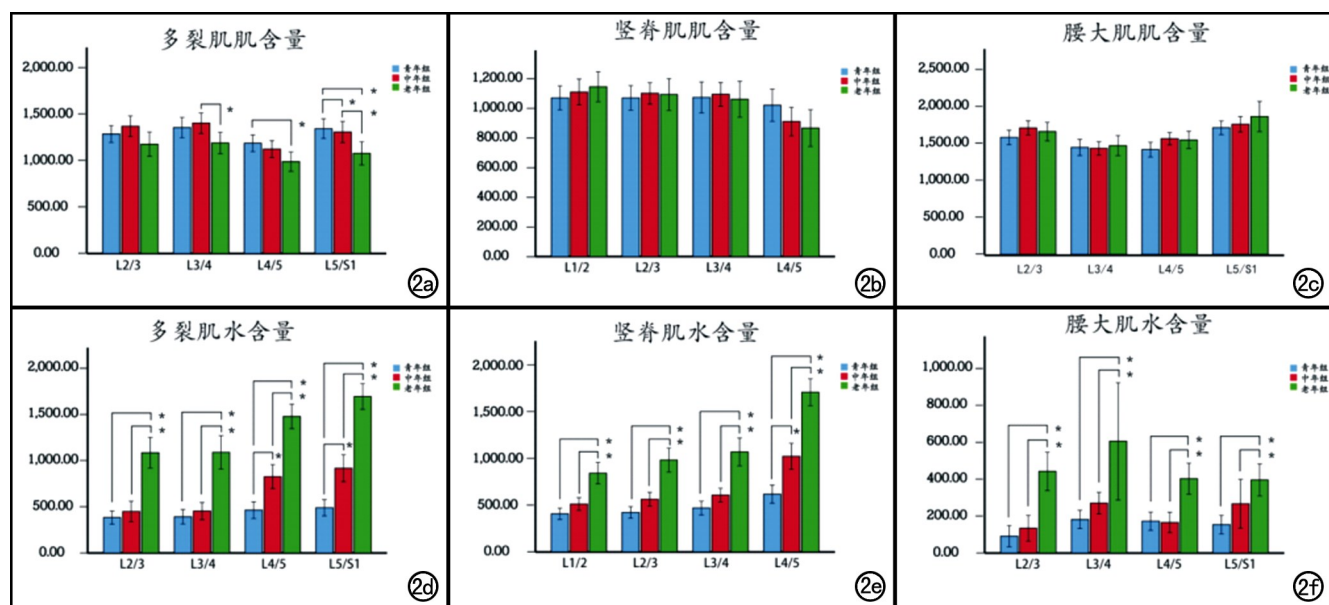


图2 a~c 分别表示不同年龄组各椎间隙水平多裂肌、竖脊肌、腰大肌的肌含量; d~f 分别表示不同年龄组各椎间隙水平多裂肌、竖脊肌、腰大肌的水含量(mg/cm³)。* $P < 0.05$, 差异有统计学意义。a) 多裂肌肌含量; b) 竖脊肌肌含量; c) 腰大肌肌含量; d) 多裂肌水含量; e) 竖脊肌水含量; f) 腰大肌水含量。

55%~60%，主要包括细胞内水和细胞外水两部分，后者包括血浆和细胞间质。一方面，肌肉组织不仅含有肌细胞，还含有细胞外水、成纤维细胞和脂肪浸润的细胞外空间，当肌细胞的数量随着年龄的增长而减少，细胞外空间相对扩张，由于渗透作用细胞外水含量亦增加。另一方面，椎旁肌随年龄退变过程中，肌细胞内线粒体减少。当腰椎运动或直立时，细胞内糖酵解产物乳酸堆积，渗透性增大，可能导致细胞内水含量增加，但这有待病理证实^[22]。

本研究结果表明椎旁肌的水含量增多始于 L_5/S_1 或 $L_{4/5}$ 水平，随着椎间隙水平向上水含量相对减低。这与以往研究椎旁肌于下位腰椎更易退变的结论一致^[23,24]。由于 $L_{4/5}$ 及 L_5/S_1 椎间盘最易退变，推测与椎间盘退变造成相应水平的椎旁肌去神经分布以及神经根受压影响椎旁肌的运动功能有关，可能也是椎

旁肌水含量增多最先发生在下腰椎椎间隙水平的因素之一。此外，椎旁肌 L_5/S_1 水平早期退变可能与悬臂梁机制有关。悬臂是一种杠杆，其中一边是固定的，当它越靠近固定的一边，就会承受更多的应力。人体脊柱可以看作是固定在骶盆腔复合体上的一种悬臂。 L_5/S_1 水平是最接近于定点的水平，应力高于上位腰椎间隙水平，继而造成下位腰椎间隙水平椎旁肌易退变。下位腰椎间隙椎旁肌退变可导致局部肌力下降和脊柱不稳，引起邻近腰椎间隙水平进一步不稳，进而导致椎旁肌上行性退变。

本研究的局限性：①本研究仅从肌肉成分方面进行分析，尚未将肌肉的功能改变纳入研究中，这也是我们的后续研究方向；②本研究缺乏相关体外模型研究；③本研究采用手动勾画椎旁肌轮廓，比较耗时且受观察者间异质性的影响，在未来研究中我们需要进行肌



图3 $L_{4/5}$ 椎间隙水平青年组、中年组及老年组椎旁肌水含量增龄性增加的水含量图。a) 青年组; b) 中年组; c) 老年组。

肉自动/半自动分割。

综上所述,双能 CT 肌-水分离技术有助于定量评估健康人腰椎旁肌随年龄增长时肌含量减少、水含量增加的变化规律,从而为识别早期和异常退化椎旁肌的后续研究奠定基础。

参考文献:

- [1] Puig-Domingo M, Serra-Prat M, Merino MJ, et al. Muscle strength in the Mataro aging study participants and its relationship to successful aging[J]. *Aging Clin Exp Res*, 2008, 20(5): 439-446.
- [2] 刘斌, 刘向阳, 王国平, 等. 腰椎骨质疏松性骨折患者椎旁肌肉 MRI 指标测量及临床意义[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(4): 578-583.
- [3] 郭旭朝, 张旭, 丁文元, 等. 退变性腰椎不稳椎旁肌退变的影像学研究[J]. *中华外科杂志*, 2014, 52(8): 571-575.
- [4] Crawford RJ, Elliott JM, Volken T. Change in fatty infiltration of lumbar multifidus, erector spinae, and psoas muscles in asymptomatic adults of Asian or caucasian ethnicities[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(12): 3059-3067.
- [5] Park MS, Moon SH, Kim TH, et al. Paraspinal muscles of patients with lumbar diseases[J]. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2018, 79(4): 323-329.
- [6] Skorupska E. Muscle atrophy measurement as assessment method for low back pain patients[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2018, 1088(3): 437-461.
- [7] 骆磊. CT 能谱成像的基本原理及临床应用探讨[J]. *影像研究与医学应用*, 2018, 2(5): 72-74.
- [8] Grajo JR, Sahani DV. Dual-energy CT of the abdomen and pelvis: radiation dose considerations[J]. *J Am Coll Radiol*, 2018, 15(8): 1128-1132.
- [9] Yin XP, Gao BL, Li CY, et al. Automatic spectral imaging protocol selection combined with iterative reconstruction can enhance image quality and decrease radiation and contrast dosage in abdominal CT angiography[J]. *Jpn J Radiol*, 2018, 36(5): 345-350.
- [10] Lee SH, Park SW, Kim YB, et al. The fatty degeneration of lumbar paraspinal muscles on computed tomography scan according to age and disc level[J]. *Spine J*, 2017, 17(1): 81-87.
- [11] 王坤, 罗炯, 刘立, 等. 老年人肌少症的成因、评估及应对[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(11): 1767-1773.
- [12] Balague F, Mannion AF, Pellise F, et al. Non-specific low back pain[J]. *Lancet*, 2012, 379(9814): 482-491.
- [13] Serra-Prat M, Lorenzo I, Palomera E, et al. Intracellular water content in lean mass is associated with muscle strength, functional capacity, and frailty in community-dwelling elderly individuals. A cross-sectional study[J]. *Nutrients*, 2019, 11(3): E661.
- [14] Simons D, Kachelriess M, Schlemmer HP. Recent developments of dual-energy CT in oncology[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(4): 930-939.
- [15] 谢婷婷, 刘龙平, 单慧明, 等. 瞬时 kVp 切换单源双能 CT 物质分离技术定量反映肝脏铁沉积的体模研究[J]. *放射学实践*, 2018, 33(12): 1229-1233.
- [16] Yang CH, Wu TH, Lin CJ, et al. Knowledge-based iterative model reconstruction technique in computed tomography of lumbar spine lowers radiation dose and improves tissue differentiation for patients with lower back pain[J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(10): 1757-1764.
- [17] Topcuoglu OM, Sarikaya B. Fast kilovoltage-switching dual-energy CT offering lower x-ray dose than single-energy CT for the chest: a quantitative and qualitative comparison study of the two methods of acquisition[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2019, 25(3): 204-209.
- [18] 谢婷婷, 曾建奇, 石桥, 等. 辐射剂量和机型对瞬时 kVp 切换单源双能 CT 物质分离技术肝脏铁与脂肪定量评估的影响[J]. *放射学实践*, 2019, 34(6): 597-602.
- [19] Rowan SL, Rygiel K, Purves-Smith FM, et al. Denervation causes fiber atrophy and myosin heavy chain co-expression in senescent skeletal muscle[J]. *PLoS One*, 2012, 7(1): e29082.
- [20] Spendiff S, Vuda M, Gouspillou G, et al. Denervation drives mitochondrial dysfunction in skeletal muscle of octogenarians[J]. *Physiol*, 2016, 594(24): 7361-7379.
- [21] Cowen LE, Hodak SP, Verbalis JG. Age-associated abnormalities of water homeostasis[J]. *Endocrinol Metab Clin North Am*, 2013, 42(2): 349-370.
- [22] Hiepe P, Gussew A, Rzanny R, et al. Interrelations of muscle functional MRI, diffusion-weighted MRI and ³¹P-MRS in exercised lower back muscles[J]. *NMR Biomed*, 2014, 27(8): 958-970.
- [23] Ozcan-Eksi EE, Eksi MS, Akcal MA. Severe lumbar intervertebral disc degeneration is associated with modic changes and fatty infiltration in the paraspinal muscles at all lumbar levels, except for L₁-L₂: a cross-sectional analysis of 50 symptomatic women and 50 age-matched symptomatic men[J]. *World Neurosurg*, 2019, 122(3): 1069-1077.
- [24] Teichtahl AJ, Urquhart DM, Wang Y, et al. Lumbar disc degeneration is associated with modic change and high paraspinal fat content—a 3.0T magnetic resonance imaging study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2016, 17(1): 439.

(收稿日期: 2019-06-03 修回日期: 2019-10-29)