

· 综述 ·

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

吕良靓，姚伟武

【摘要】 膝关节髌周脂肪垫不仅协助维持膝关节生物力学稳定,同时还有一定的内分泌功能,与骨关节炎的发生密切相关。膝关节髌股轨迹异常、反复摩擦及重复微损伤均可致不同的脂肪垫撞击综合征。本文旨在阐述髌周脂肪垫解剖与功能、脂肪垫撞击的 MRI 表现与临床病理的关系以及相关研究。

【关键词】 膝关节；脂肪组织；髌骨；磁共振成像

【中图分类号】 R323.72; R329; R323.72; R445.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2022)06-0782-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.06.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



膝关节髌周脂肪垫是关节囊内的滑膜外脂肪垫,可在运动过程中适应关节间隙形状和体积变化从而缓冲应力、减少摩擦。膝骨关系异常、关节稳定机制和/或功能的变化均可能导致脂肪垫撞击综合征^[1],国外^[1]关于髌周脂肪垫撞击综合征的研究较少,国内缺乏相关的综述,仅有少量关于髌下脂肪垫水肿的新近研究^[2]。随着近年来国内外学者^[2,3]对髌股关系以及运动轨迹研究的深入,逐渐认识到与之密切相关的上外侧髌下脂肪垫撞击综合征。同时近年来国外关于膝骨关节炎机制的研究^[4]发现膝骨关节炎的发生与脂肪具有密切关系,其重要因素除了肥胖之外,髌周脂肪垫也有一定协同作用,而脂肪垫的异常病理改变可引起MRI信号的异常得以识别,应加强对髌周脂肪垫及其功能解剖的认识。

膝关节髌周脂肪垫分类与解剖及功能

1. 脂肪垫分类与解剖

膝关节髌周脂肪垫依据解剖部位不同^[1]主要分为3类:位于髌骨下方髌腱后方的称为髌下脂肪垫(或Hoffa脂肪垫),位于髌骨上方股四头肌腱后方的称为髌上脂肪垫(或股四头肌脂肪垫),通常为三角形;位于股骨滑车前上方的称为股前脂肪垫(或滑车上脂肪垫),与髌上脂肪垫以髌上囊相隔;文献^[5]着力于上外侧髌下脂肪垫的研究,也是本文阐述的重点。

2. 脂肪垫功能

脂肪垫生物力学功能及相关异常:膝关节脂肪垫是由位于关节囊内的脂肪组织堆积而成,衬以滑膜组织,填补了关节腔的潜在间隙,在膝关节运动过程中作为灵活、有弹性的保护垫,可发生形状和体积的变化从

而保护关节缓冲受力,减少摩擦。在膝关节伸屈过程中,髌周脂肪垫^[1]协助维护了关节在生物力学的稳定:髌上脂肪垫防止了股四头肌腱与股骨髁的摩擦,股前脂肪垫避免了髌骨与股骨滑车的直接接触,而髌下脂肪垫则斡旋于髌腱与股-胫关节之间,长期持续摩擦、重复微损伤将会导致这些脂肪垫发生撞击,导致一定病理改变。

引起髌股关节运动轨迹异常最主要原因^[6]是高位髌骨和髌骨过度侧移。高位髌骨^[3]的髌股关节接触面相对减少,关节面压力增大,膝关节屈曲时髌腱的张力也随之增加,因此脂肪垫在股骨外髁与髌腱外缘之间更易发生撞击。胫骨粗隆-滑车沟距离(tibial tubercle-trochlear groove distance, TT-TG)^[7]代表髌骨相对于胫骨粗隆处髌骨肌腱止点的侧移,据报道^[8]TT-TG值>20 mm提示髌股关节病理性不稳,而15~20 mm视为濒临状态^[9],说明髌骨过度侧移。髌骨高位和髌骨过度侧移都将^[1]导致髌股关节运动轨迹的异常,使得施加在髌骨各向力的动态失衡,从而对周围脂肪垫产生超过阈值的压力,主要使髌下脂肪垫的上外侧角发生撞击引起水肿。尽管髌上脂肪垫在生物力学上改善了髌股关节在伸膝运动中的关系,但研究^[10,7]认为其水肿与前膝痛并不一定相关,可能是由于膝关节过度屈曲时股骨滑车的重复摩擦造成,而非髌股运动轨迹异常,同时它与髌股关节退行性骨关节炎存在明显相关^[11]。而股前脂肪垫的水肿与髌股关节活动轨迹异常的相关性有待进一步的研究证实。

脂肪垫的内分泌功能及与骨关节炎的关系:膝关节也是人体重要承重关节,研究^[12]发现在肥胖人群中非承重关节的骨关节炎发生率明显升高,这提示骨关节炎除了肥胖带来的承重负荷增加之外,还有其他的机制。脂肪除了在能量代谢中发挥作用以外,还有内分泌脂肪因子的功能,作用于相应器官。瘦素是一种由白色脂肪分泌的脂肪因子,对骨关节炎有重要的诊

作者单位:200336 上海,上海交通大学医学院附属同仁医院影像科

作者简介:吕良靓(1988—),女,湖北武汉人,硕士,主治医师,主要从事骨肌系统及头颈部影像诊断工作。

通讯作者:姚伟武,E-mail:yaoweiwuhuan@163.com

断价值,与骨关节炎严重程度呈正相关,也因此作为常用的骨关节炎生物标记。研究表明^[4]血液瘦素的含量随着身体质量指数(body mass index, BMI)的增加而增加,因此肥胖患者因体脂含量高能分泌更多的脂肪因子。以瘦素为代表的多种脂肪因子可不同程度的影响关节稳态^[4]:如使得肥胖患者内细胞表型发生改变、影响软骨的退变、影响滑膜血管的生成等。膝关节周围脂肪垫同皮下脂肪和内脏脂肪一样是白色脂肪,因此同样具备内分泌脂肪因子的功能,但脂肪垫的大小或炎症反应与肥胖缺乏关联,说明^[4]脂肪垫的功能同皮下脂肪或内脏脂肪存在一定区别。

以髌下脂肪垫为例^[18],它不仅促进滑膜液的分布,对髌腱和半月板前角有一定的保护作用,同时对髌韧带有一定的营养作用,在关节运动过程中可作为减震器缓冲压力,同时髌下脂肪垫分泌前列腺素^[14]可诱导成纤维细胞样的滑膜细胞发生纤维化和炎症反应,这表明髌下脂肪垫和滑膜在内分泌功能上具协同关系。

髌下脂肪垫包含许多敏感的神经纤维^[15],因此髌下脂肪垫的纤维化和炎症是大多数前膝痛的原因,在这些纤维化区域内可观察到丰富的血管化和降钙素阳性神经纤维增加^[16]。在骨关节炎的单碘乙酸模型中^[17-18]也得到了类似的观察结果,其中髌下脂肪垫的变化发生在软骨退化之前甚至先于滑膜炎的改变,这也和关节内脂肪的内分泌影响相关^[18]。早期骨关节炎中关节内脂肪组织发生纤维化和炎症可引起 MRI 中质子密度加权像(proton density weighted image, PDWI)序列信号增高,因此髌下脂肪垫的 MRI 信号改变可用于预测膝骨关节炎的进展。关节内脂肪成分包括脂肪细胞、白细胞、内皮细胞和间充质细胞。研究认为^[19]骨关节炎患者髌下脂肪垫来源的间充质干细胞具有抗炎活性,也有学者认为^[20]髌下脂肪垫来源的间充质干细胞可能通过其炎症因子的分泌、招募单核细胞的能力以及对炎症刺激反应的加剧使得关节炎进展。此外,细胞追踪实验发现^[21-22]在创伤后骨关节炎模型中,髌下脂肪垫周围血管间充质干细胞能够转化成肌成纤维细胞并诱导脂肪垫纤维化,同时^[23]参与炎症反应引起疼痛。

髌周脂肪垫撞击临床与影像

1. 髌下脂肪垫撞击综合征

髌下脂肪垫疾病最早于 1904 年^[24]被 Hoffa 发现髌下脂肪垫的炎症反应及纤维化可引起前膝痛因而命名为 Hoffa 病,髌下脂肪垫骨化病,髌腱-外侧股骨髌摩擦综合征,或髌下脂肪垫撞击综合征等,长期以来一直被疏于认识。临幊上表现为髌骨下方、髌腱后方区域的疼痛,膝关节负重或活动时加剧。

影像与病理基础:一项小型研究显示髌下脂肪垫的撞击会带来一些特征性的 MRI 表现:PDWI 上局限性的高信号(由髌下脂肪垫炎性水肿引起)以及髌下囊积液(可能是由于髌下脂肪垫水肿带来的肿块效应以及对髌下囊的刺激所致)。而髌下滑膜皱襞的显示与髌下脂肪垫撞击呈明显负相关^[25],推测是由于滑膜皱襞与关节腔存在微小的交通,而髌下脂肪垫撞击后的肿块效应造成滑膜皱襞的压迫因此难以显示。

由于髌下脂肪垫撞击综合征的机制为重复微损伤导致的脂肪垫炎症反应、纤维化:急性期时^[26]脂肪垫绒毛延伸至半月板前角上方发生挫伤,血管扩张,滑膜组织增生肥大,因此 MRI 表现为髌下脂肪垫 PDWI 信号增高,增强后可见强化,可合并周围髌下囊积液信号;慢性期病理可见成纤维细胞增殖和胶原纤维的形成,在一定条件下^[27]会向软骨组织转化,甚至钙化,因此纤维组织或钙化组织在 MRI 中 PDWI 都表现为低信号,不失为髌下脂肪垫撞击有特征的 MRI 表现。关节旁软骨瘤被认为^[24]是 Hoffa 病的终末期。

上外侧髌下脂肪垫撞击综合征:需要特别说明的是上外侧髌下脂肪垫撞击综合征,报道说^[3]中年人发生率约 13%,但并不为人熟知,临幊上查体可扪及髌骨下极的压痛(伸膝时更为明显),由髌股关节异常摩擦引起^[5]。MRI 特征性表现^[1,5-6]是矢状面及横断面的 PDWI 显示上外侧髌下脂肪垫局限性高信号的水肿(图 1),增强后可见强化,同时常伴发髌骨高位以及 TT-TG 值的异常增加。已有多项研究^[1,3,5-6]证实髌骨上外侧脂肪垫水肿灵敏的提示了髌股关节活动轨迹的异常。除了髌骨高位与 TT-TG 值增加与上外侧髌下脂肪垫水肿明显相关以外,还有其他几个髌骨相关参数^[5]被认为可能存在一定相关性:髌骨外侧位移、外侧髌股角以及髌骨倾斜度,这些都能在 MRI 矢状面及横断面上进行测量。而关于滑车形态的几个参数如外侧滑车倾斜度、滑车沟角、滑车深度、滑车沟深度等虽能说明滑车发育不良,但与上外侧髌下脂肪垫水肿并不相关。

2. 髌上脂肪垫撞击综合征

髌上脂肪垫填补了股四头肌腱止点后段与后上段之间的间隙,股四头肌腱与脂肪垫相延续,髌骨附着处纤维之间含有腱内脂肪^[28],使得肌腱纤维彼此疏离从而增加了肌腱附着在髌骨上的表面积用来转移负荷,分散应力,因此髌上脂肪垫水肿有时^[28]会延伸至髌腱附着处的腱内脂肪。MRI 上也是矢状面观察最清楚(图 2),髌上脂肪垫水肿病理上也是以炎症反应和纤维化为主,类似髌下脂肪垫水肿,除了在 PDWI 表现为高信号、T₁WI 低信号以外,也会有占位效应,形态增大,后缘见向髌上囊后凸的轮廓^[10],可能是由于反



图 1 a) 上外侧髌下脂肪垫撞击综合征。患者, 49岁, 女, 反复前膝痛, 髌骨下外缘明显压痛, 活动后加剧。MRI 质子加权矢状面图示紧邻髌腱的髌下脂肪垫上极水肿呈稍高信号(箭), 同时患者髌骨高位, 髌股关节接触面较小; b) MRI 质子加权横断面图示位于髌腱与股骨之间的髌下脂肪垫上外角水肿呈稍高信号(箭)。
图 2 a) 髌上脂肪垫撞击综合征。患者, 40岁, 男, 轻度前膝痛, 髌骨上缘轻度压痛。MRI 质子加权矢状面图示髌上脂肪垫水肿呈稍高信号(箭), 后缘轮廓轻微后凸; b) T₁ 加权矢状面图示髌上脂肪垫水肿呈稍低信号(箭), 后缘轮廓轻微后凸。
图 3 a) 上外侧髌下脂肪垫撞击综合征合并股前脂肪垫撞击综合征。患者, 42岁, 女, 前膝疼痛, 髌骨上下极压痛, 活动后加剧。MRI 质子加权矢状面图示股前脂肪垫水肿呈稍高信号(白箭), 同时髌下脂肪垫上外侧区域水肿呈稍高信号(黑箭); b) T₁WI 矢状面图示股前脂肪垫水肿呈稍低信号(白箭), 同时髌下脂肪垫上外侧区域水肿呈稍低信号(黑箭)。

复过度屈膝造成的脂肪垫与滑车的摩擦损伤^[10], 与髌股轨迹异常并不相关^[1]。髌上脂肪垫撞击这个术语虽然在部分文献中^[7,28]被使用, 但其具体机制目前并未能被研究证实。

3. 股前脂肪垫撞击综合征

股前脂肪垫撞击文献^[1,7]非常少, 说明临幊上对其认识严重不足。病理上以脂肪垫的炎症反应为主, MRI 表现为股前脂肪垫的增大和水肿, 矢状面及横断面显示最为清楚(图 3)。主要有两种模式^[1]: ① 脂肪垫偏上中区域的水肿由髌骨上极骨赘在伸曲膝的运动中发生撞击造成; ② 脂肪垫偏下外侧区域水肿则由髌股关节的异常摩擦引起, 同时也有小型研究^[29]显示 68% 的上外侧髌下脂肪垫水肿伴有股前脂肪垫偏下区域的水肿也支持了这一模式, 但其与髌股运动轨迹的相关性仍有待大数据研究。

4. 前景与展望

研究^[1,2]显示上外侧髌下脂肪垫水肿有逐渐成为研究热点的趋势, 也证实其不仅与髌股异常的活动轨迹有关, 而且与髌股骨关节炎的发生有关, 然而这种关联在股前脂肪垫水肿以及髌上脂肪垫水肿中存疑, 其关联性有待大规模数据探索, 具备一定研究前景。另有小型研究^[30]显示髌下脂肪垫 MRI 信号强度的改变可能预测膝骨关节炎病程进展。值得注意的是因髌下脂肪垫体积与髌股骨关节炎疼痛相关, Bonakdari 等^[31]开发了一种预测髌下脂肪垫体积的方法可用于早期发现骨关节炎进展, 其预测价值有待进一步研究的证实。同时髌周脂肪垫除了物理缓冲以外的内分泌作用^[4]也逐渐引起重视, 将可能成为骨关节炎领域的一大新兴热点。

参考文献:

- [1] Jarraya M, Diaz LE, Roemer FW, et al. MRI findings consistent with peripatellar fat pad impingement: how much related to patellofemoral maltracking? [J]. Magn Reson Med Sci, 2018, 17(3): 195-202.
- [2] 王娟, 张家雄, 周守国. Hoffa 病与髌骨运动轨迹异常相关性的 MRI 研究[J]. 放射学实践, 2014, 29(4): 428-432.
- [3] Widjajahakim R, Roux M, Jarraya M, et al. Relationship of trochlear morphology and patellofemoral joint alignment to superolateral hoffa fat pad edema on MR images in individuals with or at risk for osteoarthritis of the knee: the MOST study[J]. Radiology, 2017, 284(3): 806-814.
- [4] Zapata-Linares N, Eymard F, Berenbaum F, et al. Role of adipose tissues in osteoarthritis[J]. Curr Opin Rheumatol, 2021, 33(1): 84-93.
- [5] Kim JH, Lee SK. Superolateral hoffa fat pad edema and patellofemoral maltracking: systematic review and meta-analysis[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020, 215(3): 545-558.
- [6] Van Middelkoop M, Macri EM, Eijkenboom JF, et al. Are patellofemoral joint alignment and shape associated with structural magnetic resonance imaging abnormalities and symptoms among people with patellofemoral pain? [J]. Am J Sports Med, 2018, 46(13): 3217-3226.
- [7] Grando H, Chang EY, Chen KC, et al. MR imaging of extrasynovial inflammation and impingement about the knee[J]. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2014, 22(4): 725-741.
- [8] 高畅, 王文涛, 徐磊, 等. MR 定量测量指标对复发性髌骨不稳的诊断价值[J]. 放射学实践, 2017, 32(10): 1051-1056.
- [9] Diederichs G, Issever AS, Scheffler S. MR imaging of patellar instability: injury patterns and assessment of risk factors[J]. Radiographics, 2010, 30(4): 961-981.
- [10] Tsavalas N, Karantanas AH. Suprapatellar fat-pad mass effect: MRI findings and correlation with anterior knee pain[J]. Am J Roentgenol, 2013, 200(3): W291-W296.
- [11] Schwaiger BJ, Mbapte Wamba J, Gersing AS, et al. Signal intensity alteration in the suprapatellar fat pad is associated with degeneration of the patellofemoral joint over 48 months-Data from the osteoarthritis initiative[J]. Skeletal Radiol, 2018, 47(3): 329-339.
- [12] Yusuf E, Nelissen RG, Ioan-Facsinay A, et al. Association between weight or body mass index and hand osteoarthritis: a systematic review[J]. Ann Rheum Dis, 2010, 69(4): 761-765.
- [13] Eymard F, Chevalier X. Inflammation of the infrapatellar fat pad [J]. Joint Bone Spine, 2016, 83(4): 389-393.
- [14] Eymard F, Pigenet A, Citadelle D, et al. Induction of an inflammatory and prodegradative phenotype in autologous fibroblast-like synoviocytes by the infrapatellar fat pad from patients with knee osteoarthritis[J]. Arthritis Rheumatol, 2014, 66(8): 2165-2174.
- [15] Belluzzi E, Stocco E, Pozzuoli A, et al. Contribution of infrapatellar fat pad and synovial membrane to knee osteoarthritis pain [J]. Biomed Res Int, 2019: 6390182.
- [16] Onuma H, Tsuji K, Hoshino T, et al. Fibrotic changes in the infrapatellar fat pad induce new vessel formation and sensory nerve fiber endings that associate prolonged pain[J]. J Orthop Res, 2020, 38(6): 1296-1306.
- [17] Inomata K, Tsuji K, Onuma H, et al. Time course analyses of structural changes in the infrapatellar fat pad and synovial membrane during inflammation-induced persistent pain development in rat knee joint[J]. BMC Musculoskeletal Disord, 2019, 20(1): 8.
- [18] Eymard F, Pigenet A, Rose C, et al. Contribution of adipocyte precursors in the phenotypic specificity of intra-articular adipose tissues in knee osteoarthritis patients[J]. Arthritis Res Ther, 2019, 21(1): 252.
- [19] Xie J, Huang Z, Yu X, et al. Clinical implications of macrophage dysfunction in the development of osteoarthritis of the knee[J]. Cytokine Growth Factor Rev, 2019, 46(7): 36-44.
- [20] Bravo B, Guisasola MC, Vaquero J, et al. Gene expression, protein profiling, and chemotactic activity of infrapatellar fat pad mesenchymal stem cells in pathologies of the knee joint[J]. J Cell Physiol, 2019, 234(10): 18917-18927.
- [21] Sono T, Hsu CY, Negri S, et al. Platelet-derived growth factor receptor-beta (PDGFRbeta) lineage tracing highlights perivascular cell to myofibroblast trans differentiation during posttraumatic osteoarthritis[J]. J Orthop Res, 2020, 38(11): 2484-2494.
- [22] Sono T, Hsu CY, Wang Y, et al. Perivascular fibro-adipogenic progenitor tracing during post-traumatic osteoarthritis[J]. Am J Pathol, 2020, 190(9): 1909-1920.
- [23] Paish HL, Kalson NS, Smith GR, et al. Fibroblasts promote inflammation and pain via IL-1alpha induction of the monocyte chemoattractant chemokine (C-C Motif) ligand 2[J]. Am J Pathol, 2018, 188(3): 696-714.
- [24] Wang TJ, Costin CV. Hoffa's disease in a modern dancer case report and literature review[J]. J Dance Med Sci, 2018, 22(3): 168-173.
- [25] von Engelhardt LV, Tokmakidis E, Lahner M, et al. Hoffa's fat pad impingement treated arthroscopically: related findings on preoperative MRI in a case series of 62 patients[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2010, 130(8): 1041-1051.
- [26] Kumar D, Alvand A, Beacon JP. Impingement of infrapatellar fat pad (Hoffa's disease): results of high-portal arthroscopic resection[J]. Arthroscopy, 2007, 23(11): 1180-1186.
- [27] Maculé F, Sastre S, Lasurt S, et al. Hoffa's fat pad resection in total knee arthroplasty[J]. Acta Orthop Belg, 2005, 71(6): 714-717.
- [28] Benjamin M, Redman S, Milz S, et al. Adipose tissue at enthesis: the rheumatological implications of its distribution. A potential site of pain and stress dissipation? [J]. Ann Rheum Dis, 2004, 63(12): 1549-1555.
- [29] Subhawong TK, Eng J, Carrino JA, et al. Superolateral Hoffa's fat pad edema: association with patellofemoral maltracking and impingement[J]. AJR Am J Roentgenol, 2010, 195(6): 1367-1373.
- [30] Harkey MS, Davis JE, Lu B, et al. Early preradiographic structural pathology precedes the onset of accelerated knee osteoarthritis [J]. BMC Musculoskeletal Disord, 2019, 20(1): 241.
- [31] Bonakdari H, Tardif G, Abram F, et al. Serum adipokines/related inflammatory factors and ratios as predictors of infrapatellar fat pad volume in osteoarthritis: applying comprehensive machine learning approaches[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 9993.