

定量CT应用于糖尿病骨质疏松症的研究进展

沈思雨^{1,2}, 邓淼月^{1,2}, 郭懿^{1,2}, 田烁², 李雪², 张微², 俞芳^{2*}, 肖红珍²

¹华北理工大学研究生院, 河北 唐山

²唐山市工人医院内分泌科, 河北 唐山

收稿日期: 2023年7月21日; 录用日期: 2023年8月14日; 发布日期: 2023年8月21日

摘要

随着糖尿病患病率的逐年增加, 骨质疏松症(osteoporosis, OP)作为糖尿病的慢性合并症之一, 在不同程度上影响患者的生活质量, 为患者增加沉重的经济及心理负担, 因此早期发现骨量减少, 及时对骨质疏松症进行预防和治疗尤为重要。目前骨质疏松症诊断的金标准仍为双能X线吸收检测法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA), 但其易导致骨质疏松症的确诊率降低。定量CT (quantitative computed tomography, QCT)能够分开测量皮质骨与松质骨的体积骨密度, 通过单独测定骨转换率高的松质骨, 不受其他因素影响, 更敏感地监测骨密度的动态变化, 为临床上早期干预和治疗提供依据。因此未来QCT可能在我国糖尿病骨质疏松症的防治上能够发挥重要作用。

关键词

骨质疏松症, 骨密度, QCT, 糖尿病

Research Progress of Quantitative CT in Diabetic Osteoporosis

Siyu Shen^{1,2}, Miaoyue Deng^{1,2}, Yi Guo^{1,2}, Shuo Tian², Xue Li², Wei Zhang², Fang Yu^{2*}, Hongzhen Xiao²

¹Graduate School of North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

²Department of Endocrinology, Tangshan Workers' Hospital, Tangshan Hebei

Received: Jul. 21st, 2023; accepted: Aug. 14th, 2023; published: Aug. 21st, 2023

Abstract

With the prevalence of diabetes increasing year by year, osteoporosis (OP) as one of the chronic

*通讯作者。

文章引用: 沈思雨, 邓淼月, 郭懿, 田烁, 李雪, 张微, 俞芳, 肖红. 定量 CT 应用于糖尿病骨质疏松症的研究进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(8): 13350-13355. DOI: 10.12677/acm.2023.1381865

comorbidities of diabetes, affects the quality of life of patients to varying degrees, and increases the heavy economic and psychological burden of patients, therefore, it is particularly important to detect osteopenia early and prevent and treat osteoporosis in time. At present, the gold standard for the diagnosis of osteoporosis is still dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), but it is easy to reduce the diagnosis rate of osteoporosis. Quantitative computed tomography (QCT) can measure the volume bone density of cortical and cancellous bone separately. By measuring cancellous bone with high bone turnover rate separately, it is not affected by other factors and more sensitive to monitor the dynamic changes of bone density, providing a basis for early intervention and treatment in clinical practice. Therefore, in the future, QCT may play an important role in the prevention and treatment of diabetic osteoporosis in China.

Keywords

Osteoporosis, Bone Mineral Density, QCT, Diabetes

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

骨质疏松症是一种全身性的骨骼代谢性疾病,其特征是低骨量和骨组织的微细结构破坏,导致骨质疏松性增加,进而导致骨折风险的增加[1]。有研究显示在过去的30年里我国骨质疏松症的患病率和脆性骨折的发生率显著增加,据统计到2035年骨质疏松症相关骨折的数量和成本将翻一番,男性与女性的每10年骨质疏松症发病增长率分别约为15%和21% [2]。中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会根据相关流行病学估算50岁以上人群骨质疏松症患病率为19.2%,其中女性为32.1%,男性为6.9%;65岁以上人群骨质疏松症患病率为32.0%,其中女性为51.6%,男性为10.7%。随着我国老龄化人口的持续增长,糖尿病作为一种常见的慢性疾病,其发病率也在逐年上升[3]。骨质疏松症作为糖尿病的常见合并症之一,其造成的骨质疏松性骨折,是导致老年人群残疾甚至死亡的重要原因,其中2型糖尿病患者中骨质疏松症的患病率可达37.8% [4]。因此早期对糖尿病患者准确的诊断及治疗骨质疏松症并对骨量减少者予以干预就显得尤为重要。目前诊断骨质疏松症的方法主要依赖于骨密度(BMD)的测量[5]。DXA测量骨密度是目前通用的骨质疏松症诊断依据,但DXA只能评估面积骨密度,其在测量较小体型者时会出现假阳性,会受血管钙化、骨质增生、椎体骨折等影响出现假阴性。QCT是在临床CT扫描数据的基础上,进行CT三维数据分析,其测量的是真正的体积骨密度,对糖尿病骨质疏松症的诊断具有显著优势。现本文对定量CT诊断糖尿病骨质疏松症的研究进展进行综述。

2. 糖尿病与骨质疏松症

糖尿病是全球性的公共卫生问题,随着我国人民生活质量的提高,我国糖尿病的患病率从1980年的0.67%到2017年已经增长到11.2%,近年来我国糖尿病的患病人数更是位居世界第一[6]。随着当今老龄化日益严重,骨质疏松症也成为全世界面临的重大公共问题。据估算目前我国骨质疏松症患者已达9000万人[7]。骨质疏松症早期没有明显临床表现,易被漏诊,当患者出现疼痛、脊柱变形甚至骨折等严重症状时,其诊治过程产生的医疗费用将会为患者带来沉重的心理及经济负担。有2010年数据报告显示,我国骨质疏松性骨折的医疗支出约94.5亿美元,预估到2050年将达到254.3亿美元[8] [9]。糖尿病可导致多

种慢性并发症，其中包括对骨代谢的影响。因此糖尿病患者发生骨质疏松的概率较非糖尿病患者显著增高。有研究表明，骨质疏松症和糖尿病患者骨折的相关性比预期的更大，糖尿病患者髌部骨折的风险几乎是非糖尿病患者的两倍[10] [11]，跌倒在糖尿病患者中的发病率是 25%，在非糖尿病患者中为 15% [12]，可见血糖升高对骨骼有着严重的负面影响。糖尿病可以影响人体许多器官的功能，包括心脏、大脑、肾脏、神经等。糖尿病对骨骼的影响也是多方面的，在 1 型糖尿病患者中，胰岛素和胰岛素样生长因子-1 (IGF-1) 绝对缺乏导致骨形成受损，峰值骨量降低，致使骨密度降低进而骨折风险增加。在 2 型糖尿病患者中，引起骨代谢的原因较为复杂，包括骨负荷增加、高糖毒性、糖基化终末产物堆积、胰岛素抵抗导致高胰岛素血症、脂代谢的紊乱、微循环的障碍以及性激素水平和降糖药物等多种因素均可能引起骨量降低、骨脆性增加。Albright 教授在 1948 年描述了糖尿病和骨量减少之间的联系，证明糖尿病可能会影响骨骼系统并导致骨质疏松症[13]。此后，糖尿病与骨质疏松症之间的关系引起了广泛关注。为了更好地了解糖尿病与骨质疏松的关系，Zeitoun 等人对有无糖尿病大鼠的股骨进行了研究，结果显示有糖尿病的大鼠的骨小梁体积和数量明显低于无糖尿病的大鼠，而且骨小梁分离程度也较高，小梁分离比无糖尿病大鼠组大 60% [14]。这些发现强烈支持 T1DM 和 T2DM 与骨折风险增加之间的关联。血糖升高可能通过多方面对骨骼产生影响，长时间血糖控制不佳会导致微血管并发症，并可能通过各种机制加剧骨密度的损失，如高血糖会诱导 TNF α 等促炎细胞因子的表达，抑制成骨细胞的分化和活性，从而增加成骨细胞凋亡[15]；一项来自日本的研究显示，胰岛素抵抗可影响骨小梁的评分[16]。高血糖还可能导致活性氧产生的增加，进而增加破骨细胞的形成和活性[17]；持续的高血糖还会导致晚期糖基化终末产物生成增加。另外长期血糖增高会导致视网膜病变和神经病变等并发症，从而使糖尿病患者更易跌倒[18] [19]；糖尿病的慢性并发症糖尿病性肾病会导致高尿钙症，并可改变维生素 D 代谢，导致维生素 D 缺乏[20]；糖尿病患者常伴有激素水平低，有文献报导 2 型糖尿病患者的雄激素水平低下，骨转换率相对较低，导致骨脆性增加[21]；部分糖尿病的治疗用药也会影响骨代谢，糖尿病肾病患者使用袢利尿剂也与低骨密度有关，因为这些药物会导致肾脏排泄钙。Schwartz 等人证明，在 FRAX 评分相似的糖尿病患者中，患有 2 型糖尿病的老年人骨折风险高于无糖尿病的老年人[22]。多项研究证明了糖尿病患者骨质疏松的高发生率，在骨折发生前对低骨量进行早期诊断，通过评估骨密度并进行早期治疗，可以预防骨质疏松症。因此将骨密度的测量与糖尿病的管理结合起来对抗糖尿病患者骨质疏松症就显得尤为重要。

3. 骨质疏松症的诊断

3.1. 骨质疏松症诊断标准

骨质疏松症的诊断基于全面的病史采集、体格检查、骨密度测定、影像学检查及必要的生化测定。临床上诊断原发性骨质疏松症应包括两方面：确定是否为骨质疏松症和排除继发性骨质疏松症[23]。骨质疏松症的诊断标准是基于 DXA 骨密度和/或脆性骨折。骨密度测量方法较多，包括 DXA、QCT、外周双能 X 线吸收仪(peripheral dual energy X-ray absorp tiometry, pDXA)、单能 X 线骨密度(single X-ray absorp-tiometry, SXA)、外周定量 CT (peripheral quantitative computed tomography, pQCT)和定量超声(quantitative ultrasound, QUS)等，目前我国临床上较常用的是 DXA、QCT，根据骨密度结果判断骨骼质量是相对客观、直观的方法。DXA 骨密度是目前诊断骨质疏松症的金标准。但其测量的为面积骨密度，受体重、骨质增生、血管钙化等影响，导致结果的假阴性而对骨质疏松患者漏诊，低估了骨质疏松的诊断率。骨质疏松症的诊断标准是基于 DXA 骨密度和/或脆性骨折。基于骨密度的诊断对于绝经后女性、50 岁及以上男性，建议参照 WHO 推荐的诊断标准(表 1)。对于绝经后女性、50 岁及以上男性，建议参照 WHO 推荐的诊断标准(表 2)。

Table 1. Classification standard of bone mineral density based on DXA**表 1.** 基于 DXA 测定骨密度的分类标准

诊断	T-值
正常	T-值 ≥ -1.0
骨量减少	$-2.5 < \text{T-值} < -1.0$
骨质疏松	T-值 ≤ -2.5
严重骨质疏松	T-值 ≤ -2.5 + 脆性骨折

注: DXA = 双能 X 线吸收检测法。

Table 2. Diagnostic criteria of osteoporosis**表 2.** 骨质疏松症诊断标准

骨质疏松症诊断标准(符合以下三条中之一者)
髌部或椎体脆性骨折
DXA 测定中轴骨骨密度或桡骨远端 1/3 骨密度 T-值 ≤ -2.5
骨密度测量符合骨量减少($-2.5 < \text{T-值} < -1.0$) + 肱骨近端、骨盆或前臂远端脆性骨折

3.2. 定量 CT 测量骨密度的应用现状

QCT 是利用临床 CT 扫描出的数据, 结合体模校准测量骨密度和体成分的精准测量。QCT 可以测量多部位的骨密度, 目前应用较多的测量部位为脊柱和髌部[24]。QCT 测量椎体松质骨的真正体积骨密度, 其单位是 mg/cm^3 , 因此其不受肥胖、主动脉钙化、骨赘、椎间盘间隙狭窄或退行性脊柱疾病等影响[25]。国际临床骨密度和美国放射学会已分别于 2007 年和 2018 年发布 QCT 应用于骨质疏松的诊断标准。腰椎 QCT 骨密度骨质疏松诊断标准为: 采用腰椎 QCT 骨密度绝对值进行诊断, 取 2 个腰椎椎体松质骨的骨密度平均值(常用第 1 和第 2 腰椎), 正常为骨密度绝对值 $> 120 \text{ mg}/\text{cm}^3$, 低骨量为 $80 \text{ mg}/\text{cm}^3 \leq$ 骨密度绝对值 $\leq 120 \text{ mg}/\text{cm}^3$ 、骨质疏松为骨密度绝对值 $< 80 \text{ mg}/\text{cm}^3$ [26]。Lin 及印度的 Dheeraj 等学者都通过比较 QCT 与 DXA 对骨质疏松检出率的研究证明了 QCT 的检出率高于 DXA [27] [28]。Li 等人进行对 140 名绝经后妇女进行 QCT 与 DXA 检测骨密度的比较, 结果显示 DXA 检出率为 17.1%, QCT 检出率为 46.4% ($p < 0.01$), 该研究表明, QCT 对绝经后妇女骨质疏松症的检出率明显高于 DXA [29]。Xu 等人的研究表明, QCT 与 DXA 测量骨密度的一致性、轻度不一致和重度不一致分别占 40.9%、50.8% 和 8.30% [30]。导致这些结果的可能原因是脊柱退变、椎体骨折和腹主动脉钙化等[31]。这些不一致可能会对患者的治疗方法和总体预后产生影响。基于国际临床骨密度和美国放射学会发布的 QCT 应用于骨质疏松的诊断标准, 我国多个指南和共识指出同样适合中国人群。近年来, 我国也有多位学者进行定量 CT 诊断骨质疏松的相关研究, 秦明伟等学者早在 1996 年于北京地区收集 445 例正常人群的 QCT 腰椎骨密度正常值, 但这次采集仅局限在北京地区的人群[32]。程晓光等学者牵头开展了定量 CT 相关的全国多中心研究, 该研究是前瞻性、全国性的多中心人群队列研究, 通过全国多中心大数据相结合, 证明了低剂量胸部 CT 广泛应用于测量腰椎骨密度的可行性。该研究首次建立了符合中国人群的腰椎骨密度参考数据, 完善了我国应用定量 CT 诊断骨质疏松的标准, 更好的推动定量 CT 在我国应用于骨质疏松的诊断。在糖尿病患者中, 使用 QCT 和 DXA 诊断骨质疏松症时经常出现不一致, 根据目前的研究, 仅使用 DXA 来诊断骨质疏松症可能会导致病情被忽视, DXA 不足以全面了解糖尿病患者骨折风险[33]。虽然国际上承认 DXA 是诊断骨质疏松的一个金标准, 但目前的研究表明, 在筛查的情况下, QCT 扫描可能比 DXA 更具有优势。由于骨赘和退行性改变等导致的 DXA 检测 BMD 的假阴性可能会高估 t 值结果, 这在 QCT 中是可以避免

的。骨密度的最终目的是为了预测骨折发生的风险,已经研究证实 QCT 可以预测骨折发生的风险。QCT 在测量骨密度、诊断骨质疏松方面能够弥补 DXA 的不足,有着准确、敏感等优势,但目前尚未在我国骨质疏松症诊断方面普及。因为可以将临床常规 CT 检查与 QCT 检查相结合,所以无须接受额外的辐射,患者仅接受一次检查即可以完成临床常规影像诊断的需要,又可完成 QCT 对骨密度的测量。目前我国的常规 CT 扫描已经在各级医院普及,因此在我国应用 QCT 进行骨密度的测量有着可观前景。同时我国也需要进一步的研究来评估使用低剂量胸部 CT 扫描对人群进行机会性筛查以预防骨折的发生。希望未来有更多学者能够深入研究,提供更全面的数据,更好的推广 QCT 应用于我国骨质疏松诊断。根据现有研究可见 QCT 对预测糖尿病患者骨折发生风险可能具有良好临床应用前景。

4. 小结

随着越来越多的糖尿病人群对糖尿病并发症的重视,骨质疏松性脆性骨折作为一种会严重影响患者生活质量的慢性合并症,需要更准确、灵敏的检查以便能在早期发现骨密度的减少,及时做出预防措施。QCT 作为一种基于 CT 扫描结果的检查,可以更早测得松质骨真正的体积骨密度,不受脊柱退变、椎体骨折和腹主动脉钙化等影响,减少骨质疏松症诊断的假阴性。国际上已经将机会性 QCT 骨密度测量应用在低剂量腹部 CT 扫描和 CT 增强扫描中,这有助于在临床 CT 检查的同时筛查骨质疏松症,降低二次辐射的危害。因此,定量 CT 在诊断糖尿病患者骨密度方面有着显著优势,同时也需要更多学者参与深入研究,希望未来我国能够将 QCT 广泛的应用于骨质疏松的诊断及治疗,完善更多 QCT 相关数据。

基金项目

河北省 2023 年度医学科学研究课题计划(20230235)。

参考文献

- [1] Ensrud, K.E. and Crandall, C.J. (2017) Osteoporosis. *Annals of Internal Medicine*, **167**, ITC17-ITC32. <https://doi.org/10.7326/AITC201708010>
- [2] Wang, O., Hu, Y., Gong, S., et al. (2015) A Survey of Outcomes and Management of Patients Post Fragility Fractures in China. *Osteoporosis International*, **26**, 2631-2640. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3162-6>
- [3] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2017 年版) [J]. 中国实用内科杂志, 2018, 38(4): 292-344.
- [4] Si, Y.H., Wang, C.Y., Guo, Y., et al. (2020) Prevalence of Osteoporosis in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus in the Chinese Mainland: A Protocol of Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore)*, **99**, e19762. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019762>
- [5] 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(2022) [J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2022, 15(6): 573-611.
- [6] 杨文英. 中国糖尿病的流行特点及变化趋势[J]. 中国科学: 生命科学, 2018, 48(8): 812-819.
- [7] Lin, W.T., He, C.Q., Xie, F.Q., et al. (2023) Quantitative CT Screening Improved Lumbar BMD Evaluation in Older Patients Compared to Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. *BMC Geriatrics*, **23**, Article No. 231. <https://doi.org/10.1186/s12877-023-03963-6>
- [8] 贺丽英, 孙蕴, 要文娟, 等. 2010-2016 年中国老年人骨质疏松症患病率 Meta 分析[J]. 中国骨质疏松杂志, 2016, 22(12): 1590-1596.
- [9] Si, L., Winzenberg, T.M., Jiang, Q., et al. (2015) Projection of Osteoporosis-Related Fractures and Costs in China: 2010-2050. *Osteoporosis International*, **26**, 1929-1937. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3093-2>
- [10] Treece, G.M. and Gee, A.H. (2015) Independent Measurement of Femoral Cortical Thickness and Cortical Bone Density Using Clinical CT. *Medical Image Analysis*, **20**, 249-264. <https://doi.org/10.1016/j.media.2014.11.012>
- [11] Kumari, C., Yagoub, G., Ashfaq, M., et al. (2021) Consequences of Diabetes Mellitus in Bone Health: Traditional Review. *Cureus*, **13**, e13820. <https://doi.org/10.7759/cureus.13820>
- [12] de Liefde, I.I., van der Klift, M., de Laet, C.E., et al. (2005) Bone Mineral Density and Fracture Risk in Type-2 Di-

- abetes Mellitus: The Rotterdam Study. *Osteoporosis International*, **16**, 1713-1720. <https://doi.org/10.1007/s00198-005-1909-1>
- [13] Dhaon, P. and Shah, V.N. (2014) Type 1 Diabetes and Osteoporosis: A Review of Literature. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, **18**, 159-165. <https://doi.org/10.4103/2230-8210.129105>
- [14] Kawashima, Y., Christopher Fritton, J., Yakar, S., et al. (2009) Type 2 Diabetic Mice Demonstrate Slender Long Bones with Increased Fragility Secondary to Increased Osteoclastogenesis. *Bone*, **44**, 648-655. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2008.12.012>
- [15] Lechleitner, M., Koch, T., Herold, M., et al. (2000) Tumour Necrosis Factor-Alpha Plasma Level in Patients with Type 1 Diabetes Mellitus and Its Association with Glycaemic Control and Cardiovascular Risk Factors. *Journal of Internal Medicine*, **248**, 67-76. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2796.2000.00705.x>
- [16] Iki, M., Fujita, Y., Kouda, K., et al. (2017) Hyperglycemia Is Associated with Increased Bone Mineral Density and Decreased Trabecular Bone Score in Elderly Japanese Men: The Fujiwara-Kyo Osteoporosis Risk in Men (FORMEN) Study. *Bone*, **105**, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.08.007>
- [17] Fraser, J.H., Helfrich, M.H., Wallace, H.M., et al. (1996) Hydrogen Peroxide, but Not Superoxide, Stimulates Bone Resorption in Mouse Calvariae. *Bone*, **19**, 223-226. [https://doi.org/10.1016/8756-3282\(96\)00177-9](https://doi.org/10.1016/8756-3282(96)00177-9)
- [18] Diabetes Control and Complications Trial Research Group, Nathan, D.M., Genuth, S., et al. (1993) The Effect of Intensive Treatment of Diabetes on the Development and Progression of Long-Term Complications in Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *The New England Journal of Medicine*, **329**, 977-986. <https://doi.org/10.1056/NEJM199309303291401>
- [19] Viégas, M., Costa, C., Lopes, A., et al. (2011) Prevalence of Osteoporosis and Vertebral Fractures in Postmenopausal Women with Type 2 Diabetes Mellitus and Their Relationship with Duration of the Disease and Chronic Complications. *Journal of Diabetes and Its Complications*, **25**, 216-221. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2011.02.004>
- [20] Thalassinou, N.C., Hadjiyanni, P., Tzanela, M., et al. (1993) Calcium Metabolism in Diabetes Mellitus: Effect of Improved Blood Glucose Control. *Diabetic Medicine*, **10**, 341-344. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.1993.tb00076.x>
- [21] Colleluori, G., Aguirre, L., Dorin, R., et al. (2017) Hypogonadal Men with Type 2 Diabetes Mellitus Have Smaller Bone Size and Lower Bone Turnover. *Bone*, **99**, 14-19. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.03.039>
- [22] Schwartz, A.V., Vittinghoff, E., Bauer, D.C., et al. (2011) Association of BMD and FRAX Score with Risk of Fracture in Older Adults with Type 2 Diabetes. *JAMA*, **305**, 2184-2192. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.715>
- [23] 夏维波, 章振林, 林华, 等. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2017) [J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(3): 281-309.
- [24] 程晓光, 余卫. 定量CT骨密度测量技术的进展与临床应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(12): 881-883.
- [25] Qadan, L. and Ahmed, A. (2023) Addressing Gaps in Osteoporosis Screening in Kuwait Using Opportunistic Quantitative Computer Tomography (QCT): A Retrospective Study. *Archives of Osteoporosis*, **18**, Article No. 50. <https://doi.org/10.1007/s11657-023-01244-8>
- [26] 张智海, 刘忠厚, 李娜, 等. 中国人骨质疏松症诊断标准专家共识(第三稿·2014版) [J]. 中国骨质疏松杂志, 2014, 20(9): 1007-1010.
- [27] Lin, W., He, C., Xie, F., et al. (2023) Discordance in Lumbar Bone Mineral Density Measurements by Quantitative Computed Tomography and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Postmenopausal Women: A Prospective Comparative Study. *The Spine Journal*, **23**, 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2022.10.014>
- [28] Cheng, X., Zhao, K., Zha, X., et al. (2021) Opportunistic Screening Using Low-Dose CT and the Prevalence of Osteoporosis in China: A Nationwide, Multicenter Study. *Journal of Bone and Mineral Research*, **36**, 427-435. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4187>
- [29] Zeitoun, D., Caliaperoumal, G., Bensidhoum, M., et al. (2019) Microcomputed Tomography of the Femur of Diabetic Rats: Alterations of Trabecular and Cortical Bone Microarchitecture and Vasculature—A Feasibility Study. *European Radiology Experimental*, **3**, Article No. 17. <https://doi.org/10.1186/s41747-019-0094-5>
- [30] Xu, D., Wang, K.D. and Yang, J. (2020) Triglyceride Can Predict the Discordance between QCT and DXA Screening for BMD in Old Female Patients. *Disease Markers*, **2020**, Article ID: 8898888. <https://doi.org/10.1155/2020/8898888>
- [31] Dheeraj D, Chauhan U, Khapre M., et al. (2022) Comparison of Quantitative Computed Tomography and Dual X-Ray Absorptiometry: Osteoporosis Detection Rates in Diabetic Patients. *Cureus*, **14**, e23131. <https://doi.org/10.7759/cureus.23131>
- [32] 秦明伟, 余卫, 孟迅吾, 等. 正常人腰椎骨密度变化——445例QCT测量分析[J]. 中国医学科学院学报, 1996(6): 439-443.
- [33] 苏浩浩, 贾庆卫, 张新焕, 等. 双能X线和定量CT对2型糖尿病患者骨质疏松的诊断价值分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(17): 1579-1581.