

- [21] KIM H H, CHOI Y H, LEE S B, et al. Numerical analysis of urine flow through the side holes of a double J stent in a ureteral stenosis[J]. Technol Health Care, 2017, 25(S1): 63-72.
- [22] GU A, OYO L, GROSSMANN N C, et al. Tumor stent for chronic ureteral obstruction: Which are predictors of stent failure?[J]. J Endourol, 2022, 36(6): 819-826.

- [23] H&BNER W A, PLAS E G, STOLLER M L. The double-J ureteral stent: in vivo and in vitro flow studies[J]. J Urol, 1992, 148(2 Pt 1): 278-280.

收稿日期:2025-02-06
(本文编辑:孙海儿)

应用 T2 mapping 序列评估业余羽毛球运动员运动前后膝关节软骨的变化

章建华, 高琪, 陈磊, 徐敏, 蒋迪华

【关键词】 磁共振成像; 软骨; 膝关节; 羽毛球
doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.05.017

【中图分类号】 R68 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-0800(2025)05-0506-03

流行病学指出, 膝关节的软骨损伤是羽毛球运动员常见的损伤之一, 也是造成膝关节骨性关节炎(knee osteoarthritis, OA)的主要发病元凶^[1]。目前临床运用 CT、高频超声、软骨造影及关节镜等技术诊断软骨损伤, 但对早期软骨损伤敏感性较差, 不适合软骨早期损伤的诊断^[2]。T2 mapping 成像技术作为一种非侵入性检查, 可以评估软骨内胶原结构排列和含水量的变化, 具有较高的敏感性^[3]。羽毛球运动员由于膝关节使用频繁, 极易造成膝关节急性损伤或退变, 早期发现运动前后软骨变化, 及时调整运动状态对于羽毛球运动者膝关节保护有积极意义, 从而延长运动年限。本研究运用 T2 mapping 序列评估羽毛球运动员软骨 T2 值的变化, 分析其对软骨的即时影响, 现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择运动 5 年以上的业余羽毛球运动员 30 名作为研究对象, 均符合: (1) 既往无膝关节外伤史、外科手术史及关节病史; (2) 每周进行羽毛球运动至少 2 次及以上, 每次运动时间不少于 1 h; (3) 不以羽毛球为职业; (4) 既往膝关节功能正常, 无不适症状。检查前 3 d 未进行相关剧烈运动,

打球时间控制在 1.5 h 左右, 随机选择研究对象任意一侧膝关节(右膝 18 个, 左膝 12 个), 使用 T2 mapping 序列进行膝关节扫描, 获得相关影像学资料。本研究获得杭州市富阳中医骨伤医院医学伦理委员会批准, 所有研究对象均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.2 检查方法 研究对象运动前 24 h 及运动后 3 h 内行 T2 mapping 序列检查。采用 1.5T 磁共振仪, 膝关节 15 通道线圈进行磁共振数据扫描。膝关节扫描序列包括 T₁WI、T₂WI、PDWI 和 T2 mapping 序列。T2 mapping 序列: 重复时间(repetition time, TR) 1 470.00 ms, 回波时间(echo time, TE) 13.8、27.6、19.31、41.4、55.2、69.0 ms, 反转角 180°, 扫描视野(scan field of view, FOV) 160.00 mm, 层厚 4.00 mm, 层间距 1.00 mm。

1.3 图像分析 由两名经验丰富的放射科医师对膝关节软骨进行双盲评估, 排除有明显形态学改变的软骨损伤。扫描得到的图像传输至自带处理器上, 避开半月板及关节积液区域, 测量软件直接于 T2 mapping 图上测量得到 T2 值(图 1), 每层每个区域分别测量 3 个兴趣区(region of interest, ROI), 每个兴趣区重复 3 次取平均值。当两名医师观察结果不一致时, 对所得数据进行一致性评估。本研究将膝关节软骨分为内侧股骨髁软骨(medial femoral cartilage, MFC)、外侧股骨髁软骨(lateral femoral cartilage, LFC), 内侧胫骨平台软骨(medial tibial

基金项目: 富阳区科技计划项目(2021SK003)

作者单位: 311400 杭州, 杭州市富阳中医骨伤医院

通信作者: 章建华, Email: 7522811512qq.com

cartilage, MTC)、外侧胫骨平台软骨 (lateral tibial cartilage, LTC)、髌软骨 (patella cartilage, PC) 和滑车软骨 (tochlea cartilage, TC)。

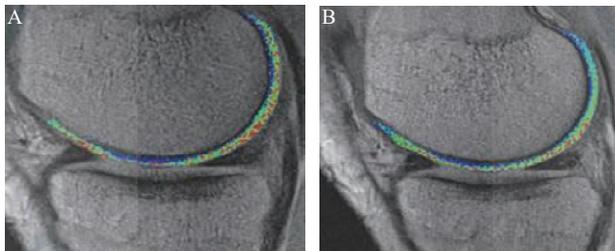
1.4 统计方法 实验数据使用 SPSS 27.0 统计软件进行分析。计量资料以均数±标准差表示,采用配对 *t* 检验;相关性分析采用 Pearson 相关性分析。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 30例业余羽毛球运动员中男24例,女6例;年龄29~45岁,平均(36±5)岁;体质量47~90.0 kg,平均(69.7±12.4)kg;体质量指数(BMI)为18.8~27.8 kg/m²,平均(23.4±2.7)kg/m²。浅层、深层软骨 T2 值与年龄、性别无明显相关性 ($r=0.23、0.15、0.20、0.21$,均 $P > 0.05$)。

2.2 运动前后膝关节浅层和深层软骨 T2 值变化 打球前 24 h、打球后 3 h 内的膝关节软骨浅层区域 T2 值差异有统计学意义 ($P < 0.05$);膝关节深层软骨区域 T2 值差异无统计学意义 ($P > 0.05$),见表 1。

2.3 膝关节不同分区软骨运动前后 T2 值变化 运动后各分区关节浅层软骨的 T2 值均较运动前减低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),见表 2。



注:软骨形态连续、完整,色阶越红,代表 T2 值越高
图 1 运动前(A)、运动后 3 h 内(B)的软骨色阶图像

3 讨论

虽然羽毛球运动为无肢体接触性对抗运动,但其节奏快,因此造成的膝关节损伤比较多。这与其过度使用,各种姿势变化增加了膝关节负荷,使得膝关节超负荷是分不开的^[4]。因此,羽毛球运动员存在膝关节软骨非接触式创伤的风险^[1-3]。在 3~5 年的羽毛球运动人群中,有过不同程度损伤的占 67.7%,没有发生过损伤的为 32.3%,并认为青少年羽毛球爱好者由于不规范运动造成的损伤率较高。当前临床认为,MRI 是诊断膝关节软骨损伤的“金标准”^[6]。多数研究^[7-8]用 T2 mapping 技术对膝关节损伤患者膝关节软骨、半月板及韧带改变进行评估,缺乏关于膝关节运动前后关节软骨的改变对照研究。有学者通过对 60 例膝关节 OA 患者随访研究,发现 T2 mapping 成像可通过软骨 T2 值变化监视 OA 进程,指导临床治疗,对临床评估软骨变化具有重要临床意义^[8]。Tognolo 等^[9]研究显示适当的运动疗法对预防膝关节软骨损伤具有一定的作用,但作用机制尚不明确。T2 mapping 与关节软骨中水分子含量和胶原纤维排列方式密切相关^[10],该技术通过对软骨基质中水和胶原蛋白的浓度大小、方向形变及整体性检测从而评价软骨的变化。本研究应用 T2 mapping 技术评价业余羽毛球运动员运动前后软骨变化,探讨运动前后软骨 T2 值改变的潜在机制,指导运动后护膝。

表 1 膝关节浅层和深层软骨运动前后 T2 值比较

检查时间	膝关节软骨浅层	膝关节软骨深层
打羽毛球前 24 h	53.01±8.66	35.48±3.79
打羽毛球后 3 h 内	50.62±7.98	35.44±3.77
<i>t</i> 值	11.43	1.94
<i>P</i> 值	< 0.05	> 0.05

表 2 膝关节不同分区软骨运动前后 T2 值比较

检查时间	MTC-SL	MTC-DL	MFC-SL	MFC-DL	PC-SL	PC-DL
打球前 24 h	54.43±8.29	30.56±1.76	62.11±7.46	35.25±3.18	48.29±6.47	30.43±3.09
打球后 3 h 内	51.5±7.18	30.39±2.05	58.3±6.49	34.3±1.88	45.7±6.54	29.97±2.68
<i>t</i> 值	9.25	1.00	6.28	1.99	5.59	1.93
<i>P</i> 值	< 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05
检查时间	TC-SL	TC-DL	LTC-SL	LTC-DL	LFC-SL	LFC-DL
打球前 24 h	56.37±4.04	53.49±4.24	41.14±2.46	26.92±2.6	55.01±5.29	38.23±3.04
打球后 3 h 内	54.6±3.56	52.55±3.02	39.91±2.3	26.38±2.12	51.59±6.32	37.17±1.53
<i>t</i> 值	6.30	2.21	3.86	1.98	3.325	2.01
<i>P</i> 值	< 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05	< 0.05	> 0.05

注:MTC为内侧胫骨平台软骨,MFC为内侧股骨髁软骨,PC为髌软骨,TC为滑车软骨,LTC为外侧胫骨平台软骨,LFC为外侧股骨髁软骨,SL为浅层软骨,DL为深层软骨

膝关节软骨损伤的类型具有多样性如挫伤、骨折、软化及缺损等;因此有效诊断软骨早期损伤是有必要的。分子生物学研究^[11]表明:在软骨损伤早期,软骨细胞以外的蛋白聚糖在基质中浓度迅速降低,基质内渗透压明显降低,基质内水分子大量交换,如病因不及时解除,这种调节处于恶性循环,引起软骨内胶原纤维合成及降解失衡,水分子进一步减少,基质中糖胺聚糖消耗,引起形态学改变。有研究发现,关节软骨 T2 mapping 中 T2 值的变化与软骨中水含量、胶原结构具有相关性,同时也与透明软骨改变有相关性^[8, 10]。此外,生物力学研究发现,浅层软骨由于其大部分胶原纤维与关节下骨平行,具有较大的可压缩性,在运动过程中较易产生变形;而深层软骨胶原纤维与软骨下骨垂直,抗压缩能力较好,运动过程中不易产生变形^[11]。有学者发现,关节软骨负重区软骨 T2 值较高^[12]。本研究结果显示,浅层软骨的 T2 值在打球后有所降低。运动过程中力学刺激不仅影响关节软骨细胞的形状及其生成,并能改变软骨细胞的生物化学特性和基质代谢^[13]。本研究结果显示,打球前 24 h、打球后 3 h 的膝关节浅层软骨区域 T2 值差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),深层软骨区域 T2 值差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。国外较多学者也对不同运动方式运动前后的膝关节软骨 T2 值做了相关研究,显示运动后的软骨 T2 值均较运动前有所降低^[14-15]。MTC 软骨的 T2 值在打球后降低较其他部位软骨更为显著,因其在运动过程中 MTC 软骨与股骨中央承重区软骨接触面积较大,膝关节压力主要通过内侧传递。相关研究指出,膝关节软骨内的生化成分改变出现在形态学改变之前,因此是可以通过监测 T2 值的变化来进行病情评估和疾病诊断的^[16]。

综上所述,T2 mapping 序列作为一种 MRI 定量技术,能够评估关节软骨内胶原纤维结构及含水量的变化,反映早期膝关节软骨变化情况,可以检出无明显形态学变化的生化成分改变,为羽毛球爱好者提供一些适当的指导意见。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] 李松睿,宋雅伟.基于流行病学视角的羽毛球运动损伤与防治研究[J].体育科技文献通报,2023,31(7):235-242.
- [2] NIEMINEN M T, CASULA V, NEVALAINEN M T, et al. Osteoarthritis year in review 2018: Imaging[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2019, 27(3): 401-411.
- [3] 刘钊,万春友,王明杰,等.关节软骨损伤早期诊断的研究进展[J].中华创伤杂志,2018,34(5):469-476.
- [4] 张立伟,刘锦.羽毛球常见运动损伤及预防措施研究[J].文体用品与科技,2023(18):139-141.
- [5] 马国炎.羽毛球运动中膝关节损伤的因素探讨[J].当代体育科技,2024,14(11):15-17.
- [6] CONAGHAN P G, HUNTER D J, MAILLEFERT J F, et al. Summary and recommendations of the OARSI FDA osteoarthritis assessment of structural change working group[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2011, 19(5): 606-610.
- [7] RANMUTHU C D S, MACKAY J W, CROWE V A, et al. Quantitative analysis of the ACL and PCL using T1rho and T2 relaxation time mapping: An exploratory, cross-sectional comparison between OA and healthy control knees[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22(1): 916.
- [8] 孙兆男,王旭超,徐敏,等.磁共振 T2 mapping 成像评价膝关节骨关节炎软骨损伤的应用价值[J].磁共振成像,2019,10(9):680-684.
- [9] TOGNOLO L, MACCARONE M C, DE TRANE S, et al. Therapeutic exercise and conservative injection treatment for early knee osteoarthritis in athletes: A scoping review[J]. Medicina (Kaunas), 2022, 58(1): 69.
- [10] JURAS V, SCHREINER M, LAURENT D, et al. The comparison of the performance of 3 T and 7 T T2 mapping for untreated low-grade cartilage lesions[J]. Magn Reson Imaging, 2019, 55: 86-92.
- [11] 李琪,张明珠.抗衰老药物治疗骨关节炎的研究进展[J].中华实验外科杂志,2023,40(7):1439-1445.
- [12] 徐凌斌,付峰,杨晓峰,等.马拉松运动对膝关节软骨体积及 T2 弛豫时间的影响[J].中华骨科杂志,2024,44(5):294-301.
- [13] 潘晓华,陈志斌,洪劲松.膝关节软骨下骨挫伤的研究进展[J].中华创伤骨科杂志,2016,18(2):179-184.
- [14] BEHZADI C, WELSCH G H, LAQMANI A, et al. The immediate effect of long-distance running on T2 and T2* relaxation times of articular cartilage of the knee in young healthy adults at 3.0 T MR imaging[J]. Br J Radiol, 2016, 89(1064): 20151075.
- [15] GATTI A A, NOSEWORTHY M D, STRATFORD P W, et al. Acute changes in knee cartilage transverse relaxation time after running and bicycling[J]. J Biomech, 2017, 53: 171-177.
- [16] 王媛媛,王亮,王云玲,等.3.0T 磁共振 T2Xmapping 成像技术定量评估膝关节骨性关节炎的临床价值及与 WOMAC 评分的相关性分析[J].现代生物医学进展,2021,21(17):3256-3259,3309.

收稿日期:2024-12-16

(本文编辑:孙海儿)