

双能X线骨密度测定法与腰椎CT诊断在骨质疏松患者功能锻炼指导中的应用研究

张翠猛 王玉 王小影 李大全 郭敬然

【摘要】 目的 探讨双能X线骨密度测定法(DXA)与腰椎CT对骨质疏松症(OP)及其并发症的诊断价值,并评估其在康复锻炼指导中的应用效果。方法 选取2020年1月至2022年1月本院收治的OP及其并发症患者147例作为研究对象,男64例,女83例,年龄(66.49±5.58)岁。根据有无骨质疏松症并发症,将所纳受试者分成对照组(单纯OP患者73例)和观察组(OP合并并发症者74例),两组均予以DXA和腰椎CT检查,观察并比较两种检测方法诊断骨质疏松症及其并发症的患病率。将观察组74例患者随机分为DXA指导组(37例)和CT指导组(37例),制定个性化锻炼方案并进行6个月随访,评估锻炼依从性和效果。结果 ①观察组的L₂~L₄骨密度均值、髌部T值、腰椎最低T值均低于对照组,L₁椎体CT值显著低于对照组,差异有统计学意义(P<0.05)。②对照组和观察组的腰椎(L₂₋₄)DXA的T值、骨密度均值与L₁椎体CT值均呈正相关(P<0.001)。③观察组DXA检测结果显示,轻度骨质疏松、中度骨质疏松、重度骨质疏松各59.46%、22.97%、17.57%,腰椎CT检测结果显示,骨质疏松、骨量减少、骨量正常各56.76%、27.03%、16.22%,DXA与腰椎检测结果Kappa=0.721,提示两者的一致性较高。④在观察组中,CT指导组患者锻炼总依从性显著高于DXA指导组(86.5% vs 75.7%,P<0.05)。⑤6个月后CT指导组骨密度改善更明显,腰椎T值从-2.33±1.25提高到-2.15±1.19,DXA指导组从-2.37±1.21提高到-2.26±1.18(组间改善幅度P<0.05)。⑥CT指导组疼痛缓解效果更佳,VAS评分从(5.72±1.85)分降至(3.18±1.41)分,DXA指导组从5.81±1.92降至3.76±1.58(P<0.05)。⑦患者满意度CT指导组显著高于DXA指导组(4.35±0.62 vs 4.08±0.71,P<0.05)。结论 在OP及其并发症的临床检测用DXA与腰椎CT检测结果准确性均高,腰椎CT更适合用于OP及其并发症的检测。在OP并发症患者中,基于CT诊断制定的个性化锻炼方案在提高依从性、改善骨密度和缓解疼痛方面均优于DXA指导方案。

【关键词】 双能X线骨密度测定法; 腰椎CT; 骨质疏松; 康复锻炼

Application of Dual-energy X-ray Absorptiometry and Lumbar CT Diagnosis in Functional Exercise Guidance for Osteoporosis Patients Zhang Cuimeng, Wang Yu, Wang Xiaoying, Yang Haohui, Guo Jingran. Department of Spine I, Tangshan Second Hospital, Tangshan 063000, China
Corresponding author: Guo Jingran, Email: 49749148@qq.com

【Abstract】 Objective To investigate the diagnostic value of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and lumbar spine CT in the diagnosis of osteoporosis (OP) and its complications, and to evaluate their effectiveness in guiding rehabilitation exercises. **Methods** A total of 147 patients with osteoporosis (OP) admitted to our hospital between January 2020 and January 2022 were selected as study subjects, including 64 men and 83 women, with a mean age of (66.49±5.58) years. Based on the presence or absence of osteoporosis complications, the enrolled subjects were divided into a control group (73 patients with uncomplicated OP) and an experimental group (74 patients with OP and complications). Both groups underwent DXA and lumbar spine CT examinations to observe and compare the prevalence of osteoporosis and its complications diagnosed by the two methods. The 74 patients in the experimental group were randomly divided into a DXA-guided group (37 patients) and a CT-guided group (37 patients). Personalized exercise regimens were developed, and participants were followed up for 6 months to assess exercise adherence and efficacy. **Results** ①

The mean bone mineral density at L₂-L₄, hip T-score, and lowest lumbar T-score in the experimental group were all lower than those in the control group, and the CT value of the L₁ vertebra was significantly lower than that in the control group, with statistically significant differences ($P<0.05$). ② In both the control and experimental groups, the DXA T-scores and mean bone mineral density of the lumbar spine (L₂-L₄) were positively correlated with the CT values of the L₁ vertebra ($P<0.001$). ③ DXA results in the experimental group showed that 59.46%, 22.97%, and 17.57% of patients had mild, moderate, and severe osteoporosis, respectively. Lumbar spine CT results showed that 56.76%, 27.03%, and 16.22% of patients had osteoporosis, osteopenia, and normal bone mass, respectively. The Kappa coefficient between DXA and lumbar spine CT results was 0.721, indicating a high degree of consistency between the two. ④ In the experimental group, overall exercise adherence was significantly higher in the CT-guided group than in the DXA-guided group (86.5% vs. 75.7%, $P<0.05$). ⑤ After 6 months, the CT-guided group showed more pronounced improvements in bone density, with lumbar spine T-scores increasing from -2.33 ± 1.25 to -2.15 ± 1.19 , while the DXA-guided group improved from -2.37 ± 1.21 to -2.26 ± 1.18 ($P<0.05$ for the difference in improvement between groups). ⑥ Pain relief was more pronounced in the CT guidance group, with VAS scores decreasing from 5.72 ± 1.85 to 3.18 ± 1.41 , while in the DXA guidance group, scores decreased from 5.81 ± 1.92 to 3.76 ± 1.58 ($P<0.05$). ⑦ Patient satisfaction was significantly higher in the CT-guided group than in the DXA-guided group (4.35 ± 0.62 vs. 4.08 ± 0.71 , $P<0.05$). **Conclusion** Both DXA and lumbar CT offer high accuracy in the clinical detection of OP and its complications; however, lumbar CT is more suitable for the detection of OP and its complications. Among patients with OP complications, personalized exercise programs based on CT-guided diagnosis were superior to DXA-guided programs in terms of improving adherence, enhancing bone density, and alleviating pain.

【Key words】 Double-energy X-ray bone mineral densitometry; Lumbar CT; Osteoporosis; Rehabilitation exercise

作为一种常见、多发的代谢性骨病,骨质疏松症(osteoporosis, OP)有显著的全身性、退行性特征,患病风险会随着年龄的增长而逐渐递增^[1]。根据病因差异,临床上将其分成两类,一是原发性OP,二是继发性OP。通过既往研究数据统计来看,作为第五大流行疾病,OP严重危害人类的身体健康和^[2]生活质量,相对而言,继发性OP的研究、治疗难度与原发性OP相比更难^[3]。流行病学研究显示,目前世界范围内已有超过2亿的OP患病群体,其中美国50岁以上人群中男女的OP患病率分别为3~8%和13~18%,目前我国的OP患病率超过27.96%,预计到2050年我国的OP患病人数将增至2.12亿^[4]。研究证实,OP及其并发症的发生与患者身体功能的减退显著关联^[5],如骨质疏松性骨折,髌部骨折等等,预后效果下降^[6]和死亡风险增加^[7]均与之相关。X线骨密度测定法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)在OP筛查与诊断方面效果显著,备受世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐。然而由于其使用的是平面投射技术,在骨密度值(脊柱侧弯、血管钙化、脊柱骨质增生等)诊断方面误差较大,其在腰椎退行性病变(lumbar degenerative diseases, LDD)患者的OP诊断方面极易漏诊、误诊^[8]。研究证实,腰

椎CT作为DXA的一种补充方法,在骨密度诊断方面^[9-12]有较多的应用。

近年来,骨质疏松的治疗理念已从单纯的药物治疗转向综合康复治疗,其中运动锻炼被认为是改善骨密度、预防骨折的重要非药物干预手段。然而,传统的“一刀切”锻炼方案往往忽略了患者个体差异,导致锻炼效果不佳或安全性问题。基于精准的影像学诊断结果制定个性化锻炼方案,已成为骨质疏松康复治疗的发展趋势。

目前,将OP诊断与康复锻炼指导相结合的研究尚不多见,特别是在OP并发症患者中比较基于DXA与腰椎CT诊断结果制定个性化锻炼方案应用价值的研究更是缺乏。本研究旨在探讨DXA与腰椎CT在OP诊断中的价值,并在OP并发症患者中进一步评估基于不同诊断方法制定的康复锻炼方案的临床应用效果,以期为OP并发症患者的精准康复提供科学依据,报道如下所述:

资料与方法

一、一般资料

选取2020年1月至2022年1月本院收治的OP

表1 有无骨质疏松并发症患者的基线资料对比

组别	例数	合并糖尿病[例(%)]	合并高血压[例(%)]	合并冠心病[例(%)]	男[例(%)]	女[例(%)]	年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)
对照组	73	23(31.51)	18(24.66)	10(13.70)	31(41.89)	42(57.53)	66.58±5.68
观察组	74	21(28.38)	17(22.97)	9(12.16)	33(45.21)	41(55.41)	66.54±5.87
t/χ^2 值		0.863	0.732	0.819	0.884	0.884	1.078
P值		0.215	0.391	0.295	0.242	0.242	0.097

及其并发症患者 147 例作为研究对象,纳入标准:①首次确诊为 OP 和(或)相关并发症者;②入组前未接受 OP 相关检查及治疗者;③无精神、语言、行为及交流障碍及骨骼遗传病者;④无转移性、原发性骨肿瘤者;⑤签署《知情同意书》且临床资料完整、有效者;⑥具备基本运动能力,能够参与康复锻炼者。排除标准:①各种骨关节(髋、膝、踝等等)疾病者;②严重精神、心理、生理性疾病者;③肾功能损伤(肾小球疾病、肾小管疾病、肾衰竭等等)者;④临床资料缺失,未签署《知情同意书》,依从性差及入组后死亡及因个人原因退出者;⑤妊娠期、哺乳期女性;⑥存在运动禁忌证或严重心肺功能不全者。

对照组 73 例,男 31 例,女 42 例,年龄 60~75 (66.58±5.68)岁;观察组 74 例,男 33 例,女 41 例,年龄 60~75 (66.54±5.87)岁;两组年龄、性别等常规资料差异无统计学意义($P>0.05$),有可比性,见表 1。课题经本院医学伦理委员会批准且符合《赫尔辛基宣言》医学研究准则(2024027)^[13]。

二、方法

(一)DXA 诊断方法:指导患者取仰卧位,采用骨密度仪(美国 GE 公司生产,型号:GE Lunar DPX Prodigy)进行扫描,扫描范围为腰椎(1~4)和髌部(股骨颈和全髌)。0.2%≤骨密度变异系数≤0.3%。参照 WHO 诊断标准^[8]和判定是否发生 OP:骨密度用 T 值(T-Score)表示:T 值=(测量值-骨峰值)/正常人骨密度标准差。OP 判定依据:最低腰椎或髌部 T 值≤-2.5(T 值≥-1.0 为正常,-2.5<T 值<-1.0 为骨量低下,T 值介于-2~2.5 为 OP,T 值≤-3.5 为严重 OP)。

(二)腰椎 CT 诊断方法

指导患者取仰卧位,确定扫描范围(感兴趣区:L₁~L₅椎体骨质中央区,扫描设备型号:飞利浦(Philips Brilliance)128 层螺旋 CT 扫描机;参数设置:120 kV,125 mA,重建矩阵:512×512)并测量 CT 值。参照 Pickhardt 等^[14-16]的结论,判定是否发生 OP:特异性较高(约 90%)的 HU 值:即 L₁椎体 CT 值

≤110 HU 作为 OP 的 CT 阈值:骨量正常:CT 值≥160 HU;骨量减少:100 HU≤骨量<160 HU,OP 确诊的依据:骨量<110 HU。

(三)锻炼方案

将观察组 74 例 OP 并发症患者随机分为两组:DXA 指导组 37 例和 CT 指导组 37 例,DXA 指导组根据 DXA 检查结果制定个性化锻炼方案,CT 指导组根据 CT 检查结果制定个性化锻炼方案。轻度骨质疏松患者采用预防性锻炼方案,包括每周 3~4 次有氧运动,每次 30~45 min,中等强度(目标心率为最大心率的 60%~70%);每周 2~3 次抗阻训练,主要针对脊柱和髌部,负重为体重的 50%~70%;每周 2 次平衡训练,每次 15~20 min;柔韧性训练每日进行,每次 10~15 min。中度骨质疏松患者采用保护性锻炼方案,有氧运动调整为每周 3 次,每次 20~30 min,低-中等强度(目标心率为最大心率的 50%~60%);抗阻训练每周 2 次,负重为体重的 30%~50%,特别注意避免脊柱过度屈曲;平衡训练增加至每周 3 次,每次 20 min,重点进行防跌倒训练;同时增加太极拳或瑜伽训练,每周 2 次,每次 30 min。重度骨质疏松患者采用康复性锻炼方案,有氧运动降低为每周 2~3 次,每次 15~25 min,低强度(目标心率为最大心率的 40%~50%);功能性训练以日常生活活动作为主,每次 15~20 min;平衡训练每日进行,每次 15 min,严格执行防跌倒措施;同时每日进行呼吸训练和放松训练,以缓解疼痛和紧张情绪。

采用集中培训(首次 2 h 理论+实践培训)+个别指导(每月 1 次面对面指导)+电话随访(每周 1 次),建立锻炼日记,记录每日锻炼内容、时间和强度;每月回访评估锻炼完成情况,于干预后 1 个月、3 个月、6 个月进行全面评估。

三、观察指标

对比两组患者入院时的 DXA 测量 T 值,骨密度值和椎体 CT 值。确保 DXA 和 CT 设备定期进行校准,以保证测量精度。在进行 DXA 和 CT 扫描时,确

保受试者保持一致的姿势和位置,减少因体位变化引起的误差。在进行分类数据的比较时,使用Kappa统计量来评估不同测量方法间的一致性,Kappa值越高表示一致性越好。在数据分析时,控制可能的混杂变量,如年龄、性别、体重等,确保结果的有效性。记录骨密度仪数值。

锻炼依从性评分:采用5分制评分法,5分为完全依从(完成度 $\geq 90\%$),4分为良好依从(70%~89%),3分为中等依从(50%~69%),2分为较差依从(30%~49%),1分为极差依从($< 30\%$)。锻炼前后骨密度变化:6个月后复查DXA和腰椎CT,比较T值和CT值变化。疼痛评估:采用视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS),0~10分,0分为无痛,10分为剧痛。患者满意度:采用5分制Likert评分,1分为极不满意,5分为极满意。

四、统计学方法

采用SPSS 21.0软件(IBM公司,美国)进行统计分析。计数资料用 χ^2 检验,用百分比(%)表示,计量资料用 t 检验,用以 $\bar{x} \pm s$ 表示。DXA测量值、骨密度值与椎体CT值之间的相关性用皮尔森相关系数(pearson)分析,DXA检测与腰椎CT检测结果的一致性采用Kappa检验,锻炼前后指标变化采用配对 t 检验,检验水准 α 值取双侧0.05。

结 果

一、骨密度比较

观察组的 $L_2 \sim L_4$ 骨密度均值、髌部T值、腰椎最低T值均低于对照组, L_1 椎体CT值显著低于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表2。典型病例图片见图1。

二、DXA值与腰椎CT值的相关性分析

如图2(a)所述,对照组和观察组的腰椎(L_{2-4})DXA的T值与 L_1 椎体CT值均呈正相关($P < 0.001$),表明随着 L_1 椎体CT值的增加, L_{2-4} 的DXA T值也相

应增加,图2(b)所述,对照组和观察组的腰椎骨密度与 L_1 椎体CT值均呈正相关($P < 0.001$),提示在临床评估骨质疏松症时, L_1 椎体的CT影像学评估可以作为 L_{2-4} 椎体DXA、骨密度均值测量的一个参考指标。

三、DXA值与腰椎CT值诊断OP及其并发症的结果比较

观察组DXA检测结果显示,轻度骨质疏松、中度骨质疏松、重度骨质疏松各59.46%、22.97%、17.57%,腰椎CT检测结果显示,骨质疏松、骨量减少、骨量正常各56.76%、27.03%、16.22%,DXA与腰椎检测结果Kappa=0.721,提示两者的一致性较高。

四、康复锻炼结果

(一)基线比较

将观察组74例OP并发症患者随机分为DXA指导组37例和CT指导组37例。两组患者基线特征比较:DXA指导组男18例,女19例,年龄(66.8 \pm 5.9)岁;CT指导组男17例,女20例,年龄(66.2 \pm 5.8)岁。两组年龄、性别、基线骨密度指标、疼痛评分等差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。

(二)锻炼依从性分析

如表4所述,CT指导组患者锻炼依从性显著高于DXA指导组。CT指导组总依从性为86.5%(32/37),DXA指导组为75.7%(28/37),差异有统计学意义($P < 0.05$)。其中,CT指导组完全依从和良好依从的比例分别为43.2%和43.2%,DXA指导组分别为35.1%和40.5%。

(三)锻炼前后骨密度变化

经过6个月的个性化锻炼干预,CT指导组患者骨密度改善更明显。CT指导组腰椎T值从-2.33 \pm 1.25提高到-2.15 \pm 1.19($t=2.387, P < 0.05$),DXA指导组从-2.37 \pm 1.21提高到-2.26 \pm 1.18($t=1.892, P > 0.05$)。组间比较,CT指导组改善幅度显著大于DXA指导组($P < 0.05$),见表5。

(四)疼痛改善情况

锻炼6个月后,两组患者VAS疼痛评分均有显

表2 有无骨质疏松并发症患者的骨密度比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	L_1 椎体CT值(HU)	$L_2 \sim L_4$ 骨密度均值(g/cm^2)	髌部骨密度均值(g/cm^2)	$L_2 \sim L_4$ 椎体T值	腰椎最低T值	髌部T值
对照组	73	118.23 \pm 28.64	0.89 \pm 0.18	0.85 \pm 0.15	-1.56 \pm 1.25	-1.76 \pm 1.26	-0.91 \pm 1.14
观察组	74	100.52 \pm 26.58	0.95 \pm 0.17	0.83 \pm 0.18	-1.34 \pm 1.24	-2.35 \pm 1.23	-0.84 \pm 1.36
χ^2 值		3.887	2.078	0.731	1.071	2.996	0.338
P值		<0.05	0.040	0.466	0.286	0.048	0.736

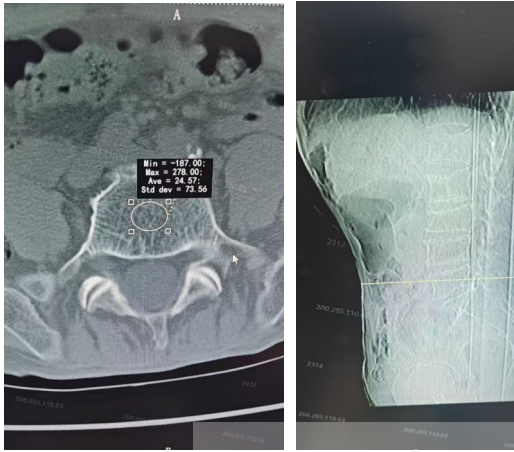


图1 腰椎 CT 矢状位重建图像。男,72岁,视图为腰椎矢状位 CT 重建,显示腰椎生理曲度存在,椎体序列连续。影像表现:腰椎椎体普遍性骨质密度减低,骨皮质变薄,骨小梁稀疏、变细,部分区域骨小梁减少,呈骨质疏松特征性改变

著下降,但CT指导组的疼痛缓解效果更明显。CT指导组VAS评分从(5.72±1.85)分降至(3.18±1.41)分($t=6.892, P<0.001$),DXA指导组从(5.81±1.92)分降至(3.76±1.58)分($t=5.234, P<0.001$),组间比较CT指导组改善幅度更大($P<0.05$)。

(五)患者满意度评价

CT指导组患者对锻炼方案的满意度显著高于DXA指导组(4.35±0.62 vs 4.08±0.71, $t=1.863, P<0.05$)。其中,CT指导组极满意和满意的比例分别

为40.5%和48.6%,DXA指导组分别为27.0%和51.4%。

讨 论

一、DXA 的诊断价值分析

骨密度检测是OP及其术后(或药后)并发症患者的临床诊断的基础方法。既往OP流行病学调查结果显示,目前我国50岁以上人群中,接受骨密度检测的比例仅为3.7%。针对OP及其并发症的诊断与术前识别,脊柱外科医生通常将DXA作为首选方法,但结合既往研究与临床实践来看,骨密度的检测采用DXA并非最佳的^[17-18]。

为避免DXA检测的不足,国际临床骨密度学会建议使用腰椎CT测定的髌部最低T值和L₁₋₄来诊断OP及其并发症^[9]。还有研究证实,随着OP及其并发症患者的年龄越高,DXA诊断的临床疗效越低,其原因在于部分OP及其并发症患者的病情越严重其脊柱结构、终板硬化、血管钙化的概率越高,这些因素可能是骨密度和T值出现假性抬高^[12-15]。有研究表明,由于老年人(OP及其并发症患者)身高缩短,可能发生腰椎隐性压缩性骨折,故在DXA检测时,可能存在腰椎投影面积减小的现象,进而出现腰椎骨密度虚高^[20],毫无疑问,在这种情况下,椎体松

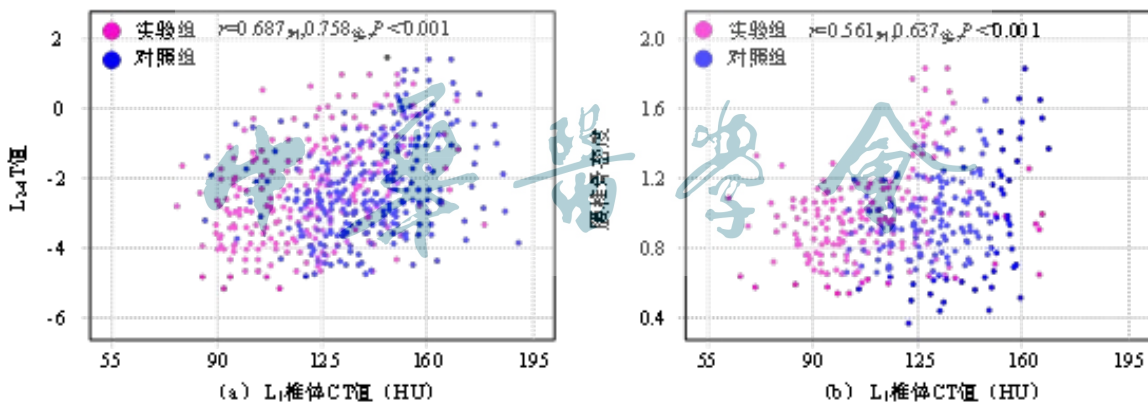


图2 DXA值与腰椎CT值的相关性分析的L₁椎体CT值散点图

表3 DXA值与腰椎CT值诊断OP及其并发症的结果比较[例(%)]

实验组DXA检测	实验组腰椎CT检测			合计
	轻度骨质疏松	中度骨质疏松	重度骨质疏松	
轻度骨质疏松	29(65.91)	9(20.45)	6(13.64)	44(59.46)
中度骨质疏松	7(41.18)	6(35.29)	4(23.53)	17(22.97)
重度骨质疏松	6(46.15)	5(38.46)	2(15.38)	13(17.57)
合计	42(56.76)	20(27.03)	12(16.22)	74(50.34)

表4 不同诊断方法指导下的锻炼依从性比较[例(%)]

依从性评分	DXA 指导组 (n=37)	CT 指导组 (n=37)	χ^2 值	P 值
完全依从(5分)	13(35.1)	16(43.2)	0.512	0.474
良好依从(4分)	15(40.5)	16(43.2)	0.055	0.815
中等依从(3分)	6(16.2)	4(10.8)	0.465	0.495
较差依从(2分)	2(5.4)	1(2.7)	0.347	0.556
极差依从(1分)	1(2.7)	0(0.0)	1.014	0.314
总依从性*	28(75.7)	32(86.5)	1.417	0.234

质骨量的实际密度自然被掩盖,最终出现OP及其并发症误诊或漏诊。

二、腰椎CT的诊断价值分析

通过本文研究来看,腰椎CT下观察组的L₂~L₄骨密度均值、腰椎最低T值均高于对照组,L₁椎体CT值显著低于对照组,差异显著($P<0.05$)。提示相对于单纯的OP患者而言,OP并发症患者的L₂~L₄骨密度均值、腰椎最低T值均有所升高,L₁椎体CT值均有所下降,这与凯依塞尔·阿布都克力木等^[8]的研究结果相近。导致这种结果的原因可能与OP并发症患者的腰椎结构出现退变相关。Muraki等^[21]发现,有15%的腰椎骨密度增加与腰椎结构退变(年龄、体质指数、腰椎骨密度值和腰椎最低T值较非腰椎结构退变者更高^[8],同时有椎小关节、棘突、椎体骨质增生者^[22],其DXA诊断结果同样受影响)相关联,DXA不一定能检测出来^[3]。故有学者建议,针对这类疾病患者,应在DXA检测的基础上,辅助腰椎CT检测。

针对OP及其并发症患者的DXA与腰椎CT检测的对比研究,吴良雨^[23]指出,两者的一致性一般(Kappa=0.341),相较之,DXA在骨量异常(减少)方面的检出率与腰椎CT相比更低。而结合本文研究来看,观察组使用DXA、腰椎CT诊断后的骨量减少检出率各22.97%(17/74)、27.03%(20/74),对照组各21.92%(16/73)、27.40%(20/73),此与上述研究结果基本吻合。导致这种结果的原因可能与CT检测受断层影响有关,因为腰椎CT检测能有效的避免X线的重叠投影,因此在轻度、重度OP及其并发症患者

中的检出率自然较DXA更高。但结合本文来看,无论是观察组,还是对照组,其DXA与腰椎CT检测结果的一致性均高(Kappa=0.715,0.721),此与吴良雨^[23]的结果存异,以期未来增加研究样本量,找出其真正的原因。

三、个性化锻炼方案的临床应用价值

本研究在观察组OP并发症患者中比较了基于DXA与CT诊断结果制定的个性化锻炼方案的应用效果。结果显示,基于腰椎CT诊断制定的锻炼方案在提高患者依从性、改善骨密度指标和缓解疼痛症状方面均优于基于DXA诊断制定的方案($P<0.05$)。这一结果可能与以下因素有关:首先,CT能够提供更准确的骨质疏松严重程度评估,特别是在OP并发症患者中,这些患者往往伴有椎体退行性改变、微骨折等复杂情况。CT的三维成像能力使医师能够更精确地识别骨质薄弱区域和潜在风险点,从而制定更加个性化和针对性的锻炼方案^[24]。其次,CT影像能够直观显示椎体的结构变化和骨折情况,有利于制定更加安全、个性化的锻炼方案^[25-26]。第三,CT影像的直观性有助于患者更好地理解自身病情,当患者能够清楚地看到椎体的实际状况时,往往能够更深刻地认识到康复锻炼的重要性,从而提高依从性。

本研究发现,在OP并发症患者中,基于CT诊断制定的锻炼方案依从性更高,这可能与多个因素相关。患者对诊断结果的理解程度是关键因素之一,CT影像的直观性使患者能够更直接地感受到病情的严重性,从而产生更强的治疗动机。此外,CT指导下制定的锻炼方案可能更加精准地匹配患者的实际骨密度状况,避免了因方案强度不当导致的依从性下降。完善的随访体系和持续的专业指导对维持长期锻炼依从性具有重要作用。定期的专业评估和及时的方案调整能够让患者感受到持续的关注和支持,这种心理支持对提高依从性同样重要。同时,锻炼方案的安全性保障和个性化程度也直接影响患者的执行意愿。

然而,研究存在一定局限性。首先,本研究仅在OP并发症患者中进行,结果的外推性有待在不同严重程度OP患者中进一步验证。其次,6个月的随访时间相对较短,长期效果需要更长时间的观察。

表5 锻炼前后骨密度指标变化比较($\bar{x}\pm s$)

指标	DXA 指导组(n=37)			CT 指导组(n=37)		
	锻炼前	锻炼后	t/P 值	锻炼前	锻炼后	t/P 值
腰椎T值	-2.37±1.21	-2.26±1.18	1.892/0.067	-2.33±1.25	-2.15±1.19	2.387/0.022
髌部T值	-0.83±1.34	-0.78±1.31	1.254/0.218	-0.85±1.38	-0.72±1.26	2.014/0.051
L1椎体CT值(HU)	100.8±26.2	105.2±27.1	1.765/0.086	100.3±27.1	108.7±28.3	2.298/0.027

第三,作为单中心研究,结果的普遍适用性需要多中心研究证实。

综上所述,在OP及其并发症的临床检测中,DXA与腰椎CT检测结果准确性均高,腰椎CT更适合用于OP及其合并症的检测。在OP并发症患者的康复管理中,基于CT诊断结果制定的个性化锻炼方案在提高患者依从性、改善骨密度指标和缓解疼痛症状方面均优于基于DXA诊断制定的方案,为OP并发症患者的精准康复治疗提供了科学依据。

参 考 文 献

- 1 蔺吉新. 基于中医“治未病”理论研究骨水泥体积/椎体体积对胸腰椎PKP术后残余痛的分析 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2022.
- 2 张震岳. 基于“中医整体观”研究脊柱-骨盆矢状面平衡对椎体成形(后凸)术后继发骨折的影响 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2022.
- 3 李庆达. OTLICS评分系统在急性症状性骨质疏松性胸腰椎骨折患者治疗中的应用 [D]. 延安大学, 2022.
- 4 刘瑞奇. 骨质疏松骨折患者并发症的发生率、风险因素和经济负担研究 [D]. 天津: 天津大学, 2017.
- 5 Hansson S, Rolfson O, Åkesson K, et al. Complications and patient-reported outcome after hip fracture. A consecutive annual cohort study of 664 patients [J]. *Injury*, 2015, 46(11): 2206-2211.
- 6 Henderson CY, Ryan JP. Predicting mortality following hip fracture: an analysis of comorbidities and complications [J]. *Ir J Med Sci*, 2015, 184(3): 667-671.
- 7 Roche JJW, Wenn RT, Sahota O, et al. Effect of comorbidities and postoperative complications on mortality after hip fracture in elderly People: prospective observational cohort study [J]. *BMJ*, 2005, 331(7529): 1374.
- 8 凯依塞尔·阿布都克力木, 麦提敏·阿卜力米提, 李磊, 等. 女性腰椎退行性病变患者腰椎CT值对骨质疏松症的诊断作用 [J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(6): 945-949.
- 9 Zou D, Li WS, Deng C, et al. The use of CT Hounsfield unit values to identify the undiagnosed spinal osteoporosis in patients with lumbar degenerative diseases [J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(8): 1758-1766.
- 10 Schreiber JJ, Anderson PA, Rosas HG, et al. Hounsfield units for assessing bone mineral density and strength: a tool for osteoporosis management [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2011, 93(11): 1057-1063.
- 11 Alacreu E, Moratal D, Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe [J]. *Osteoporos Int*, 2017, 28(3): 983-990.
- 12 Zaidi Q, Danisa OA, Cheng W. Measurement techniques and utility of hounsfield unit values for assessment of bone quality prior to spinal instrumentation: a review of current literature [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2019, 44(4): E239-E244.
- 13 吴文瑶, 张谨, 郑华, 等. 世界医学协会《赫尔辛基宣言》: 涉及人类受试者的医学研究伦理原则 [J]. *中华疼痛学杂志*, 2020, 16(2): 92-95.
- 14 Pickhardt PJ, Pooler BD, Lauder T, et al. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications [J]. *Ann Intern Med*, 2013, 158(8): 588-595.
- 15 Hendrickson NR, Pickhardt PJ, Del Rio AM, et al. Bone mineral density T-Scores derived from CT attenuation numbers (hounsfield units): clinical utility and correlation with dual-energy x-ray absorptiometry [J]. *Iowa Orthop J*, 2018, 38: 25-31.
- 16 Lee SJ, Binkley N, Lubner MG, et al. Opportunistic screening for osteoporosis using the sagittal Reconstruction from routine abdominal CT for combined assessment of vertebral fractures and density [J]. *Osteoporos Int*, 2016, 27(3): 1131-1136.
- 17 Choi MK, Kim SM, Lim JK. Diagnostic efficacy of Hounsfield units in spine CT for the assessment of real bone mineral density of degenerative spine: correlation study between T-scores determined by DEXA scan and Hounsfield units from CT [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158(7): 1421-1427.
- 18 Hocaoglu E, Inci E, Vural M. Could computed tomography hounsfield unit values of lumbar vertebrae detect osteoporosis? [J]. *Curr Med Imaging*, 2021, 17(8): 988-995.
- 19 Hamdy RC, Petak SM, Lenchik L, et al. Which central dual X-ray absorptiometry skeletal sites and regions of interest should be used to determine the diagnosis of osteoporosis? [J]. *J Clin Densitom*, 2002, 5 Suppl: S11-S18.
- 20 边平达, 应奇峰, 钱素凤, 等. 270例高龄老人股骨近端和腰椎正位骨密度对比分析 [J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2013, 6(3): 255-256.
- 21 Muraki S, Yamamoto S, Ishibashi H, et al. Impact of degenerative spinal diseases on bone mineral density of the lumbar spine in elderly women [J]. *Osteoporos Int*, 2004, 15(9): 724-728.
- 22 姚倩倩, 李娟, 朱春雨, 等. 胸腰段椎体CT值对骨质疏松骨折预测意义 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(10): 943-946.
- 23 吴良雨. 腰椎CT值评估强直性脊柱炎患者骨质疏松以及骨质疏松性椎体骨折和螺钉松动情况 [J]. *现代医用影像学*, 2021, 30(11): 2111-2114.
- 24 Löffler MT, Jacob A, Scharf A, et al. Automatic opportunistic osteoporosis screening in routine CT: improved prediction of patients with prevalent vertebral fractures compared to DXA [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(8): 6069-6077.
- 25 Schini M, Vilaca T, Gossiel F, et al. Bone turnover markers: basic biology to clinical applications [J]. *Endocr Rev*. 2023, 44(3): 417-473.
- 26 Engelke K, Adams JE, Armbrrecht G, et al. Clinical use of quantitative computed tomography and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: the 2015 ISCD Official Positions-Part III [J]. *J Clin Densitom*, 2015, 18(3): 393-407.

(收稿日期: 2025-12-16)

(本文编辑: 吕红芝)

张翠猛, 王玉, 王小影, 等. 双能X线骨密度测定法与腰椎CT诊断在骨质疏松患者功能锻炼指导中的应用研究 [J/CD]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2026, 12(2): 72-78.