

论 著

骨质疏松症患者定量CT特征与骨折风险的关系*

成 维^{1*} 伍文俊¹ 濮 羽²

1.海安市中医院放射科

2.海安市中医院骨科(江苏 海安 226600)

【摘要】目的 探讨分析骨质疏松症(OP)患者定量计算机断层扫描(QCT)特征与骨折风险的关系。**方法** 回顾性选取2021年1月至2024年4月海安市中医院收治的100例OP患者,根据是否发生骨折分为骨折组(n=37)和未骨折组(n=63),所有患者均进行QCT检查,检测对比两组定量参数[骨密度值(BMD)、皮质骨厚度(CTh)、骨小梁厚度(Tb.Th)、骨小梁间隙(Tb.Sp)、骨小梁体积分数(BV/TV)],并记录两组骨折风险评估软件(FRAX)概率, Pearson相关性分析QCT定量参数与FRAX概率的关系,受试者工作曲线(ROC)分析QCT定量参数对OP患者骨折发生的评估价值。

结果 骨折组BMD、CTh、Tb.Th、BV/TV均低于未骨折组, Tb.Sp高于未骨折组($P<0.05$)。骨折组患者FRAX概率高于未骨折组($P<0.05$)。Pearson相关性分析显示, FRAX概率均与BMD、CTh、Tb.Th、BV/TV呈负相关,与Tb.Sp呈正相关($P<0.05$)。ROC分析显示, BMD、CTh、Tb.Th、Tb.Sp、BV/TV及联合检测评估骨折的曲线下面积(AUC)分别为0.789、0.776、0.752、0.735、0.712和0.922($P<0.05$)。**结论** QCT 定量参数在OP骨折患者中异常改变,可用于早期预测OP患者骨折风险,指导临床对高危人群进行监测和预防。

【关键词】 骨质疏松症; 定量计算机断层扫描; 定量参数; 骨折风险

【中图分类号】 R683

【文献标识码】 A

【基金项目】 南通市科技计划指导性项目(MS220182)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.01.047

Relationship between Quantitative CT Characteristics and Fracture Risk in Patients with Osteoporosis*

CHENG Wei^{1*}, WU Wen-jun¹, PU Yu².

1.Department of Radiology, Hai'an Traditional Chinese Medicine Hospital, Hai'an 226600, Jiangsu Province, China

2.Department of Orthopedics, Hai'an Traditional Chinese Medicine Hospital, Hai'an 226600, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the relationship between quantitative computed tomography (QCT) characteristics and fracture risk in patients with osteoporosis (OP). **Methods** A total of 100 patients with OP admitted to the hospital were retrospectively enrolled between January 2021 and April 2024. According to presence or absence of fracture, they were divided into fracture group (n=37) and non-fracture group (n=63). All patients underwent QCT, and quantitative parameters [bone mineral density (BMD), cortical thickness (CTh), trabecular thickness (Tb.Th), trabecular separation (Tb.Sp), bone trabecular volume/total volume (BV/TV)] in the two groups were compared. The probability of fracture risk assessment tool (FRAX) was recorded. The relationship between QCT quantitative parameters and FRAX probability was analyzed by Pearson correlation analysis, and evaluation value of QCT quantitative parameters for fracture occurrence in OP patients was analyzed by receiver operator characteristic curve (ROC). **Results** BMD, CTh, Tb.Th and BV/TV in fracture group were lower than those in non-fracture group, while Tb.Sp was higher than that in non-fracture group ($P<0.05$). The probability of FRAX in fracture group was higher than that in non-fracture group ($P<0.05$). Pearson correlation analysis showed that probability of FRAX was negatively correlated with BMD, CTh, Tb.Th and BV/TV, while positively correlated with Tb.Sp ($P<0.05$). ROC analysis showed that area under the curve (AUC) values of BMD, CTh, Tb.Th, Tb.Sp, BV/TV and combined detection for evaluating fracture occurrence were 0.789, 0.776, 0.752, 0.735, 0.712 and 0.922, respectively ($P<0.05$). **Conclusion** QCT quantitative parameters have abnormal changes in patients with OP and fractures, which can be applied to predict early fracture risk and guide clinical monitoring and prevention of high-risk groups.

Keywords: Osteoporosis; Quantitative Computed Tomography; Quantitative Parameter; Fracture Risk

骨质疏松症(osteoporosis, OP)是一种全身性骨骼疾病,其特征为骨量减少、骨微结构破坏,导致骨骼脆性增加,骨折风险显著上升^[1]。据相关报道显示^[2], OP患者骨折发病率呈显著上升趋势,已成为我国中老年群体的常见骨折类型,不仅严重影响患者的生活质量,还带来沉重的社会和经济负担。因此,早期识别OP患者的骨折风险,对临床制定有效的预防和干预措施尤为重要。定量计算机断层扫描(quantitative computed tomography, QCT)作为一种先进的成像技术,能够在不增加额外辐射剂量的情况下,提供骨密度(bone mineral density, BMD)及骨微结构的详细信息^[3]。与传统的双能X线吸收法(dual energy x-ray absorptiometry, DXA)相比, QCT能够提供三维立体的BMD信息,精准地选择性测量骨骼中代谢活跃、对骨强度变化敏感的松质骨,更准确地反映骨量的细微变化,且不受周围软组织及骨骼几何形态的干扰,在骨折风险预测方面展现出较高的准确性与可靠性^[4-5]。已有研究证实^[6], QCT有助于预测绝经后女性发生股骨近端骨折的风险。但关于QCT与OP患者骨折风险关系的研究报道仍较为缺乏。因此,本研究旨在探讨OP患者QCT特征与骨折风险的关系,以期为今后临床评估骨折风险提供新的思路与方向。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性选取2021年1月至2024年4月海安市中医院收治的100例OP患者,根据是否发生骨折分为骨折组(n=37)和未骨折组(n=63)。

纳入标准: 均符合OP诊断标准^[7],且DXA测得的T值 $\leq -2.5SD$;骨折组符合相关诊疗标准^[8],并经影像学检查和临床症状确诊为骨折;临床资料完整者;年龄 ≥ 40 岁。排除标准: QCT检查禁忌症者;恶性肿瘤者;严重肝肾功能障碍者;入组前(3个月内)服用过影响骨代谢者;其他骨代谢疾病者; QCT检查图像质量不佳者。此次研究经本院伦理委员会批准,取得患者知情同意。

1.2 方法 (1)QCT: 所有患者入院均接受QCT检查(PHILIPS公司的Brilliance ICT型128排螺旋CT)。排空膀胱,去除金属物品,扫描前进行QCT体模校准。患者取仰卧位,扫描范围从髂嵴至股骨小转子下方水平,扫描参数:层厚1mm,重建层厚1 mm,电压120kV,电流100mA,标准算法重建。扫描完成后将获得的原始图像上传至CTpro V6.1工作站进行多平面重建,生成横断面、冠状面和矢状面图像的三维图像重建,在股骨头、股骨颈、股骨粗隆间等部位分别划定感兴趣区域(region of interest, ROI),尽量选取骨小梁集中且避开骨皮质的区域。使用软件的BMD测量功能,测量 ROI 内的 CT值,

【第一作者】 成 维,男,主治医师,主要研究方向: 骨关节及血管影像诊断。E-mail: chengwei8504@163.com

【通讯作者】 成 维

通过与体模校准曲线对比, 换算得到BMD, 单位为 mg/cm^3 , 取所有ROI测量的平均值作为每例患者的BMD。在股骨的横断面图像上, 选择股骨颈、股骨干等部位, 通过软件的测量工具, 沿着骨皮质的内、外边缘绘制测量线, 测量皮质厚度(cortical thickness, CTh); 在已分割出的股骨骨小梁区域, 利用软件的骨小梁分析模块, 通过特定的算法识别和追踪骨小梁结构, 测量骨小梁厚度(trabecular thickness, Tb.Th)、骨小梁间隙(trabecular separation, Tb.Sp)(相邻骨小梁之间的平均距离), 并计算骨小梁体积分数[骨小梁总体积(bone trabecular volume, BV)/股骨区域总体积(total volume, TV)], 均测量3次取平均值。

(2)骨折风险评估软件(fracture risk assessment Tool, FRAX): 登陆网站 $\text{frax.shef.ac.uk/frax/?lang=en}$ 进入FRAX软件, 选择中国模式, 填写相应内容, 计算十年内主要部位OP骨折发生概率。

1.3 观察指标 (1)对比骨折组和未骨折组患者QCT定量参数(BMD、CTh、Tb.Th、Tb.Sp、BV/TV)水平及FRAX概率差异; (2) Pearson相关性分析QCT定量参数与FRAX概率的关系; (3)受试者工作曲线(receiver operator characteristic curve, ROC)分析QCT定量参数对OP患者骨折发生的评估价值。

1.4 统计学处理 双人核对进行本研究数据库构建, 利用SPSS 29.0软件对本研究数据进行统计学分析, 计量资料经检验后满足正态分布, 以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示, 行t检验, 计数资料, 以 $[n(\%)]$ 表示, 行 χ^2 检验, Pearson相关性分析相关性, ROC曲线分析评估价值, 均以 $P < 0.05$ 提示有统计学意义。

2 结果

2.1 两组基线资料对比 两组基线资料对比无差异($P > 0.05$), 见表1。

表1 两组基线资料对比[n(%)]

资料	骨折组(n=37)	未骨折组(n=63)	t/ χ^2	P
年龄(岁)	62.74±3.08	61.86±2.75	1.477	0.143
性别			2.7836	0.098
男	21(56.76)	25(39.59)		
女	16(43.24)	38(60.32)		
体质量指数(kg/m^2)	21.23±0.84	21.54±0.91	1.691	0.094
吸烟史	23(62.16)	35(55.56)	0.418	0.518
饮酒史	19(51.35)	31(49.21)	0.043	0.836
合并基础病				
高血压	11(29.73)	22(34.92)	0.284	0.594
糖尿病	13(35.14)	18(28.57)	0.469	0.493
高血脂	8(21.62)	14(22.22)	0.005	0.944

2.2 两组QCT定量参数对比 骨折组BMD、CTh、Tb.Th、BV/TV均低于未骨折组, Tb.Sp高于未骨折组($P < 0.05$), 见表2。

2.3 两组患者FRAX概率对比 骨折组患者FRAX概率为 $(8.16 \pm 1.34)\%$, 高于未骨折组的 $(5.07 \pm 1.21)\%$ ($t=11.847, P < 0.05$)。

2.4 QCT定量参数与FRAX概率的相关性 Pearson相关性分析显示, FRAX概率均与BMD、CTh、Tb.Th、BV/TV呈负相关, 与Tb.Sp呈正相关($P < 0.05$), 见表3。

表2 两组QCT定量参数对比

组别	BMD(g/cm^3)	CTh(mm)	Tb.Th(μm)	Tb.Sp(μm)	BV/TV(%)
骨折组(n=37)	63.74±5.19	1.06±0.27	154.37±23.06	618.40±52.61	17.29±2.14
未骨折组(n=63)	81.52±4.67	1.84±0.43	179.34±17.12	571.75±50.39	21.63±2.08
t	17.636	9.932	6.178	4.398	9.967
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表3 QCT定量参数与FRAX概率的相关性

QCT定量参数	FRAX概	
	r	P
BMD	-0.452	<0.001
CTh	-0.367	<0.001
Tb.Th	-0.384	<0.001
Tb.Sp	-0.403	<0.001
BV/TV	0.431	<0.001

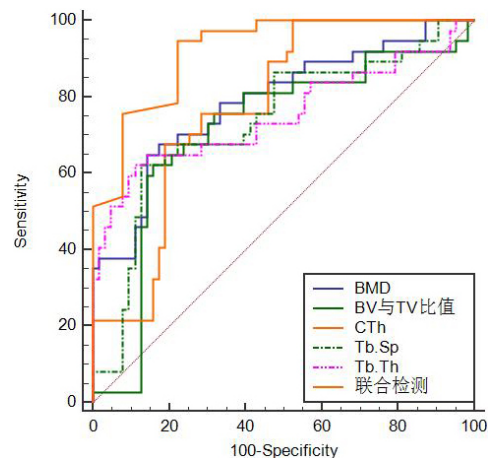


图1 QCT定量参数评估OP患者骨折发生的ROC曲线。

2.5 QCT定量参数对OP患者骨折发生的评估价值 将入组对象QCT定量参数作为检测变量, 将患者是否发生骨折作为状态变量(1=骨折, 0=未骨折), 绘制ROC曲线, 结果显示, BMD、CTh、Tb.Th、Tb.Sp、BV/TV及联合检测诊断骨折的曲线下面积(area

under the curve, AUC)分别为0.789、0.776、0.752、0.735、0.712和0.922($P < 0.05$), 见表4、图1。

2.6 典型图像 骨折与未骨折患者典型图像见图2。

表4 QCT定量参数评估OP患者骨折发生的ROC特征

定量参数	AUC	灵敏度(%)	特异度(%)	截断值	95%CI	P
BMD	0.789	64.86	85.71	$\leq 74.83 \text{ g/cm}^3$	0.695~0.864	<0.001
CTh	0.776	67.57	80.95	$\leq 1.27\text{mm}$	0.682~0.854	<0.001
Tb.Th	0.752	62.16	88.89	$\leq 155.92\mu\text{m}$	0.655~0.833	<0.001
Tb.Sp	0.735	62.16	87.30	$> 603.38\mu\text{m}$	0.638~0.819	<0.001
BV/TV	0.712	62.16	84.13	$\leq 17.54\%$	0.613~0.798	<0.001
联合检测	0.922	94.59	77.78	-	0.851~0.966	<0.001

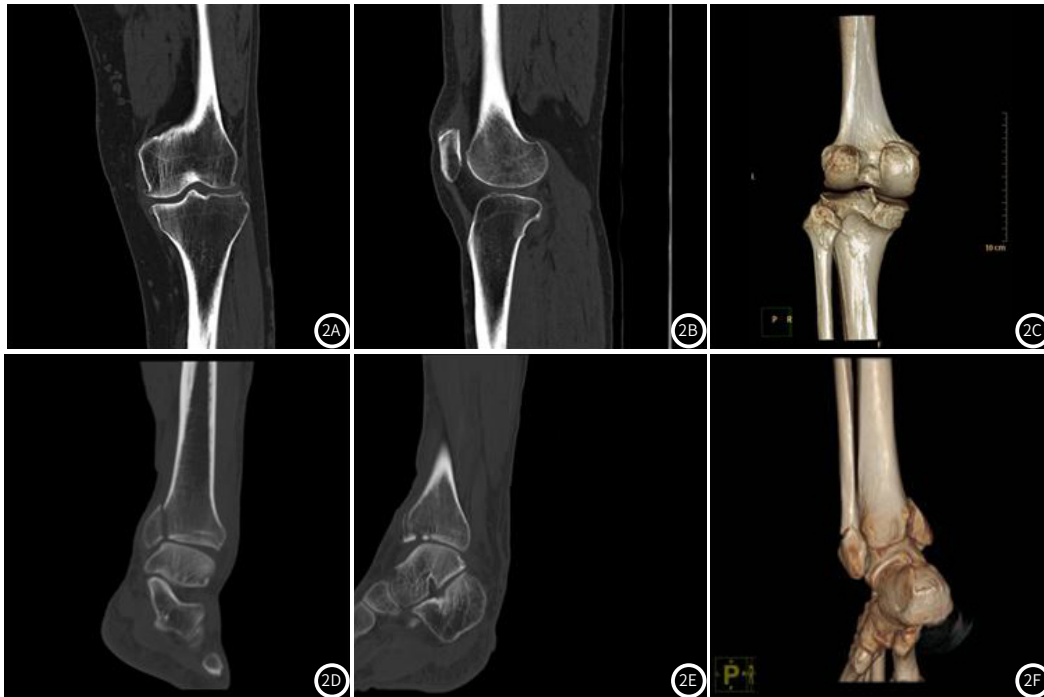


图2 典型图像。图2A~2C: 膝关节冠状位、矢状位、三维重建图像, 膝关节未见明显骨折; 图2D: 踝关节冠状位, 内踝骨折(胫骨远端); 图2E: 踝关节矢状位, 胫骨远端前缘骨折; 图2F: 踝关节三维重建图像, 胫骨远端骨折。

3 讨论

OP作为一种常见的全身性骨骼疾病, 已然成为全球公共健康领域的重大挑战。随着我国人口老龄化进程的加速, 其患病率呈逐年上升趋势。据2018年中国OP流行病学调查结果显示^[9], 我国50岁以上人群OP患病率高达19.2%, 其中女性更为突出, 患病率达到32.1%, 严重威胁国人健康。由于OP患者骨量减少和骨组织显微结构退化, 使得骨骼力学性能显著降低, 从而增加了骨折风险。骨折作为OP最为严重的并发症, 不仅给患者本人带来难以忍受的疼痛、行动受限, 甚至残疾等身体上的折磨, 还会引发一系列如肺部感染、深静脉血栓等危及生命的并发症, 严重降低患者的生活质量, 同时也给家庭和社会造成沉重的经济负担^[10-11]。因此, 早期准确识别OP患者的骨折风险, 进而实施针对性的预防和干预措施, 对于降低骨折发生率、改善患者预后以及减轻社会医疗负担均具有至关重要的现实意义。

影像学检查仍为目前临床诊断骨折的主要手段, 其中QCT因其独特优势近年受到广泛关注, 其核心原理是基于X线对不同组织的衰减特性差异, 实现对骨骼内部结构与成分的精准量化分析, 从而

精准反映骨骼内矿物质含量的细微变化。此外QCT是BMD容积测量方法, 避免了影像的重叠, 且不受脊柱退变和侧弯的影响, 更能准确、敏感地反映BMD变化情况^[12]。大量研究表明^[13-15], QCT对OP的诊断具有突出的优势和良好的性能。但关于QCT特征与OP患者骨折风险的关系尚未完全明晰。因此本研究深入探讨了二者之间的内在联系, 结果显示骨折组BMD、CTh、Tb.Th、BV/TV均低于未骨折组, Tb.Sp高于未骨折组, 提示OP骨折患者QCT定量参数存在异常改变, 表现为BMD降低, 骨小梁间隙增加、厚度变薄, 皮质骨厚度变薄, 骨体积分数下降。分析原因为: BMD作为反映骨骼健康状态的关键量化指标, 在骨折风险评估中占据核心地位。体积骨密度, 以 mg/cm^3 为单位, 聚焦于单位体积内骨矿物质的实际含量, 更能直观的反映出骨骼强度与韧性^[16]。当BMD降低时意味着单位体积内的骨矿物质含量减少, 使得骨骼在面对日常应力或轻微外力冲击时, 更易发生骨折。王敏等^[17]研究也指出, 低水平BMD的OP患者腰椎骨折发生风险较高, 本研究观点与之高度契合, 证实了BMD与骨折风险关系密切。骨微结构作为骨骼力学性能的重要基石, 亦

与骨折风险息息相关。CTh、Tb.Th、Tb.Sp、BV/TV均为反映骨微结构的重要指标,其中CTh即皮质骨厚,作为骨骼抵御外力的重要屏障,其厚度减少意味着骨骼的整体强度和刚度下降^[18]。当皮质骨变薄时,骨骼对外力的抵抗能力降低,在承受轴向压力、弯曲力等常见外力时,更容易发生变形和断裂,增加骨折风险。Tb.Th、Tb.Sp分别代表骨小梁厚度与骨小梁间隙,骨小梁作为骨内主要的承重结构,其厚度变薄和间隙增大均会导致骨强度下降,增加骨折易感性。BV/TV反映了骨体积分数,当其水平下降时,综合体现了骨量减少与骨小梁结构退化,这不仅意味着骨骼的实体物质减少,而且骨小梁的排列和连接方式也遭到破坏,进一步增加了骨折的易感性。郑飞等^[19]研究也指出,OP椎体骨折患者CTh、Tb.Th、BV/TV下降,Tb.Sp升高,本研究结果与其基本一致。

FRAX作为评估骨折发生概率的系统软件,其概率越高骨折发生风险亦越高。本研究中显示,骨折组患者FRAX概率高于未骨折组,且Pearson相关性分析也显示,FRAX概率均与BMD、CTh、Tb.Th、BV/TV呈负相关,与Tb.Sp呈正相关,这一结果表明随着BMD的降低和骨微观结构的恶化,FRAX概率相应提高,反映出骨折风险显著增加。最后在ROC分析结果中也显示BMD、CTh、Tb.Th、Tb.Sp、BV/TV及联合检测评估骨折的AUC分别为0.789、0.776、0.752、0.735、0.712和0.922,进一步强调了QCT定量参数在评估OP患者骨折风险中的重要性,提示通过QCT检查可为OP患者骨折风险的评估提供有力依据。

综上所述,QCT定量参数与OP患者骨折风险有关,临床可通过测量定量参数早期评估OP患者骨折风险。本研究局限性在于:回顾性研究且样本量有限,可能会导致研究结果存在偏倚性,今后仍需开展多中心、大样本的前瞻性研究以进一步验证QCT特征与骨折风险之间的关系。

参考文献

- [1] Imamudeen N, Basheer A, Iqbal AM, et al. Management of osteoporosis and spinal fractures: contemporary guidelines and evolving paradigms [J]. Clin Med Res, 2022, 20 (2): 95-106.
- [2] Zhou J, Liu B, Qin MZ, et al. Fall prevention and anti-osteoporosis in osteopenia patients of 80 years of age and older: a randomized controlled study [J]. Orthop Surg, 2020, 12 (3): 890-899.
- [3] Pu X, Liu B, Wang D, et al. Opportunistic use of lumbar computed tomography and magnetic resonance imaging for osteoporosis screening [J]. Osteoporos Int, 2024, 35 (9): 1625-1631.

- [4] Yuan Y, Zhang P, Tian W, et al. Application of bone turnover markers and DXA and QCT in an elderly Chinese male population [J]. Ann Palliat Med, 2021, 10 (6): 6351-6358.
- [5] 马惠悦, 夏晶晶. 老年骨质疏松性骨折患者定量CT法骨密度测量值及血清BALP、IGF1、25(OH)D3水平检测意义 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (11): 164-166.
- [6] 仲玉侨, 王植, 孟祥虹, 等. 应用定量CT探讨绝经后女性股骨近端骨折的危险因素 [J]. 放射学实践, 2022, 37 (12): 1568-1572.
- [7] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2017) [J]. 中华内分泌代谢杂志, 2017, 33 (10): 890-913.
- [8] 中华医学会骨科学分会骨质疏松学组. 骨质疏松性骨折诊疗指南 [J]. 中华骨科杂志, 2017, 37 (1): 1-10.
- [9] 国家卫生健康委员会官网. 国家卫生健康委发布首个中国骨质疏松症流行病学调查结果 [J]. 人口文摘, 2018 (11): 55-56.
- [10] 付银锋, 史栋梁, 马永胜, 等. 骨质疏松症外周血miR-141评价骨折风险的价值 [J]. 实用医学杂志, 2023, 39 (4): 447-450.
- [11] Mahjabin A, Islam MT, Siddiq MAB, et al. Calculated fracture risk among hypertensive and non-hypertensive osteoporotic women [J]. Mymensingh Med J, 2024, 33 (3): 882-887.
- [12] 张雪琴, 胡吉学, 高伟, 等. 重庆北碚地区中老年人群的定量CT骨密度与脆性骨折评价 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27 (6): 803-807.
- [13] Zou D, He X, Shang Z, et al. Osteoporosis screening using QCT-based cutoff value of Hounsfield units in patients with degenerative lumbar diseases [J]. Eur Spine J, 2024, 33 (12): 4499-4503.
- [14] 李凯, 陈捷, 赵林芬, 等. 中国人群定量CT(QCT)脊柱骨密度正常参考值的建立和骨质疏松症QCT诊断标准的验证 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25 (9): 1257-1262, 1272.
- [15] 王盟盟, 张磊, 周风云, 等. 双层光谱CT、QCT及DXA在骨质疏松诊断中的精确性与效能比较 [J]. CT理论与应用研究, 2024, 33 (6): 717-724.
- [16] 杨海青, 李海波, 张瑞, 等. 定量CT骨性影像学参数和骨密度对胸腰椎骨折患者PVP术后继发骨折的预测效能 [J]. 临床误诊误治, 2024, 37 (9): 78-83.
- [17] 王敏, 王龙胜, 陈磊. 骨质疏松症患者腰椎骨折预测模型的构建 [J]. 天津医药, 2024, 52 (7): 766-769.
- [18] Li S, Yao Q, Li Y, et al. To evaluate the value of vertebral body cortical thickness in predicting osteoporosis by opportunistic CT [J]. Acad Radiol, 2024, 1 (4): 1491-1500.
- [19] 郑飞, 赵博, 高姣静, 等. 人工智能CT定量参数预测骨质疏松性椎体骨折预后的价值 [J]. 临床误诊误治, 2023, 36 (3): 134-138.

(收稿日期: 2025-03-13)
(校对编辑: 赵望淇)