・骨骼肌肉影像学・ 基于 5.0T 磁共振成像的髌下脂肪垫形态学定量分析

田宁,甘洁,陈鹏,刘建宪,李宗昌

【摘要】目的:采用 5.0T 磁共振成像分析髌下脂肪垫形态学特征与受检者性别、年龄、左右、髌骨 长轴、皮下脂肪层厚度、膝关节骨性关节炎的关系,为髌下脂肪垫进一步研究奠定基础。方法:回顾性分 析山东省立第三医院 2023 年 5 月 - 8 月行 5.0T 磁共振膝关节扫描的 93 名患者的影像及临床资料,测 量髌下脂肪垫的最大面积和厚度、髌骨长轴、膝前皮下脂肪厚度。统计分析采用独立样本 t 检验和 Pearson 相关性分析。结果:不同性别组髌下脂肪垫矢状面最大面积及最大深度在男性与女性两组间 差异有统学意义(t = 6.973、3.944, P 均 ≤ 0.001),在左膝组与右膝组(t = 0.468、0.560, P = 0.641、 0.577)、压脂高信号组与压脂无高信号组间(t = -1.643、-1.966, P = 0.104、0.052)差异没有统计学意 义。髌下脂肪垫的最大面积与年龄呈负相关(r = -0.470, $P \leq 0.01$),与髌下脂肪垫最大深度、髌骨长轴 呈正相关(r = 0.747、0.640, $P \leq 0.01$),与膝前皮下脂肪层厚度相关性不显著(r = -0.103, P = 0.325)。 结论:5.0T 超高场 MRI 可以清晰显示髌下脂肪垫的结构,通过分析髌下脂肪垫形态学特征与膝关节各 项指标的关系,可为评估膝关节骨性关节炎提供新的思路与方法。

【关键词】 磁共振成像; 髌下脂肪垫; 形态学; 膝关节骨关节炎

【中图分类号】R445.2;R684.76 【文献标志码】A 【文章编号】1000-0313(2024)07-0924-05 DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.07.012 开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Morphological quantitative analysis of infrapatellar fat pad based on 5.0T MRI TIAN Ning, GAN Jie, CHEN Peng, et al.Department of Radiology, Shandong Provincial Third Hospital, Jinan 250031, China

[Abstract] Objective: The purposes of this study were to explore the morphological characteristics of the infrapatellar fat pad (Hoffa's fat pad) with 5.0T magnetic resonance imaging, and to analyze the relationship between the area and depth of infrapatellar fat pad with gender, age, left and right, patellar long axis, subcutaneous fat thickness and knee osteoarthritis, so as to lay a foundation for further study of infrapatellar fat pad. Methods: The images and clinical data of 93 patients who underwent knee scan on 5.0T MRI in Shandong Province Third Hospital from May to August 2023 were retrospectively analyzed, and the maximum area and thickness of the infrapatellar fat pad, the long axis of patella and the subcutaneous fat thickness in front of knee were measured. Independent samples t-test and Pearson correlation analysis were used for statistical analysis. Results: The difference in the largest area and the maximum depth of infrapatellar fat pad between the male group and the female group was statistically significant ($t = 6.973, 3.944, P \le 0.001$). There was no statistically significant difference between the left knee group and the right knee group (t=0.468, 0.560, P=0.641, 0.577), as well as between the high signal group and the non high signal group (t = -1.643, -1.966, P = 0.104, 0.052). The largest area of infrapatellar fat pad was negatively correlated with age (r = -0.470, $P \leq 0.01$), positively correlated with the maximum depth of infrapatellar fat pad and the long axis of patella (r = $0.747, 0.640, P \leq 0.01$), but not significantly correlated with the subcutaneous fat thickness in front of knee (r = -0.103, P = 0.325). Conclusion: A 5.0T ultra-high field magnetic resonance imaging can clearly show the structure of the infrapatellar fat pad.By analyzing the relationship between the morphological characteristics of the infrapatellar fat pad and various indexes of the knee joint, it provides new ideas and methods for evaluating knee osteoarthritis.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Infrapatellar fat pad; Morphology; Knee osteoar-



通讯作者:甘洁,E-mail:ganjie000@sina.com

作者单位:250031 济南,山东省立第三医院影像中心

thritis

髌下脂肪垫(infrapatellar fat pad, IPFP)又称 Hoffa脂肪垫,由Albert Hoffa于1904年首次描述而 得名。IPFP位于关节内滑膜外,充填于髌骨、髌韧带、 股骨髁及胫骨髁前上缘之间,由脂肪细胞、免疫细胞、 血管和纤维间隔等构成。IPFP参与膝关节骨关节炎 (knee osteoarthritis, KOA)的发生及发展,是目前的 研究热点之—^[1-2],但存在较多争议,既往对其形态学 研究较少^[3-4]。

联影 5.0T 超高场磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)系统是中国自主研发的全球首 款 5.0T 全身 MR 成像系统,具有更高的信噪比、分辨 率、对比度和更快的成像速度,可以清晰地显示膝关节 的肌肉、脂肪、韧带、肌腱、软骨、半月板等结构。本研 究基于 5.0T MRI 对 IPFP 进行形态学定量分析,探索 IPFP 形态学特征与膝关节相关指标的关系,为进一步 研究 IPFP 与 KOA 的关系奠定理论基础。

材料与方法

1.一般资料

收集 2023 年 6 月-8 月行 5.0T 超高场 MRI 膝关 节扫描的患者 93 例,男 41 例,年龄 14~79 岁,女 52 例,年龄 13~93 岁。记录患者的性别、年龄等一般资 料。将 93 名被检者按照性别、左右、髌下脂肪垫内有 无压脂高信号进行分组。所有患者均签署 5.0T 超高 场 MRI 膝关节扫描知情同意书。纳入标准:无膝关节 畸形,无膝关节外伤和手术史,无膝关节感染史,无恶 性肿瘤病史,无糖尿病、甲状腺功能亢进病史,无类风 湿性关节炎、强直性脊柱炎、痛风性关节炎等免疫相关 性疾病病史。本项研究获得了山东省立第三医院伦理 委员会的批准。

2.影像学检查

采用联影 5.0T 超高场强 MR 扫描仪(uMR Jupiter, uNity 5.0 平台)和 24 通道膝关节线圈,获取横轴 面、矢状面和冠状面图像。扫描参数:矢状面 FSE-T₁WI, TR 720 ms, TE 10.1 ms, FOV 160 mm× 160 mm,激励次数 1.4,翻转角 90°,体素大小 0.63 mm×0.50 mm×3.00 mm,层厚 3 mm,层间距 10 mm,扫描时间 2 min 19 s; FSE-T₂WI: TR 4100 ms, TE 73.6 ms, FOV 160 mm×160 mm,激励 次数 2,翻转角 90°,体素大小 0.50 mm×0.50 mm× 3.00 mm,层厚 3 mm,层间距 10 mm,扫描时间 2 min 15 s。总检查时间 11 min 46 s。所有图像传至富士 PACS 进行图像观察与测量。

3.数据的测量

髌下脂肪垫矢状位最大面积(Area):在 T₁WI 矢 状面影像上逐层绘制 IPFP 边界,测量每一层面的面 积,选择最大层面的面积代表 IPFP 的面积(图 1a)。 髌下脂肪垫最大深度(Depth):以 IPFP 最大截面的脂 肪垫后缘最远点作垂直于髌腱后缘的直线,其距离定 义为 IPFP 的深度(图 1b)。膝前皮下脂肪层厚度 (Thickness)的测量:TPFP 前方皮下脂肪层的最大厚 度定义为膝前皮下脂肪层的厚度(图 1b)。髌骨对角 线长度(Length):髌骨后上缘与髌骨下极的连线(图 1b)。数据测量由两名影像主治医师及两名影像副主 任医师分别完成,最后取四者平均值作为最终结果。

4.统计学方法

采用 SPSS 25.0 进行统计学分析,计量资料采用 $\overline{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验, $\alpha = 0.05$ 。 相关性分析采用 Pearson 相关性分析。以 P < 0.05 为 差异具有统计学意义。



图 1 女,49岁,因膝关节不适,行膝关节 MR 扫描。a)T₁WI 矢状面测得髌下脂肪垫最大面积为 814.56 mm²;b)T₁WI 矢状面测得髌骨长轴为 43.86 mm,髌下脂肪垫最大深度为 31.95 mm,同平面膝前皮下 脂肪层厚度为 5.3 mm;c)T₂WI 压脂像矢状面示髌下脂肪垫内未见高信号;d)T₂WI 压脂像横轴面示髌下脂 肪垫内未见高信号。

结 果

93 例被检者测得的髌下脂肪垫矢状位面积为 311.32~924.90 mm², 髌下脂肪垫深度为 14.61~ 34.15 mm。不同性别患者矢状面 IPFP 最大面积与最 大深度的差异均有统学意义(*t*=6.973、3.944, *P* 均≤ 0.001,表1)。左膝关节组与右膝关节组 IPFP 最大面 积与最大深度差异无统计学意义(t = 0.468, 0.560, 0.560)P = 0.641、0.577,表 2),压脂高信号组与压脂无高信 号组间 IPFP 最大面积与最大深度差异无统计学意义 (t = -1.643, -1.966, P = 0.104, 0.052,表 3)。 IPFP 矢状面最大面积与年龄呈负相关($r = -0.470, P \leq$ (0.01),与髌下脂肪垫最大深度呈正相关(r = 0.747, $P \leq 0.01$), 与髌骨长轴呈正相关($r = 0.640, P \leq$ 0.01),与膝前皮下脂肪层厚度相关性不显著(r= -0.103, P = 0.325), 见图 2。

讨 论

髌下脂肪垫(infrapatellar fat pad, IPFP)填充于 膝关节前间室,附着于髌骨下缘和髌韧带后缘,是膝关 节内最大的脂肪组织,富含脂肪细胞、免疫细胞、弹性 纤维支架和血管。除了支撑膝关节前间室的结构, IPFP 内丰富的血管网还负责为髌骨和髌腱提供血 供^[5,6]。IPFP 横轴面一般呈三角形,正中矢状面呈四 边形,前后缘一般较为光整,上下极各有一滑膜凹陷, 当膝关节积液时,积液可以进入滑膜凹陷,使滑膜凹陷 显示更为清晰。IPFP 大小、形状、体积因人而异^[7],本 研究显示, IPFP 矢状面最大面积在男、女性间差异有 统学意义,男性组大于女性组,而左、右膝差异无统计 学意义,矢状面最大面积与年龄呈负相关,随着年龄增 长,最大面积出现下降的趋势。另外,本研究显示, IPFP 矢状面最大面积与髌骨长轴呈正相关,而髌骨长 轴与身高呈正相关[8],这也表示,随着身高的增长, IPFP 矢状面最大面积有增大的趋势。



既往研究表明, IPFP 与皮下脂肪所处的微环境不 同,两者之间具有显著的细胞表型差异^[9],但 IPFP 的 体积与肥胖程度无明显相关性,在皮下脂肪逐渐消耗 的极度饥饿状态下, IPFP 仍能保持原状^[10]。本研究 显示,髌下脂肪垫矢状面最大面积与膝前皮下脂肪层 厚度相关性不显著。

近年来, IPFP 的生物力学作用、内分泌功能及其 来源的脂肪间充质干细胞研究得到了广泛关注。既往 研究显示,IPFP 与膝关节软骨具有同源性^[11],可以伸 展滑膜、促进滑液分布[12],其间充质干细胞还可分泌 表面区域蛋白(superficial zone protein, SZP),对膝关 节发挥润滑作用^[13]。IPFP的质量被认为是预测 KOA 的标志物^[14],其损伤与 KOA、膝关节疼痛密切 相关[15,16],在膝关节炎症过程中起重要作用,促进了

形态学特征	男性(n=41)	女性(n=52)	<i>t</i> 值	P 值
IPFP 最大面积/mm ²	658.37 ± 114.75	508.79 ± 93.17	6.973	≪0.001
IPFP 最大深度/mm ²	27.55 ± 3.84	24.04 ± 4.55	3.944	≤0.001
表 2 左膝组与右膝组间 IPFP 形态学比较				
形态学特征	左膝关节(n=40)	右膝关节(n=53)	<i>t</i> 值	P 值
IPFP 最大面积/mm ²	567.63 ± 131.76	580.10 ± 123.44	0.468	0.641
IPFP 最大深度/mm ²	25.28 ± 4.62	25.82 ± 4.581	0.560	0.577
表 3 压脂高信号组与压脂无高信号组间 IPFP 形态学比较				
形态学特征	高信号组(n=31)	无高信号组(n=62)	<i>t</i> 值	P 值
IPFP 最大面积/mm ²	544.53 ± 133.59	589.84 ± 121.1	-1.643	0.104
IPFP 最大深度/mm ²	24.29 ± 5.14	26.60 ± 4.41	-1.966	0.052

表1 男性与女性 IPFP 形态学比较

KOA 的发生和发展^[17]。IPFP 内出现高信号一般被 认为是滑膜炎症或 Hoffa 滑膜炎或血管增生^[18],而 Hoffa 滑膜炎被认为是 KOA 的重要影像学改变^[19], 而膝关节 T₂WI 压脂像可以清晰显示髌下脂肪垫内是 否有高信号(图 1c、d)。MRI 作为评价膝关节病变的 首选影像学检查方法,已经得到学界的共识并广泛应 用于临床。随着联影 5.0T MR 投入临床,应用 5.0T MRI 评价膝关节成为现实,联影 5.0T 超高场强 MR 扫描仪(uMR Jupiter, uNity 5.0 平台)作为我国拥有 自主知识产权的全球首款 5.0T 超高场全身 MRI 系 统,使用全身临床 5.0T 超导磁体、多通道射频并行发 射控制和超高场磁共振系统射频安全成像系统,具有 较高的分辨率和较快的成像速度,可多层面观察膝关 节细微的结构改变。

不同学者认为 IPFP 在 KOA 中发挥的作用不尽 相同,Cai 等^[20]研究提示 IPFP 在 KOA 中具有保护作 用;Bastiaansen-Jenniskens 等^[21]研究发现 IPFP 有 抑制软骨降解和促进软骨合成的双重作用;Tanaka 等^[22]研究发现,切除 IPFP 后,患者膝关节疼痛增加、 关节活动受限;Han 等^[23]研究发现 IPFP 矢状面最大 面积与膝关节软骨下骨髓损伤呈明显负相关性,与膝 关节骨赘形成及膝关节关节间隙狭窄呈负相关性; Chuckpaiwong 等^[24]研究发现 IPFP 信号强度改变与 各部位软骨下骨髓损伤及骨赘形成呈明显正相关性。 本研究将 93 例被检者按照髌下脂肪垫内有无压脂高 信号分为两组,但结果显示两组间髌下脂肪垫最大面 积及最大深度的差异没有统计学意义,对 IPFP 与 KOA 的关系未做进一步研究,这也为笔者下一步研 究 IPFP 与 KOA 的关系提出了挑战。

本研究存在一定的局限与不足:第一,作为单中心 回顾性研究,入组患者均是本院非外伤性膝关节扫描 患者,没有纳入健康志愿者;第二,主观确定 IPFP 内 有无压脂序列高信号,未能实现定性定量分析;第三, 将 IPFP 信号内压脂高信号认为是炎症或血管增生缺 乏理论支撑。

总之,5.0T 超高场 MRI 可作为评估研究髌下脂肪垫的有效手段,通过分析髌下脂肪垫形态学特征与膝关节各项指标的关系,可为评价膝关节骨性关节炎提供新的思路与方法。

参考文献:

- [1] 李勉文,张晓东,张鑫涛,等.股四头肌脂肪垫和股前脂肪垫形态和 信号特征与膝关节骨性关节炎的相关性研究[J].放射学实践, 2022,37(2):235-241.
- [2] 钟丽洁,张晓东.髌下脂肪垫的 MRI 定量检测及其在膝关节骨关 节炎中的应用进展[J].国际医学放射学杂志,2021,44(3):319-323.
- [3] 潘斯学,吴江川,何光雄,等.基于 MRI 测量成人髌下脂肪垫厚度

的形态学研究[J].昆明医科大学学报,2023,44(3):92-96.

- [4] Ricatti G, Veronese N, Gangai I, et al. Hoffa's fat pad thickness: a measurement method with sagittal MRI sequences [J]. Radiol Med, 2021, 126(6): 886-893.
- [5] Mace J, Bhatti W, Anand S. Infrapatellar fat pad syndrome: a review of anatomy, function, treatment and dynamics[J]. Acta Orthop Belg, 2016, 82(1):94-101.
- [6] Dennis DA. Periprosthetic fractures following total knee arthroplasty[J].Instr Course Lect, 2001, 50: 379-389.
- [7] Clockaerts S, Bastiaansen-Jenniskens Y, Runhaar J, et al. The infrapatellar fat pad should be considered as an active osteoarthritic joint tissue: a narrative review[J]. Osteoarthritis and Cartilage, 2010,18(7):876-882.
- [8] Larbi A, Cyteval C, Hamoui M, et al. Hoffa's disease: A report on 5 cases[J]. Diagnostic and Interventional Imaging, 2014, 95(11): 1079-1084.
- [9] Felimban R, Ye K, Traianedes K, et al. Differentiation of stem cells from human infrapatellar fat pad: characterization of cells undergoing chondrogenesis [J]. Tissue Eng Part A, 2014, 20(15-16): 2213-2223.
- [10] Teichtahl AJ.Wulidasari E,Brady SR,et al.A large infrapatellar fat pad protects against knee pain and lateral tibial cartilage volume loss[J].Arthritis Res Ther,2015,17:318.
- [11] Brooker B, Morris H, Brukner P, et al. The macroscopic arthroscopic anatomy of the infrapatellar fat pad [J]. Arthroscopy, 2009,25(8):839-845.
- [12] 张博,曲铁兵,潘江,等.国人正常髌骨形态的多中心研究[J].中 华关节外科杂志(电子版),2016,10(1):10-14.
- [13] Lee SY, Nakagawa T, Reddi AH. Induction of chondrogenesis and expression of superficial zone protein (SZP)/lubricin by mesenchymal progenitors in the infrapatellar fat pad of the knee joint treated with TGF-beta1 and BMP-7[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2008, 376(1):148-153.
- [14] Li J, Fu S, Gong Z, et al. MRI-based texture analysis of infrapatellar fat pad to predict knee osteoarthritis incidence[J].Radiology, 2022, 304(3):611-621.
- [15] 王鑫,白倩,孟斌,等.髌下脂肪垫损伤中肌骨超声诊断的意义 [J].中国疼痛医学杂志,2019,25(9):706-709.
- [16] 顾玉彪,常瑞龙,雷宁波,等.髌下脂肪垫与膝骨性关节炎相关性 研究进展[J].中国疼痛医学杂志,2021,27(5):376-379.
- Belluzzi E, El Hadi H, Granzotto M, et al. Systemic and local adipose tissue in knee osteoarthritis [J]. J Cell Physiol, 2017, 232 (8):1971-1978.
- [18] 吕良靓,姚伟武.膝关节髌周脂肪垫与脂肪垫撞击综合征的影像 与临床研究[J].放射学实践,2022,37(6):782-785.
- [19] Matcuk GR Jr, Cen SY, Keyfes V, et al. Superolateral hoffa fatpad edema and patellofemoral maltracking: predictive modeling [J].Am J Roentgenol, 2014, 203(2): W207-W212.
- [20] von Drygalski A, Rappazzo KC, Barnes RFW, et al. Knee fat pad volumes in patients with hemophilia and their relationship with osteoarthritis[J]. Arthritis, 2017, 2017:1578623.
- [21] Bastiaansen-Jenniskens YM, Clockaerts S, Feijt C, et al. Infrapatellar fat pad of patients with end-stage osteoarthritis inhibits catabolic mediators in cartilage[J]. Ann Rheum Dis, 2012, 71(2): 288-294.

- [22] Tanaka N, Sakahashi H, Sato E, et al. Influence of the infrapatellar fat pad resection in a synovectomy during total knee arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis[J]. J Arthroplasty, 2003,18(7):897-902.
- [23] Han W, Aitken D, Zhu Z, et al. Hypointense signals in the infrapatellar fat pad assessed by magnetic resonance imaging are associated with knee symptoms and structure in older adults: A

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字,节省 篇幅,使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的 专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列),以后本 刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。 ADC (apparent diffusion coefficient):表观扩散系数 ALT:丙氨酸转氨酶;AST:天冬氨酸转氨酶 BF (blood flow):血流量 BOLD (blood oxygenation level dependent): 血氧水平依赖 BV (blood volume):血容量 b.扩散梯度因子 CAG (coronary angiography):冠状动脉造影 CPR (curve planar reformation):曲面重组 CR(computed radiography):计算机 X 线摄影术 CT (computed tomography):计算机体层成像 CTA (computed tomography angiography):CT 血管成像 CTPI(CT perfusion imaging):CT 灌注成像 DICOM (digital imaging and communication in medicine): 医学数字成像和传输 DR(digital radiography):数字化X线摄影术 DSA (digital subtraction angiography):数字减影血管造影 DWI (diffusion weighted imaging):扩散加权成像 DTI (diffusion tensor imaging):扩散张量成像 ECG (electrocardiography):心电图 EPI (echo planar imaging):回波平面成像 ERCP(endoscopic retrograde cholangiopancreatography): 经内镜逆行胰胆管造影术 ETL (echo train length):回波链长度 FLAIR (fluid attenuation inversion recovery):液体衰减反 转恢复 FLASH (fast low angel shot):快速小角度激发 FOV (field of view):视野 FSE (fast spin echo):快速自旋回波 fMRI (functional magnetic resonance imaging):功能磁共 振成像 IR (inversion recovery):反转恢复 Gd-DTPA: 钆喷替酸葡甲胺 GRE (gradient echo):梯度回波 HE 染色:苏木素-伊红染色 HRCT(high resolution CT):高分辨率 CT

cohort study[J].Arthritis Res Ther,2016,18(1):234.

[24] Chuckpaiwong B, Charles HC, Kraus VB, et al. Age-associated increases in the size of the infrapatellar fat pad in knee osteoarthritis as measured by 3T MRI[J].J Orthop Res, 2010, 28(9); 1149-1154.

(收稿日期:2023-09-06 修回日期:2023-12-06)

MPR (multi-planar reformation):多平面重组 MIP (maximum intensity projection):最大密(强)度投影 MinIP (minimum intensity projection):最小密(强)度投影 MRA (magnetic resonance angiography):磁共振血管成像 MRI (magnetic resonance imaging):磁共振成像 MRS (magnetic resonance spectroscopy):磁共振波谱学 MRCP(magnetic resonance cholangiopancreatography): 磁 共振胰胆管成像 MSCT (multi-slice spiral CT):多层螺旋 CT MTT (mean transit time):平均通过时间 NEX (number of excitation):激励次数 PACS (picture archiving and communication system):图像 存储与传输系统 PC (phase contrast):相位对比法 PET (positron emission tomography):正电子发射计算机 体层成像 PS (surface permeability):表面通透性 ROC 曲线(receiver operating characteristic curve): 受试者 操作特征曲线 SPECT (single photon emission computed tomography): 单光子发射计算机体层摄影术 PWI (perfusion weighted imaging):灌注加权成像 ROI (region of interest):兴趣区 SE (spin echo):自旋回波 STIR(short time inversion recovery):短时反转恢复 TACE(transcatheter arterial chemoembolization):经导管 动脉化疗栓塞术 T₁WI (T₁ weighted image):T₁ 加权像 T₂WI (T₂ weighted image):T₂ 加权像 TE (time of echo):回波时间 TI (time of inversion):反转时间 TR (time of repetition):重复时间 TOF (time of flight):时间飞跃法 TSE (turbo spin echo):快速自旋回波 VR (volume rendering):容积再现 WHO (World Health Organization):世界卫生组织 NAA(N-acetylaspartate):N-乙酰天门冬氨酸 Cho(choline):胆碱 Cr(creatine): 肌酸