

足部 MRI 检查及诊断专家共识

中华医学会放射学分会骨关节学组

通信作者:陈爽,复旦大学附属华山医院放射科,上海 200040, Email: chenshuang6898@126.com;袁慧书,北京大学第三医院放射科,北京 100191, Email: huishuy@sina.com

【摘要】 足部病变包括退变、炎症、感染、运动损伤和肿瘤等多种类型病变。MRI 检查是足部病变最常用的无创性检查方法之一,在临床诊疗中应用广泛。中华医学会放射学分会骨关节学组组织专家参阅文献并结合临床实践,经过反复讨论和修订达成以下足部 MRI 检查及诊断专家共识。该共识推荐了足部 MRI 扫描的相关技术规范,总结了放射科医师应重点熟知的足部重要解剖结构及常见解剖变异,对前、中足常见疾病类型的 MRI 诊断及诊断报告评估要点进行了归纳总结,旨在提高足部 MRI 图像及诊断质量,为临床诊治和评估提供可靠依据。

【关键词】 足; 磁共振成像; 专家共识

基金项目:国家自然科学基金(82271968)

Expert consensus on MRI examination specification and diagnosis of foot

Musculoskeletal Group of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association

Corresponding author: Chen Shuang, Department of Radiology, Huashan Hospital Fudan University, Shanghai 200040, China, Email: chenshuang6898@126.com; Yuan Huishu, Department of Radiology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China, Email: huishuy@bjmu.edu.cn

足部的影像学检查方法主要包括 X 线、CT 及 MRI 等。MRI 是对足部疾病患者管理有重要意义的诊断程序,能够提供足部解剖细节,包括 26 块足骨骨质、关节软骨及其周围软组织信息,相较于 X 线片及 CT 检查有显著优势,目前在临床上应用广泛。规范化开展足部 MRI 扫描,了解足部相关疾病的影像学特点,对早期诊断和治疗有重要意义。为推动足部 MRI 检查的规范化应用,中华医学会放射学分会骨关节学组组织专家,经过参阅国内外最新指南和文献及反复讨论,并结合我国临床实际情况,起草了本专家共识,对足部 MRI 检查的适应证、扫描技术进行说明,并对常见足部疾病的 MRI 影像表现进行归纳,对影像分析要点及诊断报告规范等方面进行规范,旨在更好地为患者诊疗提供支持。

一、足部 MRI 检查适应证

足部 MRI 检查的主要适应证包括但不限于:足部各骨骨折、足部各骨坏死、足部各关节炎症、足感染性病变、足周软组织损伤、足底筋膜炎、足骨与软组织肿瘤病变、足神经疾病以及不明原因的足部疼痛。

二、足部 MRI 扫描技术规范

足部 MRI 检查推荐使用多通道足踝专用线圈,也可结合实际情况合理选用柔性线圈、头颈线圈或其他线圈,尽可能使扫描部位位于线圈中心。足部 MRI 检查要求图像能够清晰显示足部 26 块骨的骨质、关节软骨、肌腱、韧带、关节腔以及周围软组织结构,无明显伪影或不影响结构观察。

(一)检查体位

患者体位通常为偏检查床一侧的仰卧位,足先

DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20240218-00072

收稿日期 2024-02-18 本文编辑 胡凌

引用本文:中华医学会放射学分会骨关节学组.足部 MRI 检查及诊断专家共识[J].中华放射学杂志,2024,58(12):1371-1380. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20240218-00072.



中华医学杂志社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



进,脚尖朝前处于舒适位,双手置于身体两侧,必要时可根据临床需求和受检者实际情况合理调整扫描体位。足部及线圈置于检查床中心,可采用三角垫使膝部屈曲。使用头颈线圈时需使用沙袋或海绵垫制动。定位线对准线圈中心确认位置后送入磁体中心。

(二)足部 MRI 检查基本序列与方位

足部 MRI 扫描序列应包括 T_1WI 、 T_2WI 、脂肪抑制 T_2WI 、脂肪抑制质子密度加权成像 (proton density weighted image, PDWI) 和脂肪抑制 T_1WI 增强序列。 T_2WI 及脂肪抑制 T_2WI 可观察骨髓水肿、韧带肿胀及关节积液;关节囊增厚时非脂肪抑制序列观察较好。PDWI 及脂肪抑制 PDWI 是观察足部韧带损伤最重要的序列,而对软骨的意义较小。垂直冠状面和足部长轴平面 T_1WI 推荐用于显示骨挫伤、出血性改变。在怀疑滑膜炎、腱鞘炎、肿瘤或感染性病变时,应加扫与平扫相对应的脂肪抑制 T_1WI 或 PDWI 增强序列^[1]。

完整的足部 MRI 检查至少需要包括 9 个标准成像平面,成像范围包括 19 块前足骨(5 块跖骨、14 块趾骨)、5 块中足骨(3 块楔骨、舟骨和骰骨)和 2 块后足骨(跟骨、距骨)。前、中、后足需分别进行特定方位扫描。首先根据横断面定位图像获取垂直矢状面图像,扫描线与足部长轴平行(图 1)。

1. 前足 MRI 扫描平面:成像平面包括跖骨短轴和长轴平面。(1)短轴平面使用垂直矢状面图像设置,扫描线垂直于跖骨长轴(图 2);(2)长轴平面使

用短轴横断面图像设置,部分扫描线需穿过 5 个或至少 4 个跖骨(图 3),可用于评估应力性骨折或骨髓炎。

2. 中足 MRI 扫描平面:成像平面包括垂直横断面、垂直冠状面、斜冠状面。(1)垂直横断面根据垂直矢状面图像设置,扫描线垂直于胫骨长轴且大致平行于足底,扫描范围从胫腓骨远端、踝关节以上开始,至跟骨下方(图 4);(2)垂直冠状面根据垂直矢状面图像设置,扫描线垂直于足底腱膜(图 5);(3)斜冠状面使用垂直矢状位图像设置,扫描线垂直于距下关节后部(图 6)。

3. 后足 MRI 扫描平面:成像平面包括踝穴冠状面和矢状面。(1)踝穴冠状面根据距骨穹隆顶部的横断面图像设置,扫描线平行于内外踝之间的连线(图 7);(2)踝穴矢状面使用与踝穴冠状面相同的横断面定位图像设置,扫描线垂直于内外踝之间的连线或垂直于踝穴冠状面扫描线(图 8)。

三、足部 MRI 推荐影像诊断报告内容

足部 MRI 报告内容,推荐按照以下方面进行评估及报告。首先,应对足部关节对位情况、关节间隙是否存在狭窄以及扫描范围内前、中足骨质有无异常进行评估,有无骨折或骨髓水肿,有无骨缺血性坏死征象,是否存在局灶性骨病变。其次,应评估是否伴有关节积液、腱鞘炎或滑囊炎。同时,应对足部周围的肌肉及肌腱信号是否存在异常进行报告。针对外伤患者,应重点观察有无隐匿性骨折,并评估关节软骨、肌腱韧带、相邻软组织及神经

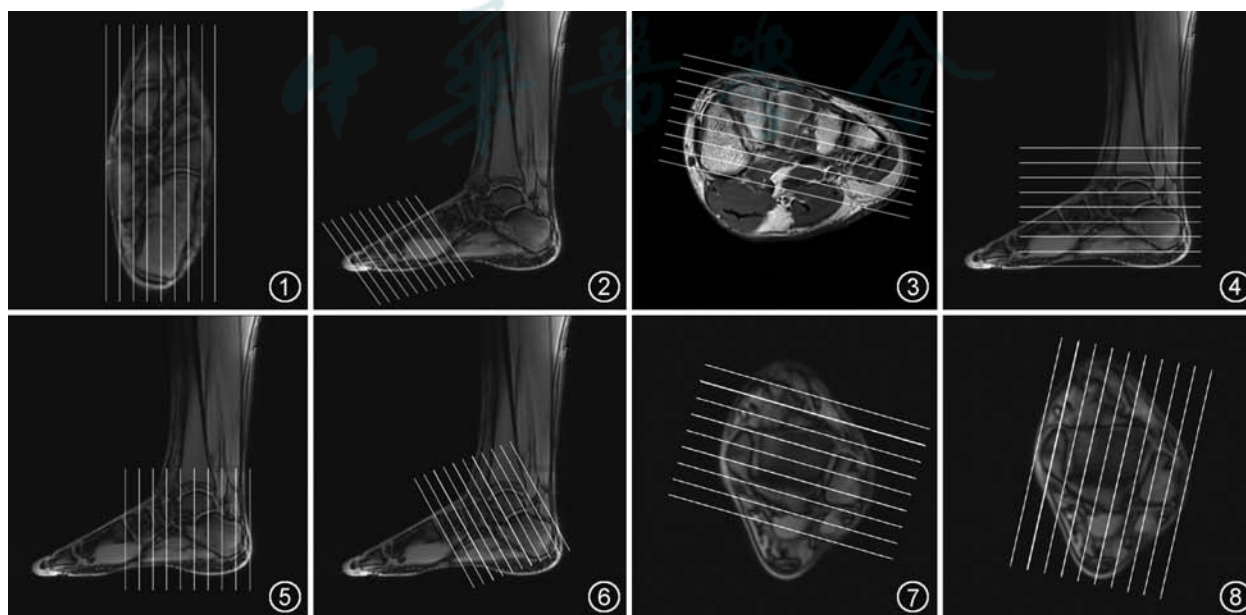


图 1-8 足部 MRI 扫描标准成像平面。图 1 示全足 MRI 垂直矢状面扫描线;图 2,3 示前足 MRI 跖骨短轴平面和长轴平面扫描线;图 4-6 示中足 MRI 垂直横断面、垂直冠状面、斜冠状面扫描线;图 7,8 示后足 MRI 踝穴冠状面和矢状面扫描线

的信号异常。对于感染患者,应重点评价受累关节的骨、软骨及滑膜病变特点,有无存在皮肤溃疡现象并评估累及范围,鉴别化脓性感染及各类型关节炎。针对有糖尿病史的受检者,应重点关注糖尿病足的几种主要形式,包括足部软组织感染、足部骨髓炎、足部神经性骨关节病(夏科氏关节)以及软组织并发症,如硬茧/溃疡、窦道/瘘管、脓肿、坏疽和蜂窝织炎。针对足跟疼痛患者,应重点观察有无足底筋膜炎及炎症累及范围。对于足部肿瘤,应重点评价肿瘤的范围、性质及生物学行为,判断良恶性,了解肿瘤血供以及周围组织的受累情况。

四、足部正常解剖及常见解剖变异

放射医师应熟悉正常足部解剖结构及常见的解剖变异。足以骨骼为支架,包括7块跗骨、5块跖骨、14块趾骨,彼此间借关节和韧带相连接。

(一)正常解剖

7块跗骨分为前、中、后3列。后列有上方的距骨和下方的跟骨,中列为位于距骨前方的足舟骨,前列为内侧楔骨、中间楔骨、外侧楔骨及跟骨前方的骰骨。跗骨间关节包括距跟、距跟舟、跟骰、楔舟、楔骨间、舟骰及楔骰等关节,其中距跟、距跟舟、跟骰关节需重点关注。跗横关节(Chopart关节)是距跟舟关节与跟骰关节的总称,稳定Chopart关节的韧带包括背侧的距舟背侧韧带、跟舟韧带、跟骰背侧韧带、足底长短韧带、跳跃韧带。

5块跖骨为短管状骨,位于足的远侧以连接跗骨、趾骨。第1~3跖骨基底与相应的楔骨相连,第4、5跖骨基底与骰骨相连,形成跖跗关节(Lisfranc关节)。Lisfranc韧带复合体是用于维持Lisfranc关节内侧柱和中间柱稳定的韧带,包括最薄弱的背侧韧带(起自内侧楔骨外侧缘,止于第2跖骨底背内侧)、骨间韧带(即Lisfranc韧带,起自内侧楔骨外侧缘,止于第2跖骨基底内侧缘,呈扁平状,长8~10 mm、厚5~6 mm)和跖侧韧带(起自内侧楔骨的外缘跖侧,分成两束,向外侧斜行走行,薄而深的一束止于第2跖骨基底,厚而浅的一束止于第3跖骨基底)。跗骨窦位于距骨颈和跟骨前上侧之间,由后内向前外走行的漏斗形空腔,是后距下关节与前、中距下关节的分界。跗骨窦包含5条韧带(颈韧带,跟距骨间韧带,伸肌下支持带内、中、外侧根)以及脂肪、神经和血管。此外,距下关节滑膜前后毗邻跗骨窦,有滑膜隐窝伸入跗骨窦内。跖骨间关节有3个,位于第2~5跖骨底之间,属平面关节。

趾骨共有14块,由近到远分别为近节、中节和远节趾骨。跖趾关节由圆形的跖骨头与近节趾骨底毗邻面构成。趾骨间关节共有9个,除踇趾由近节趾骨滑车与远节趾骨底构成外,其余各趾骨间关节由近节趾骨与中节趾骨或中节趾骨与远节趾骨之间的关节面构成。

(二)常见解剖变异

足骨的变异较多,副舟骨是临床中常见的正常变异,通常发生在舟骨内侧,发生率约为10%。I型副舟骨通常小而圆,位于胫后肌腱内。由于胫后肌腱仍可正常插入舟骨,因此I型副舟骨没有临床意义。II型副舟骨呈三角形或心形,通过1~2 mm的纤维软骨与舟骨形成假关节,胫后肌腱通常插入副舟骨而非舟骨本身。II型副舟骨患者通常无症状,除非纤维结合部发生骨折或副舟骨及舟骨骨髓水肿导致的疼痛性副舟骨综合征。当副舟骨与舟骨体结合部关节面消失,二者融合形成角型舟骨时,即III型副舟骨。III型副舟骨偶尔会因骨性突起导致局部滑囊炎而引发疼痛症状。

腓籽骨是足部另一种较为常见的解剖变异。腓籽骨是最常见的足小骨之一,位于腓骨长肌腱内,并与跟骨外侧壁、跟骰关节连接处或骰骨下壁形成关节。腓籽骨常位于肌腱足底外侧面肌腱绕过骰骨处,以骨性、软骨性、纤维软骨性3种形式存在。20%的成人腓籽骨会发生完全骨化,其中60%双侧均会出现。腓籽骨可能呈多块,需与急性骨折相鉴别。腓籽骨大多无症状,由腓籽骨病变所致的足外侧缘疼痛在临床并不多见,当腓籽骨、跟骨外侧壁及跖侧的骰骨和骰骨沟发生骨折,“摩擦综合征”以及腓骨长肌腱末端变性、腱鞘炎和断裂时,可导致腓骨长肌腱籽骨痛综合征的发生。外伤为最常见的致病因素。临床多数患者有向内侧崴脚病史,崴脚后足外侧缘疼痛持续存在,或伴足外翻无力。MRI可显示腓骨长肌腱部分或完全断裂和腓籽骨及周围软组织水肿^[2]。

五、常见疾病的MRI诊断要点

(一)足部MRI观察要点

1. 前足:前足位于Lisfranc关节前方,包括5块跖骨和14块趾骨。前足的前份为趾骨部分,主要显示趾骨、部分趾骨间关节和跖趾关节。后份为跖骨区,第1~5跖骨由内侧向外侧依次排列,跖骨间有骨间肌。

前足常见疾病主要包括跖趾关节病变、骨质病变和软组织病变,应该重点关注跖趾关节囊韧带复

合体损伤。跖趾关节囊韧带复合体由跖板、籽骨、关节囊、关节囊韧带、跖籽韧带、籽趾韧带、籽骨间韧带、肌腱等组成,是维持跖趾关节稳定的关键因素,其中第1跖趾关节被动过伸造成的跖侧损伤最为常见。MRI可清晰显示第1跖趾关节囊韧带复合体解剖结构。脂肪抑制PDWI或T₂WI序列显示急性损伤较T₁WI序列敏感。第2~5跖趾关节囊韧带复合体主要包括内、外侧副韧带及跖横深韧带、跖板。因跖骨头关节面直对跖板,跖板损伤较常见。跖板损伤多见于黏附相对牢固的远端部位,呈横向损伤或撕裂状。应用高分辨率表面线圈获得小FOV(8~10 cm)、薄层(1.5~2.0 mm)MRI图像可提高诊断跖板损伤的敏感性^[3-10]。跖板损伤MRI报告需提及有无伴发籽趾韧带或籽骨间韧带撕裂。

前足骨质病变主要包括跖骨骨折、跖骨头骨软骨病(Freiberg病)、籽骨炎、应力性骨折、外伤以及感染、滑囊炎或关节炎导致的骨质受累等病变。MRI报告需提示骨质骨髓水肿以及是否合并骨质形态异常,必要时应结合X线片或CT检查以评估病变进程或分期。前足软组织病变包括足感染性病变、Morton神经瘤以及肿瘤病变。MRI报告在提示病变范围的同时,需明确是否合并邻近骨质受累、韧带损伤及滑囊炎等情况。

2. 中足:中足由5块跗骨构成,与前足的跖骨、后足的跟骨和距骨组成很多关节,通过更加复杂的韧带、关节囊和筋膜之间的网络结构相互联系和限制,Lisfranc关节和Chopart关节分隔了中足远端和近端的关节,需要采用针对性的中足MRI检查扫描方法。

中足主要疾病包括Lisfranc、Chopart和距下关节病变^[11-14]。其中,应该重点关注Lisfranc关节,广义Lisfranc关节又称Lisfranc复合体,包括3块楔骨、骰骨及与5块跗骨之间的关节等结构,构成了足纵弓与足横弓的基础;狭义Lisfranc关节仅包括第1、2跗跗关节及第1、2楔骨间关节。评价Lisfranc关节需要结合足前后位、斜位X线片和CT。CT横断面可以观察Lisfranc关节独特的拱门结构,CT重建可以清楚显示关节之间的解剖结构。MRI显示韧带具有优势,T₁WI和T₂WI均呈低信号,因此需要多种影像检查技术相结合。报告时,注意前后位第1趾骨和内侧楔骨的外侧缘、第2趾骨和中间楔骨的内侧缘、第3趾骨和外侧楔骨的内侧缘是否对齐,内侧楔骨-第2跗骨以及第1跗骨-第2跗骨的距离是否大于2 mm^[15-16]。

Chopart和距下关节病变往往需要联合观察,因为两者一起负责足的内外翻运动。距下关节由前、中、后3个关节组成,在3个关节协调配合下,距下关节能完成内外翻、屈伸、内收、外展等动作^[17]。观察距下关节病变需要注意跗骨窦综合征,报告内容需要体现跗骨窦韧带是否撕裂、窦内结构情况、距下关节后面前和后微隐窝处有无液体、是否伴发踝外侧韧带撕裂和外踝软组织情况。跗骨窦病变需要结合临床症状和体征才能进行诊断。Chopart关节病变的MRI报告应按照Main-Jowett分型,提及I~V型的具体类型,便于指导治疗和判断愈合^[18-19]。

3. 后足:后足位于Chopart关节后方,包括距骨和跟骨。距骨位于内侧,距骨与跟骨之间可见跗骨窦,其内可见距跟骨间韧带。距跟舟关节的距舟部(内侧)和跟骰关节(外侧)构成Chopart关节。后足主要疾病包括足底肌病变、足底筋膜病变及足跟部病变。足底筋膜起自跟骨后突下缘,在跖趾关节水平呈扇形,与跖趾关节筋膜融合。足底筋膜分为内侧带、中央带和外侧带,中央带受累最常见。足底筋膜炎具有特征性MRI表现,结合病史可明确诊断。Haglund综合征的MRI报告需同时体现跟骨骨质改变、跟骨后滑囊炎(跟腱前滑囊炎)以及跟腱情况。

结合被检者相关疾病史及体格检查完成足部MRI报告书写对疾病定位及定性诊断至关重要。例如,第1跖趾关节囊韧带复合体损伤最具特征性的症状是负重时疼痛和行走时踣趾推进困难。跖趾关节压痛、肿胀常提示类风湿关节炎、滑膜炎、Freiberg病或跖板损伤等可能。籽骨病变通常表现为第1跖骨头下方压痛,且压痛点随足趾的背伸、跖屈而移动。Mulder征可能提示Morton神经瘤的发生。此外,Lisfranc损伤常表现为足中部疼痛、肿胀,不能负重,沿Lisfranc关节有触痛,前足畸形、第1、2趾间隙增宽、足背瘀斑、跖骨活动范围增大、被动活动前中足部引起疼痛等症状。跗骨窦韧带损伤的最常见原因是踝关节内翻损伤时伴随踝关节旋后损伤。跗骨窦韧带损伤慢性期会导致无菌性炎症、变性和纤维化,从而演变为跗骨窦综合征。单纯Lisfranc韧带损伤好发于运动等低能损伤,而Lisfranc骨折脱位通常发生于车祸等高能外伤。后足足底筋膜炎的最常见病因是长时间跖屈、足跟部反复创伤。Haglund综合征则好发于习惯穿高跟鞋的女性患者。



(二) 足部常见疾病及 MRI 评估要点

1. 第 1 跖趾关节囊韧带复合体损伤: 第 1 跖趾关节过度背伸可导致跖趾关节囊韧带复合体的损伤, 此种损伤常发生于在人工草皮上活动的美式足球运动员, 故称“草皮趾”^[20]。第 1 跖趾关节过度跖屈可导致背侧关节囊、韧带及伸肌腱损伤, 该类损伤常见于沙地运动, 故称为“沙地趾”。急性损伤 MRI 征象包括韧带信号增高、韧带周围水肿, 以脂肪抑制 T₂WI 序列观察, 呈不同程度高信号; 韧带形态增粗、模糊, 连续性中断, 断端处脂肪抑制 T₂WI 序列呈明显高信号。伴随征象包括籽骨分离、脱位或骨折, 关节面软骨损伤或软骨下骨髓水肿, 关节腔内积液, 以及关节周围软组织水肿(图 9, 10)。

2. 第 2~5 跖趾关节囊韧带复合体损伤: 以第 2 跖趾关节常见, 首要症状是跖趾关节处肿胀、疼痛, 严重时导致关节功能丧失、关节背伸畸形, 牵拉跖骨间韧带, 从而压迫趾间神经, 引起脚趾麻木, 出现牵拉性神经痛。矢状面脂肪抑制 PDWI 或 T₂WI 序列显示跖板最佳, 跖板损伤依程度不同可表现为跖板内局灶稍高信号影, 未达跖板边缘, 提示跖板变性改变; 当跖板出现裂隙样 T₂WI 高信号, 达跖板边缘, 或跖板形态失常, 跖板不连续或分离, 考虑跖板撕裂(图 11, 12)。

3. 跖骨骨折: 以第 5 跖骨骨折最常见, 其次为第 3、2、1、4 跖骨。第 5 跖骨基底部撕脱骨折发病率高于 Jones 骨折(骨干骨折)和应力性骨折^[21]。大部分骨折线表现为横行或短斜形。Ashman 等^[22]将该处骨折分为 3 个区域: I 区, 跖骨基底粗隆部骨折, 多为撕脱骨折; II 区, 跖骨基底干骺端骨折, 多为横行骨折, 骨折线可累及第 4、5 跖骨间关节面; III 区, 跖骨干骺端以远 15 mm 近端骨干的骨折, 多为疲劳骨折。报告中建议明确骨折区域。

4. 应力性骨折: 应力性骨折在跑步者、芭蕾舞者、体操运动员和军队新兵中很常见^[23-24]。最常出现的跖骨应力性骨折为第 2 跖骨体, 可能与第 2 跖

骨与中间楔骨构成的“卯榫式”更稳定、但顺应性较差关节以及第 2 跖骨本身相较于其他跖骨较长有关。其次为第 3 跖骨、舟状骨和跟骨^[25]。应力性骨折的发生往往与患者未充分休息并且突然增加活动强度、持续时间和频率相关。骨折线常表现为锯齿状或不规则状, 垂直于骨长轴。跖骨骨髓水肿可能相当广泛, 累及整块骨骼。MRI 诊断应力性骨折灵敏度和特异度均较高(图 13)。CT 可以显示骨折特征, 但不如 MRI 敏感。MRI 报告需说明疾病活动状态, 早期舟状骨应力性骨折容易漏诊, 通过舟状骨背缘的横断面图像可看到大多数骨折, 冠状面图像可见舟状骨背缘骨折。

5. Freiberg 病: 好发于青少年女性、运动员和舞蹈演员, 表现为负重疼痛增加, 伴或不伴第 2 跖趾软组织肿胀, 活动范围减少^[26-27]。主要累及第 2、3 跖骨头(68%、27%), 表现为跖骨头缺血、坏死、关节面骨折塌陷、吸收和重塑等(图 14)。目前 Freiberg 病最常用的临床分期方法为 Smillie 分期, 分为 I~V 期。I 期, 跖骨头骨骺缺血, 局部发生细小裂隙骨折, 但 X 线检查多无异常, MRI 可提示局部骨髓水肿; II 期, 病灶近侧松质骨吸收, 中央部分骨质凹陷, MRI 提示跖骨头信号不均匀, 可见囊性变; III 期, 跖骨头增大、增宽, 关节面不光整, 可见中央凹陷, 边缘模糊; IV 期, 跖骨头凸起骨折, 塌陷中心区域形成骨软骨游离体; V 期, 呈骨关节炎改变, 跖骨头增大扁平、畸形, 关节间隙狭窄。报告时需要结合 X 线或 CT 检查明确病变分期, 便于指导治疗和判断预后^[22]。需注意, 单纯的跖骨头扁平不能诊断为 Freiberg 病。

6. 跖趾关节炎: 包括风湿性关节炎、类风湿性关节炎、银屑病关节炎、痛风性关节炎等^[28-30]。风湿性关节炎常最早影响前足的第 1 跖趾关节, 早于手腕骨质改变, 呈双侧对称性。类风湿性关节炎则最早侵蚀第 5 跖趾关节, 可伴中后足受累。银屑病关节炎亦可发生跖趾关节受累, 但晚于手部骨质受累。

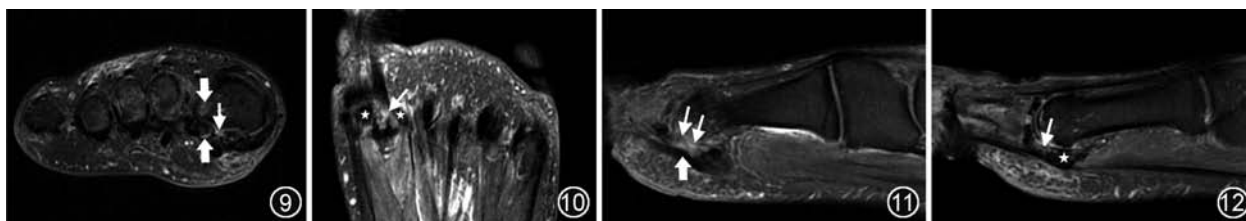


图 9, 10 第 1 跖趾关节损伤 MRI 图像。冠状面脂肪抑制(FS)-T₂WI(图 9)及横断面 FS-T₂WI(图 10)显示籽骨间韧带撕裂, 呈明显高信号(细↑), 并可见籽骨(☆)及跖骨头内侧骨髓水肿(粗↑) 图 11, 12 跖板撕裂 MRI 图像。矢状面 FS-T₂WI 示跖板及籽趾韧带撕裂(细↑), 粗↑示拇长屈肌腱, ☆示籽骨



超过 50% 的痛风性关节炎患者表现为第 1 跖趾关节首发, 80%~90% 患者在疾病过程中会累及此位置。MRI 报告需结合患者相关疾病史及实验室检查进行综合诊断。

7. Lisfranc 关节病变: 包括单纯 Lisfranc 韧带损伤和 Lisfranc 骨折脱位^[13, 31]。单纯 Lisfranc 韧带损伤常发生于运动、踏空等造成的中足足底低能损伤, 表现为中足隐痛合并第 2 跖跗关节肿胀。横断面和冠状面观察韧带撕裂最佳, 可合并第 2 跖骨基底内侧缘撕脱骨折及内侧楔骨、第 2 跖骨骨髓水肿。应注意, 即使第 2 跖骨相对于中间楔骨轻微外移也表明 Lisfranc 韧带损伤(图 15~17)。MRI 报告诊断 Lisfranc 韧带损伤时, 建议同时结合 X 线片评估关节脱位和骨质损伤情况。Lisfranc 骨折脱位常发生于车祸伤、工伤等高能损伤, 由足底弯曲合并纵向力或直接打击、挤压造成。MRI 评估 Lisfranc 骨折脱位价值有限, 需结合 X 线片观察跖骨相对于楔骨的移位。Lisfranc 骨折脱位可发生跖骨骨折、跖骨基底骨折(第 2 跖骨常见)、Chopart 关节和距舟关节脱位^[32-34]。报告需描述移位和主要骨折片的方向。

8. Chopart 损伤: 临床上 Chopart 损伤可分为以下几个类型。I 型, 内向暴力, 易形成足部内翻、前足内收、足部内侧旋转, X 线片表现为舟骨、距骨背侧及跟骨和骰骨外侧撕脱性骨折, 距舟关节内侧及跖侧脱位; II 型, 轴向暴力, 足舟骨受到楔骨及距骨头挤压, X 线片表现为舟骨体部骨折脱位、距骨压缩性骨折; III 型, 外向暴力, 易形成足部外翻、前足外展、足部外旋, 舟骨结节、距舟关节背侧撕脱性骨折, 骰骨及跟骨前部压缩性骨折; IV 型, 跖向暴力, 易形成前足跖屈, 距舟关节背侧及跟骰关节外侧撕脱性骨折, 舟骨及骰骨跖侧脱位, 距舟关节和跟骰关节上方压缩性骨折; V 型, 挤压损伤, 形成复杂畸形, X 线片表现为中足粉碎性骨折。见图 18。

9. 糖尿病足: 指糖尿病患者因下肢远端神经异常和不同程度的血管病变导致的足部感染、溃疡和深层组织破坏^[35-37]。需报告糖尿病足的表现形式及部位, 对于临床评估疾病进展至关重要。溃疡通常发生于第 1 和第 5 跖骨头、第 1 趾骨远端以及跟骨等承重部位。窦道 MRI 表现为沿窦道走行的条片状液性信号, 呈“轨道征”。蜂窝织炎表现为皮下脂肪层弥漫网状增厚的 T₁WI 低信号和 T₂WI 中等高信号, 边界不清。脓肿好发于前足的皮肤溃疡附近, 发生于中后足时则远离溃疡。坏疽表现为弥漫

性软组织萎缩(干性)或积气(湿性)。坏死性筋膜炎表现为足部皮下组织和深部筋膜的坏死而不累及感染部位的肌肉。骨髓炎为糖尿病足感染最严重的阶段, 好发于跖趾关节远端、脚趾、跟骨和踝部, 报告内容需重点体现。化脓性关节炎最易发生于趾间关节、跖趾关节和距下关节。急性期神经性骨关节病表现为关节周围软组织和骨髓异常强化, 软组织弥漫性肿胀, 但皮下脂肪层保留完整; 慢性期表现为典型的足部畸形, Lisfranc 关节和 Chopart 关节脱位或半脱位, 形成船底样足, 即夏科氏关节。见图 19~24。

10. 跖骨窦综合征: 大多发生于外伤后, 常表现为后足外侧疼痛和跖骨窦局部压痛。MRI 表现为颈韧带不连续或松弛; 跖骨窦脂肪信号丢失, 被液体或纤维组织替代; 距骨和跟骨颈韧带附着处骨髓水肿; 伸肌下支持带不连续, 不同程度松弛(图 25~27)。跖骨窦综合征亦可由腱鞘囊肿、炎性关节炎和软组织肿胀引起^[38-39]。

11. 足底筋膜炎: 指慢性重复损伤引起的趾短屈肌起点肌腱损伤, 临床表现为负重时足后跟下缘疼痛(早晨症状明显)和跟骨后突下缘压痛, 诱因包括肥胖、足内翻和慢性损伤。矢状面和冠状面 PDWI 观察足底筋膜炎最佳。MRI 表现为足底筋膜近端梭形增厚, 足底筋膜 PDWI 信号增高, 皮下脂肪和/或趾短屈肌水肿以及跟骨下骨髓水肿(图 28)^[40]。

12. 足部肌肉和足底筋膜撕裂: 通常发生在后足, 临床表现为急性疼痛发作。足底筋膜撕裂常伴筋膜炎, 单独足部肌肉撕裂少见。肌肉撕裂 MRI 表现为肌纤维不连续, 肌纤维间液体信号, 偶伴肌肉附着处骨性撕脱骨折(趾短伸肌-跟骨前外侧、短展肌-跟骨结节足底内侧)。足底筋膜撕裂可能是部分或完全撕裂, 筋膜不连续, 筋膜内液体信号。第 1 趾骨籽骨可能发生位移, 可伴第 1 趾内肌肉撕裂^[41]。

13. Haglund 综合征: 包括 Haglund 畸形、跟腱附着病和跟腱前滑囊炎。临床症状包括跟骨后结节局灶性疼痛、可触及的软组织及骨性隆起和足跖屈痛。MRI 表现为跟骨后上缘骨突伴骨髓水肿和跟腱前滑囊炎、Kager(跟腱前)脂肪垫水肿、跟腱周围炎以及跟腱附着病(增厚肌腱内条片状高信号)(图 29)。MRI 报告上需要测量异常的跟骨后上结节, 同时提及是否伴发跟骨后上及跟腱前滑囊炎、继发滑膜囊肿和跟腱附着病等^[42]。





图 13 应力性骨折 MRI 图像。脂肪抑制(FS)-T₂WI 示第 2 跖骨头颈骨髓水肿(↑) 图 14 Freiberg 病 MRI 图像。T₁WI 示第 2 跖骨头缺血性坏死(Smillie III 期),第 2 跖骨头增大,关节面凹凸不平,出现中央凹陷 图 15-17 Lisfranc 关节损伤 X 线片和 MRI 图像。非负重 X 线片示内侧第 1 楔骨和第 2 跖骨间距离稍增宽(图 15 ↑)。横断面 FS-T₂WI 示 Lisfranc 骨间韧带完全断裂(图 16 ↑),横断面图像显示 Lisfranc 足背、骨间(图 17,白 ↑)及足底韧带断裂(图 17,黑 ↑) 图 18 Chopart 关节损伤 MRI 图像。FS-T₂WI 示背侧距舟韧带增厚和水肿,中度拉伤(↑) 图 19-24 糖尿病足 MRI。FS-T₂WI 示窦道从第 5 跖趾关节水平开始进入足底皮肤(图 19 ↑),前中足肌群和皮下组织广泛水肿和渗出改变(图 20 ☆)。第 1 跖趾关节旁足底皮下软组织硬茧形成(图 21 ↑),第 1 近节趾骨水平足底皮肤溃疡形成(图 22 ↑)。图 23,24 示第 5 跖骨骨髓炎及跖趾关节化脓性关节炎改变

14. 足部骨肿瘤:多为良性肿瘤,骨肿瘤以内生软骨瘤和骨样骨瘤最常见^[43-48]。内生软骨瘤是起源于髓内的透明软骨良性肿瘤,50%发生于手和足部。MRI 表现为良性软骨肿瘤的典型分叶状 T₂WI 高信号。发生于足骨时可呈膨胀性或气球样改变。骨样骨瘤是青少年和年轻人中相对常见的骨痛原因,特点是与病变大小不匹配的反应骨和疼痛。20%的骨样骨瘤发生于足部的舟骨、距骨和跟骨。骨样骨瘤诊断依赖 X 线片或 CT 检查。MRI 增强后动脉期明显强化,适用于激光消融导航。软骨黏液纤维瘤也可发生于足骨,约占 24%,表现为骨骺偏心性地图样溶骨性病灶伴硬化边,MRI 偶见液平

面。最常见的原发性恶性肿瘤是软骨肉瘤,高级别的软骨肉瘤具有钙化基质,低级别的软骨肉瘤与良性内生软骨瘤通常难以区分。以上病变均需结合 X 线片或 CT 检查观察骨质改变情况来辅助诊断。MRI 报告中需描述肿瘤的大小、部位、信号特点、有无钙化、骨质破坏和累及范围^[49]。

15. 足部软组织肿瘤:常见良性肿瘤包括腱鞘巨细胞瘤、血管瘤、纤维瘤病和腱鞘囊肿,常见恶性肿瘤包括透明细胞肉瘤和滑膜肉瘤^[48]。前足发病率最高,后足次之。良性肿瘤发病率远高于恶性,可根据病灶大小、形态、边界、邻近骨质受累、肿瘤异质性等征象区分良恶性软组织肿瘤^[44, 50-51]。部分

肿瘤具有典型 MRI 特征以推测组织学类型。血管瘤常表现为 T₂WI 明显高信号伴瘤内低信号分隔、钙化。腱鞘巨细胞瘤可观察到 T₁WI 及 T₂WI 极低信号成分。纤维瘤则为 T₁WI 和 T₂WI 低信号病灶 (图 30, 31)。滑膜肉瘤特点为青少年患者关节旁的 T₂WI 三重信号征象占位, 部分病灶伴钙化。肌腱/腱膜部位的 T₁WI 高信号、T₂WI 低信号病灶可能提示为透明细胞肉瘤。腱鞘囊肿表现为腱鞘走行区 T₂WI 水样信号病灶。因此, 熟悉足部软组织肿瘤疾病谱、发病部位、发病率有助于缩小鉴别诊断范围。足部某些软组织肿瘤有相对特异性征象, 认识这些征象有助于疾病定性诊断。遇到足部软组织肿瘤, 应首先考虑良性, 除外具有足够恶性征象。

16. Morton 神经瘤: 指足底总神经肿胀和神经周围纤维化导致肿块样增大, 外观形似瘤样 (图 32), 好发于第 3 足趾与第 4 足趾之间, 女性常见, 长期穿高跟鞋是潜在的诱因^[52-54]。报告时需要明确具体部位和病灶大小。

六、结语

足部骨骼、韧带众多, 解剖结构复杂, MRI 是临床评估足部疾病的重要方法。MRI 针对前、中、后足不同解剖特点采用不同的检查扫描平面, 对足部解剖结构中重叠的骨质、软骨和肌腱韧带等结构观察优势突出, 对疾病的临床决策有重要参考价值。

本共识中重点关注足部 MRI 的规范化扫描技术方法及诊断报告的评估要点, 旨在提高图像质量和保证诊断质量, 为临床诊治和评估提供依据。

执笔者: 李相文 (复旦大学附属华山医院放射科)、陶虹月 (复旦大学附属华山医院放射科)、谢玉雪 (复旦大学附属华山医院放射科)、陈爽 (复旦大学附属华山医院放射科)。

共识专家组成员 (按姓氏拼音排列): 艾松涛 (上海交通大学医学院附属第九人民医院放射科)、蔡香然 (暨南大学附属第一医院影像中心)、常晓丹 (大连大学附属中山医院放射科)、陈爽 (复旦大学附属华山医院放射科)、陈伟 (陆军军医大学第一附属医院放射科)、崔建岭 (河北医科大学第三医院 CT/MRI 中心)、戴畅 (新疆生产建设兵团第一师阿拉尔医院放射科)、高振华 (中山大学附属第一医院放射科)、龚沈初 (南通大学第二附属医院南通市第一人民医院影像科)、郭智萍 (国家心血管病中心华中分中心阜外华中心血管病医院)、郝大鹏 (青岛大学附属医院放射科)、何波 (昆明医科大学第一附属医院放射科)、何涌 (桂林医学院第二附属医院放射科)、洪国斌 (南方医科大学珠江医院放射科)、黄振国 (中日友好医院放射诊断科)、郎宁 (北京大学第三医院放射科)、雷新玮 (天津市第一中心医院放射科)、林祥涛 (山东第一医科大学附属省立医院医学影像科)、刘霞 (北京大学人民医院放射科)、柳林 (吉林大学中日联谊医院放射科)、陆勇 (上海交通大学医学院附属瑞金医院卢湾分院放射科)、欧阳林 (厦门大学附属东南医院医学影像科)、潘诗农 (中国医科大学附属盛京医院放射科)、强永乾 (西安交通大学第一附属医院医学影像科)、宋玲玲 (贵州医科大学附属医院影像科)、汤光宇 (同济大学附属第十人民医院放射科)、涂占海 (福建医科大学附属第一医院影像科)、王绍武 (大连医科大学附属第二医院放射科)、许霖 (解放军总医院第一医学中心影像科)、杨炼 (华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科)、姚伟武 (上海交

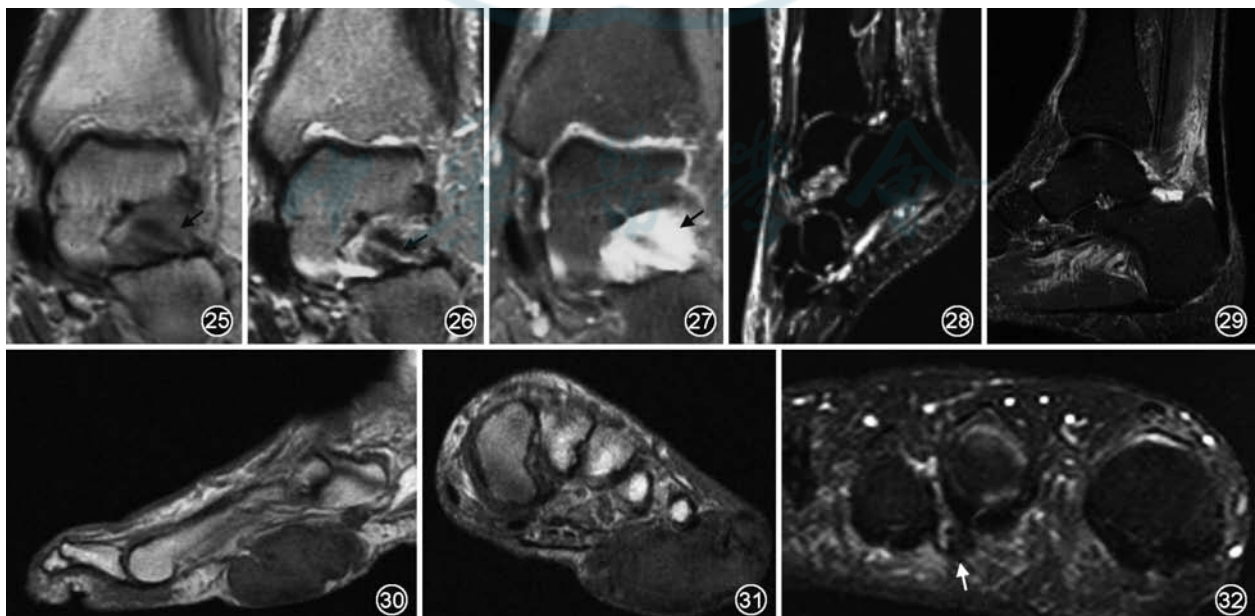


图 25~27 跖骨窦综合征 MRI 图像。冠状面 T₁WI 示跖骨窦内正常脂肪信号消失 (图 25 ↑), T₂WI 示跖骨窦内渗出, 颈部韧带增厚伴部分撕裂 (图 26 ↑), 脂肪抑制增强示跖骨窦内弥漫性强化 (图 27 ↑) 图 28 足底筋膜炎 MRI 图像。矢状面 T₂WI 示足底筋膜增厚伴跟骨附着处骨髓水肿 图 29 Haglund 综合征 MRI 图像。矢状面质子密度加权像示异常的跟骨后上结节, 伴跟骨后上及跟腱前滑囊炎 图 30, 31 足底跖腱膜纤维瘤 MRI 图像。冠状面 T₁WI 显示足底跖腱膜可见类圆形低信号结节影, 边界清晰 (图 30), 横断面 T₂WI 示病变呈等-低混杂信号 (图 31) 图 32 Morton 神经瘤 MRI 图像。T₂WI 示第 2、3 足趾间低信号结节 (↑)

通大学医学院附属同仁医院放射科)、于静红(内蒙古医科大学第二附属医院放射科)、袁慧书(北京大学第三医院放射科)、曾献军(南昌大学第一附属医院影像科)、曾自三(广西医科大学第一附属医院放射科)、查云飞(武汉大学人民医院放射科)、张劲松(空军军医大学第一附属医院放射科)、张燕(北京协和医院影像科)、赵衡(南华大学附属第一医院放射科)、周晟(甘肃省人民医院影像中心)、邹月芬(南京医科大学第一附属医院放射科)、左后东(川北医学院附属医院放射科)

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Ahmadi ME, Morrison WB, Carrino JA, et al. Neuropathic arthropathy of the foot with and without superimposed osteomyelitis: MR imaging characteristics[J]. *Radiology*, 2006, 238(2):622-631. DOI: 10.1148/radiol.2382041393.
- [2] Gyftopoulos S, Bencardino JT. Normal variants and pitfalls in MR imaging of the ankle and foot[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2010, 18(4):691-705. DOI: 10.1016/j.mric.2010.07.007.
- [3] Mengiardi B, Pfirrmann CW, Vienne P, et al. Medial collateral ligament complex of the ankle: MR appearance in asymptomatic subjects[J]. *Radiology*, 2007, 242(3):817-824. DOI: 10.1148/radiol.2423060055.
- [4] Clanton TO, Ho CP, Williams BT, et al. Magnetic resonance imaging characterization of individual ankle syndesmosis structures in asymptomatic and surgically treated cohorts [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(7):2089-2102. DOI: 10.1007/s00167-014-3399-1.
- [5] Alshalawi S, Galhoum AE, Alrashidi Y, et al. Medial ankle instability: the deltoid dilemma[J]. *Foot Ankle Clin*, 2018, 23(4):639-657. DOI: 10.1016/j.fcl.2018.07.008.
- [6] Cao S, Wang C, Ma X, et al. Imaging diagnosis for chronic lateral ankle ligament injury: a systemic review with meta-analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13(1):122. DOI: 10.1186/s13018-018-0811-4.
- [7] Jolman S, Robbins J, Lewis L, et al. Comparison of magnetic resonance imaging and stress radiographs in the evaluation of chronic lateral ankle instability[J]. *Foot Ankle Int*, 2017, 38(4):397-404. DOI: 10.1177/1071100716685526.
- [8] Omar H, Saini V, Wadhwa V, et al. Spring ligament complex: Illustrated normal anatomy and spectrum of pathologies on 3T MR imaging[J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(11):2133-2143. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.09.023.
- [9] Doherty C, Delahunt E, Caulfield B, et al. The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies[J]. *Sports Med*, 2014, 44(1):123-140. DOI: 10.1007/s40279-013-0102-5.
- [10] Orr JD, Nunley JA 2nd. Isolated spring ligament failure as a cause of adult-acquired flatfoot deformity[J]. *Foot Ankle Int*, 2013, 34(6):818-823. DOI: 10.1177/1071100713483099.
- [11] Walter WR, Hirschmann A, Alaia EF, et al. Normal anatomy and traumatic injury of the midtarsal (Chopart) joint complex: an imaging primer[J]. *Radiographics*, 2019, 39(1):136-152. DOI: 10.1148/rg.2019180102.
- [12] Kuttaish H, Stern R, Drittenbass L, et al. Injuries to the Chopart joint complex: a current review[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2017, 27(4):425-431. DOI: 10.1007/s00590-017-1958-0.
- [13] Tafur M, Rosenberg ZS, Bencardino JT. MR imaging of the midfoot including Chopart and Lisfranc joint complexes [J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2017, 25(1):95-125. DOI: 10.1016/j.mric.2016.08.006.
- [14] 李文, 杨思艺, 黄蕾, 等. 基于MRI探讨Lisfranc韧带的形态学特点及临床意义[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2024, 42(1):21-25. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.2024.1.05.
- [15] Goossens M, De Stoop N. Lisfranc's fracture-dislocations: etiology, radiology, and results of treatment. A review of 20 cases[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1983, (176):154-162.
- [16] Desmond EA, Chou LB. Current concepts review: Lisfranc injuries[J]. *Foot Ankle Int*, 2006, 27(8):653-660. DOI: 10.1177/107110070602700819.
- [17] 魏振, 夏青, 江海良, 等. Chopart 关节损伤的诊断与手术治疗 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2010, 12(3):286-287. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2010.03.021.
- [18] Hatem SF. Imaging of lisfranc injury and midfoot sprain [J]. *Radiol Clin North Am*, 2008, 46(6):1045-1060, vi. DOI: 10.1016/j.rcl.2008.09.003.
- [19] Karlsson J, Eriksson BI, Renström PA. Subtalar ankle instability. A review[J]. *Sports Med*, 1997, 24(5):337-346. DOI: 10.2165/00007256-199724050-00005.
- [20] Nery C, Baumfeld D, Umans H, et al. MR imaging of the plantar plate: normal anatomy, turf toe, and other injuries [J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2017, 25(1):127-144. DOI: 10.1016/j.mric.2016.08.007.
- [21] Porter DA. Fifth metatarsal Jones fractures in the athlete [J]. *Foot Ankle Int*, 2018, 39(2):250-258. DOI: 10.1177/1071100717741856.
- [22] Ashman CJ, Klecker RJ, Yu JS. Forefoot pain involving the metatarsal region: differential diagnosis with MR imaging [J]. *Radiographics*, 2001, 21(6):1425-1440. DOI: 10.1148/radiographics.21.6.g01nv071425.
- [23] Goulart M, O'Malley MJ, Hodgkins CW, et al. Foot and ankle fractures in dancers[J]. *Clin Sports Med*, 2008, 27(2):295-304. DOI: 10.1016/j.csm.2008.01.002.
- [24] 陈大伟, 李兵, 俞光荣. 足部结构特点与跖骨应力性骨折 [J]. *中华骨科杂志*, 2009, 29(6):589-591. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2009.06.017.
- [25] Jungmann PM, Schaeffeler C. Bone stress injuries at the ankle and foot[J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2023, 27(3):283-292. DOI: 10.1055/s-0043-1766098.
- [26] Wax A, Leland R. Freiberg disease and avascular necrosis of the metatarsal heads[J]. *Foot Ankle Clin*, 2019, 24(1):69-82. DOI: 10.1016/j.fcl.2018.11.003.
- [27] Couturier S, Gold G. Imaging features of avascular necrosis of the foot and ankle[J]. *Foot Ankle Clin*, 2019, 24(1):17-33. DOI: 10.1016/j.fcl.2018.10.002.
- [28] Munteanu SE, Auhl M, Tan JM, et al. Characterisation of first metatarsophalangeal joint osteoarthritis using magnetic resonance imaging[J]. *Clin Rheumatol*, 2021, 40(12):5067-5076. DOI: 10.1007/s10067-021-05849-7.
- [29] Siddle HJ, Hensor EM, Hodgson RJ, et al. Anatomical location of erosions at the metatarsophalangeal joints in patients with rheumatoid arthritis[J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2014, 53(5):932-936. DOI: 10.1093/rheumatology/ket478.
- [30] Dobbeldam R, Baan H, Nene AV, et al. Foot and ankle

- kinematics in rheumatoid arthritis: influence of foot and ankle joint and leg tendon pathologies[J]. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2013, 65(4): 503-511. DOI: 10.1002/acr.21852.
- [31] Llopis E, Carrascoso J, Iriarte I, et al. Lisfranc injury imaging and surgical management[J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2016, 20(2): 139-153. DOI: 10.1055/s-0036-1581119.
- [32] Ablimit A, Ding HY, Liu LG. Magnetic resonance imaging of the Lisfranc ligament[J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13(1): 282. DOI: 10.1186/s13018-018-0968-x.
- [33] Ulbrich EJ, Zubler V, Sutter R, et al. Ligaments of the Lisfranc joint in MRI: 3D-SPACE (sampling perfection with application optimized contrasts using different flip-angle evolution) sequence compared to three orthogonal proton-density fat-saturated (PD fs) sequences[J]. *Skeletal Radiol*, 2013, 42(3): 399-409. DOI: 10.1007/s00256-012-1491-5.
- [34] Castro M, Melão L, Canella C, et al. Lisfranc joint ligamentous complex: MRI with anatomic correlation in cadavers[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 195(6): W447-455. DOI: 10.2214/AJR.10.4674.
- [35] Garcia-Diez AI, Tomas Batlle X, Perissinotti A, et al. Imaging of the diabetic foot[J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2023, 27(3): 314-326. DOI: 10.1055/s-0043-1764386.
- [36] Aydingoz U. Imaging osteomyelitis: an update[J]. *Rofo*, 2023, 195(4):297-308. DOI: 10.1055/a-1949-7641.
- [37] McCarthy E, Morrison WB, Zoga AC. MR imaging of the diabetic foot[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2017, 25(1):183-194. DOI: 10.1016/j.mric.2016.08.005.
- [38] Khan I, Peters J, Welck M, et al. Sinus tarsi and sinus tarsi syndrome: an imaging review[J]. *Eur J Radiol*, 2023, 161: 110725. DOI: 10.1016/j.ejrad.2023.110725.
- [39] Cilengir AH, Bayraktar ES, Dursun S, et al. A retrospective magnetic resonance imaging analysis of bone and soft tissue changes associated with the spectrum of tarsal coalitions[J]. *Clin Anat*, 2023, 36(3): 336-343. DOI: 10.1002/ca.23866.
- [40] Khoury V, Cardinal E, Bureau NJ. Musculoskeletal sonography: a dynamic tool for usual and unusual disorders[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2007, 188(1):W63-73. DOI: 10.2214/AJR.06.0579.
- [41] Theodorou DJ, Theodorou SJ, Kakitsubata Y, et al. Fractures of proximal portion of fifth metatarsal bone: anatomic and imaging evidence of a pathogenesis of avulsion of the plantar aponeurosis and the short peroneal muscle tendon[J]. *Radiology*, 2003, 226(3): 857-865. DOI: 10.1148/radiol.2263020284.
- [42] Rios AM, Rosenberg ZS, Bencardino JT, et al. Bone marrow edema patterns in the ankle and hindfoot: distinguishing MRI features[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 197(4): W720-729. DOI: 10.2214/AJR.10.5880.
- [43] Cavalcante MM, Silveira C, da Costa CR, et al. Tumors and pseudotumors of foot and ankle: bone lesions[J]. *Foot (Edinb)*, 2021, 49: 101845. DOI: 10.1016/j.foot.2021.101845.
- [44] Rammelt S, Fritzsche H, Hofbauer C, et al. Malignant tumours of the foot and ankle[J]. *Foot Ankle Surg*, 2020, 26(4):363-370. DOI: 10.1016/j.fas.2019.05.005.
- [45] Gurkan V, Erdogan O. Foot and ankle osteoid osteomas[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2018, 57(4):826-832. DOI: 10.1053/j.fas.2017.11.019.
- [46] Özer D, Aycan OE, Er ST, et al. Primary tumor and tumor-like lesions of bones of the foot: single-center experience of 166 cases[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2017, 56(6): 1180-1187. DOI: 10.1053/j.jfas.2017.05.027.
- [47] Chun KA, Stephanie S, Choi JY, et al. Enchondroma of the foot[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2015, 54(5): 836-839. DOI: 10.1053/j.jfas.2015.01.002.
- [48] 张鑫鑫, 徐立斌, 许宋锋, 等. 足踝部软组织肿瘤和骨肿瘤的临床病理特征及预后影响因素分析[J]. *中华肿瘤杂志*, 2018, 40(9): 685-689. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3766.2018.09.010.
- [49] Duryea D, Bernard S, Flemming D, et al. Outcomes in diabetic foot ulcer patients with isolated T2 marrow signal abnormality in the underlying bone: should the diagnosis of "osteitis" be changed to "early osteomyelitis"? [J]. *Skeletal Radiol*, 2017, 46(10): 1327-1333. DOI: 10.1007/s00256-017-2666-x.
- [50] Murahashi Y, Iba K, Teramoto A, et al. Clinical features of bone and soft tissue tumors of the foot and ankle: results from a retrospective single-center case-series[J]. *J Orthop Sci*, 2021, 26(5):885-890. DOI: 10.1016/j.jos.2020.08.016.
- [51] Singer AD, Datir A, Tresley J, et al. Benign and malignant tumors of the foot and ankle[J]. *Skeletal Radiol*, 2016, 45(3):287-305. DOI: 10.1007/s00256-015-2278-2.
- [52] Claassen L, Bock K, Ettinger M, et al. Role of MRI in detection of Morton's neuroma[J]. *Foot Ankle Int*, 2014, 35(10):1002-1005. DOI: 10.1177/1071100714540888.
- [53] Williams JW, Meaney J, Whitehouse GH, et al. MRI in the investigation of Morton's neuroma: which sequences? [J]. *Clin Radiol*, 1997, 52(1): 46-49. DOI: 10.1016/s0009-9260(97)80305-4.
- [54] 李振宇, 魏宝富. Morton 神经瘤的诊疗进展[J]. *中华骨科杂志*, 2024, 44(12): 837-842. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20231129-00340.