

# 关注马拉松运动骨肌损伤的影像学研究

袁慧书 刘剑芳

北京大学第三医院放射科, 北京 100091

通信作者: 袁慧书, Email: huishuy@sina.com

**【摘要】** 马拉松运动导致的骨肌系统损伤十分常见, 骨肌损伤的影像学研究可以为马拉松运动员的健康保障提供科学的数据支撑。但遗憾的是, 骨肌系统损伤方面的影像学研究还相对缺乏, 大样本的研究更是几乎空白, 且无论是影像学方法, 还是研究人群都还不够全面。马拉松骨肌损伤的影像学研究还有待于进一步深入。中国作为一个马拉松运动参与人员众多的国家, 应该加强相关的影像学研究, 为马拉松运动爱好者及专业运动员提供更多的健康保障。

**【关键词】** 运动医学; 损伤; 影像学; 马拉松; 研究

## Pay attention to the imaging research in marathon-related musculoskeletal injuries

Yuan Huishu, Liu Jianfang

Department of Radiology, the Third Hospital of Peking University, Beijing 100091, China

Corresponding author: Yuan Huishu, Email: huishuy@sina.com

**【Abstract】** Marathon-related musculoskeletal injuries are very common. The imaging research of musculoskeletal injuries may provide scientific support for the health protection of marathon athletes. Unfortunately, imaging studies on musculoskeletal system injury are relatively lacking, large sample studies are almost blank, and neither imaging methods nor study populations are comprehensive enough. The imaging study of marathon-related musculoskeletal injuries remains to be further studied. As a country with a large number of marathon participants, China should strengthen relevant imaging studies to provide more health protection for marathon enthusiasts and professional athletes.

**【Key words】** Sports medicine; Injury; Imaging; Marathon; Study

随着国民健康意识提高, 中国的马拉松运动得到了蓬勃发展, 马拉松运动已成为最具代表性的全民健身运动项目之一。《2019 中国马拉松大数据分析报告》数据显示: 2019 年, 全国范围内举办规模赛事 1 828 场, 总规模人次达 712.56 万, 场均规模为 3 898 人。研究显示, 高达 79.3% 的运动员会发生下肢损伤, 不同部位的损伤发生率为 11.5%~50.0%<sup>[1]</sup>, 由马拉松引起的运动损伤不容忽视。马拉松运动损伤的诊断需要影像学检查的支撑, 影像学检查在马拉松运动损伤诊断中起着重要的作用。

一、马拉松运动骨肌系统的影像学研究热点方向

由于跑步过程中产生的应力大约是正常步行

时的 1.5~3.0 倍, 重复的应力对马拉松运动员下肢骨骼和软组织产生的近期、远期的影响, 以及运动损伤的早期诊断和损伤后管理等方面是马拉松运动骨肌系统的影像学研究热点。

1. 马拉松运动与骨损伤: 骨应力损伤是马拉松运动员最常见的应力性损伤<sup>[2]</sup>。严重的应力性损伤有发展成应力性骨折的风险, 应力性骨折若不及时治疗, 则有发展为完全性骨折、延迟愈合或不愈合等风险。应力性损伤或者骨折的诊断并不难, 目前相关的影像研究更多的是针对一些影像征象在马拉松运动员训练中的实际指导意义以及损伤的早期预测。如骨髓水肿征象在运动员训练指导中扮演的角色, 过去认为下肢不适的长跑运动员出现

DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220106-00036

收稿日期 2022-01-06 本文编辑 李君

引用本文: 袁慧书, 刘剑芳. 关注马拉松运动骨肌损伤的影像学研究[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(9):

611-614. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220106-00036.



中华医学杂志社  
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



骨髓水肿应该停止训练。近些年有学者研究主张不用过度地解读单纯的骨髓水肿,不应仅因为骨髓水肿的存在而改变运动员的训练计划<sup>[3]</sup>;损伤的早期预测方面,Gaeta等<sup>[4]</sup>的研究认为皮质骨量减少是骨疲劳损伤的最早征象,CT或可成为预测胫骨应力性损伤的手段。虽然大多数应力性损伤或骨折的治疗并不复杂,只需要通过休息和制动就能实现,但是长时间不能进行跑步运动会给运动员带来沉重负担,也给治疗骨折的运动医学专业人员带来了挑战,因此马拉松运动损伤恢复运动时间的研究受到了研究者们的关注。目前已有不少学者制定了基于影像的马拉松运动应力性骨损伤恢复运动时间系统,辅助对骨应力性损伤的管理,为运动员个性化治疗提供依据<sup>[5-7]</sup>。未来的研究方向可以是对不同人群,如不同性别、年龄、不同损伤程度的运动员提出个性化的分类系统,以让各种人群的运动员都能从中获益。

2. 马拉松运动与软组织损伤:肌肉、肌腱等软组织应力损伤的发生率仅次于骨应力损伤。与骨应力性损伤相仿,肌肉微损伤及肌腱的过度使用如不给予重视,同样会对马拉松运动员造成不可逆的伤害。特别是由运动诱发的肌肉微小创伤通常处于亚临床状态,经常会被临床所忽略,但重复性微创伤可能会引起并发症,甚至导致肌肉不可逆的损伤。目前学者们在尝试使用定量MRI技术,如扩散张量成像和基于T<sub>2</sub>弛豫时间参数图来检测肌肉微损伤和监测损伤恢复<sup>[8-10]</sup>,为肌肉微损伤的评估带来了更多的可能性。

人体肌腱虽然具有可塑性,但是过度的负荷可能会导致肌腱的不可逆损伤,对肌腱损伤的预防、预测及可塑性的影响因素的相关研究亦成为了研究热点<sup>[11-16]</sup>。目前肌腱研究的主要影像手段为超声检查,或是采用核磁传统的T<sub>1</sub>加权像和质子加权像序列对肌腱病变进行评估。本期重点号方义杰等利用超短回波时间-T<sub>2</sub>\*成分分析技术对运动前后的跟腱形态进行了研究,证实了超短回波时间T<sub>2</sub>\*技术对跟腱形态变化定量分析的可用性,为未来跟腱病变的研究提供了新的思路<sup>[17]</sup>。

3. 马拉松运动与关节软骨、半月板损伤:跑步过程中,膝关节软骨和半月板在将机械负荷转移到软骨下骨和减少关节摩擦方面发挥着至关重要的作用,尤其是在下肢部位受力活动时,半月板承接了70%的压力。马拉松运动会对运动员的半月板和软骨产生何种影响仍然是研究的热点。近年来

的学者对马拉松运动后半月板和软骨的短期和长期的影像变化都做了分析。研究表明,半月板和关节的改变在马拉松运动后一段时间即能恢复到基线水平,不管是新手还是有经验的马拉松运动员,只要训练得当,单次的马拉松运动都不会对关节软骨、半月板造成严重的损伤<sup>[18-21]</sup>。甚至还有学者发现马拉松运动可能可以改善马拉松运动员的膝关节骨髓和关节软骨损伤<sup>[22]</sup>。或许是因为长时间跑步运动会导致膝关节半月板的形态和结构产生适应性改变,软骨基质有了再生的能力,这些改变有益于保持运动员半月板和软骨的完整性<sup>[23-24]</sup>。

4. 马拉松运动与骨关节退行性变:马拉松运动是否会促进骨关节炎的发展还存在争议。近些年的研究更倾向支持马拉松运动不会增加健康运动员关节炎的发病率<sup>[25-26]</sup>。此外,由于适当的耐力训练可以促进关节产生适应机制,马拉松运动甚至可能还是关节退变的一种保护因素<sup>[27]</sup>。然而月满则亏,水满则溢。有学者发现业余跑步者的骨关节炎发生率低于专业跑步者<sup>[27]</sup>,最佳的跑步剂量是还有待深入研究的课题。Horga等<sup>[22]</sup>发现马拉松训练和跑步强度是一个令人满意的锻炼内侧和外侧胫股关节的运动剂量,但可能高于髌股关节的推荐剂量。事实上,当前马拉松运动与骨关节退行性变关系的相关研究主要还是集中在健康人群,对于本就有关节损伤或关节炎的人群而言,马拉松运动起着什么样的作用,他们的运动量又如何控制还有待研究。

5. 马拉松运动与人工智能:随着大数据时代的到来,人工智能在医学各领域都有所研究和运用。目前,人工智能在马拉松运动中的相关研究包括软骨的自动分割和大腿肌肉的半自动分割<sup>[28-30]</sup>。人工智能在马拉松运动中相关研究还比较缺乏,应该要引起研究者们的关注。

## 二、我国马拉松运动影像学研究进展

我国马拉松运动的影像学研究多是集中于MRI影像的研究,内容主要是针对马拉松运动损伤的影像学诊断及运动前后肌肉、肌腱等软组织变化情况进行分析<sup>[9-10, 16-17, 20, 30-31]</sup>。虽然MRI在软组织损伤评价中具有明显的优势,但超声和CT的应用研究也不可忽视。本期重点号有学者成功构建了髌关节的三维有限元模型,为马拉松运动员髌关节的生物力学特性提供理论依据<sup>[31]</sup>。此外,本期重点号的学者对马拉松运动员肌腱损伤尤为关注。特别值得提出的是,此次重点号的报道不仅有应用定量MRI评价马拉松运动对髌腱和跟腱的影响,还有

学者利用了剪切波弹性成像对马拉松运动员半程马拉松跑前跑后髌腱弹性变化进行了研究<sup>[16-17]</sup>。此外,关于长距离运动对膝关节的影响,胡晓飞等<sup>[32]</sup>对大学生长途徒步拉练前后的膝关节急性损伤及软骨亚区影响进行了 MRI 定量分析。

人工智能与医学影像的结合被认为是最具发展潜力领域。我国学者率先开始利用人工智能对膝关节软骨进行自动分割,实现了在相对较少的时间范围内提供更多的软骨形态、生化指标的定量信息,大大减少了人工的工作量,具有一定的临床应用价值<sup>[28]</sup>。

### 三、马拉松运动损伤影像学研究的展望

目前影像学在马拉松运动相关的骨损伤诊断和预防、马拉松运动对骨关节的短期和远期影响、马拉松运动损伤治疗和伤后护理方面的研究都有涉及。但在以下几个方面研究还有所欠缺,可作为未来重点研究的方向:能否利用影像学手段预测马拉松运动对各类人群造成的损伤及其严重程度,能否利用影像学表现指导运动量,以及应用影像学表现评估人群是否适合从事马拉松运动等。此外,目前很多的研究结论都需要大样本量的队列研究来进一步证实。作为一个马拉松运动参与人数众多的国家,中国应该加强相关的影像学研究,为马拉松运动爱好者及专业运动员提供更多的健康保障。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- Fredericson M, Misra AK. Epidemiology and aetiology of marathon running injuries[J]. *Sports Med*, 2007, 37(4-5): 437-439. DOI: 10.2165/00007256-200737040-00043.
- Toresdahl BG, McElheny K, Metzl J, et al. A randomized study of a strength training program to prevent injuries in runners of the New York city marathon[J]. *Sports Health*, 2020, 12(1):74-79. DOI: 10.1177/1941738119877180.
- Kornaat PR, Van de Velde SK. Bone marrow edema lesions in the professional runner[J]. *Am J Sports Med*, 2014, 42(5):1242-1246. DOI: 10.1177/0363546514521990.
- Gaeta M, Minutoli F, Scribano E, et al. CT and MR imaging findings in athletes with early tibial stress injuries: comparison with bone scintigraphy findings and emphasis on cortical abnormalities[J]. *Radiology*, 2005, 235(2):553-561. DOI: 10.1148/radiol.2352040406.
- Miller T, Kaeding CC, Flanigan D. The classification systems of stress fractures: a systematic review[J]. *Phys Sportsmed*, 2011, 39(1): 93-100. DOI: 10.3810/psm.2011.02.1866.
- Miller TL, Jamieson M, Everson S, et al. Expected time to return to athletic participation after stress fracture in division i collegiate athletes[J]. *Sports Health*, 2018, 10(4): 340-344. DOI: 10.1177/1941738117747868.
- Saxena A, Fullem B, Hannaford D. Results of treatment of 22 navicular stress fractures and a new proposed radiographic classification system[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2000, 39(2): 96-103. DOI: 10.1016/s1067-2516(00)80033-2.
- Hooijmans MT, Monte J, Froeling M, et al. Quantitative MRI reveals microstructural changes in the upper leg muscles after running a marathon[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 52(2):407-417. DOI: 10.1002/jmri.27106.
- 周静, 张莉, 陈磊磊, 等. 磁共振扩散张量成像定量评估半程马拉松运动对男性业余运动员大腿肌群的影响[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 642-647. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210716-01591.
- 张冉旭, 于蕊, 张平, 等. 基于 T<sub>2</sub> 弛豫时间参数图的业余马拉松运动员比赛前后膝关节周围肌肉 T<sub>2</sub> 值变化特征分析[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 648-653. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210626-01448.
- Rabello LM, Albers IS, van Ark M, et al. Running a marathon-its influence on achilles tendon structure[J]. *J Athl Train*, 2020, 55(2): 176-180. DOI: 10.4085/1062-6050-49-19.
- Ackermans TM, Epro G, McCrum C, et al. Aging and the effects of a half marathon on Achilles tendon force-elongation relationship[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2016, 116(11-12): 2281-2292. DOI: 10.1007/s00421-016-3482-z.
- Yao W, Zhang Y, Zhang L, et al. MRI features of and factors related to ankle injuries in asymptomatic amateur marathon runners[J]. *Skeletal Radiol*, 2021, 50(1):87-95. DOI: 10.1007/s00256-020-03530-9.
- Cushman DM, Petrin Z, Eby S, et al. Ultrasound evaluation of the patellar tendon and Achilles tendon and its association with future pain in distance runners[J]. *Phys Sportsmed*, 2021, 49(4): 410-419. DOI: 10.1080/00913847.2020.1847004.
- Ooi CC, Schneider ME, Malliaras P, et al. Prevalence of morphological and mechanical stiffness alterations of mid Achilles tendons in asymptomatic marathon runners before and after a competition[J]. *Skeletal Radiol*, 2015, 44(8):1119-1127. DOI: 10.1007/s00256-015-2132-6.
- 李波, 张贺彬, 余燕成, 等. 基于剪切波弹性成像的业余马拉松运动员比赛前后髌腱弹性变化定量分析[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 654-658. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210625-01438.
- 方义杰, 朱诞恬, 吴文浩, 等. 超短回波时间 T<sub>2</sub>\* 成分分析技术在业余马拉松运动员跟腱形态及生化变化动态监测中的应用[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 629-635. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210817-01856.
- Hohmann E, Wörtler K, Imhoff A. Osteoarthritis from long-distance running? [J]. *Sportverletz Sportschaden*, 2005, 19(2):89-93. DOI: 10.1055/s-2005-858043.
- Schueller-Weidekamm C, Schueller G, Uffmann M, et al. Does marathon running cause acute lesions of the knee? Evaluation with magnetic resonance imaging[J]. *Eur Radiol*, 2006, 16(10): 2179-2185. DOI: 10.1007/s00330-005-0132-y.
- 张懿, 周静, 郑孝众, 等. 半程马拉松运动后业余运动员髌腱形态特征动态变化的 MRI 表现分析[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 636-641. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210722-01638.
- Horga LM, Henckel J, Fotiadou A, et al. Is the immediate

- effect of marathon running on novice runners' knee joints sustained within 6 months after the run? A follow-up 3.0 T MRI study[J]. *Skeletal Radiol*, 2020, 49(8): 1221-1229. DOI: 10.1007/s00256-020-03391-2.
- [22] Horga LM, Henckel J, Fotiadou A, et al. Can marathon running improve knee damage of middle-aged adults? A prospective cohort study[J]. *BMJ Open Sport Exerc Med*, 2019, 5(1): e000586. DOI: 10.1136/bmjsem-2019-000586.
- [23] Schütz U, Ehrhardt M, Göd S, et al. A mobile MRI field study of the biochemical cartilage reaction of the knee joint during a 4, 486 km transcontinental multistage ultra-marathon using  $T_2^*$  mapping[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 8157. DOI: 10.1038/s41598-020-64994-2.
- [24] Shellock FG, Deutsch AL, Mink JH, et al. Do asymptomatic marathon runners have an increased prevalence of meniscal abnormalities? An MR study of the knee in 23 volunteers[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1991, 157(6): 1239-1241. DOI: 10.2214/ajr.157.6.1950873.
- [25] Rhim H, Kim YH, Kim MG, et al. Magnetic resonance imaging findings of knees and spines in recreational runners who completed 1 000 marathons[J]. *Cureus*, 2019, 11(12): e6382. DOI: 10.7759/cureus.6382.
- [26] Ponzio DY, Syed U, Purcell K, et al. Low prevalence of hip and knee arthritis in active marathon runners[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100(2): 131-137. DOI: 10.2106/JBJS.16.01071.
- [27] Alentorn-Geli E, Samuelsson K, Musahl V, et al. The association of recreational and competitive running with hip and knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2017, 47(6): 373-390. DOI: 10.2519/jospt.2017.7137.
- [28] Zhang P, Yu B, Zhang R, et al. Longitudinal study of the morphological and  $T_2^*$  changes of knee cartilages of marathon runners using prototype software for automatic cartilage segmentation[J]. *Br J Radiol*, 2021, 94(1119): 20200833. DOI: 10.1259/bjr.20200833.
- [29] Secondulfo L, Ogier AC, Monte JR, et al. Supervised segmentation framework for evaluation of diffusion tensor imaging indices in skeletal muscle[J]. *NMR Biomed*, 2021, 34(1): e4406. DOI: 10.1002/nbm.4406.
- [30] 钱占华, 李新彤, 白荣杰, 等. 业余半程马拉松运动员足部损伤的MRI表现[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 675-678. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210708-01528.
- [31] 陈诺, 常晓丹, 邱兴, 等. 基于CT灰度值赋予材料属性的马拉松运动员髌关节有限元模型建立及其应力分析[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 679-682. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210817-01854.
- [32] 胡晓飞, 刘玲玲, 甄志铭, 等. 大学生长途徒步拉练对膝关节急性损伤及软骨亚区影响的MRI定量分析[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(9): 659-665. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210707-01523.

## · 文献速览 ·

## 超短回波时间磁共振成像和压痕测试评估正常人踝关节标本跟腱和附着点的研究

Chen B, Cheng X, Dorthe EW, et al. Evaluation of normal cadaveric Achilles tendon and entheses with ultrashort echo time (UTE) magnetic resonance imaging and indentation testing[J]. *NMR Biomed*, 2019, 32(1): e4034. DOI: 10.1002/nbm.4034

肌腱、韧带及其附着点的病变与很多骨肌系统的炎性和退行性疾病密切相关。MRI因具有良好的组织分辨率,在骨肌软组织病变的诊断中具有较大优势,但正常肌腱和附着点的横向弛豫时间( $T_2$ )较短,目前常规MRI序列几乎没有信号,这为肌腱及附着点的MRI特性的研究带来了极大的困难。该研究使用新型3.0 T磁共振三维超短回波时间(3D UTE)序列和11.7 T常规MRI序列对正常肌腱和附着点结构显示。在这项研究中,使用3.0 T磁共振的3D UTE序列对5个踝关节标本[男2例,女3例,平均年龄(35.4±5.0)岁]进行扫描,研究跟腱和附着点的 $T_2^*$ 、 $T_1$ 和磁化转移率(MTR)的MRI特性,并进行大分子质子组分MT建模。同时,使用11.7 T常规MRI序列对其进行形态学观察,通过压痕测试来研究跟腱和附着点的力学特性,并通过病理切片进行组织学分析。跟腱和附着点的 $T_2^*$ 值分别为(0.93±0.48)ms和(2.77±0.79)ms,  $T_1$ 值分别为(644±22)ms和(780±

55)ms, MTR分别为0.373±0.030和0.244±0.009,平均功率为1 000°,频率偏移为2 kHz,大分子质子分数分别为(18.0±2.2)%和(13.9±1.9)%。与跟腱相比,附着点通常有更长的 $T_2^*$ 和 $T_1$ 值,更低的MTR和大分子质子分数,以及更高的杨氏模量和刚度。这项研究为正常人跟腱及附着点提供了基线值,可用于血清阴性关节炎和其他末端疾病的诊断。

在3.0 T核磁共振上,可以通过3D UTE技术实现跟腱及其末端的高分辨率形态学成像,11.7 T超高场磁共振成像为胶原纤维结构提供了更多的细节,提高了跟腱和末端之间的高对比度。同时,3D UTE锥体序列可提供对大分子质子组分的 $T_2^*$ 、 $T_1$ 、MTR和MT建模的定量测量。这些超短回波时间所测得的定量值可被用作肌腱和附着点的生物标记物,为骨肌软组织疾病的诊断研究提供了新的策略。

(编译:朱诞恬 中山大学附属第五医院影像医学部放射科)

