

• 临床研究 •

基于“筋骨平衡”理论探讨中老年人小腿后群肌对膝骨关节炎的影响

钱庆^{1,2} 笪巍伟^{1,2} 朱宝财^{1,2} 薛纯纯^{1,2} 李晓锋^{1,2△}

[摘要] 目的:分析中老年人腓肠肌和跖肌肌肉的脂肪浸润与膝骨关节炎进展的相关性。方法:回顾性分析 2023 年 1 月至 2025 年 2 月住院并诊断为原发性单/双侧膝关节病患者 80 例,采用相关性分析及多因素线性回归分析小腿后群肌肉脂肪浸润与膝关节参数变化、骨关节炎进展程度之间的关联性。结果:膝骨关节炎患者的膝关节内侧间隙与腓肠肌脂肪浸润率($r=-0.027, P<0.001$)、跖肌脂肪面积($r=-0.130, P<0.001$)、跖肌脂肪浸润率($r=-0.043, P<0.001$)呈负相关性;膝关节外侧间隙与腓肠肌脂肪浸润率呈负相关性($r=-0.016, P=0.001$)。在线性回归分析中,腓肠肌脂肪面积增大、脂肪浸润率升高,对膝关节内外侧间隙有负向影响关系,对股骨远端外侧角有正向影响关系。结论:中老年人小腿腓肠肌脂肪浸润率与膝关节内外侧间隙存在关联性;同时,腓肠肌肌肉质量可能是评估中老年人膝关节退变程度、膝骨关节炎发生发展的重要指标之一,也可能是临床早中期防治膝骨关节炎的关键靶点之一。

[关键词] 膝骨关节炎;筋骨平衡;腓肠肌;跖肌;脂肪浸润

[中图分类号] R684.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2026)08-0030-08

DOI: 10.20085/j.cnki.issn1005-0205.260805

Exploring the Influence of the Posterior Group Muscles of the Lower Leg in Middle-Aged and Elderly People on KOA Based on the “Sine-Bone Balance” Theory

QIAN Qing^{1,2} DA Weiwei^{1,2} ZHU Baocai^{1,2} XUE Chunchun^{1,2} LI Xiaofeng^{1,2△}

¹ Shanghai Municipal Hospital of Traditional Chinese Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200071, China;

² Inheritance Studio of TCM Master Shi Qi, Shanghai 200071, China.

Abstract Objective: To investigate the correlation between fat infiltration of the gastrocnemius and metatarsal muscles in middle-aged and elderly people and the progression of knee osteoarthritis. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on a total of 80 patients who were hospitalized and diagnosed with primary unilateral or bilateral knee joints between January 2023 and February 2025. Correlation analysis and multivariate linear regression analysis were used to analyze the association between muscle fat infiltration in the posterior compartment of the lower leg and both knee joint parameter changes and osteoarthritis progression severity. **Results:** The medial knee joint space of patients with knee osteoarthritis was negatively correlated with the fat infiltration rate of the gastrocnemius muscle ($r=-0.027, P<0.001$), the fat area of the metatarsal muscle ($r=-0.130, P<0.001$), and the fat infiltration rate of the metatarsal muscle ($r=-0.043, P<0.001$). The lateral space of the knee joint was negatively correlated with the fat infiltration rate of the gastrocnemius muscle ($r=-0.016, P=0.001$). In the linear regression analysis, an increase in the fat area and fat infiltration rate of the gastrocnemius muscle is associated with a reduction in the medial and lateral joint spaces of the knee and an increase in the lateral angle of the distal femur. **Conclusion:** There is a

基金项目:上海市 2022 年度“科技创新行动计划”医学创新研究专项项目(22Y11922500)

上海市白玉兰人才计划浦江项目(2024PJD915)

上海市嘉定区卫生健康委员会中医药项目(2024-KY-ZYY-01)

上海市中医医院院级重点专科建设项目(强化专科)-骨伤科

¹ 上海中医药大学附属市中医医院(上海, 200071)

² 施杞国医大师传承工作室

△通信作者 E-mail:lixiaofeng0409@163.com

negatively correlated with the fat infiltration rate of the gastrocnemius muscle ($r=-0.027, P<0.001$), the fat area of the metatarsal muscle ($r=-0.130, P<0.001$), and the fat infiltration rate of the metatarsal muscle ($r=-0.043, P<0.001$). The lateral space of the knee joint was negatively correlated with the fat infiltration rate of the gastrocnemius muscle ($r=-0.016, P=0.001$). In the linear regression analysis, an increase in the fat area and fat infiltration rate of the gastrocnemius muscle is associated with a reduction in the medial and lateral joint spaces of the knee and an increase in the lateral angle of the distal femur. **Conclusion:** There is a

correlation between the fat infiltration rate of the gastrocnemius muscle in the lower leg of middle-aged and elderly people and the medial and lateral spaces of the knee joint. Meanwhile, the mass of the gastrocnemius muscle may be one of the important indicators for evaluating the degree of knee joint degeneration and the occurrence and development of KOA in middle-aged and elderly people; it may also become one of the key targets for the prevention and treatment of KOA in the early and middle stages of clinical practice.

Keywords: knee osteoarthritis; balance of muscles and bones; gastrocnemius muscle; metatarsal muscle; intramuscular fat

膝骨关节炎(Knee Osteoarthritis, KOA)是中老年人群高发的退行性关节疾病,以软骨磨损、滑膜炎及骨赘形成为核心病理特征^[1],临床以关节疼痛及功能障碍等为主要症状。中医学认为膝骨关节炎属于“痹证”范畴,“风寒湿三气杂至,合而为痹”,其具体病机为外邪侵袭与内在正气亏虚共同作用^[2]。除了内生五邪及外感六淫外,近年来生物力学的失衡也受到众多研究者的关注。其中“筋骨平衡”理论是国医大师施杞教授基于传统中医理论,融合现代生物力学与临床实践,逐步总结而成的一套用于治疗慢性筋骨疾病的学术理论。具体而言,筋骨平衡是指筋与骨在形态、结构和功能三个维度上的协调统一,其中形态与结构属于静态平衡,功能则表现为动态平衡,二者动静结合,共同维持人体运动系统的稳定与协调^[3]。施杞教授认为筋骨失衡表现为动力失衡为先,静力失衡为主;肌肉脂肪浸润是动力失衡的关键因素,导致骨骼肌质量及功能下降,进而影响其对关节的稳定及动力作用。近年来研究证实,肌肉脂肪浸润与膝骨关节炎进展密切相关^[4],但现有研究多聚焦于大腿股四头肌^[5-7],却忽视小腿后群肌(如腓肠肌、跖肌)对膝骨关节炎进展的潜在影响。临床中发现很多膝骨关节炎患者除膝关节疼痛外,常伴随膝关节腘窝至小腿部分的僵硬板滞,运用手法或电针治疗松解腓肠肌、跖肌等跨关节肌群后可快速改善上述症状。基于此,本研究从小腿后群肌中的腓肠肌和跖肌肌肉内脂肪浸润切入,一方面探究其变化与膝骨关节炎退变程度的相关性,另一方面补充、丰富膝关节周围关键肌群(包括大腿和小腿肌群)对膝骨关节炎进展的影响研究,从而为膝骨关节炎的病理机制研究及临床干预提供新视角,现报告如下。

1 研究对象与方法

1.1 病例选择

诊断标准:符合 2023 年中华中医药学会《膝骨关节炎中西医结合诊疗指南》中膝骨关节炎的诊断标准。1)近 1 个月内反复膝关节疼痛;2)年龄 ≥ 50 岁;3)晨僵时间 ≤ 30 min;4)活动时骨擦音(感);5)X 线片(站立或负重位)示关节间隙变窄、软骨下骨硬化和(或)囊性变、关节缘骨赘形成;6)MRI 示软骨损伤、骨赘形成、软骨下骨骨髓水肿和(或)囊性变、半月板退行性撕裂、软骨部分或全层缺失。同时满足 1)2)3)4)或

1)5)或 1)6)即可诊断为膝骨关节炎。

纳入标准:1)符合膝骨关节炎诊断标准;2)年龄为 45~90 岁,性别不限;3)有完整记录双膝关节的 MRI 及 X 线片图像。

排除标准:1)既往有膝关节手术史;2)膝关节周围存在急性炎症或者感染;3)孕妇;4)合并肿瘤、感染或免疫系统等相关疾病,以及合并糖尿病、高血压病、心脏病控制不佳者。

1.2 临床资料

回顾性选取 2023 年 1 月至 2025 年 2 月于上海中医药大学附属市中医医院住院且诊断为原发性单/双侧膝骨关节炎患者 80 例,其中男 12 例,女 68 例。本研究经上海中医药大学附属市中医医院伦理委员会批准(批件号为 2025SHL-KY-81-01),所有患者均通过电话告知研究内容并征得同意。

1.3 方法

1.3.1 腓肠肌、跖肌内脂肪含量评估 1)影像学检查:患者取站立位、双腿伸直位,进行膝关节 1.5 T MRI 检查。采用表面线圈,层厚为 4 mm,采集矩阵为 512×256 ; T_1 WI 采用自旋回波序列(重复时间为 482 ms,回波时间为 10 ms), T_2 WI 采用快速自旋回波序列(重复时间为 2 300 ms,回波时间为 99 ms)。因脂肪组织在 T_2 WI 上与周围组织分辨率高,横断面扫描选用 T_2 WI 序列,图像数据采用 ImageJ 5.0 软件分析。

2)膝关节肌肉横截面积(r-CSA):以肌肉最内层深筋膜轮廓为边界,圈定感兴趣区域(ROI),分别测量腓肠肌、跖肌的横截面面积(CSA)^[8],见图 1 和图 2。

3)脂肪浸润程度(FI):采用面积脂肪分数(AFF)测量肌肉脂肪浸润,通过阈值调整选定脂肪区域,测量肌肉内脂肪横截面面积,按公式计算脂肪浸润程度,脂肪浸润程度=(肌肉内脂肪横截面面积/肌肉横截面面积) $\times 100\%$ 。

1.3.2 膝关节骨性参数测量 1)膝关节 K-L 分级参考《早期膝骨关节炎诊断与非手术治疗指南(2024 版)》^[9],根据 X 线片划分为 0~IV 级。

2)膝关节参数测量^[10]:股骨远端外侧角为膝关节正位片上以股骨纵轴线与股骨远端关节面切线所形成的外侧夹角,正常值为 $75^\circ \sim 85^\circ$ 。胫骨近端内侧角为



图 1 腓肠肌和跖肌肌肉 MRI 定位示意图

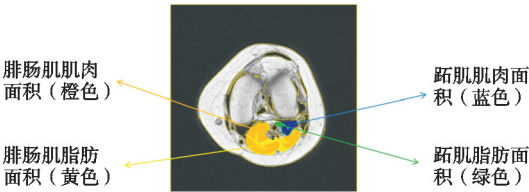


图 2 腓肠肌和跖肌感兴趣区域

以胫骨内外侧平台切线(关节线)与股骨头和膝关节中心的连线(机械轴)之间所形成的内侧夹角,正常值为 $87^{\circ}\pm3^{\circ}$ 。

3)膝内外侧间隙测量^[11]:在膝关节正位片上,分别经过股骨内外侧髁作一平行于胫骨轴线的直线,分别测量其与胫骨内外侧髁关节面相交的距离,记为内侧和外侧关节间隙,通常内外侧关节间隙等宽,正常值为4~9 mm。

以上指标均由两名经验丰富的骨伤科医师采用双盲法评定,每项指标测量后取平均值,以减少主观误差。

1.4 统计学方法

采用GraphPadPrism 10.6 软件进行统计学分

析。符合正态分布的定量资料数据以 $\bar{x}\pm s$ 形式表示,两组比较采用配对样本 t 检验;不符合正态分布的定量资料数据采用Wilcoxon符号秩检验。变量间相关性分析采用Spearman检验。采用多因素线性回归分析膝关节内外侧间隙与肌肉脂肪含量、膝关节参数的关联性,以回归系数及95%置信区间表示影响强度,模型拟合度以 R^2 评估。定性资料数据比较采用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 差异有统计学意义。

1.5 可靠性分析

为确保测量结果的可靠性,评估了肌肉脂肪浸润测量的组内一致性,由主要评估者对80例样本在间隔2周后进行重复测量以评估组内一致性。采用组内相关系数(ICC,双向混合,绝对一致性)进行分析。

2 结果

2.1 一般资料

本研究共纳入80例膝骨关节炎患者,其中男12例,女68例;年龄为 (69.02 ± 9.25) 岁;体重指数为 $(24.49\pm3.43)\text{kg}/\text{m}^2$ 。纳入受试者的一般资料见表1,测量指标见表2。

表 1 膝骨关节炎患者一般资料

K-L 分级	样本量/例	年龄/岁 ($\bar{x}\pm s$)	体重指数/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) ($\bar{x}\pm s$)	性别	
				男/例	女/例
1	3	67.00 ± 6.93	24.03 ± 0.58	0	3
2	37	67.30 ± 1.52	24.50 ± 0.52	6	31
3	39	70.82 ± 1.45	24.58 ± 0.61	6	33
4	1	69	22.03	0	1

表 2 膝骨关节炎患者关节及肌肉参数($\bar{x}\pm s$)

测量指标	参数值	测量指标	参数值
膝关节外侧间隙/mm	6.44 ± 0.15	腓肠肌脂肪面积/ cm^2	0.99 ± 0.08
膝关节内侧间隙/mm	4.87 ± 0.71	跖肌总面积/ cm^2	2.75 ± 0.09
胫骨近端内侧角/ $^{\circ}$	85.38 ± 2.12	跖肌脂肪面积/ cm^2	0.50 ± 0.04
股骨远端外侧角/ $^{\circ}$	82.82 ± 2.84	跖肌肌肉面积/ cm^2	2.25 ± 0.08
腓肠肌总面积/ cm^2	8.82 ± 2.38	腓肠肌脂肪浸润率	0.11 ± 0.01
腓肠肌肌肉面积/ cm^2	7.83 ± 2.17	跖肌脂肪浸润率	0.18 ± 0.01

2.2 膝关节内外侧间隙与肌肉、脂肪含量的相关性

膝关节外侧间隙与腓肠肌脂肪浸润率

($r=-0.016,P=0.001$)、跖肌脂肪浸润率($r=-0.022,P=0.028$)、膝关节内侧间隙与腓肠肌脂肪面

积($r=-0.271, P<0.001$)、腓肠肌脂肪浸润率($r=0.001$)、跖肌脂肪浸润率($r=-0.043, P<0.001$)呈负相关性,结果见图 3 和图 4。

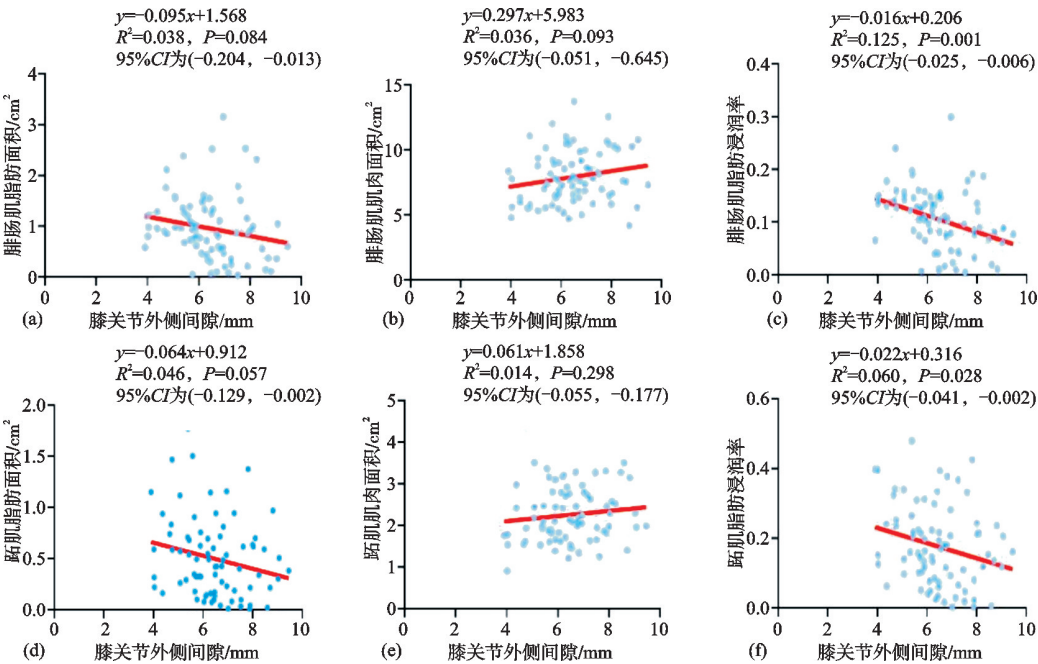


图 3 膝关节外侧间隙与腓肠肌和跖肌肌肉面积、脂肪面积及脂肪浸润率的相关性散点图

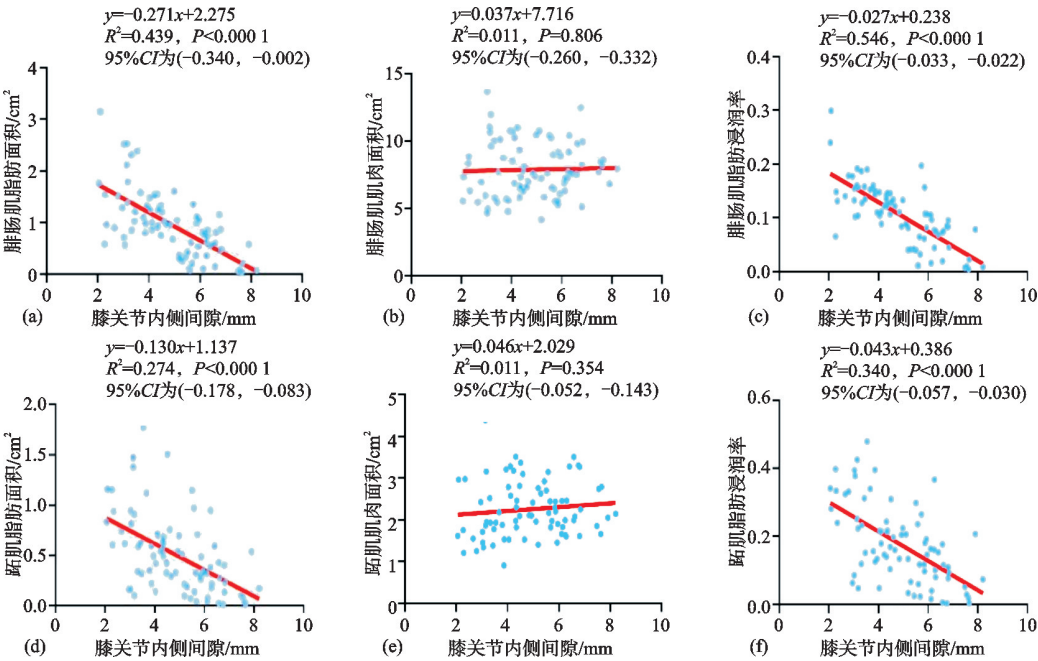


图 4 膝关节内侧间隙与腓肠肌和跖肌肌肉面积、脂肪面积及脂肪浸润率的相关性散点图

2.3 膝关节股骨远端外侧角、胫骨近端内侧角与肌肉、脂肪含量的相关性

股骨远端外侧角、胫骨近端内侧角与腓肠肌、跖肌脂肪面积及脂肪浸润率均无相关性,结果见图 5 和图 6。

2.4 年龄、体重指数与膝关节脂肪浸润率的单因素线性回归分析

为排除肌肉脂肪浸润与膝骨关节炎进展的关键混杂因素中年龄、体重指数影响,分别以腓肠肌脂肪浸润率、跖肌脂肪浸润率作为因变量,年龄、体重指

数为自变量进行单因素线性回归,结果表明:膝关节腓肠肌脂肪浸润率、跖肌脂肪浸润率与年龄、体重指数线性回归关系差异无统计学意义($P>0.05$),见表 3-表 6。

2.5 膝关节内外侧间隙的多因素线性回归分析

分别以膝关节内侧间隙、外侧间隙作为因变量,腓肠肌脂肪面积、腓肠肌脂肪浸润率、跖肌脂肪面积、跖肌脂肪浸润率、股骨远端外侧角、胫骨近端内侧角作为自变量进行多因素线性回归,结果见表 7-表 10。结果表明:膝关节内侧间隙与腓肠肌脂肪浸润率有线性

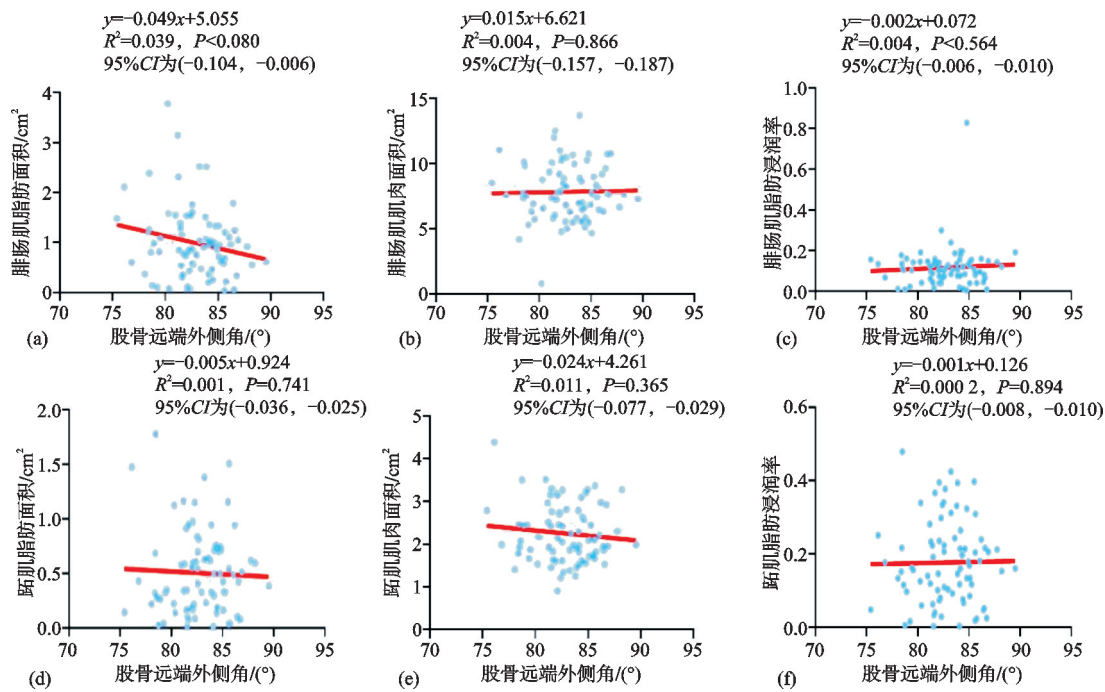


图 5 膝关节股骨远端外侧角与腓肠肌、跖肌肌肉、脂肪面积及脂肪浸润率的相关性散点图

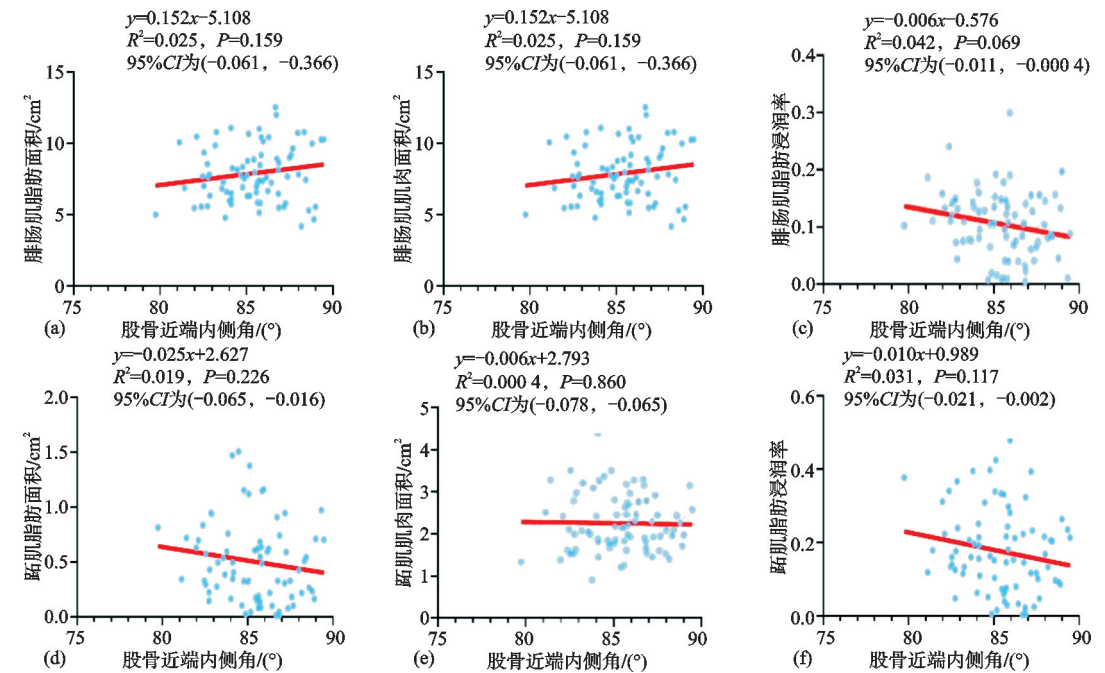


图 6 膝关节胫骨近端内侧角与腓肠肌、跖肌肌肉、脂肪面积及脂肪浸润率的相关性散点图

表 3 腓肠肌脂肪浸润率与年龄线性回归分析结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P
	B	标准误差			
常量	-0.740	0.082		-0.913	0.364
年龄	0.003	0.001	0.255	2.326	0.230

表 4 腓肠肌脂肪浸润率与体重指数线性回归分析结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P
	B	标准误差			
常量	0.277	0.079		3.530	0.001
体重指数	-0.007	0.003	-0.232	-2.104	0.390

表 5 跖肌脂肪浸润率与年龄线性回归分析结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P
	B	标准误差			
常量	0.271	0.104		2.592	0.011
年龄	-0.001	0.001	-0.108	-0.963	0.339

表 6 跖肌脂肪浸润率与体重指数线性回归分析结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P
	B	标准误差			
常量	0.119	0.100		1.184	0.240
体重指数	0.002	0.004	0.059	0.525	0.601

回归关系,呈负相关($P=0.001$);膝关节外侧间隙与腓肠肌脂肪面积、腓肠肌脂肪浸润率有线性回归关系,呈负相关($P=0.009,0.001$);股骨远端外侧角与腓肠肌脂肪面积有线性回归关系,呈负相关($P=0.02$)。上述多重共线性检验显示容差 >0.1 ,且 $5\leq$ 方差膨胀因子(VIF) <10 ,提示不存在多重严重共线性。

表 7 膝关节内侧间隙的多因素线性回归分析检验结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P	共线性统计	
	B	标准误差				容差	VIF
常量	8.769	5.381		1.629	0.108		
胫骨近端内侧角	0.015	0.057	0.021	0.265	0.792	0.912	1.096
股骨远端外侧角	-0.034	0.042	-0.062	-0.810	0.421	0.902	1.109
腓肠肌脂肪面积	-0.033	0.419	-0.013	-0.078	0.938	0.891	1.122
跖肌脂肪面积	-0.086	0.663	-0.021	-0.129	0.898	0.911	1.097
腓肠肌脂肪浸润率	-16.122	4.550	-0.596	-3.543	0.001	0.933	1.071
跖肌脂肪浸润率	-3.333	2.214	-0.246	-1.505	0.137	0.931	1.074

表 8 膝关节外侧间隙的多因素线性回归分析检验结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P	共线性统计	
	B	标准误差				容差	VIF
常量	-5.294	6.156		-0.860	0.393		
胫骨近端内侧角	0.058	0.065	0.096	0.902	0.370	0.869	1.151
股骨远端外侧角	0.092	0.048	0.202	1.916	0.059	0.878	1.139
腓肠肌脂肪面积	-1.282	0.479	0.628	2.675	0.009	0.274	3.646
跖肌脂肪面积	-0.668	0.759	-0.199	-0.881	0.381	0.173	5.775
腓肠肌脂肪浸润率	-17.528	5.205	-0.775	-3.368	0.001	0.289	3.458
跖肌脂肪浸润率	0.349	2.532	0.031	0.138	0.891	0.181	5.526

表 9 膝关节股骨远端外侧角线性回归分析检验结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P	共线性统计	
	B	标准误差				容差	VIF
常量	81.662	1.534		53.235	<0.001		
胫骨关节内侧间隙	-0.757	0.188	-0.389	-4.030	<0.001	0.994	1.007
胫骨关节外侧间隙	0.766	0.175	0.425	4.377	<0.001	0.950	1.053
腓肠肌脂肪面积	-1.600	0.722	-0.399	-2.218	0.030	0.942	1.062
跖肌脂肪面积	0.683	1.645	0.096	0.415	0.679	0.923	1.083
腓肠肌脂肪浸润率	6.411	5.061	0.244	1.267	0.209	0.968	1.033
跖肌脂肪浸润率	1.606	5.102	0.070	0.315	0.754	0.994	1.007

表 10 膝关节胫骨近端内侧角线性回归分析检验结果

变量	非标准化系数		标准系数	t	P	共线性统计	
	B	标准误差				容差	VIF
常量	84.402	1.319		63.996	<0.001		
胫骨关节内侧间隙	-0.080	0.162	-0.055	-0.498	0.620	0.940	1.063
胫骨关节外侧间隙	0.361	0.151	0.268	2.396	0.019	0.932	1.072
腓肠肌脂肪面积	-0.018	0.620	-0.006	-0.029	0.977	0.271	3.685
跖肌脂肪面积	0.310	1.414	0.058	0.219	0.827	0.165	6.070
腓肠肌脂肪浸润率	-3.619	4.351	-0.169	-0.832	0.408	0.282	3.547
跖肌脂肪浸润率	-4.437	4.387	-0.258	-1.011	0.315	0.179	5.585

2.6 组内相关系数分析

为评估检测方法的可靠性,采用组内相关系数分析,采用双向混合、绝对一致性的组内相关系数进行评

估。对原始数据采用“单一度量”,对计算数据采用“平均度量”。3 名评估者对 80 例受试者各项测量数据一致性均大于 0.6,说明一致性良好,见表 11。

表 11 组内相关系数分析结果

变量	腓肠肌肌肉面积	腓肠肌脂肪面积	腓肠肌脂肪浸润率	跖肌肌肉面积	跖肌脂肪面积	跖肌脂肪浸润率
组内相关系数	0.922	0.999	0.831	0.682	0.915	0.948
95%CI	0.878~0.950 cm ²	0.999~1.000 cm ²	0.736~0.892	0.515~0.793 cm ²	0.870~0.945 cm ²	0.920~0.967

3 讨论

膝关节是人体最大、结构最复杂的关节,由股骨下

端、胫骨上端和前方的髌骨等组成骨性框架结构。由于股骨下端和胫骨平台之间的匹配性较差,其结构的

不平衡性需要依赖肌肉、韧带、滑膜等软组织(筋)进行稳定、加强,以确保膝关节在运动时处于平衡状态。早在《黄帝内经》记载中就认识到本病的病因病机与“筋”的功能密切相关。《素问·痿论》记载:“宗筋主束骨而利机关也。”《素问·脉要精微论》云:“膝者筋之府,屈伸不能,行则倮附,筋将惫矣。”《素问·长刺节论》记载“病在筋,筋挛节痛,不可以行,名曰筋痹”,一定程度上说明了筋的功能是膝关节屈伸、行走等活动的基础,当筋出现痹证时不仅会引起膝关节疼痛,还会影响关节的活动。施杞教授认为“筋”组织作为驱动骨骼关节活动的外力源泉,称作动力系统;而“骨”组织作为保持肌肉系统张力的内在支撑结构,称作静力系统;两者相互为用、共同维持着膝关节的动静力平衡,从而保证膝关节的正常结构和日常活动。施杞教授指出中老年人群不同于青壮年,随着年龄增加、性激素紊乱、基础疾病等因素,会逐渐导致躯体肌肉质量及力量的下降。基于“筋骨平衡”理论,膝骨关节炎的发生发展总归“筋失衡”-“筋与骨的失衡”-“骨失衡”:中老年人肌肉脂肪浸润增加,导致膝关节周围的肌肉质量下降,即“筋失衡”;“筋不束骨”,此既为膝骨关节炎罹患因素,同时也是膝骨关节炎发展早期阶段,关节稳定性不足伊始。随着膝关节稳定性逐渐下降,“筋损及骨”,“骨失衡”开始发生,进展中期膝关节“骨”组织代偿,以适应关节运动,但下肢力线相应改变,包括但不限于关节面受力不均^[12]、关节间隙减小。长此以往,关节损伤与肌肉退变会形成恶性循环,加重关节退变的进程,最终达到膝骨关节炎晚期完全的“骨失衡”。因此,膝关节周围肌肉脂肪浸润的增加是膝关节发生退变的重要影响因素之一。

3.1 腓肠肌、跖肌脂肪浸润可能影响膝关节的稳定性

腓肠肌与跖肌是小腿后群肌的核心组成部分,二者通过协同作用维持膝关节动态稳定^[13];腓肠肌主要负责膝关节屈曲、踝关节跖屈等活动,并在运动中直接调控膝关节的受力平衡;跖肌虽以足部跖屈、内翻功能为主,但通过维持下肢运动协调性,间接为膝关节提供支撑。当二者肌肉含量减少、脂肪浸润增加时,踝关节跖屈及膝关节屈曲功能减弱,下肢对膝关节的支撑力下降,导致膝关节在负重、运动中负荷异常升高^[14]。本研究发现,随着腓肠肌脂肪浸润率显著增加,腓肠肌肌肉内脂肪含量增多,腓肠肌肌肉面积降低,膝关节间隙狭窄,这与既往研究结论一致。单侧膝骨关节炎患者腓肠肌(尤其内侧头)厚度与 WOMAC 疼痛评分、僵硬评分呈负相关^[15](肌肉越薄,症状越重)。同时,国外研究指出膝骨关节炎患者与健康人群的腓肠肌厚度、纤维横截面积无显著差异,提示膝骨关节炎相关的小腿肌肉病理改变可能以肌肉脂肪蓄积、肌纤维类型转换为主,而非单纯肌肉量减少^[16],这也为本研究聚

焦“脂肪浸润率”提供了依据。

3.2 腓肠肌、跖肌质量下降可能通过改变关节生物力学加剧膝骨关节炎进程

腓肠肌、跖肌通过调控下肢应力分布,直接影响膝关节生物力学特性。本研究结果显示:膝关节内侧间隙与腓肠肌脂肪浸润率呈负相关性,即当腓肠肌脂肪浸润增加时,膝关节内侧间隙减小,下肢力学轴线内移,膝关节内侧间室压力升高(可增加 20%~30%),最终表现为膝内翻畸形^[17](“O 型腿”)。这种异常压力会加速内侧间室软骨磨损、骨赘形成及软骨下骨硬化,形成“力学失衡-软骨损伤”进一步失衡的恶性循环。对于跖肌,本研究虽未发现其与关节骨性参数的直接关联,但既往研究证实跖肌质量下降会导致踝背屈受限(膝关节伸直位与屈膝位背屈角度差 $\geq 5^\circ$),迫使下蹲时通过胫骨前移或足外翻代偿,导致膝关节接触点后移,加重后侧关节囊及软骨压力;同时,跖肌紧张会协同腓肠肌增加腓窝张力,使步态支撑期胫骨平台后倾,进一步破坏膝关节稳定性^[18]。

3.3 腓肠肌、跖肌脂肪蓄积可能通过改变下肢力线推动膝骨关节炎进展

腓肠肌、跖肌脂肪浸润可能改变肌肉收缩力、关节角度,进而改变膝关节下肢力线,加剧膝骨关节炎进展。生物力学层面,分析发现小腿后群腓肠肌脂肪浸润与膝关节内外侧间隙均呈负相关性,提示肌肉脂肪浸润可能通过降低肌肉收缩能力改变膝关节内外侧间隙,进而影响周围肌群力学分布;力学改变使得膝关节间隙狭窄,是膝骨关节炎进展的重要危险因素之一。本研究结果显示多因素回归分析中,膝关节内侧间隙在相关性分析与跖肌脂肪浸润率显著相关,而在回归模型中却无显著性,可能归因于多变量模型中,所有预测变量同时竞争,对结局变异的解释力下降,即多因素模型中其他变量参与,跖肌脂肪浸润率独立贡献的幅度不足以维持统计学显著性。此外,膝关节内侧间隙与腓肠肌脂肪浸润率几乎无线性关联,但 P 值却高度显著;股骨远端外侧角与腓肠肌脂肪浸润率之间的相关性并未显示出显著性,而二者的回归关系具有显著性,这些看似矛盾的现象可能因样本量较小,线性回归模型虽在统计中达到显著的水平,但在临床上可能意义有限,提示腓肠肌脂肪浸润率对膝关节内侧间隙、股骨远端外侧角直接影响程度较弱。但已有研究发现,关节角度的变化可使内侧半月板挤出,下肢力线随之异常^[19]。基于此,笔者推测腓肠肌、跖肌脂肪浸润会通过削弱肌肉收缩能力,致使关节间隙狭窄,加重步态支撑期胫骨前移失控,股骨后方位移范围增加,膝关节剪切应力升高,代偿性胫骨内旋,使负荷向膝关节内侧间室集中^[20],二者共同作用,加速膝关节非对称性狭窄。病理机制层面,异常应力可能通过两种途径损

伤软骨:1)直接导致后内侧间室软骨营养障碍及微损伤;2)刺激滑膜细胞分泌 IL-1 β 、IL-6 等促炎因子,激活基质金属蛋白酶,加速 II 型胶原与蛋白聚糖降解。最新研究还发现,异常应力会破坏软骨缺氧微环境,抑制导致软骨细胞分化及分解代谢蛋白酶,促进“Wnt 信号”通路^[21],进一步加剧软骨细胞损伤;临床层面,腓肠肌紧张者常出现膝过伸步态,导致膝关节前侧间隙压缩、前交叉韧带持续紧张(胫骨前移综合征);跖肌挛缩则引发腓肌协同失调,表现为下蹲时膝后“绞索感”,增加外侧半月板后角剪切力^[22],以上机械性因素与炎症反应叠加,推动膝关节炎从最初肌肉脂肪浸润诱发的“筋(动力)失衡”逐渐演变为膝关节退变程度加重的“骨(静力)失衡”。

综上所述,腓肠肌脂肪浸润率可作为膝关节炎早期筛查的敏感指标之一,利于对膝关节退变程度及预后进行综合判定,指导临床更有针对性地利用针灸、手法、功法等中医药疗法干预目标肌群,达到“筋骨并重”以早期延缓和改善膝关节炎的病理进展。本研究为回顾性研究,存在一定的偏倚性,MRI 扫描范围没有涵盖所有肌群,下一步将通过前瞻性研究深入分析不同肌群对膝关节退变的影响。

参考文献

- [1] 张家豪,赵明宇,张向东,等.基于中医筋骨构架学说探讨膝关节炎的辨治思路[J].中医正骨,2025,37(8):71-75.
- [2] 郭体康,吴进,杨皓杰,等.基于“病痰饮者,当以温药和之”理论探讨膝关节炎的病机与治疗方法[J].中医正骨,2025,37(7):66-70.
- [3] 陈林,施杞,笪巍伟,等.筋骨平衡理论指导下五步整膝手法治疗膝关节炎浅析[J].中国中医骨伤科杂志,2024,32(9):89-93.
- [4] 艾尼·买买提,巴吾东·买合苏木,颜飞华.脂肪细胞因子和炎症因子对膝关节炎关节结构、骨密度的影响及与实验室指标的相关性研究[J].医学信息,2025,38(10):81-85.
- [5] 郑曲,董宝强,林星星,等.基于线粒体凋亡途径探究经筋刺法对膝关节炎模型大鼠股四头肌保护作用机制[J].中国中医药信息杂志,2025,32(4):92-99.
- [6] 胡华,李连泰,刘艳伟,等.针刺“相对穴”联合股四头肌等长收缩训练治疗老年膝关节炎的效果[J].中华老年多器官疾病杂志,2024,23(7):528-531.
- [7] HEGDE D D, HADYA ANANDA K, VAVACHAN N. Effectiveness of quadriceps strength training in adults with knee osteoarthritis: a systematized review[J]. Musculoskeletal Care, 2025, 23(2): e70134.
- [8] 陈泽华,王毅,陈伟健,等.股四头肌肌内脂肪含量与膝关节炎患者临床严重程度之间的关系[J].中国骨伤,2023,36(12):1147-1152.
- [9] 中国老年保健协会骨关节分会.早期膝关节炎诊断与非手术治疗指南(2024 版)[J].中华医学杂志,2024,104(31):2895-2909.
- [10] 王慧慧,李阳,段广斌,等.计算机导航技术辅助全膝关节置换术对下肢力线纠正效果的研究[J].国际骨科学杂志,2025,46(2):106-110.
- [11] 徐耿彬,茹江英.关节间隙宽度测量对内侧膝关节单髁置换效果及预后的影响[J].中国组织工程研究,2024,28(36):5877-5883.
- [12] 刘爽,施杞,杜文岚,等.基于筋骨平衡理论探讨椎旁肌病变与腰椎退变的关系[J].中医正骨,2024,36(2):60-64.
- [13] HATZANTONIS C, SATKUNAM L, RABEY K N, et al. Fatty infiltration of gastrocnemius-soleus muscle complex: considerations for myosteatosis rehabilitation[J]. Journal of Anatomy, 2024, 245(1): 50-57.
- [14] KIKUCHI N, KANAMORI A, KADONE H, et al. Varus knee osteoarthritis with ankle osteoarthritis demonstrates greater hindfoot inversion and larger ankle inversion loading during gait following total knee arthroplasty compared to varus knee osteoarthritis alone[J]. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2024, 32(9): 2309-2317.
- [15] NG W H, JAMALUDIN N I, SAHABUDDIN F N A, et al. Comparison of the open kinetic chain and closed kinetic chain strengthening exercises on pain perception and lower limb biomechanics of patients with mild knee osteoarthritis: a randomized controlled trial protocol[J]. Trials, 2022, 23(1): 315.
- [16] SHUMNALIEVA R, KOTOV G, MONOV S. Obesity-related knee osteoarthritis-current concepts [J]. Life, 2023, 13(8): 1650.
- [17] TAYFUR B, CHARUPHONGSA C, MORRISSEY D, et al. Neuromuscular joint function in knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 2023, 66(2): 101662.
- [18] TROY K L, DAVIS I S, TENFORDE A S. A narrative review of metatarsal bone stress injury in athletic populations: etiology, biomechanics, and management[J]. PM & R, 2021, 13(11): 1281-1290.
- [19] 沈大惠,孙寿康,徐祥钧,等.膝关节炎内侧半月板挤出与下肢力线的相关性[J].中国矫形外科杂志,2024,32(10):878-883.
- [20] IIZAWA N, OSHIMA Y, KATAOKA T, et al. Relationship between severity of varus osteoarthritis of the knee and contracture of medial structures[J]. Journal of Nippon Medical School, 2022, 89(1): 108-113.
- [21] LANE N E. Targeting the Wnt pathway for the treatment of osteoarthritis of the knee[J]. Seminars in Arthritis and Rheumatism, 2025, 72: 152662.
- [22] METSAVAHT L, GONZALEZ F F, LOCKS R, et al. A biokinetic approach in primary knee osteoarthritis prevention and management-exploring movement profiles and kinetic chain interactions: current concepts[J]. Journal of ISAKOS, 2025, 10: 100381.

(收稿日期:2025-11-26)