

Yamamoto 等把 HyperKat 算法的高加速应用到全心 3D 电影成像上,基于深度学习的自动识别体积测量方法可以准确评估心脏体积和功能,与传统的 2D 电影成像效果相当。这可以减少数据采集时间且可进行多平面后处理。

Yasutoshi 等发现高分辨率 2D LGE 图像在不损失图像质量或 CNR 的情况下提高了图像分辨率,因此有可能精确观察 LGE 的分布和形态。Malgorzata 等发现一种短 LGE 序列,单次屏气短固定反转时间 3D 序列,在检测梗死患者非缺血性纤维化方面不逊于

标准 LGE。短 LGE 不需要心肌清零,同样可以显示缺血性与非缺血性纤维化。

在先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)的儿童患者中,胸部 MRA 仍然具有挑战性。Narine 等发现在 3.0T 上呼吸和心电门控稳态改良 Dixon MRA 结合 CS 评估儿童 CHD 患者的心血管系统具有极好的脂肪抑制效果和较高的图像质量,并且对磁场不均匀性不敏感,该研究结果支持所述序列在 3.0T 镇静的小儿 CHD 患者中的临床应用。

(收稿日期:2022-01-06)

## • RSNA2021 聚焦 •

# RSNA2021 骨骼肌肉影像学

何通翔,文冬琳,冉君,李小明

**【摘要】** 2021 年 RSNA 年会关于肌骨关节影像研究方面的科学报告共 110 余篇,涉及内容主要包括肌肉骨骼关节疾病的定性及定量分析、新技术的应用、深度学习及影像组学的发展,本文将主要按照部位及特殊成像、后处理技术进行描述。

**【关键词】** 关节;肌肉;肿瘤;骨质疏松;磁共振成像

**【中图分类号】** R816.8;R-05 **【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1000-0313(2022)02-0145-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.02.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## 肩关节、肘关节

Sax 等报道了肱骨近端良性病变“关节下陷征”(ADD)的影像学表现,发现 ADD 主要为滑膜关节液渗入肱骨近端,反应性改变有时类似于恶性肿瘤,典型影像学特征为关节腔滑液侵入关节面旁骨质,局部凹陷,与关节腔相通,关节面下骨质 T2 信号不同程度增高及邻近脂肪沉积。Kapoor 等回顾性研究表明,后肩关节囊异常信号或许提示患者存在粘连性肩关节囊炎。其他 MRI 表现也提供了额外诊断价值,包括腋囊厚度和信号强度增加,旋转肌间隙脂肪明显沉积,以及喙肱韧带(CHL)增厚和信号异常,这些发现可以增加影像诊断信心。Kim 等回顾性分析了化脓性肩关节炎的 MRI 表现,骨髓炎是化脓性肩关节炎术后复发的最佳预测因子,若有骨髓炎存在,应考虑更积极的手术

治疗。

FRACTURE(FFE ACT Using Restricted Echo-spacing)是一项三维梯度回波脉冲序列与限制回波间隔结合自动后处理的创新技术,在 MR 成像上提高了骨皮质和骨小梁对比。Alizai 等在离体标本上模拟人体肩关节孟骨折,采用 FRACTURE MR 技术,并与常规二维 CT 比较,发现 FRACTURE MR 对肩关节孟骨折诊断价值与 CT 相近。Samim 等比较 3D-MRI 和 3D-CT 在评估关节孟和肩袖(RC)损伤方面的差异,他们认为 3D-MR 成像在周围骨质丢失的评估方面与 3D-CT 相当,但前者能更好地评估软组织损伤,如肩袖撕裂和肌肉萎缩。Laucis 等比较了四种不同术前预测软件在术前 CT 测量和 Walch 分型方面的差异,并与放射医师相比较,结果显示肩胛盂变形程度愈高,术前预测软件的结果与放射医师间的差异愈显著。

## 腕关节、手

三角纤维软骨复合体(TFCC)损伤可引起尺侧腕关节疼痛,并可导致桡尺远侧关节不稳定。Huflage 等研究表明,桡骨多平面重建也是非常有必要的,可提

作者单位:430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介:何通翔(1996-),男,广西玉林人,博士研究生,主要从事骨肌系统影像诊断和科研工作。

通讯作者:李小明, E-mail: lilyboston2002@sina.com

基金项目:国家自然科学基金(31630025,81901715)

高尺侧 TFCC 病变的诊断准确度和可信度。腕管综合征(CTS)是与卡压综合征相关的最常见的周围性单神经病变。Alahmad 等回顾性研究表明,与 CT 相比,超声无法鉴别 CTS 正中神经的正常和轻度病变,但可诊断和区分中度和重度病变。

Getzmann 等对健康招募者和尸体病例行手部 3D 超声断层扫描,结果显示 3D 超声断层图像能够充分显示手部的正常关节结构以及骨质侵蚀和骨赘等退行性病变。Keelson 等对第一腕掌关节(TMCJ)行 4D-CT 扫描并获得 4D-CT 电影图像,图像经 Python 编写的自定义程序处理后可实现关节运动学定性和定量分析。

### 脊柱及骶髂关节

脊柱侧弯是神经纤维瘤病 1(NF1)患者常见的骨科问题,Haider 等回顾性分析 95 例 NF1 患者的全身 MRI 资料,发现脊柱侧弯与椎管旁或椎管内肿瘤的存在没有关联,否定了 NF1 患者脊柱侧弯的原因是椎管旁或椎管内神经纤维瘤破坏了脊柱正常有序发育的假设。Sarathy 等回顾性分析了怀疑中轴型脊柱关节炎(AxSPA)的 MRI 资料,发现未服用非甾体抗炎药的患者比服用者更有可能出现炎症表现,扫描时使用非甾体抗炎药可能会降低 MRI 的诊断效能。

Lombardi 等使用三维绝热反转恢复脂肪饱和和超短回声时间(3D IR-FS-UTE)MR 序列,在尸体和人体(健康志愿者和腰背痛者)上实现了软骨终板(CEP)高对比成像,清晰显示了软骨终板的正常或异常改变。Koch 等比较了双能 CT 虚拟去钙技术(VNCa)与标准灰度 CT 评价胸椎间盘突出的诊断效能,发现胸椎 VNCa 成像不仅具有较高的成像质量,在疾病诊断方面也具有更高敏感度、特异度和符合率。Yoon 等多中心前瞻性随机对照试验表明,同种异体椎间盘移植手术技术安全,可能成为治疗腰椎椎间盘退行性疾病的有效方法。

Maciel 等研究腰椎 MR 骨小梁测量参数与骨密度的相关性,发现单位面积的欧拉数和单位面积的连通数与骨密度结果密切相关,在健康人群与骨质减少/骨质疏松者间差异显著,展示 MRI 在评估骨质疏松方面的潜在价值。Mogharrabi 等评估了腰骶神经丛 MR 神经造影(MRN)对 59 例背部手术失败综合征(FBSS)患者的诊疗价值,发现 MRN 在临床诊断中的作用高于常规成像,9 例患者因 MRN 的重要发现而改变了临床治疗决策。

### 髋关节

“髋部指针”(hip pointer)是运动医学界用来描述

髂嵴或附着在其上肌肉损伤的术语,这在职业运动员中很常见,但相关文献报道较少。Sax 等回顾了髂骨嵴上斜肌组织损伤的运动员的临床影像资料,发现低级别损伤通常与腹直肌腱膜撕裂有关,而高级别撕裂更可能是独立的,需要直接行肌腱修复。腹直肌腱膜损伤预示着更糟糕的预后,即使在手术修复后也是如此。

股骨头坏死 ARCO 2 期和 3A 期之间的准确分类对于治疗决策非常重要。Lee 等回顾性研究表明,ARCO 3A 期较 ARCO 2 期更频繁发生深部层面改变。在 ARCO 2 期,股骨头深部层面几乎没有发现囊性改变,骨髓水肿(BME)和关节积液时常被发现。在 ARCO 3A 期,经常发现囊性改变,BME 和关节积液几乎总是发生。通过分析深部层面的变化和 ARCO 阶段之间的关联,可以更容易地区分 2 和 3A 期。

髋关节是第二常见的抽吸关节。Shrestha 等回顾性评估了一种改良入路的髋关节吸液技术,该术是将患者置于楔形斜位,进入大转子近端,并沿着股骨头/颈部交界处的上外侧对准关节间隙。结果显示,与标准入路的 32%~49%成功率相比,楔入式髋关节抽吸技术手术成功率高达 94%。

Sun 等研究表明,髋臼发育不良(AD)患者在标准髋部 X 线片上出现脊柱异常的频率增加。然而,影像学上髋臼发育不良的严重程度与脊柱异常的频率之间没有相关性。Shin 等回顾性分析了髋部神经内囊肿的 MRI,发现每个神经受累于特定的唇象限,坐骨神经神经节囊肿似乎起源于后下象限的唇旁囊肿,而闭孔神经病变和臀上神经病变分别与唇的前内象限和前上象限相连。Foti 等比较双能 CT 关节造影(DEC-TA)与 MR 关节造影(MRA)鉴别髋臼唇撕裂(ALT)和软骨缺损(CD)的诊断效能,以关节手术结果为参考标准,结果显示 DECTA 识别 ALT 和 CD 能力与 MRA 相近。

### 膝关节

多年来,人们一直对他汀类药物潜在的骨关节炎(OA)药物疗效感兴趣,但目前的研究结果尚无定论。Mohajer 等研究表明,对伴有 Heberden 结节的 OA 患者,他汀类药物对 OA 相关软骨下骨病变起着保护作用,提示他汀类药物改善骨关节炎的靶组织可能位于软骨下骨。

老年患者关节镜下半月板部分切除术(APM)后的结果复杂且难以预测。Subhas 等队列研究表明,基线较高的膝关节损伤和骨关节炎疼痛评分(KOOSpain)、较低的心理健康总评(MCS)、较高的区域剥夺指数(ADI)评分、女性、中等范围的 BMI、年龄

在50~70岁之间和吸烟为不良结局的重要临床预测因子,MR图像上股骨外侧髁和胫骨平台内侧的软骨缺损以及外侧半月板撕裂为重要的影像预测因子。

Lin等回顾性分析了全膝关节置换术后滑膜感染和假体磨损的超声资料,发现与MRI、关节穿刺抽吸和临床随访结果相比,超声在评估滑膜感染或假体磨损方面表现不佳,敏感度和阳性预测值低,但特异度和阴性预测值较高。Booz等评估双能CT彩色编码胶原成像对膝关节急性创伤后关节韧带的成像效果,并与关节镜或MRI相比,结果显示双能CT彩色编码胶原成像诊断前交叉或后交叉韧带撕裂具有高的敏感度和特异度,可在MRI有禁忌的情况下早期发现交叉韧带损伤。

## 踝关节、足

超短回波时间磁化转移(UTE-MT)可反映大分子含量。Fang等使用UTE-MT评估马拉松运动员运动后的跟腱变化。发现在一次马拉松比赛后,运动员跟腱发生可逆的变化,这在常规MRI是无法发现的。Jerban等使用超短回波时间MRI(UTE-MRI)技术[UTE-MT和绝热 $T_{1\rho}$ (UTE-Adiab- $T_{1\rho}$ )]检测跟腱和附着点之间的成分差异。结果表明UTE-MT和UTE-Adiab- $T_{1\rho}$ 是评估附着点和肌腱的可靠定量方法,与肌腱相比,附着点较低的平均大分子质子分数(MMF)和较高的 $T_{1\rho}$ 可能对应其大分子含量(即胶原和蛋白多糖)较低。未来的研究需评估MRI定量结果与组织性质和组织力学之间的相关性。

Tordjman等研究表明,与常规CT关节造影相比,负重锥形束CT(wCBCT)关节造影低剂量成像的同时,还能很好地显示踝关节软骨。Dammeyer等比较了胫后肌腱炎患者和正常人的超声图像,发现踝部内侧皮下水肿与胫后肌腱炎的存在相关。

## 肿瘤

对于脊柱或骨盆良恶性肿瘤,Choi等研究发现,病灶MRI分级为0时(0:病灶MR $T_1$ WI信号的最低和最高值均分别高于邻近未退变的椎间盘或肌肉的最低和最高值),其为良性可能性大,反之,则需要随访复查。Warslan等比较了MR多个序列(DWI、DKI和IVIM)对骨骼肌肉良恶性肿瘤的诊断效能,结果显示ADC<sub>min</sub>、DIVIM<sub>min</sub>、 $D^* \text{ vol}$ 、 $K_{\text{vol}}$ 和 $K_{\text{min}}$ 在良性和恶性肿瘤之间差异显著,其中 $K_{\text{min}}$ 在区分肿瘤良恶性方面表现出最高的诊断性能。

骨和软组织肿瘤(BST)的临床和影像学表现与非肿瘤性病变相似。Malik等研究报道疑似肉瘤的非肿瘤性病变发生率为8.61%,病理表现多样,血管和炎症

最常见。Mohanty等回顾性分析了骨肉瘤术前新辅助化疗患者的DWI影像资料,以术后标本Huvos坏死分级为参考,结果显示瘤体中骨成分的表观扩散系数(ADC)与Huvos分级显著相关,而软组织成分的ADC与Huvos分级无关,提示我们可以通过DWI的ADC值来预测新辅助化疗后的肿瘤坏死。

目前对于肢体软组织肉瘤(STS)合适的监测方法尚未达成共识,随访实践也尚未在大范围内进行。Gorelik在全美范围内回顾性分析3816例肢体软组织肉瘤患者术后随访期间的影像检查频率,结果显示平均加权影像检查次数逐年增长,研究期间的患者年龄、居住地区和死亡结局与随访期间所有影像类型的加权平均值显著相关,这为肢体软组织肉瘤监测提供了参考价值。Sedaghat等回顾性分析STS的MRI影像资料,发现STS形态可提示恶性程度,高级别(G2/3)STS通常表现为多环/多分叶状,而低级别STS(G1)主要为卵圆形/结节状。此外,对条状和多环/多分叶状STS,边界浸润提示其恶性级别更高。因此,MR上STS瘤体形状是一个有价值的影像特征。

在长骨中偶然发现软骨瘤(EC)是就诊骨肿瘤科常见原因之一,Dreier等回顾性分析了一批随访长达10年的EC患者的影像资料,发现46%患者EC大小增加,42%保持稳定,其余减小,随访期间二次手术率仅为8%,提示EC进展缓慢,可将随访间隔从一年或两年延长至数年。Ahlawat等比较了神经纤维瘤病相关型与散发型良性外周神经鞘瘤(PNSTs)的MR定性和定量特征,发现孤立性疼痛、 $T_2$ 信号均匀和沿神经分布的多发性病变是神经纤维瘤病相关型PNSTs的MR特异表现。Castagnoli等运用了Dixon研究乳腺癌、前列腺癌和骨髓瘤的活动性骨病变的相对脂肪分数,并与正常骨髓相比较。相对脂肪分数为:纯脂肪图像/(纯脂肪图像+纯水图像) $\times 100\%$ 。结果显示与正常骨髓相比,恶性肿瘤活动性骨病变的相对脂肪分数较低。

多发性骨髓瘤(MM)的影像诊断研究。Torkian等系统回顾了DWI在MM诊断、分期和治疗反应评估方面的原始研究资料,发现DWI对MM的诊断具有高敏感度,与传统MRI相比,DWI提供的信息是MM预后的独立保护因素,ADC值变化对预测治疗有无反应者表现出高灵敏度和特异度。这可以帮助临床医生选择更合适的治疗策略。Toslak等通过评估内脏脂肪(SAT)和皮下脂肪(VAT)CT成像,发现SAT、SAT/VAT面积与MM的疾病分期密切相关,溶骨性病变患者的VAT面积明显较低,SAT的CT衰减较高。Kim等回顾性分析了361例MM患者的腹部CT图像,发现肌肉密度减少是MM压缩性骨折

的独立风险因素,同时也是 MM 患者的生存因素。

Gupta 等研究评估了骨肿瘤报告和数据库系统 (OT-RADS),采用 WHO 分类,对各种良性和恶性骨肿瘤进行评估。MRI 分类为:OT-RADS 0-不完全成像;OT-RADS I-阴性;OT-RADS II-绝对良性;OT-RADS III-可能为良性;OT-RADS IV-可疑恶性或不确定;OT-RADS V-高度提示恶性肿瘤;OT-RADS VI-已知活检证实的恶性肿瘤或复发性恶性肿瘤。阅片者间 OT-RADS 分类一致性和肿瘤良恶性分类一致性良好,单个瘤体特征评分一致性差。OT-RADS 分类系统的敏感度和特异度高,可被放射医师用于指导患者管理,改善多学科沟通。

### 肌肉肌腱

Tobaly 等比较传统开放式松解手术和超声引导下开窗手术对慢性肱骨外上髁病 (CLE) 的治疗效果,评估总伸肌腱和桡侧副韧带复合体 (CET-RCL) 术后超声参数的时间依赖性变化。结果显示与开放式松解手术相比,超声引导的开窗手术仅引起肌腱结构的微小改变,而且能更快地改善其力学性能。Zadeh 等系统性回顾经皮超声引导下针式肌腱切开术 (PUNT) 治疗慢性肌腱病的相关原始资料,发现 PUNT 可显著改善慢性顽固性肌腱病变的疼痛和功能评分,在短期随访期间,其改善更为显著。PUNT 被认为是治疗慢性肌腱病变合适的非手术方法。

MRI 仅限于评估肌肉形态和结构损伤程度。康复过程和重返赛场则由运动医学专家单独决定。Yel 等对非接触性腓绳肌损伤的男性足球运动员进行受伤初期、受伤后 3 周和 6 周进行三次扩散张量成像 (DTI) 和体格检查。结果显示受伤后 6 周内,DTI 参数显示 FA、trace 和 ADC 值发生显著变化。FA 值是愈合过程的最早指标。腓肌腱 (PT) 在质子密度加权成像上通常为中等至高信号强度,类似于肌腱炎。Hansford 回顾性分析了不同年龄段的膝关节 MRI 影像资料,结果显示 PT 的大小和条纹数与年龄呈正相关,同时与 OA 严重程度也呈正相关。如果怀疑 MRI 上的 PT 有异常病变,应结合临床资料以避免过度诊断。

Getzmann 等以多点 Dixon MR 测量为参考,比较非对比 CT 和 MR 成像序列 (2pDixon, TRUFI) 对下脊柱肌肉组织脂肪分数的测量。结果显示非对比 CT 测量与肌肉脂肪分数高度相关,而 2pDixon 和 TRUFI 只对肌肉脂肪分数低的患者具有可靠的价值。Hao 等回顾性分析了双侧多裂肌脂肪浸润的原因。发现腰椎神经根受压与多裂肌脂肪化的程度相关。这种相关性支持神经根压迫会导致各种肌肉脂肪转化增加的假

设。Yi 等研究股直肌 (RF) 剪切波弹性成像 (SWE) 超声检查的可靠性,并与 CT 测量结果相比较,结果表明,SWE 测量结果 (硬度与剪切波速度) 与超声图像视觉等级评估中度相关,与 CT 肌肉密度相关性不强。肌肉 SWE 可以检测到肌肉退变的早期变化。

Aivazoglou 回顾性分析了肢带型肌营养不良 R1 型 (LGMDR1) 的全身 MRI 影像资料,总结发现的特异性 MR 影像表现:脊旁肌群受累程度存在一个内外侧梯度,越靠近外侧受累程度越重;受累肌群的条纹状征象“假胶原征”;下肢 MR 评分与下肢功能 GMW 量表之间的强相关性,上肢 MR 评分与上肢功能 Brooke 量表之间存在中度相关性。Serrano 等对疑似神经丛病变患者进行定量 MRI (qMRI) 检查,并与常规 MRI 和肌电图检查相比,qMRI 采用 T<sub>2</sub>-mapping 和 DTI 序列,结果显示 T<sub>2</sub> 值和基于 DTI 的表面纤维直径 (AFD) 与肌电图严重程度等级相关,未来的工作将涉及随访成像,分析其他解剖结构和疾病进程,并通过人体肌肉活检验证 AFD 指标。

### 骨质、骨髓、软骨

骨密度及骨质疏松方面的影像诊断研究。老年女性患骨质疏松和脆性骨折的风险高于男性。关于老年男性骨髓成分变化的研究信息很少,Chan 等对 120 名不同年龄段的健康志愿者行磁共振常规和动态增强扫描 (DCE-MRI) 以及双能 X 射线吸收法 (DXA) 扫描,测量了椎体骨密度、质子密度脂肪分数 (PDFF) 和灌注参数。结果显示,在椎体骨髓灌注和骨髓脂肪与骨密度的关系上,绝经后女性与男性表现不同。灌注参数 E<sub>max</sub> 是唯一能同时检测男女骨骼老化的测量指标。

Wang 等使用双能 CT 虚拟平扫 (VNC) 技术定量评估骨密度和骨质疏松程度,并与 QCT 比较。结果表明,VNC 不仅可以提供腹部疾病的诊断信息,其腰椎椎体 CT 衰减还能可靠地评估骨密度,可作为 QCT 的有益补充。Gruenewald 等研究表明,基于腰椎双能 CT (DECT) 材料分解技术得出的无体模小梁骨密度 (BMD),可准确预测高危患者骨质疏松相关骨折 2 年内的发病风险。Li 等回顾性研究表明,腰椎和髌部骨密度 (BMD) 之间的 T 评分不一致可能会影响患者的治疗计划,在 T 评分不一致的情况下,放射医师应考虑其他部位的 BMD 的测量,如前臂骨密度测量,以提高骨质疏松症的诊断。

Foti 等以 MRI 为参考,评估双能量 CT 对下肢骨髓炎骨髓水肿 (BME) 的诊断效能,结果显示骨髓炎 DECT 成像质量好,并可获得高分辨率骨窗图像等额外的骨骼信息。Saththianathan 等研究表明,双能 CT

虚拟去钙化成像(VNC)联合骨和软组织重建技术,对骨髓炎的诊断具有高的敏感度和特异度。Shaikh 回顾性分析研究表明,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 检查在评估创伤患者中轴骨和附肢骨慢性感染方面具有高敏感度和特异度,可精确定位感染灶的解剖位置和代谢特征。

鉴别骨骺应力损伤(PSI)和 Salter-Harris 骨折(SHF)有时很困难,Mutasa 等回顾性分析了 SHF 和 PSI 的 MRI 影像资料,发现软骨膜破坏为 SHF 的特异征象,可作为鉴别 SHF 与 PSI 的诊断标准,但完整的软骨膜并不能排除骨折存在。Lee 等通过对 23 例骨关节炎患者随访研究发现,磁共振指纹打印技术(MRF)可显示正常软骨、受损软骨和滑液随疾病进展的时间变化。

同种异体骨软骨移植适用于软骨损伤的特定病例,MRI 是一种无创、客观、可重复性的监测工具,用于软骨修复术后评估。Tintaya 等研究表明,骨软骨同种异体移植的 MRI 评分系统(OCAMRISS)是一种有用的、客观的、可重复的、无创的监测工具,可用于同种异体骨软骨移植术后评估。

## 新技术

Baffour 等比较光子计数探测器 CT(PCD-CT)与传统能量聚集 CT(EID-CT)在肩部或骨盆成像差异,结果显示 PCD-CT 能够更好地显示肩部和骨盆/髋部的关键结构。PCD-CT 剂量比 EID-CT 剂量低 25%~47%,并具有高空间分辨力。Persson 等研究表明,与标准 CT 相比,PCD-CT 能够以更高空间分辨力显示种植体-骨界面,可以更清楚地看到骨小梁附着于种植体或骨水泥表面。Kammerling 等研究表明,腕部 PCD-CT 与常规 CT 相比,尽管更锐利的重建会带来更高的图像噪声,但仍能很好的显示小梁骨,这是由于探测器有着更高的剂量效率,允许更薄的切片厚度和 2048×2048 像素的图像大矩阵。Rajendran 等比较 PCD-CT 和 EID-CT 对腕部和踝部成像差异,结果显示与 EID-CT 相比,PCD-CT 的容积 CT 剂量指数(CTDIvol)较低,空间分辨力较高且关键结构图像质量较优。PCD-CT 更好地显示关节内气体、软骨下骨折、小梁结构、舟状骨囊性变化和跖骨假关节。Popp 等研究表明,光子计数 CT 单能量重建显著减少了金属伪影,并且随着 KeV 的增高,金属伪影减少,图像质量更高。

GRAPPATINI 是一种广义自动校准部分并行采集(GRAPPA)与 T 和 M 快速定量(MARTINI)联合的模型,使用高度欠采样的 K 空间数据。Raudner 等比较 GRAPPATINI 与常规 T<sub>2</sub>WI TSE 腰椎 MR 图像质量,结果表明,GRAPPATINI 对比度(CR)较常规

T<sub>2</sub> 序列偏高,且对比度噪声比(CNR)偏小;对腰椎退变 Pfirrmann 分级,两者有很高的一致性;GRAPPATINI 可以提供具有诊断性能的 T<sub>2</sub> 加权图像,并且可以减少临床常规中 T<sub>2</sub>-mapping 的额外时间成本。Fayad 等研究表明,各向同性 3D T<sub>2</sub> CAIPIRINHA SPACE MRI 提供了比传统 2D T<sub>2</sub> TSE MRI 更高的空间分辨力和更快的采集时间,对软组织肿瘤影像诊断性能相当。

Sueoka 等开发了一种新的 MR 技术,3T 核磁共振扫描仪(TRILLIUM OVAL, FUJIFILM Healthcare Corp.),扫描参数为 TR 12 ms,TE 反相位 6.1 ms,同相位 7.3 ms,翻转角 40°,带宽 150 kHz,FOV 20 cm×20 cm,采集矩阵 360,层厚和层间距 1.5 mm;激励次数 1。对体模扫描中,MRI 的空间分辨力高于 CT。骨结构显示能力方面,MRI 与 CT 相当。

Wisikin 等开发了一种无创、廉价且快速的肌肉组织超声速值(SOS)的精确成像方法,该方法采用基于卷积神经网络的三维容积成像算法,其速度比已发表的相关方法快 64 倍,并且允许骨骼存在的情况下进行肌肉组织的定量测量。对 MR 信号缺乏的组织类型(外侧副韧带、骨膜、股二头肌和髌腱)仍可定量成像,分辨率可达亚毫米级。

大多数以前的机器人远程超声系统设计仅用于腹部和产科检查。Adams 等开发和评估了用于骨肌超声检查的机器人远程超声系统,可以实现骨肌超声检查的远距离进行。放射医师和志愿者使用体验满意度高,机器人图像和传统图像的解剖结构可视程度相似,增加了农村和偏远社区患者的超声检查机会。Subhas 等创建、实施并验证了一个自动化系统,该系统为每位放射医师提供术前膝关节 MRI 结果和术后结果,并允许放射医师快速查看图像,提高诊断水平,同时可为研究和教育提供数据集。

## 深度学习及影像组学

随着计算机硬件性能的提高及人工智能技术的爆炸性增长,深度学习及影像组学在骨骼肌肉方向的研究日益增长,主要范畴包括图像分割、疾病分类、图像去噪、加速重建、数据分析与临床预测等。

肩关节、腕关节:大多数基于深度学习的模型都使用单视图的图像进行训练,这与临床实践不符。Sung 等开发和评估一种适用于手部 X 光片骨折检测的卷积神经网络(CNN)多视图模型。模型架构中采取了自适应池化层进行特征聚合,允许模型接收大小可调的输入图像,结果显示具有多视图输入的深度学习模型在发现骨折方面表现出比传统单视图输入模型更

好的性能。Nakaura 等比较压缩感知(CS)联合深度学习重建(DLR)方法与传统小波去噪方法改善肩部各种常规序列 MRI 噪音方面的性能,结果表明,与小波去噪方法相比,DLR-CS 可以改善肩部 STIR、 $T_1$ WI 和  $T_2$ WI 的图像质量。

**髋关节:**股骨假体下沉是全髋关节置换术(THA)后不良结局之一,测量假体下沉是一个繁琐且容易产生测量误差的过程。Rouzrokh 等开发了基于 Unet 架构的深度学习模型,该模型可自动分割股骨和假体,分割结果可用于股骨假体下沉的计算,并与骨科医师手动测量结果相比较,结果显示深度学习模型测量结果符合率高,很少出现有临床意义的测量误差。Meier 开发和验证了一种基于髋部三维磁共振关节造影(MRA)的全自动髋臼唇分割的深度学习(DL)方法,并与手动分割相比,发现使用深度学习(DL)可准确分割髋臼唇,有助于在大样本数据集中实现髋臼唇的全自动分割。

**脊柱:**DL 图像重建在显著加速图像采集的同时,可能降低 MRI 图像质量。Sun 等比较在使用和不使用深度学习重建(DLRecon)技术下腰椎 MR 图像质量的差异,发现 DLRecon 技术可缩短重建时间并且保持良好的图像质量。Herrmann 等使用新开发的基于 DL 模型的脊柱  $T_1$  和  $T_2$  加权成像加速技术,与标准成像相比,DL 模型加速技术能够改善图像噪声,并允许采集时间减少 75%,同时保持良好的图像质量和诊断信心,提示 DL 技术可能为超快速脊柱 MRI 奠定基础。Choi 等开发了一种基于自编码 CNN 架构的深度学习模型,可以有效地减少术后脊柱 CT 中的金属伪影和噪声。

**膝关节:**Yoon 等使用基于 CNN 的深度学习模型,在膝关节 X 线平片实现膝骨关节炎 Kellgren Lawrence(KL)的自动分级。该模型具有较高的符合率,相关数据来自骨关节炎倡议(OAI)。Kang 等开发了基于膝关节侧位片的深度学习模型,可以用于急性前交叉韧带(ACL)撕裂的诊断,具有较高的符合率,可作为 ACL 撕裂的有效筛查工具,便于早期诊断和及时处理。

**足踝:**Ryu 等开发了用于足部畸形诊断的级联神经网络模型,该模型可从足部侧立位平片自动识别解剖标志并对足部畸形进行分类。与经验丰富放射医师相比,年轻医生在人工智能(AI)帮助下也能很好地识别解剖标志。Zeng 等评估了联合 AI 和压缩感知技术(ACS)的足部 Dixon 快速扫描,发现 Dixon ACS 可以大大缩短扫描时间,提高图像质量,并在一定程度上减少图像运动伪影。

**肌肉肌腱、身体成分:**Boutin 等使用商业化、基于

CNN 的全自动分割软件(DAFS 3.0, Voronoi Health Analytics)对 CT 图像分别采用传统二维面积法和新的三维体积法分割肌肉和脂肪组织,结果显示两者测量结果高度一致,表明 CT 上肌肉和脂肪组织的全自动 3D 分割越来越可行,并为与生物老化相关的机会性生物标记物测量提供了另一个维度。Glaser 等基于基线和随访的全身双能 X 线吸收法(TBDXA)图像,结合传统死亡风险因素,采用深度学习预测全因死亡率,发现 TBDXA 提供的相关身体成分信息超出了传统风险因素的反映能力,人体成分随时间的变化比孤立数据点更能预测死亡率。常规胸部 CT 的身体成分分析可以为肺癌患者的术前风险评估提供信息, Bridge 等开发了一个基于常规胸部 CT 的深度学习模型,该模型可全自动选择特定胸椎层面,分割相应层面的肌肉和脂肪组织并进行定性定量分析。

**骨折:**Regnard 等比较放射医师判读和 AI 在四肢和骨盆骨折检测中的表现,结果显示与年轻放射医师相比,AI 发现额外 26% 的骨折,放射科医生结合 AI 判断骨折性能最佳。Lee 等研究表明,基于 CNN 算法的腰椎 X 线片和相关信息对骨质疏松性压缩性骨折的预测优于传统的骨折风险评估工具(FRAX)。

**骨质疏松:**虽然双能 X 线吸收法(DEXA)可定量测量骨密度(BMD),但 DEXA 图像没有提供其他更多的诊断信息。Mutasa 等利用 CNN 模型从髋部 X 线平片中预测骨密度类型,该模型利用基于焦点损失原理 CNN 分割 Ward 三角,后对分割结果进行骨密度类型分类,具有较高的敏感度和符合率。Song 等开发了基于 Unet 网络架构的深度学习模型,可以在全身 CT 图像上对腰椎进行自动体积分割和标记,所测腰椎 CT 衰减与 DXA 平均骨密度(aBMD)有很好的相关性,在检测骨质疏松方面具有很高的敏感度和特异度。Wang 等基于腰椎双能 CT 单色成像的影像组学特征和临床资料特征,构建骨质疏松预测模型,结果显示包含或不包含临床特征的影像组学模型预测符合率高,可作为骨质疏松症预测的有用工具。

**肿瘤:**长骨非典型软骨瘤(ACT)和 G2 软骨肉瘤(CS2)分别采用刮除/观察保守治疗和广泛切除治疗,术前由于影像表现不易区分或活检取样存在差错,给术前诊断带来困扰。Gitto 基于术前  $T_1$ WI MRI 的影像组学特征,采用极端随机树分类模型,对长骨 ACT 和 CS2 进行分类,训练和测试数据来自两个不同中心,结果显示机械学习模型具有较高的符合率。软组织肉瘤(STS)切除术后仍有较高的复发率,而传统的预后因素预测不够准确。Wang 等建立了基于 MRI 资料的影像组学深度学习模型,用于预测 STS 术后复发,与传统的预测因素相比较,影像组学深度学习模型

表现出较高的符合率,可对患者的风险水平进行分层。Yin 等基于三维 CT 的影像组学特征和深度学习方法预测盆腔和骶骨肿瘤术中大出血发生率,与单纯影像检查相比,影像组学特征结合临床特征更好地预测术中大出血发生率。该学者另一项研究中,采用基于临床影像组学特征的随机森林方法建模,在骨盆和骶骨肿瘤良恶性分类和肿瘤类型多分类方面表现出高敏感度和符合率,有助于临床决策。Liu 等开发和验证了一种基于多模型加权融合策略的深度学习方法,在组织学类型复杂的脊柱良恶性肿瘤 MRI 图像集上有效地识别病灶并进行良恶性分类,比放射医师和骨科医生具有更高的诊断符合率与更快的效率。

**骨科植入物:**人工智能算法已证明能够在 X 线照片上准确、快速地识别骨科植入物,但在骨科植入物分类方面未得到系统评估。Yi 等收集 AI 识别和区分特定骨科植入物相关原始资料,荟萃分析结果显示,人工智能算法在识别和区分特定的骨科植入物方面表现出很高的性能,这有助于大规模关节置换登记的规划和管理。

## 其他

Chang 等回顾了 36 例 CT 引导下皮质类固醇注射治疗朗格汉斯组织细胞增生症(LCH)患者的病历资料,发现 CT 引导下皮质类固醇注射治疗 LCH 安全有效,所有患者的疼痛都得到了缓解,影像学显示没有任何患者的疾病在进展,其可作为 LCH 的一线治疗。Shaikh 等研究了全身<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 对结核性关节炎患者疾病程度、疾病负担和抗结核治疗反应评估的可行性,结果显示全身<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 很好的显示所有患者原发灶和原发灶以外的淋巴结病变及有效抗结核治疗前后代谢活性改变。

**代谢性疾病:**Aird 等在 2013 年和 2020 年前后两

个时间点上,评估 DECT 在痛风诊断和治疗中的临床应用差异,发现 2020 年队列中,无法确诊的 DECT 结果和侵入性关节穿刺检查比例较前下降,这得益于 DECT 诊断可信度的明显提高。Soliman 等发现三角肌的定量超声评估对 2 型糖尿病(T2DM)的诊断具有可观的敏感度和符合率,其有望转化为一种专门的、简单的、无创的 T2DM 筛查方法。

**外周神经成像:**股外侧皮神经(LFCN)阻滞术是诊断和治疗感觉异常性股痛(MP)的常用方法,传统上这些手术是在超声或 CT 引导下进行的。然而,股外侧皮神经走行中有几个已知的变异,这些变异在传统的成像方法中难以察觉。Fritz 等前瞻性验证了 3T MR 神经成像引导(MRN<sub>g</sub>)下股外侧皮神经阻滞术诊断和治疗 MP 是安全可靠的,成像高分辨率和高对比率,手术成功率高,治疗效果好,患者满意度高。枕神经痛又称 Arnold's 神经痛,枕神经阻滞是其治疗方式之一。Sambrizzi 等回顾性分析了枕神经痛患者接受超声引导下枕大神经(GON)浸润方法治疗前后的改变,结果显示术后疼痛视觉模拟评分(VSA)降低,颈部残疾指数(NDI)下降,治疗效果的平均持续时间是 3.4 个月,表明超声引导下枕大神经浸润是治疗枕神经痛患者颈痛的一种临时但有效的方法。

Tran 等回顾了机器人辅助下关节置换术术前 CT 图像,发现 51.7% 患者术前 CT 有意外发现,其中一些是有价值的,可能会导致关节置换术的延迟或取消,如果没有发现将会导致灾难性的后果。Hamm 等使用 DECT 技术定量评估雷克斯暴龙左牙化石的骨髓炎改变,骨骼化石的 CT 衰减和基于元素材料分解技术的结果表明,氟可以作为骨髓炎的影像生物标志物,帮助古生物学家在不损害化石完整性的情况下研究化石成分。

(收稿日期:2022-01-07)