

· AI+慢性病康复管理专题 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.24.004

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241122.1202.004\(2024-11-22\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241122.1202.004(2024-11-22))

人工智能辅助机会性 CT 与双能 X 线骨密度检测在 2 型糖尿病和非糖尿病患者骨量评估中的比较研究*

谢雨芯¹,周素伊²,梅好^{3,4},胡炯宇^{1△}

(1. 陆军军医大学第一附属医院内分泌科,重庆 400038;2. 陆军军医大学第一附属医院放射科,重庆 400038;
3. 中国人民大学应用统计科学研究中心,北京 100872;4. 中国人民大学统计学院,北京 100872)

[摘要] **目的** 比较人工智能(AI)辅助机会性 CT 与双能 X 线骨密度检测(DXA)在糖尿病患者骨量评估中的诊断价值。**方法** 采用回顾性研究方法,选取 2017 年 1 月 1 日至 2024 年 5 月 31 日在陆军军医大学第一附属医院同时接受 CT 检查(如腹部、胸部或脊柱)联合腰椎 DXA 检查、糖尿病筛查或治疗的患者共 72 例作为研究对象。根据患病情况,分为 2 型糖尿病组($n=36$)和非糖尿病组($n=36$)。DXA 扫描范围为 $L_1\sim L_4$ 的腰椎椎体;AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统导入 CT 图像,在 $T_{12}\sim L_2$ 椎体中央标记感兴趣区域,自动测算椎体松质骨的骨密度。比较两种方式在 2 型糖尿病组和非糖尿病组不同性别、年龄段患者中骨质减少和骨质疏松的诊断差异。绘制受试者工作特征(ROC)曲线,评估 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统诊断骨质疏松的特异度和灵敏度。**结果** 所有受试者中两种方式对骨质疏松、骨质减少、骨量正常的检出率比较差异无统计学意义($P>0.05$)。非糖尿病组、 <60 岁人群中,DXA 对骨质疏松检出率高于 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统,差异有统计学意义($P<0.05$)。不同性别患者中,两种方式对骨质疏松、骨质减少和骨量正常的检出率比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。以 DXA 检测为“金标准”,AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统对于骨质疏松具有一定诊断价值[曲线下面积(AUC)=0.661,95%CI:0.526~0.795, $P=0.026$],其灵敏度为 68.1%,特异度为 64.0%。**结论** 在 >60 岁及 2 型糖尿病患者中,AI 辅助机会性 CT 在早期发现骨折风险较高患者方面与 DXA 同样具有优势,且前者不会增加额外费用和多余的辐射风险。

[关键词] 2 型糖尿病;骨质疏松;人工智能;定量 CT;双能 X 线骨密度检测

[中图分类号] R445

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2024)24-3700-06

Comparative study of AI-assisted opportunistic CT and dual-energy X-ray bone mineral density detection in bone mass assessment of type 2 diabetes and non-diabetes patients*

XIE Yuxin¹, ZHOU Suyi², MEI Hao^{3,4}, HU Jiongnyu^{1△}

(1. Department of Endocrinology; 2. Department of Radiology, First Affiliated Hospital of Army Military Medical University, Chongqing 400038, China; 3. Center for Applied Statistics of Renmin University of China, Beijing 100872, China; 4. School of Statistics, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

[Abstract] **Objective** To compare the diagnostic value of artificial intelligence (AI)-assisted opportunistic CT and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in the bone mass assessment of diabetic patients. **Methods** The retrospective study method was adopted. A total of 72 patients receiving CT examination (such as abdomen, chest or spine) combined with lumbar vertebra DXA examination, diabetes screening or treatment in the First Affiliated Hospital of Army Military Medical University from January 1, 2017 to May 31, 2024 were selected as the study subjects and divided into the type 2 diabetic group ($n=36$) and non-diabetic group ($n=36$) according to the illness. The DXA scanning range was L_1-L_4 lumbar vertebral body; the AI quantitative CT-assisted bone density detection system imported the CT images, the interested region in the center of the $T_{12}-L_2$ vertebral body was labeled, and the bone density of cancellous bone in the vertebral body was automatically calculated. The diagnostic differences in osteopenia and osteoporosis were compared between the two

* 基金项目:国家自然科学基金项目(72301283);教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(22JJD910001);重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(CSTB2023TIAD-KPX0047);中国人民大学新教师启动金项目(23XNKJ07)。△ 通信作者, E-mail:1417482754@qq.com。

modalities in the patients of different genders and ages in type 2 diabetes group and non-diabetes group. The receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to evaluate the specificity and sensitivity of the AI quantitative CT-assisted bone density detection system in the diagnosis of osteoporosis. **Results** There were no statistically significant differences in the detection rates of osteoporosis, osteopenia and normal bone density between the two methods ($P > 0.05$). The osteoporosis detection rate of DXA in the non-diabetic group and population < 60 years old was higher than that of the AI-quantitative CT-assisted bone mineral density detection system, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). In the patients with different genders, there was no statistically significant difference in osteoporosis, osteopenia and normal bone density between the two methods ($P > 0.05$). Taking the DXA detection as the “gold standard”, the AI quantitative CT-assisted bone mineral density detection system had a certain diagnostic value for osteoporosis [area under the curve (AUC) = 0.661, 95% CI: 0.526–0.795, $P = 0.026$], and its sensitivity and specificity were 68.1% and 64.0% respectively. **Conclusion** In the patients aged above 60 years old and with type 2 diabetes mellitus, the AI-assisted opportunistic CT has the same advantages as DXA in early detection of the patients at high risk of fractures, without increasing additional costs and unnecessary radiation risks.

[Key words] type 2 diabetes; osteoporosis; artificial intelligence; quantitative CT; dual-energy X-ray bone mineral density test

骨质疏松症是老年人群中普遍存在的代谢性疾病,其主要特征是骨密度降低及骨微结构损伤,最终导致骨骼的脆弱性增加,更容易发生骨折,并对骨折的易感性明显增加^[1]。一项我国 2010—2016 年老年人骨质疏松症患病率的调查发现,随机效应模型计算中国 60 岁以上人群骨质疏松症总体患病率为 36%,其中男性为 23%,女性为 49%,开展骨质疏松宣传防治工作意义重大^[2]。骨量的减少或相应的骨密度下降一直是骨质疏松症的诊断依据,世界卫生组织推荐将双能 X 线吸收测量仪(dual X-ray absorptiometry, DXA)在腰椎、股骨近端和桡骨远端 1/3 处测量的骨密度或骨含量结果作为骨质疏松症的诊断标准^[3-4]。但由于可用的 DXA 设备量难以满足实际需要,无法通过大规模筛查实现提前预防和及时治疗^[5]。研究表明,人工智能(artificial intelligence, AI)辅助医学图像处理的可行性已初步得到证实^[6-7],在骨质疏松症检出或诊断方面,AI 的应用方向主要集中在对不同部位 X 线、CT 或 MR 影像的研究,以此寻找广泛且理想可用的 DXA 替代方法^[8]。机会性 CT 检测是指借助在其他目的下进行的常规影像学检查,不增加时间成本、额外放射暴露和检查时间,对现有影像数据进行二次分析,不仅能够提高诊断效率,还能筛查潜在的骨质疏松症患者,避免了传统定量 CT 的不足^[9]。此外,基于常规 CT 数据的机会性筛查还能通过椎体 CT 值的评估来衡量骨密度。AI 辅助机会性 CT 是利用深度学习神经网络模型预测骨密度,避免患者额外的辐射暴露。通过对胸部 CT 图像(包括肺部低剂量 CT)的深度学习,AI 已能自动完成骨密度测量并预测骨折风险^[10]。近年来,虽然已有 AI 定量 CT 骨密度检测软件已正式通过国家药品监督管理局认证,具有较好的安全性及有效性,但其与 DXA 相比

在特定人群(例如糖尿病患者)的骨质疏松症筛查和诊断方面还有待进一步研究。

我国成人糖尿病的患病率约为 11.2%^[11],总患者数达到 1.29 亿。糖尿病患者是骨质疏松的高危人群,其罹患骨折、骨质疏松的风险明显增加^[12],国外调查结果显示糖尿病患者中有 21.1% 存在骨质疏松性骨折^[13]。韩国调查结果显示,2 型糖尿病女性患者的骨折风险相较于非糖尿病患者明显增加,相对危险度为 1.38^[14]。糖尿病患者发生骨质疏松的机制与糖代谢受损抑制破骨细胞、成骨细胞的数量和活性有关^[15]。相较于普通患者,糖尿病患者尤其是糖尿病早期患者的 DXA 结果并不能准确预测骨折风险。AI 定量 CT 骨密度检测在糖尿病人群中是否具有更好的风险评估作用,是临床医生非常关心的问题。本研究以 DXA 结果为参考标准,利用 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统对患者同期胸部、腹部或脊柱机会性 CT 扫描数据进行分析,对比 2 种检测手段对正常和糖尿病人群骨质减少及骨质疏松诊断的差异,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用回顾性研究方法,选取 2017 年 1 月 1 日至 2024 年 5 月 31 日在陆军军医大学第一附属医院同时接受 CT 检查(如腹部、胸部或脊柱)联合腰椎 DXA 检查、糖尿病筛查或治疗的患者共 72 例作为研究对象,其中男 29 例,女 43 例;年龄 50~87 岁,平均(63.39±9.17)岁。根据患病情况,分为 2 型糖尿病组($n=36$)和非糖尿病组($n=36$);其中合并骨折的 13 例受试者单独记录。本研究通过陆军军医大学第一附属医院医学伦理委员批准[审批号:(B)KY2023147]。纳入标准:(1)绝经后女性,≥50 岁男性;(2)接受高质量腹部 CT、高质量胸部 CT(包括肺

部低剂量 CT)或脊柱 CT 检查;(3)同期接受 DXA 检查;(4)进行过糖尿病筛查确诊或排除糖尿病。排除标准:(1)患有影响骨代谢的疾病,包括库欣综合征、性腺功能减低、甲状腺功能亢进、原发性甲状旁腺亢进;(2)患有自身免疫性疾病,包括类风湿关节炎、系统性红斑狼疮、强直性脊柱炎;(3)患有血液系统疾病,包括多发性骨髓瘤、白血病;(4)糖尿病肾病以外的原因导致肾功能不全,长期使用糖皮质激素、细胞毒或免疫抑制剂,甲状腺激素过量替代等;(5)患有代谢性或遗传性骨病,包括骨软化症、成骨不全、Paget 骨病等。

1.2 方法

1.2.1 仪器与方法

DXA 检测采用 Horizon DXA 系统(美国 Hologic 公司),扫描范围为 L₁~L₄ 腰椎椎体。AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统(慧影医疗科技股份有限公司)是将原始的 CT 图像(如胸部 CT、肺部低剂量 CT、腹部 CT 或脊柱 CT 图像)通过医学影像工作站(德国 Siemens 公司)导入后,在 T₁₂~L₂ 椎体中央标记感兴趣区域,避开椎体周边皮质骨、椎基静脉走行区、钙化区域、椎体骨折和压缩变形者,自动测算椎体松质骨的骨密度并分别记录。图形分析由两位高年资放射诊断医师共同完成,如意见不同,经讨论达成一致。

1.2.2 诊断标准

DXA 诊断基于世界卫生组织推荐相关标准:T 值 $\geq -1.0SD$ 为骨量正常,T 值为 $> -2.5SD \sim < -1.0SD$ 为骨质减少,T 值 $\leq -2.5SD$ 为骨质疏松。AI 辅助机会性 CT 参考国际临床密度测量学会和美国放射学会推荐的定量 CT 诊断标准,骨密度绝对值 $\geq 120 \text{ mg/cm}^3$ 为骨量正常,骨密度绝对值为 $80 \sim < 120 \text{ mg/cm}^3$ 为骨质减少,骨密度绝对值 $< 80 \text{ mg/cm}^3$ 为骨质疏松。

1.2.3 研究内容

(1)比较 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统和 DXA 在 2 型糖尿病组和非糖尿病组患者中诊断骨质减少和骨质疏松的差异。(2)比较 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统和 DXA 在 2 型糖尿病组和非糖尿病组患者中诊断不同性别受检者骨质减少和骨质疏松的差异。(3)比较 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统和 DXA 在 2 型糖尿病组和非糖尿病组患者中诊断不同年龄段受检者的骨质减少和骨质疏松的差异。(4)比较 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统和 DXA 诊断骨质疏松的结果差异。(5)以 DXA 结果为参考标准,绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线,评估 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统诊断骨质疏松的特异度和灵敏度。

1.3 统计学处理

采用 SPSS22.0 软件进行数据处理。计量资料以

$\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验。计数资料以例数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 所有受试者中两种方式对骨质疏松检出情况比较

72 例患者中,DXA 骨质疏松、骨质减少、骨量正常的检出率分别为 65.3%、22.2%、12.5%;AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统对骨质疏松、骨质减少、骨量正常的检出率分别为 56.9%、25.0%、18.1%,两组比较差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

表 1 两种方式的骨质疏松检出情况比较[n(%)]

项目	DXA(n=72)	AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统(n=72)
骨质疏松	47(65.3)	41(56.9)
骨质减少	16(22.2)	18(25.0)
骨量正常	9(12.5)	13(18.1)

$$\chi^2 = 2.796, P = 0.247.$$

2.2 两种方式对糖尿病和非糖尿病患者骨密度检测结果的比较

2 型糖尿病组中,两种方式对骨质疏松、骨质减少和骨量正常的检出率比较差异无统计学意义($P > 0.05$);非糖尿病组中,DXA 对骨质疏松的检出率高于 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统($P < 0.05$),但两种方式在骨质减少和骨量正常的检出率比较差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 2。

表 2 两种方式对糖尿病和非糖尿病患者骨密度检测的结果比较[n(%)]

组别	DXA	AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统	χ^2	P
2 型糖尿病组(n=36)				
骨质减少	9(25.00)	7(19.44)	0.100	0.754
骨量正常	7(19.44)	7(19.44)	0.500	1.000
骨质疏松	20(55.56)	22(61.11)	0.083	0.774
非糖尿病组(n=36)				
骨质减少	7(19.44)	11(30.56)	0.750	0.388
骨量正常	2(5.56)	6(16.67)	2.250	0.125
骨质疏松	27(75.00)	19(52.78)	4.083	0.039

2.3 两种方式对不同性别患者骨密度检测结果的比较

不同性别患者中,两种方式对骨质疏松、骨质减少和骨量正常的检出率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 3。

2.4 两种方式对不同年龄患者骨密度检测结果的比较

≥ 60 岁人群中,两种方式对骨质疏松、骨质减少和骨量正常的检出率比较,差异无统计学意义($P >$

0.05); <60 岁人群中, DXA 对骨质疏松的检出率高于 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统 ($P < 0.05$), 但两种方式对骨质减少和骨量正常的检出率比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 4。

2.5 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统诊断能力评价

ROC 曲线结果显示, 以 DXA 检测为“金标准”, AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统对于骨质减少和骨质疏松具有一定的诊断价值, 见图 1、图 2、表 5。

表 3 两种方式对不同性别患者骨密度检测结果的比较 [n (%)]

项目	DXA	AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统	χ^2	P
男 ($n=29$)				
骨质减少	9(31.03)	6(20.69)	0.571	0.452
骨量正常	6(20.69)	9(31.03)	0.800	0.375
骨质疏松	14(48.28)	14(48.28)	<0.001	>0.999
女 ($n=43$)				
骨质减少	7(16.28)	12(27.91)	1.067	0.302
骨量正常	3(6.98)	4(9.30)	<0.001	>0.999
骨质疏松	33(76.74)	27(62.79)	1.786	0.180

表 4 两种方式对不同年龄患者骨密度检测结果的比较 [n (%)]

项目	DXA	AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统	χ^2	P
<60 岁 ($n=31$)				
骨质减少	7(22.58)	11(35.48)	1.125	0.290
骨量正常	6(19.35)	9(29.03)	1.333	0.250
骨质疏松	18(58.06)	11(35.48)	4.000	0.039
≥ 60 岁 ($n=41$)				
骨质减少	9(21.95)	7(17.07)	0.071	0.791
骨量正常	3(7.32)	4(9.76)	<0.001	>0.999
骨质疏松	29(70.73)	30(73.17)	<0.001	>0.999

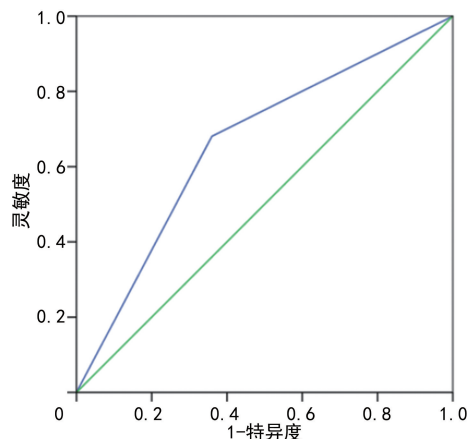


图 2 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统对骨质疏松的诊断价值评价 ROC 曲线

表 5 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统诊断能力评价

项目	AUC	95%CI	P	灵敏度 (%)	特异度 (%)
骨质减少	0.580	0.415~0.746	0.329	37.5	78.6
骨质疏松	0.660	0.526~0.795	0.026	68.1	64.0

3 讨论

目前, 国内外公认的骨质疏松症诊断标准都基于 DXA 检测结果, 因其非侵入性、快捷的优势, 被临床和科研广泛应用于骨密度测量和骨质疏松预测^[16-17]。DXA 主要测量中轴骨的骨密度, 包括骨皮质和骨松质, 但腰椎退行性变、腹主动脉钙化等可能对 DXA 的精确性产生影响。研究表明, 2 型糖尿病和骨密度受多种因素影响^[18], 2 型糖尿病患者的骨折风险往往被低估, 其可在较高的骨密度下发生骨折^[19]。由于降糖药物会对骨代谢产生影响^[20], 故早期预测骨质疏松和预防骨折尤为重要。

AI 以深度学习为核心, 发展迅速, 可以帮助应用指导医疗活动, 提高医疗诊疗效率^[21-24]。大数据、AI 与医疗行业的结合或将成为未来重要的发展方向。AI 可以在经过训练后, 对临床数据进行分析, 有效地弥补医生在高强度负荷下出现的漏诊、误诊^[25]。但因为目前缺乏 2 型糖尿病及骨质疏松的公共数据库, 且收集数据存在许多混杂因素(如性别、地域等), 故不同团队开发的模型, 不能进行直接比较。

本研究结果显示, DXA 对骨质疏松的检出率(65.3%)略高于 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统(56.9%)高。DXA 主要检测腰椎、髌部等部位的面积骨密度, 从而对骨质疏松进行诊断^[26], AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统是基于定量 CT 数据, 其测量的区域为 T₁₂~L₂ 椎体, 两种方式的测量部位并不完全一致, 故其相关性有限。

DXA 是通过 X 线对骨骼和周围软组织的吸收情况测量骨密度, 如果该组织较厚或密度较高, 就可能影响测量的准确性。本研究中, 对于非糖尿病组和 <

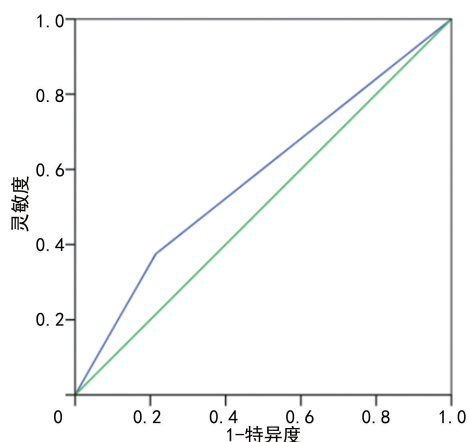


图 1 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统对骨质减少的诊断价值评价 ROC 曲线

60 岁人群,DXA 对骨质疏松的检出率高于 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统,提示骨质疏松早期是以皮质骨厚度减少为主^[27]。由于 DXA 检查耗时较长且在基层医疗机构中普及率较低,导致其在年轻人群中的应用受到限制^[2],胸部低剂量 CT 在老年人群及高风险人群的健康筛查中应用较为广泛,故 AI 对利用机会性 CT 检查进行骨质疏松的筛查有临床和经济上的可行性^[28]。在老年人群中,腰椎骨密度对于骨质疏松症的诊断和治疗效果的评估作用有所下降,这是由于 DXA 受腰椎的退行性变和腹主动脉钙化影响,使得 DXA 的测量值不准确;身高缩短或者合并隐性腰椎压缩性骨折,也会导致 DXA 测量结果不能真实反映骨密度^[29]。两种方式对 2 型糖尿病组和 ≥ 60 岁人群中骨质疏松的检出率比较差异无统计学意义($P > 0.05$),诊断效能接近,提示 AI 可以利用机会性 CT 检测对骨质疏松进行筛查。AI 辅助机会性 CT 虽然不受肥胖、腹主动脉钙化、脊柱退变等影响,但尚需更大样本量验证和提高其灵敏度和特异度。

研究结果显示,对于老年男性,定量 CT 在骨质疏松的检出率上相比 DXA 更具有优势^[30-32]。本研究结果显示,不同性别患者中,两种方式对骨质减少和骨质疏松的检出率差异无统计学意义($P > 0.05$),表明在临床上两种方式受性别因素影响较小,对老年男性人群骨质疏松和骨质减少的检测同样适用。但因本研究纳入样本量较少,且存在选择偏倚及测量部位不完全一致等情况,其相关性需要通过更大样本量进行验证。

以 DXA 结果为参考标准,AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统对骨质疏松诊断的灵敏度为 68.1%,特异度为 64.0%,但仍存在一定的局限性,需要更多的临床数据进行训练和优化算法模型,手动排除影响椎体骨密度的因素(如压缩性骨折、异常骨岛等)。

本研究存在以下几方面的不足之处。(1)DXA 测量椎体 $L_1 \sim L_4$ 的骨密度,测量的是面积骨密度,为二维测量结果,无法区分骨松质和骨皮质的密度^[33-34]。而 AI 定量 CT 辅助骨密度检测系统测量椎体 $T_{12} \sim L_2$ 的骨密度,测量的是松质骨和皮质骨的体积密度,导致了其骨密度测量的临床相关性有限。(2)本研究为回顾性研究,入选病例存在一定的选择性。(3)研究存在样本量较少和单中心等限制,导致研究结果受相关因素影响,未来仍需要增加样本量,采用多中心、前瞻性及高质量的研究,以进一步更全面地评估 AI 辅助机会性 CT 的价值。

综上所述,在 > 60 岁及 2 型糖尿病患者中,AI 辅助机会性 CT 在早期发现骨折风险较高患者方面与 DXA 同样具有优势,且前者不会增加额外费用和多余的辐射风险,这为特定人群骨质疏松的筛查提供了一种新的临床方法。

参考文献

- [1] 余卫. 人工智能在骨质疏松症及骨折风险评估中的研究进展[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2024, 17(1): 1-16.
- [2] 贺丽英, 孙蕴, 要文娟, 等. 2010—2016 年中国老年人骨质疏松患病率 meta 分析[J]. 中国骨质疏松杂志, 2016, 22(12): 1590-1596.
- [3] 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治指南(2011 年)[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2011, 4(1): 2-17.
- [4] BOBO S T. Dual-energy X-ray absorptiometry in clinical practice: new guidelines and concerns [J]. Curr Opin Rheumatol, 2011, 23(4): 385-388.
- [5] CHENG X, YANG D, ZHOU Q, et al. Age-related bone mineral density, bone loss rate, prevalence of osteoporosis, and reference database of women at multiple centers in China [J]. J Clin Densitom, 2007, 10(3): 276-284.
- [6] JOSEPH E B, JIANHUA Y, M R S. Vertebral Body compression fractures and bone density: automated detection and classification on CT images [J]. Radiology, 2017, 284(3): 788-797.
- [7] 丁晓燕, 沈梦婕, 李岚, 等. 利用人工智能图像识别技术对染色体核型的分类研究[J]. 重庆医学, 2022, 51(16): 2853-2855.
- [8] URAN F, HARRISON B, PIRRO H, et al. Artificial intelligence applied to osteoporosis: a performance comparison of machine learning algorithms in predicting fragility fractures from MRI data [J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 49(4): 1029-1038.
- [9] 陈明月, 张雪丽, 汤光宇. 基于 CT 的机会性筛查评估骨质疏松症的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2022, 45(4): 459-465.
- [10] FERIZI U, BESSER H, HYSI P, et al. Artificial intelligence applied to osteoporosis: a performance comparison of machine learning algorithms in predicting fragility fractures from MRI data [J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 49(4): 1029-1038.
- [11] LI Y, TENG D I, SHI X, et al. Prevalence of diabetes recorded in mainland China using 2018 diagnostic criteria from the American Diabetes Association: national cross sectional study [J]. BMJ, 2020, 369: m997.

- [12] 许慧娟,李思远,林杰文,等. 2 型糖尿病合并骨质疏松症患者胰岛素抵抗与骨密度、血糖的相关性分析[J]. 黑龙江医药,2021,34(6):1455-1456.
- [13] NOTARNICOLA A,MACCAGNANO G,TA-FURI S, et al. Epidemiology of diabetes mellitus in the fragility fracture population of a region of southern Italy[J]. J Biol Regul Homeost Agents,2016,30(1):297-302.
- [14] DE LIEFDE I I,VAN DER KLIFT M,DE LA-ET C, et al. Bone mineral density and fracture risk in type-2 diabetes mellitus; the Rotterdam study[J]. Osteoporos Int,2005,16:1713-1720.
- [15] PAOLO G F,FRANCESCA F,FEDERICO Q, et al. Concise review:diabetes,the bone marrow niche,and impaired vascular regeneration[J]. Stem Cells Transl Med,2014,3(8):949-957.
- [16] WOODSON G. Dual X-ray absorptiometry T-score concordance and discordance between the hip and spine measurement sites [J]. J Clin Densitom,2000,3(4):319-324.
- [17] ANDREOLI A,GARACI F,CAFARELLI F P, et al. Body composition in clinical practice[J]. Eur J Radiol,2016,85(8):1461-1468.
- [18] WELLS J C K,SHIRLEY M K. Body composition and the monitoring of non-communicable chronic disease risk[J]. Glob Health Epidemiol Geno,2016,1:e18.
- [19] ADIL C,AYDIN T,TASPINAR O, et al. Bone mineral density evaluation of patients with type 2 diabetes mellitus[J]. J Phys Ther Sci,2015,27(1):179-182.
- [20] BONDS D E,LARSON J C,SCHWARTZ A V, et al. Risk of fracture in women with type 2 diabetes;the women's health initiative observational study[J]. J Clin Endocr Metab,2006,91(9):3404-3410.
- [21] GILBERT M P,PRATLEY R E. The impact of diabetes and diabetes medications on bone health[J]. Endocr Rev,2015,36(2):194-213.
- [22] CHEN K,ZHAI X,SUN K, et al. A narrative review of machine learning as promising revolution in clinical practice of scoliosis[J]. Ann Transl Med,2021,9(1):67.
- [23] NORMAN B,PEDOIA V,NOWOROLSKI A, et al. Applying densely connected convolutional neural networks for staging osteoarthritis severity from plain radiographs[J]. J Digit Imaging,2019,32(3):471-477.
- [24] NAMIRI N K,FLAMENT I,ASTUTO B, et al. Deep learning for hierarchical severity staging of anterior cruciate ligament injuries from MRI[J]. Radiology,2020,2(4):e190207.
- [25] ZHOU X L,WANG E G,LIN Q, et al. Diagnostic performance of convolutional neural network-based Tanner-Whitehouse 3 bone age assessment system[J]. Quant Imaging Med Surg,2020,10(3):657-667.
- [26] 王炯亮,李文轩,陈敏山,等. 人工智能在肝细胞癌研究的应用现状与前景[J]. 中华医学杂志,2021,101(6):435-441.
- [27] 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.
- [28] YOHANN B,ROGER Z,EGO S. Role of cortical bone in bone fragility[J]. Curr Opin Rheumatol,2015,27(4):406-413.
- [29] XIAO GUANG C,KAIPING Z,XIAOJUAN Z, et al. Opportunistic screening using low-dose CT and the prevalence of osteoporosis in China;a nationwide, multicenter study[J]. J Bone Miner Res,2020,36(3):427-435.
- [30] 赵燕玲,弓健,徐浩,等. DXA 骨密度测量的规范化诊断报告书写专家共识[J]. 国际放射医学核医学杂志,2019,43(5):484-489.
- [31] 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.
- [32] 李晓玉,李娜,苏永彬,等. 腰椎定量 CT 与双能 X 线骨密度测量对老年男性骨质疏松的诊断效能比较[J]. 中国骨质疏松杂志,2012,18(11):980-983.
- [33] 李凯,马毅民,刘丹,等. 定量 CT 骨密度测量诊断中国老年男性人群骨质疏松[J]. 中国医学影像技术,2015,31(10):1454-1456.
- [34] 刘云,李培岭,郭永杰,等. 中老年骨质疏松症患者腰 1~3 椎体骨密度值与 CT 值相关性研究[J]. 风湿病与关节炎,2021,10(6):29-31.