

论 著

人工智能CT在骨质疏松性椎体压缩性骨折诊断及骨折程度评估中的应用*

高姣静 郑 飞* 任聪慧

赵 博 苏 明

石家庄市第三医院医学影像中心
(河北 石家庄 050011)

【摘要】目的 探讨人工智能电子计算机断层扫描(CT)在骨质疏松性椎体压缩性骨折(OVCF)诊断及骨折程度评估中的应用价值。**方法** 纳入石家庄市第三医院2021年9月-2022年10月因怀疑OVCF需CT扫描的骨质疏松患者220例作为研究对象,患者CT扫描后进行磁共振成像(MRI)检查。以MRI检查结果作为金标准,明确患者OVCF阴性及压缩性骨折Denis分型情况,分析人工智能CT在OVCF诊断及骨折程度评估中的应用价值。**结果** MRI检查结果显示,220例疑似OVCF患者中确诊为阳性179例,占81.36%;阴性41例,占比18.64%。以MRI检查结果为金标准,经Kappa一致性度量,常规CT检查诊断OVCF阴性结果与MRI诊断结果的一致性一般(Kappa=0.612, $P<0.001$);人工智能CT检查诊断OVCF阴性结果与MRI诊断结果的一致性较好(Kappa=0.793, $P<0.001$)。人工智能CT检查诊断OVCF阴性的准确度、灵敏度均高于常规CT检查($P<0.05$)。以MRI检查结果为金标准,常规CT对OVCF患者Denis分型评估的准确率为77.85%(123/158),经Kappa一致性度量,常规CT评估OVCF Denis分型与MRI检查结果的一致性一般(Kappa=0.711, $P<0.001$);人工智能CT对OVCF患者Denis分型评估的准确率为88.82%(151/170),经Kappa一致性度量,常规CT评估OVCF Denis分型与MRI检查结果的一致性较好(Kappa=0.852, $P<0.001$)。**结论** 人工智能CT检查诊断OVCF结果与MRI诊断结果的一致性较好,较常规CT检查,人工智能CT检查诊断OVCF有更高的灵敏度、准确度;同时,人工智能CT对OVCF骨折程度也有较好的鉴别价值。

【关键词】 骨质疏松性椎体压缩性骨折;
电子计算机断层扫描; 人工智能;
骨折程度; 诊断

【中图分类号】R318

【文献标识码】A

【基金项目】石家庄市科学技术研究与发展计划项目(211460713)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.09.050

Application of Artificial Intelligence CT in the Diagnosis and Assessment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures*

GAO Jiao-jing, ZHENG Fei*, REN Cong-hui, ZHAO Bo, SU Ming.

The Third Hospital of Shijiazhuang, Shijiazhuang 050011, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of artificial intelligence electronic computed tomography (CT) in the diagnosis and assessment of osteoporotic vertebral compression fractures (OVCF). **Methods** A total of 220 osteoporosis patients suspected of needing CT scan for OVCF at the Third Hospital of Shijiazhuang from September 2021 to October 2022 were included as the study subjects. After CT scan, magnetic resonance imaging (MRI) was performed on the patients. The results of MRI examination were used as the gold standard to clarify the Denis classification of OVCF and compression fractures, and to analyze the application value of artificial intelligence CT in the diagnosis of OVCF and the evaluation of fracture degree. **Results** The MRI examination results showed that among 220 suspected OVCF patients, 179 were confirmed as positive, accounting for 81.36%. 41 cases were negative, accounting for 18.64%. With the results of MRI examination as the gold standard, the Kappa consistency measurement showed that the consistency between the results of conventional CT examination in the diagnosis of OVCF and the results of MRI diagnosis was general (Kappa=0.612, $P<0.001$). The consistency between the positive and negative results of artificial intelligence CT examination and MRI diagnosis of OVCF was good (Kappa=0.793, $P<0.001$). The accuracy and sensitivity of artificial intelligence CT examination in diagnosing OVCF positivity were higher than those of conventional CT examination ($P<0.05$). MRI examination results were used as the gold standard, the accuracy of conventional CT in evaluating the Denis classification of OVCF patients was 77.85% (123/158). According to Kappa consistency measurement, the consistency between conventional CT evaluation of OVCF Denis classification and MRI examination results was average (Kappa=0.711, $P<0.001$). The accuracy of artificial intelligence CT in evaluating the Denis classification of OVCF patients was 88.82% (151/170). According to Kappa consistency measurement, the consistency between conventional CT evaluation of OVCF Denis classification and MRI examination results was good (Kappa=0.852, $P<0.001$). **Conclusion** The consistency between the results of artificial intelligence CT examination in diagnosing OVCF and MRI diagnosis is good. Compared with conventional CT examination, artificial intelligence CT examination has higher sensitivity and accuracy in diagnosing OVCF. At the same time, artificial intelligence CT also has good diagnostic value for the degree of OVCF fracture.

Keywords: Osteoporosis Vertebral Compression Fracture; Electronic Computed Tomography; Artificial Intelligence; Degree Of Fracture; Diagnosis

骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCF)是骨折疏松患者腰椎椎体受外界冲击并发的一种腰椎椎体骨质压缩性断裂,可导致患者脊柱畸形、残疾甚至病死^[1]。OVCF诊断可通过影像学检查实现,磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)具有较高的软组织分辨率及空间分辨率,其结果可作为OVCF诊断金标准^[2]。但MRI价格昂贵、耗时长,且不适用于部分患有幽闭恐惧症以及体内有顺磁性物质的患者,应用受限。电子计算机断层扫描(computed tomography, CT)是诊断骨折的重要影像学技术,但因主客观因素的影响仍有漏诊或误诊风险^[3-4]。近年来,由于深度学习技术强大的非线性特征表征能力被挖掘,基于深度学习的人工智能胸部CT在肺结节检查、肋骨骨折等多个医学领域开始普及,且被证实可提高医师的工作效率并提高诊断准确度^[5-6]。外科手术是治疗OVCF的主要手段,经皮穿刺椎体成形术、经皮椎体球囊后凸成形术均是治疗OVCF的经典微创手术,可增强患者椎体刚度,维护患者腰椎生理功能,而及时鉴别诊断OVCF骨折程度对手术的选择有指导意义^[7-8]。基于上述背景,本研究将人工智能应用于OVCF诊断,重点观察人工智能CT检查在OVCF诊断及骨折程度评估中的价值,以期在保持或提高诊断准确率的基础上提高医师工作效率。具示如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 纳入石家庄市第三医院2021年9月至2022年10月因怀疑OVCF需CT扫描的患者220例作为研究对象。

入选标准: 纳入标准: 骨密度检查显示患者骨密度T值 <-2.5 ; 年龄 ≥ 18 岁; 有脊柱外伤史,存在胸腰椎疼痛症状; 患者神志清晰,情绪稳定,可配合本次试验。排除标准: 存在CT、MRI检查禁忌症; 合并胸廓畸形或全身多发性骨折; 合并脊柱先天畸形、脊髓神经损伤; 既往有陈旧性骨折史或病理性骨折史; 于本院就诊前接受手术治疗。220例患者中男89例,女131例; 年龄61-74岁,平均(68.45 $\pm$ 2.33)岁; 体重指数21.04-

【第一作者】高姣静,女,主治医师,主要研究方向:医学影像诊断。E-mail: gaojiaoing0514@163.com

【通讯作者】郑 飞,女,硕士研究生,主治医师,主要研究方向:医学影像诊断。E-mail: hbxztzhf@126.com

26.24kg/m²; 平均(23.38±0.67)kg/m²; 受伤原因: 跌伤99例, 高处坠落80例, 交通事故41例。患者均签署研究知情同意书。

1.2 检查方法 常规CT检查: 仪器选用飞利浦公司生产的Brilliance 64排128层CT扫描仪。协助患者取仰卧位, 去除患者身体上的金属物品以减少伪影, 嘱患者将双手置于头顶, 以头先进的方式进入CT机; 设置参数(管电压120kV, 管电流280mAs, 扫描层厚5.0mm, 薄层层厚0.625mm, 窗宽85cm, 窗位40HU, 矩阵512×512), 开始CT检查, 扫描范围: 胸12椎体上缘至骶1椎体下缘。由两名放射科医师(分别有6年和8年工作经验)采用双盲法在规定10min内完成阅片, 最后商议确定患者OVCF发生情况以及压缩性骨折Denis分型情况^[9]。

人工智能CT检查: 常规CT检查完后将符合数字影像和通信标准DICOM3.0标准的CT图像导入人工智能系统后, 对图像进行后处理及分析, 输出OVCF区域, 并做出标记。由相同的两名放射科医师在人工智能系统辅助下采用双盲法在规定10min内完成阅片, 最后商议确定患者OVCF发生情况以及压缩性骨折Denis分型情况(两名医生人工智能CT检查阅片均经过培训, 且有一定工作经验)。

患者CT检查完成后择期1周内进行多序列MRI检查, 并以MRI检查结果为金标准(T₁WI显示正常的高信号椎体被低信号水肿所取代, T₂WI显示高信号水肿存在于整个椎体中, STIR序列可见椎体断裂, 高信号, 椎旁软组织与硬膜外软组织有肿块且伴有强化), 比较常规CT检查、人工智能CT检查对OVCF诊断准确度以及对骨折程度(骨折分型)的评估价值。

1.3 统计学处理 采用SPSS 25.0 分析数据。计数资料以n(%)描述, 采用 χ^2 检验; 符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)描述; 采用Kappa进行一致性检验, Kappa<0.4, 一致性较差; 0.4≤Kappa<0.75, 一致性一般; Kappa≥0.75时一致性较好。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 常规CT、人工智能CT检查诊断OVCF结果 MRI检查结果显示, 220例疑似OVCF患者确诊为阳性179例, 占81.36%; 阴性41例, 占比18.64%。

以MRI检查结果为“金标准”, 经Kappa一致性度量, 常规CT检查诊断OVCF与MRI诊断结果的一致性一般(Kappa=0.612, P<0.001); 人工智能CT检查诊断OVCF与MRI诊断结果的一致性较好(Kappa=0.793, P<0.001), 见表1。

2.2 常规CT、人工智能CT检查对OVCF的诊断价值比较 以MRI结果为金标准, 人工智能CT检查诊断OVCF阴阳性的准确度、灵敏度均高于常规CT检查(P<0.05)。见表2。

2.3 常规CT、人工智能CT检查评估OVCF Denis分型结果比较 MRI结果显示OVCF Denis A型40例、B型45例、C型39例、D型55例(合计179例)。以MRI结果为“金标准”, 纳入常规CT、人工智能CT检出的阳性OVCF患者为分析对象, 常规CT检出阳性OVCF 158例, 其对OVCF患者Denis分型评估的准确率为77.85%(123/158), 经Kappa一致性度量, 常规CT评估OVCF Denis分型与MRI检查结果的一致性一般(Kappa=0.711, P<0.001), 见表3; 人工智能CT检出阳性OVCF 170例, 其对OVCF患者Denis分型评估的准确率为88.82%(151/170), 经Kappa一致性度量, 人工智能CT评估OVCF Denis分型与MRI检查结果的一致性较好(Kappa=0.852, P<0.001), 见表4。人工智能CT对OVCF患者Denis分型评估的准确率高于常规CT检查, 差异有统计学意义($\chi^2=7.173$, P=0.007)。

2.4 病例影像征象特点分析 OVCF骨折患者CT和MRI影像学征象均以辐条车轮状高密度征、椎旁软组织影、骨质破坏、骨膜反应为主, 见图1、图2。

表1 常规CT、人工智能CT检查诊断OVCF结果(n)

MRI检查结果	常规CT检查结果			人工智能CT检查结果		
	阳性	阴性	合计	阳性	阴性	合计
阳性	153	26	179	167	12	179
阴性	5	36	41	3	38	41
合计	158	62	220	170	50	220

表2 常规CT、人工智能CT检查对OVCF的诊断价值比较(% , n)

项目	准确度	灵敏度	特异度
常规CT检查	86.91(189/220)	85.47(153/179)	87.80(36/41)
人工智能CT检查	93.18(205/220)	93.30(167/179)	92.68(38/41)
χ^2	6.215	5.770	0.139
P	0.013	0.016	0.710

表3 常规CT检查评估OVCF Denis分型结果(n)

常规CT检查						
结果	MRI检查结果					合计
	A型	B型	C型	D型	-	
A型	32	4	2	0	0	38
B型	4	36	0	2	0	42
C型	4	5	30	3	0	44
D型	0	0	4	25	5	34
-	0	0	0	0	0	0
合计	40	45	36	32	5	158

注: -表示非OVCF, 为假阳性病例。

表4 人工智能CT检查评估OVCF Denis分型结果(n)

人工智能CT						
检查结果	MRI检查结果					合计
	A型	B型	C型	D型	-	
A型	36	2	1	0	0	39
B型	2	40	0	1	0	43
C型	2	3	36	3	0	44
D型	0	0	2	39	3	44
-	0	0	0	0	0	0
合计	40	45	39	43	3	170

注: -表示非OVCF, 为假阳性病例。



图1A-图1B CT矢状位影像：图1A 腰2椎体骨折；图1B 腰1椎体骨折。

图2A-图2B MRI矢状位T2加权序列影像：图2A 腰2椎体骨折；图2B 腰1椎体骨折。

图3A-图3B MRI矢状位压脂序列影像：图3A 腰2椎体骨折；图3B 腰1椎体骨折。

3 讨论

骨折疏松患者骨密度和骨质量下降，骨微结构遭到破坏，遭受外界暴力后容易发生骨折，常见骨折部位包括椎体、腕部、桡骨远端、肱骨近端和骨盆等，其中OVCF是骨质疏松症的严重后果，多见于重度骨质疏松患者^[10-11]。重度骨质疏松一旦发生骨折，患者愈合能力差，若错过最佳治疗时间还容易罹患骨折缺血性坏死，严重影响日常生活能力^[12-13]。多层螺旋CT检查现已广泛用于椎体骨折的诊断，较胸部X线平片、传统的CT平扫具有更高的分辨率，后期可对图像重建，能够为椎体压缩性骨折提供较为丰富的影像学信息^[14-15]。人工智能和计算机视觉不断发展，推动了深度学习技术在医学图像分析以及数字医学领域中的应用进程，为放射科医师解读图像的效率、准确性提供了新的途径^[16-17]。因此，考虑将人工智能CT检查应用于OVCF中或可获得较好的诊断价值。

本研究结果发现，以MRI检查结果为金标准，经Kappa一致性度量，人工智能CT检查诊断OVCF阴阳性结果与MRI诊断结果的一致性较好，诊断OVCF的准确度、灵敏度均高于常规CT检查，这说明在人工智能辅助下胸部CT检查对OVCF有较高的诊断效能。分析可能的原因：本研究所用的人工智能软件经过深度学习本身即对OVCF具有较高的诊断效能，可准确标记骨折部位，其充当的第1阅片者可快速帮助医师筛选出可疑病灶，筛选出高危患者；在医师阅片后可进行二次验证，有助于避免医师漏诊一些轻微骨折病灶^[18]。同时，人工智能CT检查优化了信息系统流程，其检查结果会自动生成结构化报告，医师可将结构化报告与临床信息系统整合，对OVCF阴阳性诊断准确度较独立阅片有明显提升^[19]。

不同的骨折分型对应着不同的骨折程度，本研究进一步观察常规CT、人工智能CT检查评估OVCF Denis分型情况，结果显示，以MRI结果为“金标准”，经Kappa一致性度量，人工智能CT评估OVCF Denis分型与MRI检查结果的一致性较好，对OVCF患者Denis分型评估的准确率为88.82%，高于常规CT的77.85%，表明人工智能辅助下的CT检查对鉴别OVCF骨折程度也有较好的应用价值。在临床诊断中，相当一部分OVCF患者的椎骨形态上形变程度较小，检查期间可能出现误诊或漏诊，需要对椎体形态进行十分精确的分割，以辅助医师评估诊断。但手动分割耗时耗力，且缺乏统一的分割标准，同时由于患者正常和病理间的解剖变异性、个体椎骨形态间的重复性、图像采集的参数差异性的存在，导致医师分节段分割椎体存在较大难度^[20-21]。而人工智能CT通过深度学习获取的人体椎骨多类别分割算法，内容涉及CT图像预处理、多尺度椎体损伤生成对抗网络、多尺度自引导注意网络，可大幅提高椎骨分割的精度，取得极具竞争力的椎骨识别率，继而降低临床医师工作量，提高对OVCF骨折分型评估的准确性^[22]。

综上所述，在人工智能辅助下进行CT检查可有效检出OVCF，较常规CT检查具有更高的灵敏度、准确度；且人工智能CT对鉴别患者OVCF骨折程度也有较好的评估能力。

参考文献

- [1] Liu B, Sun C, Xing Y, et al. Intervertebral bridging ossification after percutaneous kyphoplasty in osteoporotic vertebral compression fractures [J]. World Neurosurg, 2019, 127 (12): 633-636.
- [2] 高炳俊, 吴树华. 依据术前MRI信号特点指导穿刺在治疗骨质疏松性椎体压缩骨折中的应用 [J]. 临床骨科杂志, 2023, 26 (6): 770-773.
- [3] 陈前程. 骨质疏松性椎体压缩骨折SPECT-CT及MRI的对比分析 [J]. 河北医学, 2019, 25 (4): 539-542.
- [4] 刘婷, 何炜, 刘倩, 等. MRS与18F-FDG PET/CT显像对骨质疏松与转移性椎体压缩性骨折的鉴别诊断 [J]. 医学影像学杂志, 2020, 30 (5): 834-838.
- [5] 曹孟昆, 姜杰, 朱晓雷, 等. 人工智能肺结节辅助诊疗系统预测肺结节的良恶性及浸润情况 [J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2021, 28 (3): 283-287.
- [6] 李秀涛, 谭理连, 邱绍清, 等. 人工智能在早期胸部CT肋骨骨折的临床应用价值及局限性分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (10): 115-118.
- [7] 刘宇文, 杨陈一, 杨强. 胸腰椎椎体骨质疏松性骨折Denis分型对经皮椎体成形术的疗效影响 [J]. 山西医药杂志, 2018, 47 (16): 1931-1934.
- [8] 郝润松, 霍天宇, 徐晓倩, 等. 3种方式球囊经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折疗效比较 [J]. 实用放射学杂志, 2021, 37 (4): 637-640, 644.
- [9] 吴伟, 曾文, 汪琳休, 等. 后路内固定融合术治疗Denis不同分型胸腰椎压缩性骨折的疗效分析 [J]. 西部医学, 2017, 29 (1): 113-116.
- [10] Lee B J, Koo H W, Yoon S W, et al. Usefulness of trabecular ct attenuation measurement of lumbar spine in predicting osteoporotic compression fracture: is the L4 trabecular region of interest most relevant? [J]. Spine, 2021, 46 (3): 175-183.
- [11] 田烨, 袁秋文, 胡梁深. 骨质疏松椎体压缩性骨折患者术后再骨折的风险列线图构建与验证 [J]. 实用医学杂志, 2023, 39 (18): 2294-2299.
- [12] 张军, 刘培太, 吴硕柱. 骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折PKP术后再骨折危险因素分析 [J]. 蚌埠医学院学报, 2019, 44 (8): 1056-1059.
- [13] 刘军, 薛刚, 汪鑫, 等. 预后营养指数、骨密度、骨水泥分布指数对骨质疏松性压缩性骨折椎体成形术后邻近椎体再骨折的预测价值 [J]. 皖南医学院学报, 2023, 42 (1): 46-49.
- [14] 马利锋, 王之平, 冷永新. 多层螺旋CT及容积再现后处理成像技术在诊断腰椎压缩性骨折中的价值分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17 (4): 137-139.
- [15] 苑乐添, 王艺霖, 林祥涛. 多层螺旋CT与MRI在腰椎压缩性骨折诊断中的应用分析 [J]. 医学影像学杂志, 2023, 33 (11): 2070-2073.
- [16] 辛小燕, 张帅, 蒋宛平, 等. 基于深度学习的胸部平片人工智能自动诊断模型的设计及研究 [J]. 实用放射学杂志, 2020, 36 (5): 822-825.
- [17] 梁洁, 孙金磊, 李梦远, 等. 基于深度学习人工智能辅助系统用于CT检出肋骨新鲜骨折 [J]. 中国介入影像与治疗学, 2023, 20 (9): 555-560.
- [18] 刘想, 谢辉辉, 许玉峰, 等. 人工智能在胸部创伤肋骨骨折CT诊断中应用的初步研究 [J]. 上海交通大学学报(医学版), 2021, 41 (7): 920-925.
- [19] 韩起, 朱丽娜, 刘想, 等. 基于U-Net实现前列腺MR图像上腺体的自动分割和径线测量: 临床植入验证研究 [J]. 放射学实践, 2020, 35 (4): 519-524.
- [20] 鹿静雅, 伍志发, 刘梦秋, 等. 基于卷积神经网络的胸部薄层CT图像肋骨骨折分割与检测研究 [J]. 临床放射学杂志, 2023, 42 (6): 996-1002.
- [21] Suri A, Jones B C, Ng G, et al. A deep learning system for automated, multi-modality 2D segmentation of vertebral bodies and intervertebral discs [J]. Bone, 2021, 149 (25): 115972.
- [22] Vania M, Mureja D, Lee D. Automatic spine segmentation from CT images using convolutional neural network via redundant generation of class labels [J]. J Comput Des Eng, 2019, 6 (2): 224-232.

(收稿日期: 2024-03-04)

(校对编辑: 姚丽娜)