

论著·骨肌

光谱CT钙抑制技术与MRI用于诊断膝关节隐匿性骨折效能分析*

黄乐平¹ 梁绍华² 郑莉斯²
刘雅慧¹ 罗慧¹ 杜依芹¹
陈心怡¹ 梁治平^{1,*}

1.广州市红十字会医院放射科

2.广州市红十字会医院骨科

(广东广州 510235)

【摘要】目的 探讨光谱CT(Spectral CT)钙抑制技术(Calcium Suppressed, CaSupp)技术与磁共振成像(MRI)用于诊断膝关节隐匿性骨折效能。方法 选取我院2023年3月至2024年3月收治的42例确诊为膝关节隐匿性骨折的患者,入院当天行DECT与MRI检查,分析CaSupp影像资料,以MRI诊断为“金标准”,评价DECT诊断膝关节隐匿性骨折效能。结果 MRI影像图片显示股骨远端存在78个骨髓损伤部位,胫骨近端存在185个骨髓损伤部位,比较存在显著差异($P<0.05$)。CaSupp影像图片主观评价显示股骨远端存在81个骨髓损伤部位,胫骨近端存在180个骨髓损伤部位;CT差值评价显示股骨远端存在80个骨髓损伤部位,胫骨近端存在183个骨髓损伤部位。以MRI检查为“金标准”,CaSupp影像图片主观评价对膝关节隐匿性骨折的诊断Kappa值为0.849,CT差值评价对膝关节隐匿性骨折的诊断Kappa值为0.913,与MRI检查一致性均较高,且差异有统计学意义($P<0.05$)。结论 DECT CaSupp技术对膝关节隐匿性骨折诊断效能与MRI比较一致性较高,可为临床膝关节隐匿性骨折诊断提供参考。

【关键词】能谱CT; 钙抑制技术; 膝关节; 隐匿性骨折; 磁共振成像

【中图分类号】R683; R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】广州市科技计划项目(2024A03J599)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.051

Efficiency of Spectral CT Calcium Suppressed Technique and MRI in Diagnosing Occult Fracture of Knee Joint*

HUANG Le-ping¹, LIANG Shao-hua², ZHENG Li-si², LIU Ya-hui¹, LUO Hui¹, DU Yi-qin¹, CHEN Xin-yi¹, Liang Zhi-ping^{1,*}.

1.Department of Radiology, Guangzhou Red Cross Hospital, Guangzhou 510235, Guangdong Province, China

2.Department of Orthopedics, Guangzhou Red Cross Hospital, Guangzhou 510235, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the efficiency of Spectral CT Calcium Suppressed (CaSupp) technique and magnetic resonance imaging (MRI) in the diagnosis of occult fracture of knee joint. **Methods** From March 2023 to March 2024, 42 patients with occult fracture of knee joint were selected in the hospital. Spectral CT and MRI were performed on the day of admission. The CaSupp imaging data were analyzed. MRI diagnosis was used as the “gold standard” to evaluate the efficiency of Spectral CT in the diagnosis of occult fracture of knee joint. **Results** MRI images showed that there were 78 bone marrow injury sites in the distal femur and 185 bone marrow injury sites in the proximal tibia ($P<0.05$). The subjective evaluation of CaSupp images revealed that there were 81 bone marrow injury sites in the distal femur and 180 sites in the proximal tibia. CT difference evaluation suggested that there were 80 bone marrow injury sites in the distal femur and 183 sites in the proximal tibia. With MRI examination as the “gold standard”, the Kappa values of subjective evaluation of CaSupp images and CT difference evaluation in the diagnosis of occult fracture of knee joint were 0.849 and 0.913, and the consistency with MRI examination was high ($P<0.05$). **Conclusion** The diagnostic efficiency of Spectral CT CaSupp technique for occult fracture of knee joint is highly consistent with that of MRI, which can provide reference for clinical diagnosis of occult fracture of knee joint.

Keywords: Spectral CT; Calcium Suppressed Technique; Knee Joint; Occult Fracture; Magnetic Resonance Imaging

隐匿性骨折是一种假阴性现象,指在常规X线及CT检查下难以被发现,需经过一段时间或经其他影像学检查才可发现的骨折^[1]。膝关节隐匿性骨折是临床常见的骨折类型,以患处肿胀、疼痛、活动受限等为主要特征,但由于其骨折断裂不明显,位置隐匿,极易造成漏诊和误诊^[2]。磁共振成像(MRI)则在膝关节隐匿性骨折中表现出显著优势,一直被认为是隐匿性骨折诊断的“金标准”,但因检查耗时长,且患肢疼痛不易固定,容易产生运动伪影,继而影响检查效果^[3-4]。光谱CT(spectral CT)钙抑制(CaSupp)技术是近年来兴起的一种新方法,其在骨骼、肌肉等领域具有广泛的应用前景,其优点是能够从解剖结构中减去钙,描绘松质骨和骨髓改变方面,从而可以更好地反映常规CT上无法显示的病变状况^[5-6]。基于此,本研究探讨能谱CT CaSupp技术与MRI用于诊断膝关节隐匿性骨折效能,以为膝关节隐匿性骨折临床诊断提供参考,现将结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取我院2023年3月至2024年3月收治的42例确诊为膝关节隐匿性骨折的患者,男27例,女15例,年龄18~60岁,平均(34.41±5.73)岁。

纳入标准:主诉患侧膝关节肿胀或疼痛,但无畸形、反常活动,且X线检查未发现骨折,疑似膝关节隐匿性骨折;年龄18~60岁;临床资料完整;48小时内进行Spectral CT与MRI检查,且影像资料清晰可用。排除标准:膝关节骨折内固定术后者;孕期妇女;因肿瘤等疾病造成的骨髓损伤者;严重CT与MRI检查禁忌症者。

1.2 方法

1.2.1 DECT检查 采用Philips Hawk Spectral CT机,调节扫描参数为:120KV、172 mAs、DoseRight Index 24、螺距0.4,旋转时间0.4 s,重建层厚1 mm,层间距0.5 mm, iDose4 Level:1患者取仰卧位,采集患侧膝关节部位Spectral CT影像。在完成扫描后得到的SBI数据包影像传输至ItellSpace Portal工作站对影像进行处理和分析,并通过CaSupp处理及其他光谱融合图,得到CaSupp灰阶图和伪彩色图。

1.2.2 MRI检查 采用Siemens Lumina 3.0T MR扫描仪,膝关节线圈专用线圈。患者取仰卧位,对患者行患侧膝关节横断面、冠状面、矢状面质子密度加权成像压脂(重复时间/回波时间:3500 ms/40 ms,层厚/间距:3 mm/0.5 mm)及矢状面T1WI(重复时间/回波时间:70 ms/10 ms,层厚/间距:3 mm/0.5 mm)扫描。

1.2.3 影像结果 由固定的两名经验丰富的影像学医师采用双盲法阅片,意见不统一时,共同探讨得出结论。将膝关节胫骨近端与股骨远端分别分为6个部分,以MRI诊断为“金标准”,出现以下情况定义为膝关节周围骨髓损伤:患侧骨质内出现斑片状或细条片

【第一作者】黄乐平,男,副主任医师,主要研究方向:心脑血管疾病磁共振和CT影像学表现。E-mail: 3053532274@qq.com

【通讯作者】梁治平,女,主任医师。主要研究方向:影像诊断。E-mail: h33081974@126.com

状T2压脂高或略高信号，以及T1低或略低信号。在冠状位或矢状位，测量正常区域和受伤区域CaSupp后的CT值，并计算出其CT值差值。需注意当感兴趣区 $\geq 20\text{mm}^2$ ，应避免开骨皮质下2mm内，以及存在明显骨质硬化部位。12个部分CT值均测量3次，并取其平均值。

1.3 统计学方法 使用SPSS 20.0软件分析，用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示计量资料，行t检验；用n(%)表示计数资料，行 χ^2 检验，DECT检查诊断膝关节隐匿性骨折与MRI检查的一致性比较采用Kappa检验， $P<0.05$ 表示有统计学意义。

2 结果

2.1 CaSupp与MRI影像图片对膝关节隐匿性骨折诊断结果对比 42例患者均行X线检查、常规CT检查未发现骨折，并均完成Spectral CT与MRI检查。MRI影像图片显示股骨远端存在78个骨髓损伤部位，胫骨近端存在185个骨髓损伤部位，比较存在显著

差异($\chi^2=91.039, P<0.001$)。
CaSupp影像图片主观评价显示股骨远端存在81个骨髓损伤部位，胫骨近端存在180个骨髓损伤部位，表现为黑色背景中的片状边界不清的高密度影；CT差值评价显示股骨远端存在80个骨髓损伤部位，胫骨近端存在183个骨髓损伤部位。具体见表1、2。
2.2 CaSupp影像图片对膝关节隐匿性骨折的诊断效能 以MRI检查为“金标准”，CaSupp影像图片主观评价对膝关节隐匿性骨折的诊断敏感度为92.40%、特异性为92.53%、准确率为92.46%、阳性预测值为93.10%、阴性预测值为91.77%、Kappa值为0.849；CT差值评价对膝关节隐匿性骨折的诊断敏感度为95.82%、特异性为95.44%、准确率为95.63%、阳性预测值为95.92%、阴性预测值为95.44%、Kappa值为0.913；CaSupp影像图片主观评价和CT差值评价诊断结果与MRI检查一致性均较高，且差异有统计学意义($P<0.05$)。见表3。
2.3 典型病例 见图1。

表1 CaSupp影像图片与MRI影像图片对股骨远端骨髓损伤诊断结果对比(n)

CaSupp		MRI检查		合计
		阳性	阴性	
主观评价	阳性	72	9	81
	阴性	6	165	171
	合计	78	174	252
CT差值评价	阳性	75	5	80
	阴性	3	169	172
	合计	78	174	252

表2 CaSupp影像图片与MRI影像图片对胫骨近端骨髓损伤诊断结果对比(n)

CaSupp		MRI检查		合计
		阳性	阴性	
主观评价	阳性	171	9	180
	阴性	14	58	72
	合计	185	67	252
CT差值评价	阳性	177	6	183
	阴性	8	61	69
	合计	185	67	252

表3 CaSupp影像图片对膝关节隐匿性骨折的诊断效能比较(%，n)

组别	敏感度	特异性	准确率	阳性预测值	阴性预测值	Kappa值
主观评价	92.40(243/263)	92.53(223/241)	92.46(466/504)	93.10(243/261)	91.77(223/243)	0.849
CT差值评价	95.82(252/263)	95.44(241/230)	95.63(482/504)	95.92(252/263)	95.44(230/241)	0.913

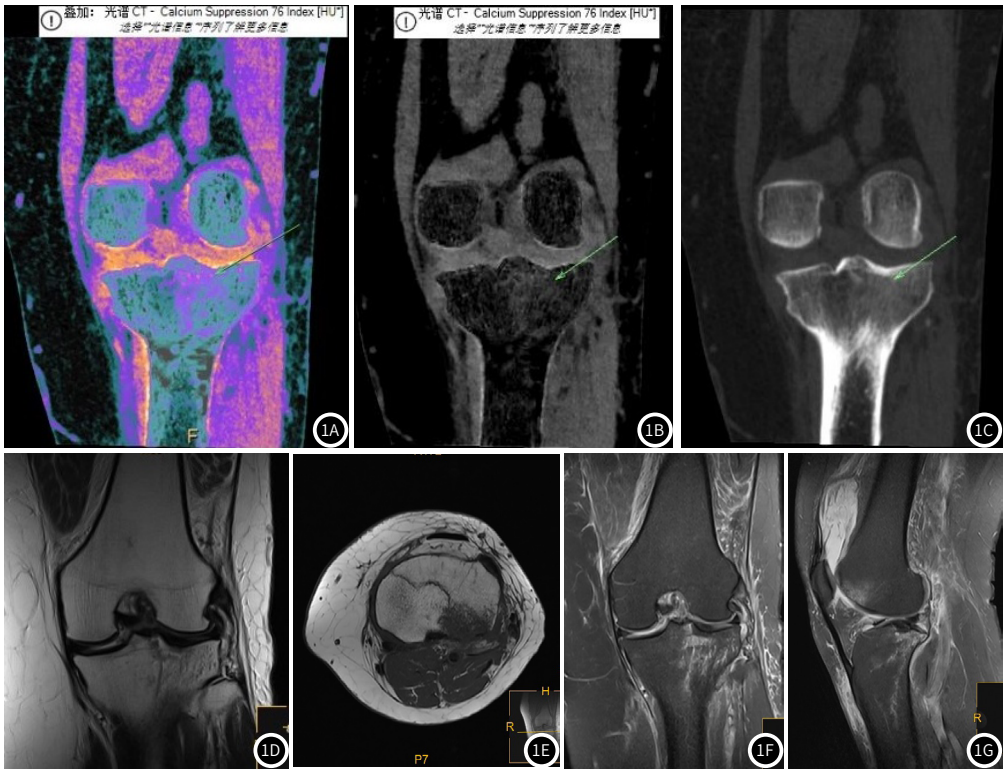


图1A-图1G 膝关节隐匿性骨折患者常规CT、SpectralCT、MRI影像资料。患者：女，63岁，因“车祸外伤”入院，自诉左膝关节痛，检查发现左膝肿胀，活动受限，院后行常规CT、Spectral CT、MRI检查。图1A为冠状位膝关节钙抑制融合图，图中箭头所指胫骨平台髁间窝下方一紫色为隐匿性骨折所在。图1B为钙抑制图，在黑色的胫骨中同样位置有一片白色的高密度影。图1C为正常CT扫描，在同样位置没有看到明显骨折线。图1D为T2矢状位可见胫骨平台中间可见一条纵行于胫骨的低信号骨折线，胫骨平台外侧形态稍变凹陷；图1E为T1横断位，胫骨可见一条低信号骨折线，胫骨外侧靠后方骨髓骨质见低信号片状影；图1F和图1G为质子压脂的冠状和矢状位，可见与胫骨平台后外侧方见大片骨髓高信号片状影。周围软组织可见大片水肿高信号，髌上囊积液，股骨髁前缘亦可可见小片状高信号影。

3 讨论

膝关节是最大也是最复杂的一个人体关节, 由于它的关节表面附着较少的肌肉及软组织, 但却附着有很多的肌腱及韧带, 在外力作用下很容易发生骨折^[7]。膝关节隐匿性骨折又是膝关节骨折中常见的一种类型, 主要表现为局部肿胀、疼痛、活动受限等, 且隐匿性骨折很难在常规X线及CT下发现病理改变, 常提示为阴性, 而造成漏诊、误诊的发生^[8-9]。若因误诊、漏诊而延误治疗, 则会增加患者身心痛苦程度, 降低患者生活质量。因此, 临床亟待寻找一种可高效、准确诊断膝关节隐匿性骨折的影像学方法, 为膝关节隐匿性骨折临床诊断提供参考。

当患者因外伤、膝关节肿胀、疼痛、活动受限等原因入院后, 临床医生首选的检查方式有常规X线、CT等, 而当上述检查均提示阴性, 但患者临床症状较重时, 则需进一步进行MRI检查, 排查隐匿性骨折可能。MRI由于具有较高的分辨率, 可清晰显示病灶部位内外细微变化, 因此被认为是隐匿性骨折的最佳诊断方法^[10]。但有研究提出, MRI检查因禁忌症多、扫描时间长、辐射量大、价格高、预约时间长等因素, 导致在应用方面受限, 不利于急诊开展^[11]。

光谱CT CaSupp技术可以很好地弥补MRI检查的劣势, 在急诊外伤中得到了广泛的应用。光谱CT的扫描速度快, 更便于医生尽快诊断与治疗, 减轻患者痛苦。光谱CT能够利用三物质分离算法, 实现对特定成分的去除, 或对特定成分的量化^[12]。其中CaSupp技术则是将钙、红骨髓和黄骨髓按照一定的比例混合在一起, 粗略地认为这三种物质的混合体就是人类的骨骼^[13]。CaSupp技术的优点是钙的CT值与脂肪的CT值相近, 当病人的骨髓受到损害时, 会出现水肿、出血, 继而使得骨髓的CT值显著增高^[14]。CaSupp技术是一种利用分离算法, 可以直接去除钙离子, 观察到骨髓腔有无出血、水肿等病变, 继而从定性、定量两方面便于医师对病变部位进行直观的判断与分析^[15-16]。

本研究结果显示, 以MRI检查为“金标准”, CaSupp影像图片主观评价对膝关节隐匿性骨折的诊断敏感度为92.40%、特异性为92.53%、准确率为92.46%、阳性预测值为93.10%、阴性预测值为91.77%、Kappa值为0.849; CT差值评价对膝关节隐匿性骨折的诊断敏感度为95.82%、特异性为95.44%、准确率为95.63%、阳性预测值为95.92%、阴性预测值为95.44%、Kappa值为0.913; CaSupp影像图片主观评价和CT差值评价诊断结果与MRI检查一致性均较高, 且差异有统计学意义($P < 0.05$)。说明CT差值定量评价的诊断效能高于影像图片主观评价。在某些病例中, CT差值定量评价有助于显示在视觉评价中表征微妙或模糊的影像学结果^[17]。但仍能发现, CaSupp影像图片主观评价与CT差值评价存在假阳性、假阴性的问题。分析原因为: 随着患者年龄的增长, 膝关节中红骨髓逐渐被黄骨髓代替, 造成钙、红骨髓、黄骨髓比例发生变化, 影响阅片师对影像图片的主观评价, 造成误诊、漏诊发生; 其次, 年龄的改变还会加重膝关节退行变, 造成关节磨损、骨髓慢性水肿等, 也可影响CaSupp影像图片主观评价与CT差值评价结果^[18-20]。因此, 阅片医师的临床检验对诊断结果有重要影响, 应加强阅片医师的实践经验, 减少误判的发生。

综上所述, 光谱CT CaSupp技术对膝关节隐匿性骨折诊断效能与MRI比较一致性较高, 可为临床膝关节隐匿性骨折诊断提供参考。

参考文献

- [1] 周文才, 王世奎, 宣拓. DR片与多层螺旋CT三维重建技术在肋骨隐匿性骨折诊断中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(8): 94-96.
- [2] 李颖, 刘云飞, 李艳茹, 等. 膝关节隐匿性骨折诊断中高场强MRI与MSCT应用价值比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(4): 177-179.
- [3] 陈雅倩, 张卫国, 何博. MRI在膝关节隐匿性骨折诊断中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(5): 154-156.
- [4] Daugaard CL, Riis RG, Bandak E, et al. Perfusion in bone marrow lesions assessed on DCE-MRI and its association with pain in knee osteoarthritis: a cross-sectional study[J]. Skeletal Radiol, 2020, 49(5): 757-764.
- [5] Werner S, Krauss B, Horger M. Dual-energy CT-based bone marrow imaging in multiple myeloma: assessment of focal lesions in relation to disease status and MRI findings[J]. Acad Radiol, 2022, 29(2): 245-254.
- [6] 蒲学佳, 胡元明, 吕涵青, 等. 双能量CT虚拟去钙技术对膝关节隐匿性骨折的诊断价值[J]. 影像诊断与介入放射学, 2020, 29(1): 22-26.
- [7] 李俊, 胡清华, 方民杰. 对比分析MRI与MSCT对膝关节隐匿性骨折的诊断价值[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(7): 117-118.
- [8] 叶清岚, 李晶, 侯金丹, 等. 多层螺旋CT与MRI在膝关节隐匿性骨折伴半月板及韧带损伤中的诊断比较[J]. 中国骨伤, 2022, 35(10): 967-970.
- [9] 朱亚敏, 殷向辉, 朱昕怡, 等. CT与MRI扫描三维重建在四肢骨关节隐匿性骨折诊断中的应用[J]. 现代生物医学进展, 2020, 20(22): 4344-4347, 4278.
- [10] 刘超, 成永忠, 张伟, 等. 拟X线, MRI及MSCT 3D技术联合诊断在膝关节骨折Lauge-Hansen分型中的临床应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(8): 149-151.
- [11] 张宪臣, 张付龙, 高荣基. 能谱CT对骨质疏松性椎体压缩骨折的诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39(3): 446-449.
- [12] 黄聪, 张恒胜, 周兴顺, 等. 双能CT的VNCa技术在军事训练导致急性膝关节骨挫伤诊断中的应用价值[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36(4): 412-414.
- [13] 沈瑞, 吴胤贺, 李玲, 等. 双能量CT虚拟去钙技术对髌膝关节炎骨髓水肿的诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39(4): 621-625.
- [14] 杨淑辉, 李天然, 卢品, 等. 双能CT的虚拟去钙技术对非创伤性股骨头坏死周围骨髓水肿的检出价值[J]. 中华医学杂志, 2024, 104(7): 533-539.
- [15] 王爽, 范晓飞, 张卜天, 等. 常规CT联合虚拟去钙技术诊断早期股骨头坏死的可行性研究[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(1): 136-140.
- [16] Deppe D, Ziegeler K, Hermann KGA, et al. Dual-energy-CT for osteitis and fat lesions in axial spondyloarthritis: how feasible is low-dose scanning? [J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(4): 776.
- [17] 尉晓珊, 刘俊谷. 双能量CT虚拟去钙在骨髓病变中的应用进展[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(3): 526-529.
- [18] 束玲玲, 张发平, 戴春宏, 等. 双能量CT虚拟去钙技术对不同经验医师诊断椎体新鲜骨折的价值[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(3): 454-458.
- [19] 何绪成, 叶菊, 周闪闪, 等. 双能CT虚拟去钙技术在踝关节处骨髓水肿中的诊断价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(4): 169-172.
- [20] 陈亚龙, 肖新广, 上官建伟. 磁共振FLAIR-FS序列成像在诊断早期膝关节滑膜炎中的应用研究[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(4): 92-94.

(收稿日期: 2024-04-30)
(校对编辑: 韩敏求)