

论 著

能谱CT水-肌物质分离技术评估青年慢性非特异性腰痛椎旁肌水含量*

周晓娜¹ 罗慕晴¹ 刘音其¹
向 剑¹ 钟泽亚¹ 黎建宇¹
张 堃^{1,2,*}

1.湖南中医药大学第一附属医院放射
影像科 (湖南长沙 410007)

2.湖南中医药大学中西医结合学院
(湖南长沙 410208)

【摘要】目的 通过能谱CT水-肌物质分离技术比较慢性非特异性下腰痛(CNLBP)青年患者的椎旁肌水含量变化,并评估椎旁肌水含量诊断青年CNLBP的价值。方法 本研究前瞻性招募56名CNLBP患者和54例健康志愿者进行能谱CT成像,获取L1~L4椎体水平竖脊肌及L2~L5椎体水平多裂肌水含量。采用独立样本t检验分析两组间水含量的差异,以临床诊断为标准,绘制受试者工作特征(ROC)曲线,计算曲线下面积(AUC),评估椎旁肌水含量诊断青年CNLBP的效能。结果 CNLBP患者各椎体层面竖脊肌及多裂肌水含量均高于健康志愿者。CNLBP患者于L4及L5椎体多裂肌水平高于健康志愿者,差异具统计学意义($t=2.48, P=0.015$; $t=4.41, P<0.001$)。L4、L5层面多裂肌水含量诊断青年CNLBP的AUC分别为0.633、0.729。结论 能谱CT水-肌物质分离技术可以敏感、定量评估CNLBP青年患者椎旁肌水含量升高的改变,可为CNLBP的诊断与治疗评估提供一定的临床价值。

【关键词】能谱CT; 竖脊肌; 多裂肌;
慢性非特异性下腰痛

【中图分类号】R681.5+7

【文献标识码】A

【基金项目】湖南中医药大学重点学科建设项目
(4906-0002091006);
湖南省科技人才托举工程项目-年轻
优秀科技工作者培养计划
(2022TJ-N05);
湖南省教育厅科学研究项目
(22B0401);
长沙市自然科学基金(kq2208211)、
湖南省自然科学基金(2023JJ30477)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.059

Revolution CT Water-muscle Decomposition Techniques for Evaluating Water Content of Paraspinal Muscles in Young Patients with Chronic Nonspecific Low Back Pain*

ZHOU Xiao-na¹, LUO Mu-qing¹, LIU Yin-qi¹, XIANG Jian¹, ZHONG Ze-ya¹, LI Jian-yu¹,
ZHANG Kun^{1,2,*}

1.Department of Radiology, the First Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410007, Hunan Province, China

2.College of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, Hunan Province, China

ABSTRACT

Objective The purpose of this study was to compare changes of the water content of paraspinal muscles for young patients with non-specific low back pain (CNLBP) by Revolution CT water-muscle decomposition techniques, and evaluate the value of paraspinal muscles water content for diagnosing young patients with CNLBP. **Methods** This institutional review board-approved study included 56 patients with CNLBP and 54 cases of asymptomatic participants who underwent Revolution CT imaging examination of the spine. Obtaining the water content of L1~L4 levels for erector spinae muscle, L2~L5 for multifidus. Independent samples t-test was used to analyze the difference of water content between two groups. Based on the results of clinical diagnosis of CNLBP, the receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn, and the area under the curve (AUC) was calculated, assessing the efficacy of paraspinal muscles water content in diagnosing CNLBP in young patients. **Results** The water content of the erector spinae and multifidus muscles was higher in patients with CNLBP than in asymptomatic participants at all vertebral levels. The water content of the multifidus muscle was higher in CNLBP patients than in asymptomatic participants at the L4 and L5 levels, and the difference was statistically significant ($t=2.48, P=0.015$; $t=4.41, P<0.001$). AUC of water content of multifidus muscle at the L4、L5 level for diagnosing CNLBP in young patients were 0.633 and 0.729. **Conclusion** Revolution CT water-muscle decomposition techniques can sensitively and quantitatively assess the alteration of elevated paravertebral muscle water content in young patients with CNLBP, which can provide certain clinical value for the diagnosis and treatment evaluation of CNLBP.

Keywords: Revolution CT; Erector Spinae Muscle; Multifidus Muscle; Non-specific Low Back Pain

慢性非特异性下腰痛(chronic non-specific low back pain, CNLBP)是指经影像或实验室检查排除已知疾病因素,患者腰、腰骶部或臀部疼痛超过3个月并伴有不同程度功能障碍的腰痛总称,给社会带来严重的医疗经济负担^[1]。据报道,青年中大多数腰痛是非特异性的,青少年的腰痛终生患病率约11.60%~83.56%,其发展与慢性疼痛的风险相关^[2]。研究认为CNLBP患者肌肉变性的特征是横截面积减小和腰椎旁肌肉脂肪浸润增加,但是与椎旁肌水含量变化的关系尚未明确^[3-4]。能谱CT物质分离技术在骨肌系统研究中表现出一定优势性^[5]。本研究将运用能谱CT水-肌物质分离技术定量分析CNLBP青年患者椎旁肌水含量变化,以期为CNLBP的诊疗提供客观依据^[6]。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性纳入在2021年11月至2023年3月于本院接受腰椎能谱CT检查的受检者共110例。

病例组纳入标准^[7]:肋缘以下,下臀皱褶以上的疼痛;病程 ≥ 12 周;年龄介于18~35岁之间,性别不限;影像学表现无神经根受压;无特定脊柱疾病(脊柱手术史及相关植入物、脊柱肿瘤及肿瘤样病变、脊柱感染、脊柱侧凸、压缩骨折、骨转移等)。病例组排除标准:患有肌肉系统疾病和/或有影响肌肉代谢药物的使用史(如肾上腺皮质激素、他汀类降脂药等);影像检查前接受了针灸、推拿、药物、手术等针对腰部或其相关部位的可能影响影像分析结果的干预手段;具有CT检查禁忌证(孕妇、近半年有怀孕计划者)或图像质量不达标者。同时纳入年龄介于18~35岁之间的无症状健康受检者(对照组)。本研究遵守《赫尔辛基宣言》,并经湖南中医药大学第一附属医院伦理委员会审批(编号:HN-LL-KY-2021-025-01),所有受检者均签署了知情同意书。

1.2 检查方法 能谱CT成像采用Revolution CT(GE Medical healthcare,Milwaukee,WI,USA),以GSI扫描模式采集腰椎图像,受检者取常规仰卧位。扫描参数:管电压80-140kVp,管电流230mA,层厚0.625mm,螺距0.984:1,球管转速0.8s/rot,CTDIvol 9.09mGy。采用标准算法重建,30% ASIR-V。

1.3 图像后处理 由两名具有2年及以上肌肉骨骼影像诊断经验的医师于ADW4.6后处理工作站(GE Medical healthcare, Milwaukee, WI, USA)共同基于能谱CT 70KeV单能量、5mm层厚及层间距的腰椎能谱CT横轴位图像进行感兴趣区(region of interest, ROI)的

【第一作者】周晓娜,女,在读硕士,主要研究方向:肌肉骨骼影像学。E-mail: 1433862315@qq.com

【通讯作者】张 堃,男,主任医师,主要研究方向:肌肉骨骼影像学。E-mail: kun_zhang0102@163.com

选取，并于水-肌物质分离图像上进行水含量(mg/cm^3)测量，每块肌肉测量三次取平均值，再对双侧取平均获得该层面平均水含量。ROI勾画范围：勾画L1-L4椎体中份水平双侧竖脊肌及L2-L5椎体中份水平双侧多裂肌的轮廓，ROI保持在肌肉边缘的内侧大约2~3mm，避开肌肉模糊的边界、肌肉表面的筋膜、肌肉外缘的脂肪和可见的血管，见图1。

1.4 统计学方法 采用SPSS 26.0软件进行统计学分析，计量资料进行正态性检验，符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示，两组

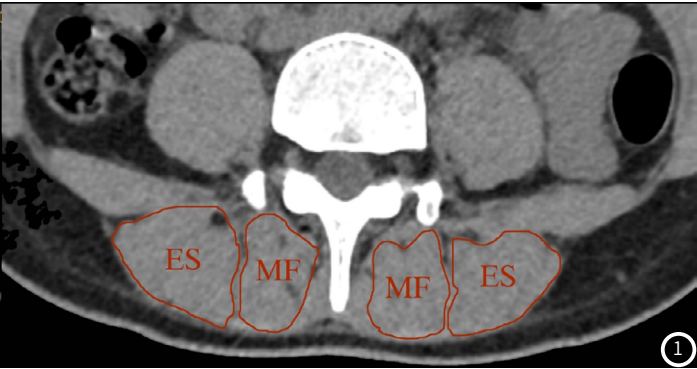


图1 能谱CT 70KeV单能量图，L5椎体中份水平竖脊肌(ES)及多裂肌(MF)的ROI勾画示意图。

间参数比较采用独立样本t检验，非正态分布的计量资料采用中位数(上下四分位数)表示，两组间参数比较采用Mann-Whitney U 检验。采用 χ^2 检验比较计数资料。以临床诊断结果为标准，绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线，计算曲线下面积(area under the curve, AUC)评估椎旁肌水含量诊断青年人CNLBP的效能。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料 本研究最终纳入CNLBP患者56例(女性29例，男性27例，平均年龄 25.7 ± 2.0 岁，范围22~31岁)，健康志愿者54例(女性27例，男性27例，平均年龄 25.1 ± 1.9 岁，范围20~29岁)，CNLBP患者及健康志愿者两组间年龄、性别相匹配，各临床基线特征未见明显统计学差异($P>0.05$)(表1)。

表1 受试者临床基线特征

临床特征	CNLBP患者(n=56)	健康志愿者(n=54)	t值	P值
年龄(岁)	25.7 ± 2.0	25.1 ± 1.9	2.438	0.121
性别(男/女)	27/29	27/27	0.526	0.473
身高(cm)	162.5 ± 7.7	163.8 ± 8.7	0.702	0.404
体重(kg)	58.2 ± 11.6	56.8 ± 11.5	0.358	0.551
BMI(kg/m^2)	22.0 ± 3.8	21.1 ± 3.1	1.928	0.168

注：CNLBP：慢性非特异性下腰痛；BMI：体质指数。

2.2 CNLBP患者与健康志愿者的各椎旁肌水含量对比 计量资料均满足正态分布(P 均 >0.05)。竖脊肌水含量：CNLBP患者于L2-L5层面椎体水平平均高于健康志愿者，差异无统计学意义($P>0.05$)；多裂肌水含量：CNLBP患者于L4及L5椎体水平高于健康志愿者，差异具统计学意义($t=2.48, P=0.015$ ； $t=4.41, P<0.001$)，CNLBP组于L2-L3椎体水平平均高于健康志愿者，差异无统计学意义($P>0.05$)(表2及图2、3)。

2.3 椎旁肌水含量诊断CNLBP的效能 以临床诊断CNLBP为标准，L4、L5层面多裂肌水含量诊断青年CNLBP的AUC分别为0.633、0.729(表3及图4)。

表2 CNLBP患者与健康志愿者于各椎体水平水含量(mg/cm^3)比较

指标	肌肉	椎体层面	CNLBP患者	健康志愿者	t值	P值
水含量(mg/cm^3)	ES	L1	1021.30 ± 124.30	1007.69 ± 110.13	0.597	0.552
		L2	1031.34 ± 87.40	1027.07 ± 101.12	0.234	0.815
		L3	1039.89 ± 79.15	1032.47 ± 103.15	0.419	0.676
		L4	1072.03 ± 85.20	1043.01 ± 93.80	1.677	0.096
	MF	L2	983.60 ± 149.53	945.15 ± 152.29	1.317	0.191
		L3	1014.44 ± 116.50	998.34 ± 119.21	0.706	0.482
		L4	1064.49 ± 129.26	1000.16 ± 142.47	2.482	0.015
		L5	1099.65 ± 110.19	$1000.49.03 \pm 125.61$	4.405	<0.001

注：符合正态性的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ ；CNLBP：慢性非特异性下腰痛；ES：竖脊肌；MF：多裂肌。

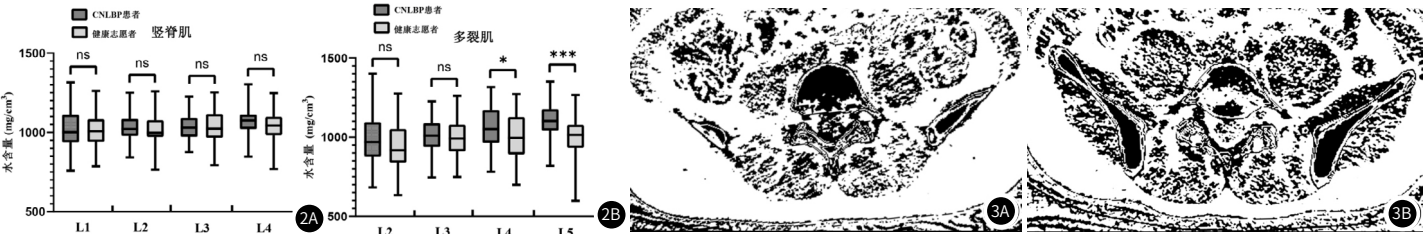


图2A-图2B CNLBP患者与健康志愿者各椎体水平竖脊肌及多裂肌的水含量(mg/cm^3)箱线图。2A 竖脊肌水含量；2B 多裂肌水含量。*表示 $0.01 \leq P < 0.05$ ，**表示 $0.001 \leq P < 0.01$ ，***表示 $P < 0.001$ ， $P < 0.05$ 表示差异具统计学意义。

图3A-图3B L5层面椎旁肌能谱CT水-肌物质分离图。3A 一名26岁女性CNLBP患者L5层面能谱CT水-肌物质分离图，左侧多裂肌： $1215 \text{mg}/\text{cm}^3$ 、右侧多裂肌： $1274 \text{mg}/\text{cm}^3$ ；3B 一名28岁男性健康志愿者L5层面能谱CT水-肌物质分离图，左侧多裂肌： $910 \text{mg}/\text{cm}^3$ ，右侧多裂肌： $1007 \text{mg}/\text{cm}^3$ 。

表3 L4、L5椎体层面多裂肌水含量诊断青年CNLBP的效能

变量	AUC(95% CI)	截断值(mg/cm ³)	准确率(%)	敏感度(%)	特异度(%)	P值
L4层面多裂肌水含量	0.633(0.529,0.737)	1020.875	0.627	0.661	0.593	0.016
L5层面多裂肌水含量	0.729(0.634,0.824)	1031.175	0.709	0.839	0.574	<0.001

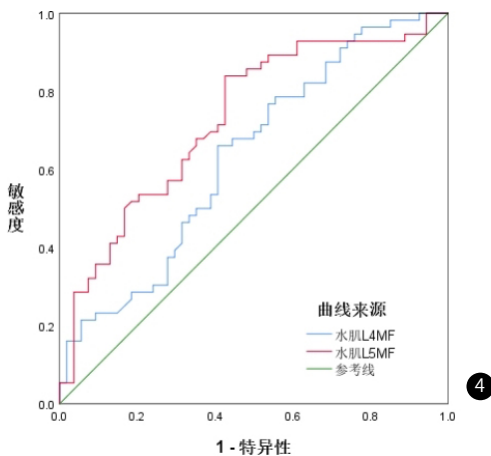


图4 L4、L5椎体层面多裂肌水含量诊断青年CNLBP的ROC曲线。

3 讨论

CNLBP占慢性下腰痛的80-90%，发病机制尚不明确^[1]。近期研究表明，椎旁肌与非特异性腰痛关系密切，椎旁肌萎缩与纤维特征改变等微结构的变化可能是CNLBP反复发作的重要原因，其导致的脊柱失稳可能进一步恶化CNLBP，因此评估椎旁肌具有重要意义^[8-9]。Revolution CT采用高低压瞬间切换技术，并根据不同能级的衰减差异进行物质分离，从而得到特定基物质含量^[5]。肌肉是一种富含水分的组织，含水量在76%左右^[10]。既往研究发现健康人腰椎旁肌具有随年龄增长时肌含量减少、水含量增加的规律，提示椎旁肌水含量改变可能对肌肉功能有一定影响^[11]。本研究旨在采用能谱CT水-肌物质分离技术对青年CNLBP患者和健康志愿者椎旁肌水含量进行测量，间接评估椎旁肌的代谢改变，探索CNLBP的发生风险因素。

本研究结果显示CNLBP患者椎旁肌水含量较健康志愿者呈增长趋势。Pinto等人的研究指出，大多数促炎生物标志物(如C反应蛋白、白细胞介素-1)与非特异性下腰痛呈正相关，抗炎生物标志物(如白细胞介素-10)与非特异性下腰痛呈负相关，腰痛患者具有更多的促炎基因表达和较低的抗炎基因表达^[12-13]。炎症状态可能增加细胞膜通透性并降低三磷酸腺苷水平，导致钠钾泵功能障碍，从而导致水从细胞间质转移到细胞内，细胞内自由水增加，肌肉组织的水含量增加^[14]；其次，肌肉组织由肌细胞和细胞外空间(水、成纤维细胞、脂肪组织)构成，CNLBP患者的特征之一是肌肉萎缩，在微观上表现为肌细胞减少、细胞外空间扩张，由于渗透作用导致细胞外水含量增加。上述CNLBP患者椎旁肌所发生的病理生理过程，与本研究的结果相符。

本研究表明CNLBP青年患者多裂肌在L4、L5椎体水平的水含量升高，且水含量从L5水平向上依次递减。出现该种现象的原因可能与悬臂梁机制有关，越靠近悬臂的固定端，承受的应力越高，越易发生退变。如L5水平承受的应力高于其上位腰椎水平，该水平段椎旁肌退变所导致的腰椎不稳将进行性的引起其邻近椎体水平椎旁肌的退变，从而导致由下向上的水含量减少^[15]。

此外，本研究结果示L4、L5椎体层面多裂肌水含量诊断青年CNLBP的AUC分别为0.633和0.729，提示椎旁肌水含量对青年CNLBP具有一定诊断价值。但上述结果也提示，CNLBP可能是多种因素共同作用的结果，椎旁肌水含量增高只是CNLBP的一个影响因素。

本研究的局限性：(1)本研究是一项单中心、小样本研究，不适用于整个CNLBP人群，在未来将进一步扩大各年龄段的样本量；(2)本研究的肌肉ROI均为手动绘制，可能存在一定测量误差，未来研究中需结合半自动、自动分割。

综上所述，能谱CT水-肌物质分离技术可以敏感、定量评估CNLBP青年患者椎旁肌水含量的改变，可为CNLBP的诊断与治疗评估提供一定的临床价值。

参考文献

[1]Maher C,Underwood M,Buchbinder R.Non-specific low back pain[J].Lancet,2017,389(10070):736-747.
[2]Calvo-Muñoz I,Kovacs F M,Roqué M,et al.Risk factors for low back pain in childhood and adolescence:a systematic review[J].The Clinical Journal of Pain,2018,34(5):468-484.
[3]Goubert D,Oosterwijk J V,Meeus M,et al.Structural changes of lumbar muscles in non-specific low back pain:a systematic review[J].Pain Physician,2016,19(7):e985-e1000.
[4]高美,刘丛丛,刘俐琦.肌骨超声及CT诊断慢性腰痛的效果比较[J].中国CT和MRI杂志,2021,19(4):158-161.
[5]Hamid S,Nasir M U,So A,et al.Clinical applications of dual-energy CT[J].Korean J Radiol,2021,22(6):970-982.
[6]Chellini D,Kinman K.Dual-energy CT principles and applications[J].Radiol Technol,2020,91(6):561C-576C.
[7]Chou R,Qaseem A,Snow V,et al.Diagnosis and treatment of low back pain:a joint clinical practice guideline from the American College of Physicians and the American Pain Society[J].Ann Intern Med,2007,147(7):478-491.
[8]李雅萍,刘红,黄武杰,等.慢性非特异性腰痛患者腰椎椎旁肌脂肪浸润比与腰椎-骨盆参数的相关性[J].中国脊柱脊髓杂志,2021,31(09):825-832.
[9]韩焱,关文华,陈殿森,等.青年女性慢性非特异性腰背痛椎旁肌变化的CT表现[J].颈腰痛杂志,2010,31(2):83-85.
[10]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).
[11]邓惠婷,李平,高辉,等.双能CT肌-水分离技术对健康人腰椎旁肌的定量研究[J].放射学实践,2020,35(05):652-657.
[12]Pinto E M,Neves J R,Laranjeira M,et al.The importance of inflammatory biomarkers in non-specific acute and chronic low back pain:a systematic review[J].Eur Spine J,2023.
[13]van den Berg R,Jongbloed E M,de Schepper E,et al.The association between pro-inflammatory biomarkers and nonspecific low back pain:a systematic review[J].Spine J,2018,18(11):2140-2151.
[14]Ran J,Yin C,Liu C,et al.The diagnostic value of MR IVIM and T2 mapping in differentiating autoimmune myositis from muscular dystrophy[J].Acad Radiol,2021,28(6):e182-e188.
[15]Sander D,Tian Z,Kirschner J.Cantilever measurements of surface stress,surface reconstruction,film stress and magnetoelastic stress of monolayers[J].Sensors (Basel),2008,8(7):4466-4486.

(收稿日期: 2024-01-04)
(校对编辑: 韩敏求)