

四肢冲击伤影像学评估中国专家共识

中华医学会放射学分会骨关节学组,《磁共振成像》编委会



*通信作者 袁慧书(北京大学第三医院放射科,北京 100083),E-mail: huishuy@sina.com;潘诗农(中国医科大学附属盛京医院,沈阳 110016),E-mail: 18940256901@vip.163.com;陈伟(陆军军医大学第一附属医院放射科,重庆 400038),E-mail: landcw@hotmail.com;张连阳(陆军军医大学陆军特色医学中心战创伤医学中心,创伤与化学中毒全国重点实验室,重庆 400042),E-mail: dpzhangly@163.com;夏爽(天津市第一中心医院放射科,天津 300192),E-mail: xiashuang77@163.com

中图分类号 R445.2; R642 文献标识码 A DOI 10.12015/issn.1674-8034.2025.01.002

本文引用格式 中华医学会放射学分会骨关节学组,《磁共振成像》编委会.四肢冲击伤影像学评估中国专家共识[J].磁共振成像,2025,16(1):9-16,35.

[摘要] 冲击伤是爆炸后产生的冲击波超压直接作用于机体导致的损伤。近年来,工程事故等爆炸所致的严重四肢冲击伤事件频发。另一方面,现代影像技术发展的不断进步,影像检查在系统性评估四肢皮肤及皮下软组织、肌肉、神经血管及骨与关节的创伤程度、临床干预及预后恢复等过程中均发挥重要作用。为了进一步指导影像学在四肢冲击伤评估中的应用,我们组织我国影像学等相关领域专家编撰本共识,以明确四肢冲击伤的影像诊断标准,并规范相关影像学分级评估原则及流程。

[关键词] 冲击伤;四肢创伤;专家共识;影像学;磁共振成像

Chinese expert consensus on imaging assessment of limb shock injuries

Osteoarthrography Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association, Editorial Board of Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging

*Correspondence to YUAN H S, (Department of Radiology, Peking University Third Hospital, Beijing 100083, China), E-mail: huishuy@sina.com; PAN S N, (Department of Radiology, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110016, China), E-mail: 18940256901@vip.163.com; CHEN W, (Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China), E-mail: landcw@hotmail.com; ZHANG L Y, (National Key Laboratory of Trauma and Chemical Poisoning, War Trauma Medical Center, Army Medical Center, Army Medical University, Chongqing 400042, China), E-mail: dpzhangly@163.com; XIA S (Department of Radiology, Tianjin First Central Hospital, Tianjin 300192, China), E-mail: xiashuang77@163.com

Received 7 Nov 2024, Accepted 10 Jan 2025; DOI 10.12015/issn.1674-8034.2025.01.002

ACKNOWLEDGMENTS Research on the Application of Alternative Materials for Tissue Defects in War Trauma (No. BE04802101).

Cite this article as Osteoarthrography Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association, Editorial Board of Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging. Chinese expert consensus on imaging assessment of limb shock injuries[J]. Chin J Magn Reson Imaging, 2025, 16(1): 9-16, 35.

Abstract Shock injuries are damages caused by the direct impact of overpressure from shock waves following an explosion on the body. In recent years, serious limb shock injury incidents resulting from explosions, such as those in engineering accidents, have been increasingly reported. On the other hand, the continuous advancement of modern imaging technologies has significantly contributed to the systematic evaluation of trauma affecting the skin, subcutaneous soft tissues, muscles, nerves, blood vessels, bones, and joints of the limbs, as well as clinical interventions and prognostic recovery. To further guide the application of imaging in the assessment of limb shock injuries, this consensus has been compiled by experts from the fields of imaging and related disciplines in China. It aims to define the imaging diagnostic criteria for individuals with limb shock injuries and to standardize the principles and procedures for imaging-based grading assessments of such injuries.

Key words shock injuries; limb trauma; expert consensus; imaging; magnetic resonance imaging

0 引言

冲击伤是爆炸后产生的冲击波超压直接作用于机体导致组织连续性破坏及功能障碍,常涉及多个组织器官,伤情发展迅速且诊断难度大。损伤原因包括但不限于交通事故撞击、高处坠落、爆炸等^[1-4]。当冲击波在不同组织界面传播时,瞬时局部压力的增高会造成肢体皮肤软组织、神经、血管、骨与关节的不同程度损伤^[5-7]。冲击伤的损伤机制包括开放性和闭合性损伤,其中闭合性损伤的作用范围及涉及因素较为复杂。

在冲击伤事件中,多数患者会经历一次或多次的四肢损伤,四肢冲击伤的发生概率占总体伤员的

45.2%~96.6%^[8-12]。此类损伤可能导致冲击部位的骨折、软组织缺损、深部组织外露等,严重者会出现失血、昏迷/休克等。在晚期阶段,患者可能出现感染、骨筋膜室综合征等严重并发症,部分患者在愈合期可能出现肌肉萎缩、行动不便等后遗症,从而影响其日常生活和工作能力^[13-15]。在冲击伤的院前急救中,应更关注现场场景并评估其安全性,进行初次和二次评估,同时尽快转移患者至具备救治能力的医疗机构。在院内急救阶段,则需要迅速控制损伤并进行必要的手术治疗,以降低并发症的发生率,提高救治成功率。

冲击伤通常表现为外轻内重,且伤情发展迅速,

收稿日期 2024-11-07 接受日期 2025-01-10

基金项目 战创伤组织缺损替代材料应用研究(编号:BE04802101)

<https://www.chinesemri.com>

中国知网 <https://www.cnki.net>

临床难以准确判断其损伤范围。通过X线、CT、MRI等影像技术可对不同程度及不同阶段的患者进行综合评估。为了进一步指导和规范四肢冲击伤相关影像学分级评估原则及流程,我们组织我国相关领域专家结合临床需求及实践经验,以国内外最新研究进展为参考,特编撰此专家共识。

1 共识方法

本专家共识已经在国际实践指南注册与透明化平台注册,注册号:PREPARE-2024CN857。共识执笔者与专家组成员商讨与制订共识总体框架,具体任务安排,共识修改意见与汇总安排、会议安排等。

共识执笔者在PubMed、Web of Science、中国知网、万方数据知识服务平台进行了相关检索,外文数据库检索,外文数据库通过“shock”“high-energy injury”“car accident”“war”“extremity”“limb”“MRI”“CT”“X-ray”等关键词进行检索,中文数据检索方式与外文数据库类似。检索时间为建库到2024年9月,纳入文献标准:(1)指南、荟萃分析、系统性评价,原始论著;(2)研究对象符合高能量冲击伤的临床诊断。排除标准:评述、会议纪要、病例报告。采用牛津循证医学中心证据分级系统(表1)和推荐标准,并根据证据等级将推荐强度分为A、B、C、D(表2)。

表1 共识证据等级定义共识推荐强度定义

Tab. 1 Definition of levels of evidence in this consensus

证据等级	描述
1a	随机对照试验的系统性评价
1b	结果可信区间的随机对照试验
1c	显示“全或无效应”的任何证据
2a	队列研究的系统性评价
2b	单个队列研究(包括低质量的随机对照试验,如失访率大于20%者)
2c	基于患者结局的研究
3a	病例对照研究的系统性评价
4	病例系统报告
5	专家意见(即无临床研究支持的仅依据基础研究或临床经验的推测)

表2 共识推荐强度定义

Tab. 2 Definition of the strength of recommendation in this consensus

推荐强度	解释
A	推荐,推荐极为有效(证据等级为1级)
B	可推荐,证据有效(证据等级为2和3级),可能会在将来出现更高质量的新证据而发生改变
C	可推荐,证据有效(证据等级为4级),应该谨慎使用研究结果
D	证据有效性具有局限性(证据等级为5级),只在较窄的范围内有效

共识执笔者依据相关领域文献,同时结合我国冲击伤患者的特征、多模态检查的可行性、可接受性及临床应用的实际需求,启动共识初稿的撰写。在规划时间内,成立临床和影像学专家组成员,并将共

识初稿发送给各位专家审阅、修改。执笔者与专家组成员进行线上和线下沟通,收集、整理所有专家组成员对共识初稿的修改意见,完善共识并形成修改稿。对共识修改稿,通过共识线上会议达成共识;专家组成员对共识修改稿内容逐步进行讨论、交流后达成共识,并对推荐意见进行投票(赞成人数大于等于90%的推荐意见被认为达成共识),经执笔人整理、完善后形成共识终稿。

2 四肢冲击伤临床与影像评估原则

(1) 临床评估基本原则

正确决策及制订术前计划依赖于对患者全身状况和局部情况的系统性评估。全身状况评估采用损伤严重程度评分(injury severe score, ISS)和简明损伤定级标准(abbreviated injury scale, AIS)。单纯软组织损伤的分类以及开放性骨折伴肌肉损伤的推荐分型系统,可参考中华医学会创伤共识及相关文献^[16-18]。

推荐意见1:根据冲击伤的类型,选择恰当的临床分型,从而缩短影像检查和临床干预时间(证据等级:2b;推荐强度:B)。

(2) 冲击伤易造成四肢长骨损伤^[19],如图1~2所示,目前临床分级存在局限性,影像学具有以下突出价值:

① 精确定位和量化损伤:闭合性损伤累及的深度范围仅肉眼观察难精确定位,影像学可以确定损伤的确切位置和范围。

② 评估深部组织及附属精细结构:MRI可以评估肌肉、肌腱、韧带和神经等深部组织损伤情况。

③ 血流和灌注评估:计算机断层扫描血管成像(computed tomography angiography imaging, CTA)、磁共振血管造影成像(magnetic resonance angiography imaging, MRA)和三维重建技术可全面评估血管及相关灌注情况。

④ 指导治疗方案:精确分类受到初级创伤评估时机的影响,影像学可辅助手术制订计划,选择最佳修复或重建方法。

通过引入影像工具,可以提升对复杂四肢冲击伤的精细化评估,有助于完善临床评分体系,并提高诊疗的精准性^[20]。

3 四肢冲击伤患者的常见影像检查技术及价值

冲击伤患者的病情具有紧急性和复杂性,构建影像学分级评估体系能够有效降低漏诊风险,并提高救治成功率。放射科可通过X线、CT、MRI等检查技术对不同程度及不同阶段的患者进行综合评估,在早期阶段,应选择超声、X线和CT等检查;而在慢性期,对于生命体征稳定的患者,则应考虑MRI检查。四肢冲击伤患者不同组织疑似损伤的推荐影像学检查如图3所示。

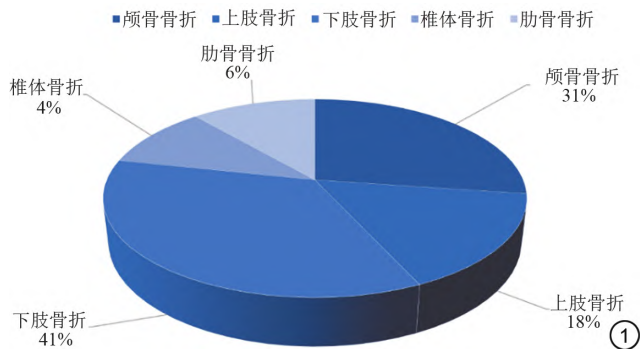


图1 冲击伤各个部位受累概率百分比。

Fig. 1 Percentage of involvement probability of different body parts in shock injuries.

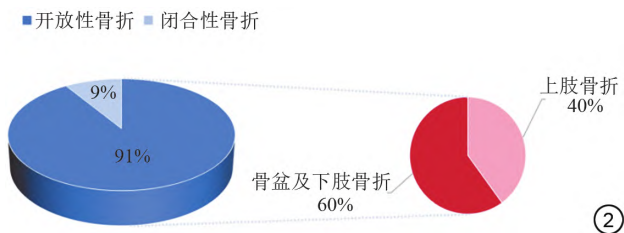


图2 冲击伤中骨盆及四肢骨折占开放性骨折的百分比。

Fig. 2 Percentage of pelvic and limb fractures among open fractures in shock injuries.

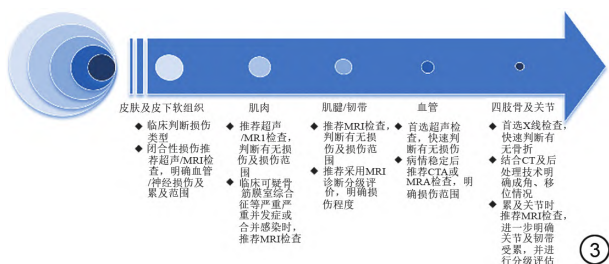


图3 四肢冲击伤患者不同组织可疑损伤的推荐影像学检查。

Fig. 3 Recommended imaging of suspected injury to different tissues in limb shock injuries patients.

3.1 具体评估内容

(1)皮肤及皮下软组织肌肉损伤：评估肌肉损伤分布及范围，判断是否存在肌肉挫伤、牵拉伤、横纹肌溶解综合征、筋膜炎等。(2)血管、神经、肌腱、韧带损伤：检查血管、神经、肌腱、韧带是否存在撕脱、撕裂等继发性损伤。(3)骨损伤：确定骨/异物碎片的轨迹、方向及残存位置^[5]。

3.2 推荐的成像方式及其价值

(1)超声：超声检查具有灵活、便携、多角度的优势，可根据患者体位调整检查手法和目标，且具有良好的空间分辨力。超声能够在紧急情况下快速判断皮下软组织和血管等浅表部位的损伤程度。(2)X线：X线快速、高效，应作为紧急创伤环境的首选检查技术。现代影像设备极大地提高了成像质量，能够准确定位，并初步评估骨折及移位情况。(3)CT：对于具备手术指征的患者，急诊一站式CT检查可以对X线提供的信息进行补充，评估附加的意外伤，并实现对复杂的大面积冲击损伤的进一步综合分析。CT能够

精准定位细小关节腔内的骨/异物碎片，并联合CTA及各种后处理技术，全面评估骨折移位、粉碎性骨折碎片、关节脱位及血管损伤，辅助临床医生实现手术视野下的探查定位。(4)MRI：经临床医生综合评估，对于考虑多重复合伤的患者，在待病情稳定后进行MRI检查，通过联合多参数成像技术，进一步评估患者的软组织损伤深度、神经损伤范围、血管损伤情况，以及是否存在多种临床压迫综合征等。此外，对于怀疑存在金属异物的患者，建议先通过CT检查排除金属异物的存在，再慎重选择MRI检查。从而实现综合评估、早期干预，更好地改善患者的功能预后^[21-22]。

X线、CT、MRI检查技术的具体扫描方案、成像参数及辐射剂量控制参考相关中华医学会四肢成像技术共识^[23-25]。

推荐意见2：在对患者进行超声检查以评估浅表位置损伤后，应首选进行X线检查，以快速判断四肢骨及关节损伤的发生及其特征(证据等级：2a；推荐强度：A)。随后，根据需要补充进行CT和CTA检查，联合三维重建及多种后处理技术，可视化肌肉、关节及血管损伤情况(证据等级：2b；推荐强度：B)。在患者病情及生命体征稳定后，应早期进行MRI检查，从而识别四肢肌肉、韧带、神经的冲击伤(证据等级：2b；推荐强度：B)。

4 四肢冲击伤患者的影像学特征

4.1 皮肤及皮下软组织创伤

4.1.1 皮肤及皮下组织急性期创伤影像学特征

超声检查能够初步判断皮肤损伤的范围及程度。在超声图像上，皮下软组织积液通常表现为无回声或低回声区域；筋膜损伤则表现为浅筋膜断裂，回声不连续，部分病例可伴有低回声的积血^[26]。当存在复合型损伤或怀疑感染时，需要进一步结合MRI图像进行评估。在MRI图像上，皮肤及皮下软组织显示广泛不均匀增厚，T2WI及脂肪抑制(fat saturation, FS) T2WI上呈高信号，T1WI上呈等信号，部分病例可见皮肤缺损。当皮下水肿严重时，可见条片状积液，在T1WI上呈低信号，而在T2WI上呈高信号。在部分严重病例，可见肌肉或者脂肪组织穿过皮肤缺口向外膨出^[27-28]。

4.1.2 皮肤及皮下组织创伤后慢性期感染影像学特征

当冲击伤导致皮肤及黏膜破坏(中断)时，致病菌容易自外部侵入并在组织内增殖。怀疑出现蜂窝织炎或坏死性筋膜炎时，CT/MRI检查能更清晰地显示病变。蜂窝织炎在CT上表现为肌肉CT值减低，皮下脂肪间隙模糊或消失。坏死性筋膜炎在CT上表现为皮下组织及间隙内积气，深筋膜水肿增厚，软组织间隙多发渗出物；MRI表现为浅、深筋膜明显增

厚, T2WI 上呈明显高信号, 气体影在 T2WI 及 T1WI 上另可见多发极低信号影^[29]。

推荐意见 3: 在临床评估中, 当皮肤及皮下软组织损伤范围较大或考虑存在复合性损伤时, 推荐在 CT 检查排除金属异物的基础上, 结合 MRI 检查以提高对感染等并发症的早期诊断效能(证据等级: 5; 推荐强度: D)。

4.2 肌肉创伤

4.2.1 肌肉创伤急性期影像学特征

肌肉创伤在超声上通常表现为肌肉明显增厚, 回声增强或不均匀分布, 内部可见无回声液体影, 在严重损伤患者中, 肌束或肌纤维出现不连续或中断, 周围可见增多的血流信号^[26]。肌肉创伤在 CT 上主要表现为肌肉的弥漫性肿胀、肌束中断出血形成局限性高密度影等, 部分病例周围伴有细颗粒状、不规则的高密度金属或异物影。在 MRI 的 T1WI、FS T2WI 序列上, 肌肉创伤分别表现为低/等信号、高/等信号, 肌间血肿在 T1WI 表现为高信号, FS T2WI 表现为低信号。当存在大面积创伤时, 根据坏死程度可分为 3 级, 具体分级标准如表 3 所示^[30-31]。

4.2.2 肌肉创伤后慢性期感染影像学特征

肌肉创伤后易合并软组织感染。当感染累及肌肉形成脓肿时, CT 可表现为肌肉明显肿胀, 内部密度不均, 部分内可见稍低密度区域; 当 CT 值进一步减低形成脓腔时, 可能出现气体密度影。CT 增强扫描时, 可见脓肿壁呈环形强化, 内可见分隔影, 在 MRI 上, 脓肿表现为 T₁WI 呈低信号或高信号, T2WI 呈均匀或不均匀高信号, 扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)呈高信号, 边缘模糊, 表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)呈低信号^[29]。

4.2.3 筋膜室综合征影像学特征

冲击伤不仅会造成骨/异物碎片除形成特殊的轨迹和软组织损伤, 还会继发急性筋膜室综合征。在 MRI 上, 急性筋膜室综合征表现为 T₁WI 均匀或不均匀高信号, 在 MRI 增强图像上可表现为边缘强化, 内部可见点状或线状的增强病灶, 肌肉筋膜室内灌注明显减低^[32]。

推荐意见 4: 在 CT 检查排除金属异物且患者生命体征稳定后, 对于轻中度肌肉损伤, 推荐常规进行 MRI 分级评价; 若考虑存在大面积深部损伤时, 推荐采用 MRI 坏死程度分级评估损伤程度及范围(证据等级: 2b; 推荐强度: A)。

4.3 肌腱创伤

肌腱创伤后急性期影像学特征: 肌腱创伤时, 超声表现为肌腱完全或部分断裂, 部分病例中间可见低回声积血填充, 断端可见明显增厚或回缩, 断端后伴明显声影^[33]。此外, MRI 可用于早期分级诊断。其中, 0 级在 T2WI 上表现为均匀一致的低信号; 1 级在质子密度加权成像(proton density weighted imaging, PDWI)上表现为散在的中等信号, 提示水肿、炎症等的反应; 2 级在 PDWI 上表现为形态的不规则或变细、信号明显增高, 提示肌腱部分撕裂; 3 级在 PDWI 上表现为高信号范围明显增大, 肌腱可见明显增粗、

表 4 肌腱损伤影像分级

Tab. 4 Imaging grading of tendon injury

分级	影像学描述
0	信号均匀一致
1	在 PDWI 上见有线状或者散在的信号增高影
2	在 PDWI 上信号明显增高伴肌腱形态不规则或变细
3	在 PDWI 上整个肌腱明显增高, 肌腱连续性中断

注: PDWI 为质子密度加权成像。

连续性中断, 形成波浪形或断端回缩等特殊表现, 提示肌腱完全撕裂^[34-35]。MRI 上根据信号和形态改变肌腱损伤可分为 4 级^[36-37], 具体分级标准如表 4 所示。

推荐意见 5: 冲击伤对肌腱造成的损伤形态复杂, 推荐待患者生命体征稳定后进行 MRI 诊断分级评价, 明确损伤程度(证据等级: 2b; 推荐强度: B)。

4.4 血管创伤

血管创伤后急性期影像学特征: 当临床评估提示存在血管损伤时, 应紧急时进行超声检查, 超声检查可显示血管走行不连续或扭曲, 周围可见明显丰富的血流信号影, 部分血管周围可见低回声积血影^[38]。

CTA 检查可更直观显示血管损伤部位及累及范围, 具体表现包括:

- (1) 动脉闭塞: 动脉管径变细, 管腔内造影剂连续性中断。
- (2) 活动性出血: 造影剂聚集于软组织和肌肉中间, 范围可见逐渐增大。
- (3) 动脉狭窄: 血栓或壁内血肿造成的狭窄常表现为损伤动脉的偏心性狭窄; 外压性或痉挛性造成的狭窄, 管腔受压明显, 管腔内未见异常密度影。
- (4) 动脉断裂: 动脉期血管近段或远端未见显影, 可见连续性中断, 血管错位, 部分断端内可见低密度血栓影。

表 3 骨骼肌肉坏死程度分级

Tab. 3 Grading of skeletal muscle necrosis

骨骼肌肉坏死程度	T1WI	T2WI	脂肪抑制 T1WI 增强
骨骼肌肉完全坏死	等、稍等或稍高混杂信号	低信号、等信号或稍等信号	边界清楚的无强化区
骨骼肌损伤			
I 度(近邻完全坏死区)	等或略高信号	不均匀高信号或稍高信号	带状或边缘明显强化
II 度(远离完全坏死区)	连续性的等或混杂信号	高信号	不均匀中等程度或轻度强化

(5)假性动脉瘤:血管周围可见圆形、清晰的造影剂聚集,并与动脉相互连接。

(6)动静脉瘘:早期静脉增强可以显影,远端可见迂曲走行、增粗的静脉^[39-41]。

此外,根据患者需求,可延长扫描时间或增加造影剂剂量,进行CT灌注扫描检查,以进一步获得血供信息,明确不同损伤部位的灌注参数^[42]。

推荐意见6:可疑血管冲击伤时,情况通常较为危急,应立即进行CTA联合多种三维后重建技术,以评估血管形态、分支等的损伤程度,为临床紧急手术提供重要的影像学指征(证据等级:2b;推荐强度:B)。

4.5 神经创伤

当临床查体证实存在神经损伤时,急性期损伤超声可表现为患侧神经明显肿胀、增粗,呈低回声,部分病例可见与周围软组织粘连^[43]。根据临床需要,可结合MRI的重T2脂肪抑制成像进行损伤征象评估。四肢神经损伤在MRI上常表现为神经损伤及断裂。具体而言,神经损伤表现为明显增粗,信号明显增高;神经断裂表现为连续性中断,节段性信号混杂或缺失,远端变细或不显影,慢性期MRI可见周围软组织液体信号影,形成创伤性囊肿^[44-45],如图4所示。基于MRI表现,将四肢神经损伤分为6级^[46],具体分级标准如表5所示。

推荐意见7:冲击伤对神经造成的不同程度损伤推荐使用6级影像学分型实现早期临床干预(证据等级:2b;推荐强度:B)。

4.6 四肢骨及关节创伤

对于急性创伤性骨折,具体需要关注以下问题:

(1)判断是否存在骨折;(2)若存在骨折,明确骨折的部位;(3)识别骨折的类型,即判断是简单骨折还是复杂骨折;(4)确定骨折断端是否有成角、移位;(5)检查是否存在骨/异物碎片,并明确其位置及轨迹^[47-48]。

4.6.1 骨折急性期影像学特征

在超声检查中,骨折可表现为骨皮质连续性中断,骨折断端错位,周围可伴有低回声血肿^[38]。X线检查则表现为骨质不连续,部分可见透亮线样影^[49]。当X线显示四肢长骨有不同程度的移位或成角畸形时,应补充CT检查,以明确移位、成角角度以及邻近组织受累情况。CT检查可表现为骨质断裂、部分断端可见嵌插,明显成角^[50]。若出现关节脱位时,CT可表现为关节间隙增宽、分离,对于未成年人的不全骨折,CT可仅表现为骨皮质皱褶、扭曲,部分病例可表现为骨骺分离^[51]。

此外,依据国际内固定研究学会(Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, AO)分类,可进一步对四肢长骨骨折的影像学表现进行详细分析^[52],具体分类标准如表6所示。同时,结合CT图像与冠状面、矢状面多平面重组(multiple planar reformation, MPR)技术,能够实现对骨折的全方位、多角度评估。容积再现(volume rendering, VR)三维重组图像可直观展示骨结构及关节对位情况,有助于术中的探查与内固定操作。

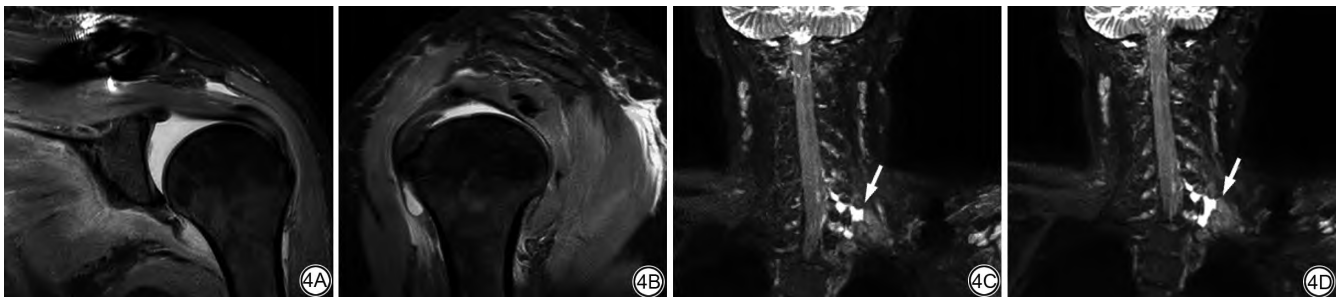


图4 一名车祸伤患者,锁骨内固定术后恢复期,左肩关节MRI图像。4A-4B:冠状位及斜矢状位脂肪抑制(FS)T2WI图像显示左侧肱骨头下移半脱位,左肩冈上肌、肩胛下肌腱变性,冈上肌、冈下肌、小圆肌及肩胛下肌、斜方肌肿胀,提示去神经营养不良可能;4C-4D:冠状位FS T2WI图像显示左侧颈5-胸1脊神经撕脱伴假性脊膜囊肿形成(箭)。

Fig. 4 A patient with post-traumatic recovery after clavicle internal fixation due to a traffic accident, MRI images of the left shoulder joint. 4A-4B: Coronal and oblique sagittal fat saturation (FS) T2WI images show the left humeral head subluxation and downward displacement, degeneration of the left supraspinatus and subscapularis tendons, and swelling of the supraspinatus, infraspinatus, teres minor, subscapularis, and trapezius muscles, suggesting possible denervation dystrophy; 4C-4D: Coronal FS T2WI images show the formation of a pseudomeningocele associated with the tear of the left C5-T1 spinal nerves (arrow).

表5 神经损伤影像分类

Tab. 5 Imaging classification of nerve injury

分类	影像学描述
I 正常表现型	MRI信号未见明显异常,对应神经震荡或休克、神经传导中断
II 神经变性水肿型	MRI表现为神经走行自然、增粗、信号增高,并可显示外伤后其他原因造成的臂丛神经压迫,如血肿、锁骨骨折、假性动脉瘤等
III 瘢痕纤维化型	神经走行僵硬、增粗、T2WI-STIR序列呈中等-稍高信号
IV 神经断裂型	神经连续性中断,部分断端可见结节状的创伤性神经瘤
V 神经根性撕脱伤	神经不连续,节段性信号混杂、缺失、远端变细或者不显影
VI 混合型	混合性损伤

注:T2WI-STIR为短时翻转恢复T2加权成像。

表 6 长骨骨折 AO 分类
Tab. 6 AO classification of long bone fractures

AO 分类编码及骨折类型:	
一、4 块长管状骨的定位编码:	1. 肱骨; 2. 桡骨/尺骨; 3. 股骨; 4. 胫/腓骨
二、长骨的节段编码:	1. 近端; 2. 骨干; 3. 远端
三、骨干骨折的类型:	A. 简单骨折; B. 楔形骨折; C. 复杂骨折
四、两端骨折类型:	A. 关节外; B. 部分关节内; C. 关节内

4.6.2 骨折后慢性期感染影像学特征

MRI 可敏感地识别轻微骨挫伤或关节软骨损伤,并明确感染等相关并发症。轻微骨挫伤或关节软骨损伤导致的骨髓水肿在 MRI 上表现为 T2WI 呈高信号,T1WI 低信号,PDWI 序列表现为边界不清的高信号区域^[53]。损伤的关节软骨形态不规则,厚薄不均匀,PDWI 可见局部变薄、不连续,呈高信号影。创伤后恢复期继发骨髓炎时,MRI 上可见骨干及骨髓信号不均匀,T2WI 呈高信号,T1WI 呈低信号。当形成脓肿时,CT 上脓腔和死骨并存,表现为骨内可见小块状密度增高的骨质硬化区,周围可见低密度骨质破坏或脓腔,CT 增强扫描脓肿周围可见环形强化。在 MRI 上,死骨在各个序列上均呈低信号,脓肿表现为骨内可见类圆形或不规则的异常信号影,T2WI 呈高信号,T1WI 呈低信号,DWI 呈高信号影,ADC 呈低信号影,MRI 增强扫描可见环形强化,部分内可见厚

薄不均匀分隔影^[29]。
推荐意见 8:依据冲击伤造成的四肢骨创伤 CT/MRI 影像结果,推荐参考 AO 分类进行骨折分型评价,为临床术中评判与干预提供有效支撑(证据等级:2a;推荐强度:A)。

4.7 韧带创伤
4.7.1 韧带创伤后急性期影像学特征

当冲击波对关节造成严重撞击,导致关节受损严重时,超声检查可显示韧带明显增厚,韧带中断或不连续,且可见边界欠清晰的异常低回声区,提示存在断裂的韧带组织或积血^[54]。MRI 能够进一步揭示韧带等附属结构的损伤情况。在 MRI 上,韧带损伤表现为形态不规则,局部 FS T2WI 上呈信号增高、明显增厚;韧带撕裂则表现为韧带连续性中断或局部变薄,周围可伴有或无液体信号影^[55],如图 6 所示。根据信号和形态改变,可将韧带损伤分为 3 级^[56],具体分级标准如表 7 所示。

4.7.2 韧带创伤后慢性期影像学特征

在韧带创伤后的慢性期或修复期,MRI 可显示韧带不同程度增厚,形态不规则,边界不清,信号轻度增高或呈现低信号影。此外,部分韧带的走行区域可能出现部分或者完全的脂肪替代现象^[57]。

推荐意见 9:冲击伤的韧带损伤可根据 MRI 所呈

表 7 韧带损伤 MRI 影像分级
Tab. 7 MRI imaging classification of ligament injury

分级	T2WI	韧带形态及周围软组织改变描述
I 级	略高信号	无形态或轻微改变(无纤维束中断,厚度,长度等明显改变)
II 级	高信号	部分性撕裂,而且表现为韧带的增粗、迂曲,部分纤维的中断,周围的软组织存在弥漫性的肿胀
III 级	明显高信号	表现为体部完全断裂,或在韧带附着部位完全断裂,断端可以分离,断端呈马尾状,周围软组织表现为弥漫的肿胀



图 6 一名 49 岁高坠伤患者的左膝关节 CT 及 MRI 图像。6A~6B:CT 矢状位及冠状位骨窗图像显示左侧股骨外侧髁骨折,股骨外侧髁旁、胫骨内侧髁周围见游离骨碎片(箭);6C~6D:矢状位脂肪抑制(FS)T2WI 图像显示前、后交叉韧带肿胀、断裂(箭头);6E~6F:冠状位 FS T2WI 图像显示左侧股骨外侧髁骨折伴骨挫伤,左侧胫腓骨近端骨挫伤,内、外侧副韧带肿胀并附着处断裂(箭头)。

现的形态和信号进行损伤分级,该方法对病变的诊断具有最高的敏感度和特异度最高(证据等级:2b;推荐强度:B)。

5 总结

在临床工作中,首要任务是确保患者的生命安全。在此前提下,应根据患者的具体情况选择适当的影像学检查。当临床怀疑皮肤及皮下组织损伤时,推荐及时进行超声检查;当怀疑肌肉组织损伤时,首推CT检查,并进一步进行MRI检查;当怀疑肌腱、神经、韧带损伤时,推荐在病情稳定后尽早进行MRI检查;当怀疑血管损伤时,推荐早期进行CTA和MRA检查;当怀疑骨损伤时,推荐早期及时进行X线和CT检查。通过结合适当的影像技术,对四肢不同组织损伤情况进行程度分级和综合分析,可使患者得到及时有效的救治,减少并发症及后遗症的发生。本共识主要基于临床及影像学分级,对高能量四肢损伤的部位及程度进行综合评估,旨在为临床医生快速、准确地进行临床决策及制订治疗方案提供帮助。

执笔者(按姓名汉语拼音排序,排名不分先后):雷新玮(天津市第一中心医院放射科)、李博雅(天津市第一中心医院放射科)、赵训晓(南开大学医学院)

影像专家组成员(按姓名汉语拼音排序,排名不分先后):艾松涛(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、白荣杰(北京积水潭医院)、蔡香然(暨南大学附属第一医院)、陈爽(复旦大学附属华山医院)、陈伟(陆军军医大学第一附属医院)、程晓光(北京积水潭医院)、郭林(天津市天津医院)、郝大鹏(青岛大学附属医院)、何波(昆明医科大学第一附属医院)、洪国斌(中山大学附属第五医院)、郎宁(北京大学第三医院)、李康(重庆市人民医院)、李鹏飞(内蒙古民族大学附属医院)、李绍林(中山大学附属第五医院)、陆勇(上海交通大学医学院附属瑞金医院)、吕晓红(锦州医科大学附属第一医院)、潘诗农(中国医科大学附属盛京医院)、沈文(天津市第一中心医院)、汤光宇(同济大学附属上海市第十人民医院)、王植(天津市天津医院)、杨本强(北部战区总医院)、杨本涛(首都医科大学附属北京同仁医院)、杨海涛(重庆医科大学第一附属医院)、杨敏洁(深圳市人民医院)、姚伟武(上海交通大学医学院附属同仁医院)、袁慧书(北京大学第三医院)、曾献军(南昌大学第一附属医院)、曾自三(广西医科大学第一附属医院)、查云飞(武汉大学人民医院)、赵健(河北医科大学第三医院)、郑卓肇(清华大学附属北京清华长庚医院)、周巍(北部战区总医院)

临床专家组成员(按姓名汉语拼音排序,排名不分先后):张连阳(陆军军医大学陆军特色医学中心)、赵彦涛(中国人民解放军总医院第四医学中心)

共识指南方法学专家组成员(按姓名汉语拼音排序,排名不分先后):贺光军(《磁共振成像》杂志社)、雷新玮(天津市第一中心医院)、田金徽(兰州大学循证医学中心)、夏爽(天津市第一中心医院)

作者利益冲突声明:所有参与本共识制订的人员均声明无利益冲突。

参考文献[References]

- [1] PRAT N J, DABAN J L, VOIGLIO E J, et al. Wound ballistics and blast injuries[J]. J Visc Surg, 2017, 154(Suppl 1): S9-S12. DOI: 10.1016/j.jvisurg.2017.07.005.
- [2] AZZI C, HUSSAIN H K, JABBOUR Y, et al. Imaging findings of the injured in the massive Beirut blast[J]. Emerg Radiol, 2023, 30(6): 699-709. DOI: 10.1007/s10140-023-02175-0.
- [3] HORROCKS C L. Blast injuries: biophysics, pathophysiology and management principles[J]. J R Army Med Corps, 2001, 147(1): 28-40. DOI: 10.1136/jramc-147-01-03.
- [4] SCHUBERT A, BABISCH S, SCANLON J M, et al. Passenger and heavy vehicle collisions with pedestrians: Assessment of injury mechanisms and risk[J/OL]. Accid Anal Prev, 2023, 190: 107139 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37320981/>. DOI: 10.1016/j.aap.2023.107139.
- [5] IGNATIADIS I A, MAVROGENIS A F, IGOMENOU V G, et al. Gunshot and blast injuries of the extremities: A review of 45 cases[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2019, 29(2): 295-305. DOI: 10.1007/s00590-018-2350-4.
- [6] BUCKLEY B, ROHAN P, KEATING H, et al. E-scooter-related imaging: a new emerging high-energy trauma patient[J]. Ir J Med Sci, 2024, 193(5): 2553-2558. DOI: 10.1007/s11845-024-03694-6.
- [7] TIAN J, ZHANG C T, WANG Q. Analysis of craniocerebral injury in facial collision accidents[J/OL]. PLoS One, 2020, 15(10): e0240359 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33104724/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0240359.
- [8] LING G, ECKLUND J M, BANDAK F A. Brain injury from explosive blast[M]//Traumatic Brain Injury, Part I. Amsterdam: Elsevier, 2015: 173-180. DOI: 10.1016/b978-0-444-52892-6.00011-8.
- [9] ZHAO Y, ZHOU Y G. The past and present of blast injury research in China[J]. Chin J Traumatol, 2015, 18(4): 194-200. DOI: 10.1016/j.cjtee.2015.11.001.
- [10] 胡鹏伟, 张磊, 解宏伟, 等. 现代战争爆炸伤特点系统评价[J]. 第二军医大学学报, 2021, 42(6): 681-687. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2021.06.0681.
- [11] HU P W, ZHANG L, XIE H W, et al. Characteristics of blast injuries in modern warfare: a systematic review[J]. Acad J Second Mil Med Univ, 2021, 42(6): 681-687. DOI: 10.16781/j.0258-879x.2021.06.0681.
- [12] MOHAMED A Y, IBRAHIM H S, TAŞKOPARAN H, et al. Epidemiological characteristics and comparative outcome of blast versus gunshot injuries of the extremities in Somalia[J/OL]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 44 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36647060/>. DOI: 10.1186/s13018-023-03527-9.
- [13] YAMAMOTO S, DEWITT D S, PROUGH D S. Impact & blast traumatic brain injury: implications for therapy[J/OL]. Molecules, 2018, 23(2): 245 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29373501/>. DOI: 10.3390/molecules23020245.
- [14] ZHAO Y, WANG Z G. Blast-induced traumatic brain injury: a new trend of blast injury research[J]. Chin J Traumatol, 2015, 18(4): 201-203. DOI: 10.1016/j.cjtee.2015.10.002.
- [15] HAQUE G, HAWWEIZY R, BASHAIREH K, et al. Impact of injury mechanism on early wound closure in patients with acute conflict-related extremity wounds: a prospective cohort analysis from two civilian hospitals in Iraq and Jordan[J]. World J Surg, 2024, 48(8): 1822-1828. DOI: 10.1002/wjss.12276.
- [16] MEINBERG E G, AGEL J, ROBERTS C S, et al. Fracture and dislocation classification compendium-2018[J]. J Orthop Trauma, 2018, 32(Suppl 1): S1-S170. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001063.
- [17] 中华医学会显微外科学分会, 中国医师协会骨科医师分会创伤学组, 中国医师协会骨科医师分会外固定学组, 等. 中国下肢软组织损伤修复指南(2023)[J]. 中华创伤骨科杂志, 2023, 25(3): 193-201. DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20230110-00015.
- [18] Society of Microsurgery of Chinese Medical Association, Traumatology Group of Society of Orthopaedists of Association of Chinese Doctors, External Fixation Group of Society of Orthopaedists of Association of Chinese Doctors, et al. Chinese guidelines for repair of lower limb soft tissue injuries (2023)[J]. Chin J Orthop Trauma, 2023, 25(3): 193-201. DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20230110-00015.
- [19] THAKORE R V, FRANCOIS E L, NWOSU S K, et al. The Gustilo-Anderson classification system as predictor of nonunion and infection in open Tibia fractures[J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2017, 43(5): 651-656. DOI: 10.1007/s00068-016-0725-y.
- [20] RUDZKI J R, SHAFFER B. New approaches to diagnosis and arthroscopic management of partial-thickness cuff tears[J]. Clin Sports

- Med, 2008, 27(4): 691-717. DOI: 10.1016/j.csm.2008.06.004.
- [19] SARGENT W, MAHONEY P, CLASPER J, et al. Understanding the burden of injury in children from conflict: an analysis of radiological imaging from a Role 3 hospital in Afghanistan in 2011[J/OL]. BMJ Mil Health, 2024, 170(e2): e116-e121 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37045540/>. DOI: 10.1136/military-2022-002336.
- [20] KANI K K, PORRINO J A, CHEW F S. Low-velocity, civilian firearm extremity injuries-review and update for radiologists[J]. Skeletal Radiol, 2022, 51(6): 1153-1171. DOI: 10.1007/s00256-021-03935-0.
- [21] RAUH S S, SUSKENS J J M, MONTE J R, et al. Accelerated IVIM-corrected DTI in acute hamstring injury: towards a clinically feasible acquisition time[J/OL]. Eur Radiol Exp, 2024, 8(1): 38 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38499843/>. DOI: 10.1186/s41747-024-00437-1.
- [22] 廖红莉, 代立松, 周红梅, 等. 急性肌肉拉伤的MRI应用进展[J]. 磁共振成像, 2021, 12(1): 121-124. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2021.01.030.
- [23] 中华医学会影像技术分会, 中国医师协会医学技师专业委员会. 创伤性急重症患者DR检查技术专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(10): 1054-1060. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20230209-00078. Chinese Society of Imaging Technology of Chinese Medical Association, Medical Technologist Professional Committee of Chinese Medical Doctor Association. Expert consensus on technical specifications of digital radiography for acute traumatic patients[J]. Chin J Radiol, 2023, 57(10): 1054-1060. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20230209-00078.
- [24] 中华医学会影像技术分会, 中国医师协会医学技师专业委员会. 创伤性急重症CT检查技术专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(11): 1165-1173. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20230310-00176. Chinese Society of Imaging Technology of Chinese Medical Association, Medical Technologist Professional Committee of Chinese Medical Doctor Association. Technical specifications for CT examination of severe traumatic injuries[J]. Chin J Radiol, 2023, 57(11): 1165-1173. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20230310-00176.
- [25] 中华医学会影像技术分会, 中华医学会放射学分会. MRI检查技术专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(10): 724-739. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.10.002. Imaging Technology Branch of Chinese Medical Association, Radiology Branch of Chinese Medical Association. Expert consensus on MRI technology[J]. Chin J Radiol, 2016, 50(10): 724-739. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.10.002.
- [26] 王晶, 陈定章, 郑敏娟, 等. 超声引导下介入治疗在军事训练软组织损伤中的应用研究[J/OL]. 中华医学超声杂志(电子版), 2020, 17(6): 558-562 [2024-11-06]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-ZHCD202006018.htm>. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2020.06.013.
- WANG J, CHEN D Z, ZHENG M J, et al. Application of ultrasound-guided interventional therapy for soft tissue injury caused by military training[J/OL]. Chin J Med Ultrasound Electron Ed, 2020, 17(6): 558-562 [2024-11-06]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-ZHCD202006018.htm>. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2020.06.013.
- [27] PRAKASH A, ENTWISLE T, SCHNEIDER M, et al. Connective tissue injury in calf muscle tears and return to play: MRI correlation[J]. Br J Sports Med, 2018, 52(14): 929-933. DOI: 10.1136/bjsports-2017-098362.
- [28] LI Y Z, HU X, YI W R, et al. NIR-II fluorescence imaging of skin avulsion and necrosis[J/OL]. Front Chem, 2019, 7: 696 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31696110/>. DOI: 10.3389/fchem.2019.00696.
- [29] JARDON M, ALAIA E F. Approach to imaging modalities in the setting of suspected infection[J]. Skeletal Radiol, 2024, 53(10): 1957-1968. DOI: 10.1007/s00256-023-04478-2.
- [30] 黎淑娟, 王正磊, 朱维平, 等. 四肢高压电烧伤早期磁共振成像特点的临床研究[J]. 中华烧伤杂志, 2017, 33(12): 750-756. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2017.12.006.
- LI S J, WANG Z L, ZHU W P, et al. Clinical research of features of magnetic resonance imaging of high-voltage electrical burns in limbs at early stage[J]. Chin J Burns, 2017, 33(12): 750-756. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2017.12.006.
- [31] 阮鹏, 孙斯琴, 杨凡, 等. 高压电击伤家兔模型肢体坏死损伤的诊断: 基于磁共振成像分析[J]. 分子影像学杂志, 2021, 44(4): 668-672. DOI: 10.12122/j.issn.1674-4500.2021.04.18.
- RUAN P, SUN S Q, YANG F, et al. Limb necrosis of rabbit model injured by high voltage electric injury based on magnetic resonance imaging[J]. J Mol Imag, 2021, 44(4): 668-672. DOI: 10.12122/j.issn.1674-4500.2021.04.18.
- [32] RODRIGUES T C, TANEJA A K, SKAF A, et al. Upper extremity infection: imaging features with focus on magnetic resonance imaging[J]. Skeletal Radiol, 2024, 53(10): 1991-2006. DOI: 10.1007/s00256-023-04545-8.
- [33] MANSKE R C, VOIGHT M, PAGE P, et al. The application of musculoskeletal ultrasound in the diagnosis of supraspinatus injuries[J/OL]. Int J Sports Phys Ther, 2023, 18(5): 88377 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37799572/>. DOI: 10.26603/001c.88377.
- [34] 孟天宇, 赵宇晴, 郎宁, 等. 基于关节镜结果的学习对提高冈上肌腱撕裂MRI表现认知价值的价值[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(8): 1553-1556. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.20190828.005.
- MENG T Y, ZHAO Y Q, LANG N, et al. Value of arthroscopic results-based learning in improving the diagnostic level of supraspinatus tendon tear[J]. J Clin Radiol, 2019, 38(8): 1553-1556. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.20190828.005.
- [35] WANGENSTEEN A, GUERMAZI A, TOL J L, et al. New MRI muscle classification systems and associations with return to sport after acute hamstring injuries: a prospective study[J]. Eur Radiol, 2018, 28(8): 3532-3541. DOI: 10.1007/s00330-017-5125-0.
- [36] 张恒, 钱占华, 白荣杰, 等. 肘关节屈肌总腱和伸肌总腱肌腱病的MRI表现及其分级初探[J]. 中华全科医师杂志, 2023, 22(10): 1038-1044. DOI: 10.3760/cma.j.cn114798-20230319-00229.
- ZHANG H, QIAN Z H, BAI R J, et al. MRI of tendinopathy of the common extensor tendon and common flexor tendon and its application for injury classification[J]. Chin J Gen Pract, 2023, 22(10): 1038-1044. DOI: 10.3760/cma.j.cn114798-20230319-00229.
- [37] 李亚雄, 叶薇, 白荣杰, 等. 手指肌腱韧带的磁共振成像技术及临床应用[J]. 中华医学杂志, 2017, 97(11): 847-851. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2017.11.011.
- LI Y X, YE W, BAI R J, et al. MRI of the finger ligament and tendon injuries: imaging technique and clinical application[J]. Natl Med J China, 2017, 97(11): 847-851. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2017.11.011.
- [38] 中华医学会超声医学分会. 军事训练常见运动损伤超声应用中国专家共识(2023版)[J]. 中华超声影像学杂志, 2023, 32(6): 461-484. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20230109-00011. Ultrasound Medicine Branch of Chinese Medical Association. Chinese expert consensus on ultrasonic application of common sports injuries in military training(2023 edition)[J]. Chin J Ultrason, 2023, 32(6): 461-484. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148-20230109-00011.
- [39] 旷连勤, 张伟国, 王毅, 等. 多层螺旋CT血管成像诊断四肢动脉损伤的初步研究[J/OL]. 中华临床医师杂志(电子版), 2010, 4(1): 34-38 [2024-11-06]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-ZLYD20101007.htm>. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0785.2010.01.008.
- KUANG L Q, ZHANG W G, WANG Y, et al. Preliminary study of multislice spiral CT angiography to diagnose arterial injury of extremities[J/OL]. Chin J Clin Electron Ed, 2010, 4(1): 34-38 [2024-11-06]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-ZLYD20101007.htm>. DOI: 10.3969/j.issn.1674-0785.2010.01.008.
- [40] 何伟红, 李敏红, 柯祺, 等. 下肢动脉损伤MSCTA诊断及误诊漏诊原因分析[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(3): 428-431. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2016.03.032.
- HE W H, LI M H, KE Q, et al. Analysis of the causes leading to misdiagnosis and missed diagnosis of lower extremity arterial injury by MSCTA[J]. J Clin Radiol, 2016, 35(3): 428-431. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2016.03.032.
- [41] TAHTABASI M, ER S, KALAYCI M. Imaging findings in patients after the bomb explosion in Somalia on December 28, 2019[J]. Clin Imaging, 2021, 78: 230-239. DOI: 10.1016/j.clinimag.2021.05.018.
- [42] 徐勇辉, 孙勇, 刘灿丽, 等. 256层螺旋CT灌注成像对高压电击伤截肢适应证判断的初步应用[J]. 影像诊断与介入放射学, 2015, 24(1): 59-63. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8001.2015.01.011.
- XU Y H, SUN Y, LIU C L, et al. 256-slice spiral CT perfusion imaging as prognostic indicator of healing after limb amputation for high-voltage electrical burn[J]. Diagn Imag Interv Radiol, 2015, 24(1): 59-63. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8001.2015.01.011.
- [43] SAMET J D. Ultrasound of peripheral nerve injury[J]. Pediatr Radiol, 2023, 53(8): 1539-1552. DOI: 10.1007/s00247-023-05631-8.
- [44] 姜涛, 谢立旗, 焦鸿生, 等. 臂丛神经节后损伤MR重T2加权像表现与手术对照[J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 22(5): 354-357. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2014.05.009.
- JIANG T, XIE L Q, JIAO H S, et al. Heavily T2-weighted MR imaging in postganglionic brachial plexus injury: compared with surgical findings[J]. Chin J Med Imag, 2014, 22(5): 354-357. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2014.05.009.
- [45] ANTIL N, ELGUINDY Y, LUTZ A M. Do not forget the brachial plexus-prevalence of distal brachial plexus pathology on routine shoulder MRI[J]. Eur Radiol, 2021, 31(6): 3555-3563. DOI: 10.1007/s00330-020-07476-3.
- [46] 赵秋枫, 耿道颖, 杨蓓勃. MRI在臂丛神经节前损伤诊断中的应用[J]. 中华放射学杂志, 2009, 43(1): 60-64. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2009.01.017.
- ZHAO Q F, GENG D Y, YANG W B. MRI diagnosis of brachial plexus preganglionic injury[J]. Chin J Radiol, 2009, 43(1): 60-64. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2009.01.017.
- [47] ZELLE B A, BROWN S R, PANZICA M, et al. The impact of injuries below the knee joint on the long-term functional outcome following polytrauma[J]. Injury, 2005, 36(1): 169-177. DOI: 10.1016/j.injury.2004.06.004.
- [48] JACOB A, KHAN S. Radiology of acute elbow injuries[J]. Br J Hosp Med, 2010, 71(1): M6-M9. DOI: 10.12968/hmed.2010.71.Sup1.45983.
- [49] YAZGAN C, AKSU N M. Imaging features of blast injuries: experience from 2015 Ankara bombing in Turkey[J/OL]. Br J Radiol, 2016, 89(1062): 20160063 [2024-11-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26959613/>. DOI: 10.1259/bjr.20160063.

(下转第35页)

- 103(2): 280-284. DOI:10.1016/j.tripleo.2006.06.001.
- [11] SCAF G, MORIHISA O, DE CASTRO MONTEIRO LOFFREDO L. Comparison between inverted and unprocessed digitized radiographic imaging in periodontal bone loss measurements[J]. J Appl Oral Sci, 2007, 15(6): 492-494. DOI:10.1590/s1678-77572007000600007.
- [12] DONURU A, TORIGIAN D A, NACHIAPPAN A C. Grayscale inversion to aid diagnosis of acute occlusive and chronic pulmonary embolism on CT[J]. Int J Angiol, 2024, 33(2): 132-133. DOI:10.1055/s-0044-1786745.
- [13] LEE P, TAHMASEBI A, DAVE J K, et al. Comparison of gray-scale inversion to improve detection of pulmonary nodules on chest X-rays between radiologists and a deep convolutional neural network[J]. Curr Probl Diagn Radiol, 2023, 52(3): 180-186. DOI:10.1067/j.cpradiol.2022.11.004.
- [14] EKEN G, MISIR A. Comparison of computed tomography, traction, and inverted grayscale radiographs for understanding pilon fracture morphology[J]. Foot Ankle Int, 2022, 43(3): 398-403. DOI:10.1177/10711007211049247.
- [15] SCHWARTZ T R, LINDEMANN T L, MONGELLUZZO G, et al. Gray-scale inversion on high resolution computed tomography of the temporal bone: an observational study[J]. 2021, 130(10): 1125-1131. DOI:10.1177/0003489421996844.
- [16] PATEL A, HALEEM S, RAJAKULASINGAM R, et al. Comparison between conventional CT and grayscale inversion CT images in the assessment of the post-operative spinal orthopaedic implants[J/OL]. J Clin Orthop Trauma, 2021, 21: 101567 [2024-06-30]. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8399409/. DOI:10.1016/j.jcot.2021.101567.
- [17] BEETS-TAN R G, BEETS G L, VLIEGEN R F, et al. Accuracy of magnetic resonance imaging in prediction of tumour-free resection margin in rectal cancer surgery[J]. Lancet, 2001, 357(9255): 497-504. DOI:10.1016/s0140-6736(00)04040-x.
- [18] BENSON A B, VENOOK A P, AL-HAWARY M M, et al. Rectal cancer, version 2.2022, NCCN clinical practice guidelines in oncology[J]. J Natl Compr Canc Netw, 2022, 20(10): 1139-1167. DOI: 10.6004/jncn.2022.0051.
- [19] BLACKWELL H R. Contrast thresholds of the human eye[J]. J Opt Soc Am, 1946, 36(11): 624-643. DOI:10.1364/josa.36.000624.
- [20] 中国结直肠癌诊疗规范(2020年版)专家组. 国家卫生健康委员会中国结直肠癌诊疗规范(2020年版)[J]. 中华胃肠外科杂志, 2020, 23(6): 521-540. DOI: 10.3760/cma.j.cn.441530-20200520-00289. China Colorectal Cancer Diagnosis and Treatment Standards (2020 edition) Expert Group. National health and wellness committee's diagnostic and therapeutic guidelines for colorectal cancer in China (2020 edition)[J]. Chin J Gastrointest Surg, 2020, 23(6): 521-540. DOI: 10.3760/cma.j.cn.441530-20200520-00289.
- [21] KHAN S M, EMILE S H, BARSOM S H, et al. Development of the 'PREDICT' score through a systematic review and meta-analysis of the predictive parameters for locoregional recurrence after total mesorectal excision[J]. Updates Surg, 2021, 73(1): 35-46. DOI:10.1007/s13304-020-00853-z.
- [22] 王铮, 孟令候, 李强, 等. 基线磁共振T2WI纹理预测晚期直肠癌转化治疗原发灶疗效的应用研究[J]. 磁共振成像, 2022, 13(1): 42-47, 53. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2022.01.009.
- WANG Z, MENG L H, LI Q, et al. Application study of MRI T2WI texture baseline predicting the efficacy of advanced rectal cancer transformation therapy for primary tumors[J]. Chin J Magn Reson Imag, 2022, 13(1): 42-47, 53. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2022.01.009.
- [23] KULINNA C, EIBEL R, MATZEK W, et al. Staging of rectal cancer: diagnostic potential of multiplanar reconstructions with MDCT[J]. AJR Am J Roentgenol, 2004, 183(2): 421-427. DOI:10.2214/ajr.183.2.1830421.
- [24] DAR R A, CHOWDRI N A, PARRAY F Q, et al. Pre-operative staging of rectal cancer using multi-detector row computed tomography with multiplanar reformations: Single center experience[J]. Indian J Cancer, 2014, 51(2): 170-175. DOI:10.4103/0019-509x.138292.
- [25] TANG Y Z, ALABOUSI A. Incidental findings on staging CT for rectal cancer: Frequency, clinical significance and outcomes[J]. Clin Imaging, 2023, 93: 14-22. DOI:10.1016/j.clinimag.2022.10.014.
- [26] VLIEGEN R, DRESEN R, BEETS G, et al. The accuracy of Multi-detector row CT for the assessment of tumor invasion of the mesorectal fascia in primary rectal cancer[J]. Abdom Imaging, 2008, 33(5): 604-610. DOI:10.1007/s00261-007-9341-y.
- [27] WOLBERINK S V R C, BEETS-TAN R G H, DE HAAS-KOCK D F M, et al. Multislice CT as a primary screening tool for the prediction of an involved mesorectal fascia and distant metastases in primary rectal cancer: a multicenter study[J]. Dis Colon Rectum, 2009, 52(5): 928-934. DOI:10.1007/DCR.0b013e3181949f23.
- [28] MAIZLIN Z V, BROWN J A, SO G, et al. Can CT replace MRI in preoperative assessment of the circumferential resection margin in rectal cancer?[J]. Dis Colon Rectum, 2010, 53(3): 308-314. DOI: 10.1007/DCR.0b013e3181c5321e.
- [29] SINHA R, VERMA R, RAJESH A, et al. Diagnostic value of multidetector row CT in rectal cancer staging: comparison of multiplanar and axial images with histopathology[J]. Clin Radiol, 2006, 61(11): 924-931. DOI: 10.1016/j.crad.2006.03.019.



(上接第16页)

- [50] AL-ANI Z, THAM J L, OOI M W X, et al. The radiological findings in complex elbow fracture-dislocation injuries[J]. Skeletal Radiol, 2022, 51(5): 891-904. DOI: 10.1007/s00256-021-03900-x.
- [51] SHEN J J, YU P, YANG R H, et al. Clinical characteristics, mechanism, and outcome of humeral shaft fractures sustained during arm wrestling in young men: a retrospective study[J]. Orthop Surg, 2023, 15(6): 1627-1635. DOI: 10.1111/os.13751.
- [52] MARTRILLE L, SYMES S A. Interpretation of long bones ballistic trauma[J/OL]. Forensic Sci Int, 2019, 302: 109890 [2024-11-06]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31421439/. DOI: 10.1016/j.forsciint.2019.109890.
- [53] GARNAVOS C, KANAKARIS N K, LASANIANOS N G, et al. New classification system for long-bone fractures supplementing the AO/OTA classification[J/OL]. Orthopedics, 2012, 35(5): e709-719 [2024-11-06]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22588414/. DOI: 10.3928/01477447-20120426-26.
- [54] 王文艳. 高频肌骨超声诊断踝关节外侧副韧带损伤及其评估预后的价值[J]. 影像研究与医学应用, 2024, 8(13): 65-67. DOI: 10.3969/j.issn.2096-3807.2024.13.021.
- WANG W Y. Diagnostic value of high-frequency musculoskeletal ultrasound in lateral collateral ligament injury of ankle joint and its prognosis evaluation[J]. J Imag Res Med Appl, 2024, 8(13): 65-67. DOI: 10.3969/j.issn.2096-3807.2024.13.021.
- [55] 龚美琳, 陈爽, 冯晓源, 等. MRI不同序列在膝关节损伤中的应用[J]. 放射学实践, 2007, 22(10): 1079-1082. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0313.2007.10.020.
- GONG M L, CHEN S, FENG X Y, et al. Diagnostic value of spin echo and gradient echo-shot time inversion recovery MRI sequence in bone contusion of knee joint[J]. Radiol Pract, 2007, 22(10): 1079-1082. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0313.2007.10.020.
- [56] 姜铃霞, 姚伟武, 曹励欧, 等. 交叉韧带撕裂合并膝关节前后外侧韧带复合体损伤的磁共振评价[J]. 放射学实践, 2023, 38(2): 198-203. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.02.015.
- JIANG L X, YAO W W, CAO L O, et al. MRI evaluation of cruciate ligament tear combined with injury of the posterolateral ligamentous complex of knee[J]. Radiol Pract, 2023, 38(2): 198-203. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.02.015.
- [57] 高丽香, 袁慧书. 前交叉韧带重建术后关节感染与粘连的MRI征象[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(6): 915-918. DOI: 10.13929/j.1003-3289.201707081.
- GAO L X, YUAN H S. MRI findings of joint infection and adhesion after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Chin J Med Imag Technol, 2018, 34(6): 915-918. DOI: 10.13929/j.1003-3289.201707081.