

定量CT应用于绝经后女性骨质疏松症的研究进展

邓淼月^{1,2}, 郭懿^{1,2}, 沈思雨^{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12月12日; 录用日期: 2024年1月7日; 发布日期: 2024年1月15日

摘要

随着我国社会人口老龄化进程的加速, 骨质疏松症(osteoporosis, OP)已成为对中老年人生活质量造成不可忽视影响的重要健康问题, 特别是绝经后女性, 由于雌激素水平快速降低, 加速了骨量流失, 骨组织微结构破坏, 导致脆性增加, 骨强度降低, 增加了患骨质疏松症的风险, 因此对绝经后女性骨质疏松症的早期诊断并积极预防十分重要。目前我国临床上主要采用双能X线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)和定量计算机断层扫描(quantitative computed tomography, QCT)两种方法来测量骨密度, QCT是三维测量骨密度的技术, 可分别测量松质骨和皮质骨的体积骨密度, 相较于DXA二维测量皮质骨和松质骨的整体面积骨密度检出骨质疏松症的阳性率更高, 有助于早期反映机体骨密度的变化。近年来, QCT在各国的骨质疏松研究和临床应用中越来越受到重视, QCT骨密度测量技术具有良好的应用前景。

关键词

骨质疏松症, 骨密度, QCT, 绝经后女性

Research Progress of Quantitative CT in Postmenopausal Women with Osteoporosis

Miaoyue Deng^{1,2}, Yi Guo^{1,2}, Siyu Shen^{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

²Endocrinology Department of Tangshan Gongren Hospital, Tangshan Hebei

Received: Dec. 12th, 2023; accepted: Jan. 7th, 2024; published: Jan. 15th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 邓淼月, 郭懿, 沈思雨, 田烁, 李雪, 张微, 俞芳, 肖红珍. 定量CT应用于绝经后女性骨质疏松症的研究进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(1): 597-605. DOI: 10.12677/acm.2024.141083

Abstract

With the acceleration of the aging process of China's social population, osteoporosis (OP) has become an important health problem that has a non-negligible impact on the quality of life of middle-aged and elderly people. Especially in postmenopausal women, due to the rapid decrease of estrogen levels, bone loss is accelerated, bone tissue microstructure is destroyed, bone fragility is increased, bone strength is reduced, and the risk of osteoporosis is increased. Therefore, early diagnosis and active prevention of osteoporosis in postmenopausal women are very important. At present, dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and quantitative computed tomography (QCT) are mainly used to measure bone mineral density in China. QCT is a three-dimensional technique for measuring bone mineral density, which can measure the volume bone mineral density of cancellous bone and cortical bone respectively. Compared with DXA two-dimensional measurement of the overall area bone mineral density of cortical bone and cancellous bone, the positive rate of osteoporosis is higher. It is helpful to reflect the changes of bone mineral density in the early stage. In recent years, QCT has been paid more and more attention in the research and clinical application of osteoporosis in various countries. QCT bone mineral density measurement technology has a good application prospect.

Keywords

Osteoporosis, Bone Mineral Density, QCT, Postmenopausal Women

Copyright © 2024 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. 骨质疏松症

1.1. 骨质疏松症概况

骨质疏松症是一种以骨量减低、骨组织的微细结构破坏, 导致骨脆性和骨折风险增加为特征的全身性骨骼疾病[1]。骨质疏松症在多个年龄阶段都有可能发生, 但多见于已经绝经的女性和老年男性。根据病因的区别, 将骨质疏松症分为原发性以及继发性两大类, 其中原发性骨质疏松症包括绝经后骨质疏松症(I型)、老年骨质疏松症(II型)和特发性骨质疏松症(包括青少年型); 继发性骨质疏松症是指由各种影响骨组织代谢的疾病和(或)药物以及其他明确病因所导致的骨质疏松。

随着我国老年人口的数量不断攀升, 骨质疏松症患病率也随年龄增加而大幅上涨, 已经成为我国 50 岁以上中老年人重要的公共健康问题, 给家庭和社会带来了经济负担。2021 年国家统计局发布的第七次全国人口普查结果显示: 我国 60 岁以上人口为 2.64 亿, 约占总人口数量的 18.7%, 65 岁以上人口超 1.9 亿, 约占总人口数量的 13.5%, 是世界上老年人口最多的国家[2]。根据我国骨质疏松症流行病学调查报告: 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% [3], 据此估算, 我国目前骨质疏松症患者人数约为 9000 万, 其中女性约为 7000 万[4]。Salari 等[5]在 2021 年发表的一项针对近 20 年骨质疏松症患病率流行趋势的 Meta 分析显示, 全球骨质疏松症患病率为 18.3%左右, 其中女性约占 23.1%、男性约占 11.7%, 女性患病率明显高于男性。通过文献检索和其他各国比较发现, 我国男性骨质疏松症患病率水平(50 岁以

上为6.0%)与各国差异不显著(美国50岁以上男性骨质疏松症患病率为5.1%,加拿大为6.6%,韩国为7.3%),而女性骨质疏松症患病率水平(50岁以上为32.1%)要显著高于欧美国家,与日韩等亚洲国家接近(美国50岁以上女性骨质疏松症患病率为16.5%,加拿大为15.8%,韩国为38.0%) [6]。2022年吴惠一等[7]对中国绝经女性骨质疏松患病率的Meta分析结果显示,以年龄段分组,骨质疏松症的患病率<50岁约为16.2%,50~59岁约为28.8%,60~69岁约为41.1%,70~79岁约为55.3%,≥80岁约为82.0%。我国骨质疏松症的患病率高,并且危害极大,但由于群众普遍缺乏对骨质疏松症的认知,对预防骨质疏松症的重要性认识不足,同时,我国基层医疗机构对骨质疏松症的防治能力比较欠缺,骨质疏松症诊疗水平在地区间、城乡间还有明显差异,并且骨质疏松症起病隐匿,初期并没有明显的临床表现,导致我国居民对骨密度的检测不及时,骨质疏松症检出率较低,从而没有采取及时的防治措施,直至出现骨痛、脊柱变形,甚至发生骨折时才知晓骨质疏松症的发生,乃至延误了骨质疏松症的早期有利防治时机。由于人口老龄化,发生骨质疏松性骨折的患者数量在未来十年将增加25%左右[8]。据国际骨质疏松基金会数据统计,全世界50岁以上的人群中,1/3的女性及1/5的男性会经历骨质疏松性骨折,每年因骨质疏松症引起骨折的人数超过890万,约33%的骨质疏松患者会经历髌部骨折,特别是绝经后女性[9]。骨质疏松患者发生髌部骨折后会伴随很高的死亡风险,老年骨质疏松患者发生髌部骨折后一年内,约50%患者致残,20%的患者会死于各类并发症[10],生活质量明显下降。骨质疏松性骨折不仅占用有限的医疗资源,还给社会和家庭造成沉重负担。据统计,我国在骨质疏松性骨折的年治疗费用高达720亿元,这一数字到2050年可能增至1700亿元[11]。瞿斌对我国西部地区患骨质疏松症合并骨折人群的一项研究表明,骨质疏松性骨折患者的平均医疗费用每年约1.7万元,其中费用最高的是髌部骨折,其次是椎体骨折[12]。

为落实《“健康中国2030”规划纲要》对骨骼健康工作的要求,中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会倡导要做到对骨质疏松症的早诊早治,提高基层骨质疏松症防治水平和能力,降低高危人群骨质疏松症发生风险;对骨质疏松症高危人群建议定期接受骨密度检查,尽早发现低骨量人群及骨质疏松症患者,及时对其进行个体化健康干预;加强对患骨质疏松症高风险人群的重点防控,重点关注绝经后女性和中老年人群,加大对其膳食、运动等生活方式干预,同时加强骨质疏松症筛查[6],及时发现绝经后骨质疏松症及其危险因素,做好早期预防,临床上应采取综合措施,降低绝经后骨质疏松症及骨质疏松性骨折的发生率,减少骨质疏松给社会及家庭带来的负担[13]。

1.2. 绝经后骨质疏松症

绝经后骨质疏松症属于原发性骨质疏松症,多发生于女性绝经后5~10年内[4],绝经后会出现骨量快速降低,在绝经后早期,前臂远端每年平均减少约3%骨密度,脊椎和股骨颈在绝经后3年内平均每年减少2%~3%骨密度,对于绝经早的女性(45岁前),骨密度下降速度更快,平均每年骨密度减少3%~4% [14]。有研究显示女性45岁以前腰椎骨密度趋于稳定,以后骨量流失加剧[15]。绝经后骨量流失加快与雌激素的缺乏有关,雌激素可以刺激成骨细胞,促进钙盐沉积和骨质形成,并能够抑制骨吸收,女性绝经后卵巢功能衰退,雌激素水平快速下降,抑制骨吸收的作用减弱或消失,会引起:① 1,25-(OH)₂D₃的生成减少与活性降低,肠道钙质吸收减少,② 骨对甲状旁腺激素(PTH)的敏感性增强,使骨吸收增多,③ 降钙素水平降低,增加破骨细胞的活性,骨吸收作用增强,④ 对成骨活性抑制起直接作用,引起骨基质形成不足,以上情况综合作用使骨吸收超过骨形成,降低骨强度,增加骨脆性,进而导致骨质疏松[16]。绝经后女性骨质疏松症初期缺乏明显临床症状,随着病情加重,患者会出现骨骼疼痛、骨骼变形,甚至严重者受到轻微外力就会发生骨质疏松性骨折,同时焦虑、恐惧等心理也可能出现[17],给绝经后女性的身心健康造成极大危害。骨质疏松症和骨质疏松性骨折是增加绝经后女性死亡率的重要因素,有研究显示更年期女性发生较严重的骨折后,其预期寿命比发生乳腺癌后的预期寿命更短[18],因此,为避免骨质疏

松症的发生以及骨质疏松性骨折甚至再次骨折的发生,要早期筛查骨密度,及时发现绝经后骨质疏松症的发生及其危险因素,及时防治。由于骨质疏松症的症状及临床表现缺乏特异性,所以,主要还是需要依据骨密度测量和(或)影像学检查来诊断骨质疏松症。

2. 绝经后骨质疏松症骨密度测定

2.1. 骨密度测定影像学进展

骨密度(bone mineral density, BMD)是反映骨骼强度以及预测骨质疏松性骨折危险性的重要指标之一,在骨质疏松症的诊断及治疗中具有重要作用。骨密度测量方法有 DXA、单能 X 线骨密度(single X-ray absorptiometry, SXA)、外周双能 X 线吸收仪(peripheral dual energy X-ray absorptiometry, pDXA)、QCT、外周定量 CT (peripheral quantitative computed tomography, pQCT)和定量超声(quantitative ultrasound, QUS)等[4]。目前,临床上普遍采用 DXA 或 QCT 测定骨密度[19]。

2.1.1. DXA

DXA 是目前最为大众所熟知、也是使用范围最广的骨密度测定方法,也是目前骨质疏松症诊断的金标准。DXA 通过利用 2 种不同能量的 X 射线穿过骨、脂肪与肌肉等软组织后衰减的程度不同,并由以 g 为单位的骨矿物质含量(BMC)除以 cm^2 计算得出,以面积骨密度表示[20] [21]。DXA 是对松质骨和皮质骨的整体骨密度进行二维测量,难以区分松质骨和皮质骨的单独骨量,不能准确反映骨量的分布,因此会降低骨质疏松症诊断的准确性[22] [23]。并且,由于 DXA 的成像原理是平面投影技术,DXA 测得的面积骨密度容易受到椎体骨折、骨质增生、脊柱退行性病变、腹主动脉钙化、体重等因素的影响,并且这些因素会导致 T-值升高,导致假阴性的诊断,造成漏诊[24] [25]。因此,在临床上,有骨折病史、脊柱侧弯、严重肥胖或体重过低等情况时,建议用 QCT 测定骨密度,以降低干扰因素的影响。

2.1.2. QCT

QCT 骨密度测定是在临床 CT 扫描图像的基础上,结合 QCT 专业体模和分析软件对 CT 数据进行骨密度测量的方法,由 Cann 等于 1980 年提出[26]。QCT 采用的是 CT 扫描采集的原始数据测定骨密度,从理论上讲,可以用 QCT 测量任意部位的骨密度,临床上主要选择脊柱和髌部,腰椎骨密度测量的方法是,选取 2 个腰椎椎体松质骨的体积骨密度的平均值(常选用第 1 或第 2 腰椎),单位是 mg/cm^3 ; QCT 测量髌部骨密度时采用类似 DXA 的平面投影技术,单位是 g/cm^2 ,也需要计算出 T-值,其测量结果和诊断标准与 DXA 一致。QCT 与其他投影骨密度测量方法得出的面积骨密度不同,其作为一种三维测定骨密度的技术,可以分别测量松质骨及皮质骨的体积骨密度[17],松质骨代谢转换率较皮质骨高八倍,对骨密度的变化更加敏感,这种体积骨密度不受体质量、血管壁钙化、椎体形状、骨质增生的影响,可以更加准确地反映椎体中骨矿物质含量的变化,是目前测定骨密度最精确的方法[27] [28]。程晓光等[29]于 2017 年发布了中国 20~40 岁人群的 QCT 正常参考值范围。但是由于这些研究的纳入的样本量比较小,人群代表性较局限,参考值范围在全国推广受到限制。李凯等[30]采集了 5004 例健康人群的 QCT 腰椎骨密度,建立了中国人腰椎 QCT 骨密度的正常参考值范围数据库,并且其研究结果验证了国际 QCT 腰椎骨质疏松症诊断标准同样适用于中国人群。近年来由于 CT 的普及和 CT 扫描技术,特别是低剂量 CT 扫描技术的进步,QCT 骨密度测量技术的应用也随之得到发展,在国际和国内的应用都越来越普遍。

2.1.3. 外周骨密度测量

外周骨密度测量包括 pQCT、pDXA、SXA 等,主要测量的是胫骨远端、桡骨远端、指骨、跟骨等部位,应用 X 线技术主要测量的是皮质骨的骨密度。外周骨密度测量扫描位置为人体的外周部位,不涉及

人体内对辐射敏感的器官,且有效辐射剂量要低很多[31]。但其也具有无法获得易发生骨质疏松性骨折的常见部位,如股骨、腰椎等部位的骨质情况的局限性。pQCT 可用于成年人、青少年和儿童的骨密度研究,可评价骨的微结构,发现骨质疏松的早期阶段,但是尚缺乏较大样本数据参考[32]。外周骨密度目前仅用于评估骨折风险和筛查骨质疏松高风险人群,而不能用于诊断骨质疏松症。

2.1.4. QUS

QUS 的测量部位常选取跟骨和桡骨、胫骨、指骨干骺端等外周骨的骨密度,其具有无辐射、便携、价格低廉等优点,适用于大规模筛查。QUS 主要测量的参数是由超声波传导速度和振幅衰减情况两者结合得出的骨质指数,不仅可反映骨密度信息,还能反映骨脆性和弹性,以及骨骼力学特性,全面评估骨的质和量[33]。马爱玲等[34]对 450 例绝经后女性分别均进行 DXA 和 QUS 检测骨密度,并以 DXA 结果为金标准,研究结果显示 QUS 对骨密度的检测同 DXA 的一致率为 97.1%,说明 QUS 能较好反映骨密度情况。但是 QUS 检查设备缺乏标准化限制、检查部位较为局限、诊断标准尚未明确,QUS 筛查出的骨密度异常人群应进一步行 DXA 或 QCT 来测定骨密度。

2.1.5. 骨小梁分数(Trabecular Bone Score, TBS)

由于大多数脆性骨折患者的骨密度值不在骨质疏松的范围内,DXA 测量的骨密度结果不能很好地反映骨微结构的变化,而骨微结构是骨密度的关键决定因素[35]。为此,TBS 被开发出来,其基于腰椎 DXA 图像的灰阶结构指数进行测量,提供骨结构的间接指标,是 DXA 衍生出的一个新指标,为骨密度作出有利补充,提供骨密度以外的信息[36] [37],比 DXA 骨密度对于骨折风险的预测能力更好[38]。然而目前我国关于 TBS 的研究数据较少,其临床应用价值还有待验证。

2.2. QCT 诊断骨质疏松症的效能评价

虽然目前诊断骨质疏松症的金标准仍是 DXA,然而正如前文所述,骨质增生、椎体退行性改变、动脉粥样硬化、体重指数等因素容易影响 DXA 在诊断骨质疏松症中的准确性,尤其对于中老年人,这些影响更为明显,导致 DXA 对于检出骨质疏松症的灵敏性要低于 QCT。

Tothill 等[39]研究结果显示,DXA 对人体中轴骨的骨质疏松症检出情况明显低于 QCT,并且 DXA 容易受到体重指数、椎体形状的影响。Wade SW 等[40]指出,采用 DXA 测量骨密度时,有骨赘的存在会测得更高水平的骨密度值。Hsu 等[41]通过对 377 名绝经后女性和 50 岁以上男性采用 DXA 检测骨密度的研究发现,椎体压缩性骨折可使骨密度实测值增加。Tenne 等[42]对老年女性腰椎退行性改变对骨密度测量的影响这一研究中提示,椎体骨密度与脊柱退行性病变呈正相关。Amstrup 等[43]指出椎体骨折结局与 QCT 测量的体积骨密度结果高度一致,因此可以认为 QCT 能更为准确地预测椎体骨折的风险。Wang 等[44]的研究发现 QCT 测定的体积骨密度与发生椎体骨折风险的相关性高于 DXA 测定的面积骨密度,因此可认为 QCT 比 DXA 更能准确预测椎体骨折的发生。Lee 等[45]在一项利用其他目的获得的腹部 CT 扫描结果进行机会性骨质疏松症筛查的试验中也表示 QCT 对椎体骨质疏松性骨折的预测情况要优于 DXA。国内 Xu 等[25]以 313 例年龄 > 60 岁的老年男性为研究对象,对其分别采用腰椎 QCT 和 DXA 测量骨密度,发现 QCT 和 DXA 对骨质疏松症的检出率分别为 45.1%和 10.9%。Li 等[46]对 140 例绝经女性骨质疏松症检出率的对比研究得出,QCT 的骨质疏松症检出率为 46.4%,DXA 的检出率为 20%,29.3%的病例 QCT 检出骨质疏松而 DXA 未检出骨质疏松。苗辉等[47]对均接受了 QCT 和 DXA 两种检查的 186 例绝经后女性的骨密度进行对比研究后得出,QCT 对骨质疏松症的检出率为 45.9%,DXA 为 26.4%。综合上述国内外研究结论来看,DXA 对于骨密度的检测结果并不能真实地反映实际骨密度值。QCT 对于骨质疏松症的检出率、敏感率以及可信度均要高于 DXA,是诊断骨质疏松症更为准确的方法。

2.3. 骨质疏松症诊断标准

诊断骨质疏松症应以详细的病史采集、综合的体格检查、骨折风险评估、骨密度测量，以及必要的影像学 and 实验室检查为基础。骨质疏松症的诊断标准是基于骨密度和/或脆性骨折。

2.3.1. 基于骨密度和/或脆性骨折的诊断

1) 基于骨密度的诊断：目前通用的骨质疏松症诊断依据是 DXA 骨密度。对于绝经后女性、50 岁及以上男性，建议参照世界卫生组织(World Health Organization, WHO)于 1994 年推荐的诊断标准(表 1)。DXA 测量的骨密度常常需要转换为 T-值(T-score)以进行诊断， $T\text{-值} = (\text{骨密度的实测值} - \text{同种族同性别正常青年人峰值骨密度}) / \text{同种族同性别正常青年人峰值骨密度的标准差}$ 。可选择中轴骨(1~4 腰椎椎体、股骨颈或全髌部)或桡骨远端 1/3 作为骨密度测量部位，根据测得的最低 T-值来判定。

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	$-2.5 < T\text{-值} < -1.0$
骨质疏松	T-值 ≤ -2.5
严重骨质疏松	T-值 ≤ -2.5 ，伴脆性骨折

注：DXA = 双能 X 线吸收检测法。

2) 基于脆性骨折的诊断：诊断脆性骨折首先应满足以下 3 个条件：① 仅有轻微外伤史或无外伤史；② 有明确诊断骨折的影像学检查证据；③ 排除继发性骨质疏松症。诊断标准如下：
当腕部或椎体发生脆性骨折时，临床上就可以诊断骨质疏松症而无需依赖于骨密度测定；
当骨密度检测结果提示骨量减少($-2.5 < T\text{-值} < -1.0$)，并且骨盆、前臂远端或肱骨近端发生脆性骨折时，也可诊断骨质疏松症。

2.3.2. 基于 QCT 的诊断

推荐中国老年学与老年医学学会骨质疏松分会和中华医学会健康管理学分会联合 11 家学会于 2018 年制定的《中国定量 CT (QCT)骨质疏松症诊断指南(2018)》诊断标准(表 2)，此标准采用腰椎体积骨密度的绝对值，该腰椎 QCT 诊断骨质疏松症的标准早前由国际临床骨密度学会(International Society for Clinical Densitometry, ISCD)和美国放射学院(American College of Radiology, ACR)分别于 2007 年[27]和 2018 年[48]提出，并在中国人群中得到验证，证明适用于中国人群，可用于绝经后女性及老年男性骨质疏松症的诊断。

Table 2. Diagnostic criteria of osteoporosis based on lumbar quantitative CT

表 2. 基于腰椎定量 CT 诊断骨质疏松症标准

诊断	腰椎骨密度值
正常	$vBMD > 120 \text{ mg/cm}^3$
骨量减少	$80 \text{ mg/cm}^3 \leq vBMD \leq 120 \text{ mg/cm}^3$
骨质疏松	$vBMD < 80 \text{ mg/cm}^3$
严重骨质疏松	$vBMD < 80 \text{ mg/cm}^3$ ，伴脆性骨折

注：vBMD = 体积骨密度。

3. 总结和展望

骨质疏松症多发生于绝经后的女性，同时其早期的症状缺乏特异性，难以引起绝经后女性的重视，随着病情进展最终造成严重后果。因此选择灵敏准确的骨密度测定方法早期筛查、及时防治骨质疏松症十分重要。腰椎的松质骨是骨质疏松症最早容易受累的部位，因其代谢率高，骨量变化能够更早的表现出来，检测其骨密度对于诊断骨质疏松、预测骨折风险以及评价治疗效果具有重要作用。影像学是骨质疏松症研究的主要手段，尤其在中老年绝经后女性中，QCT 检测腰椎松质骨体积骨密度的变化在灵敏度、可信度上具有很大的优势。临床上可以利用出于其他目的进行的腹部 CT 扫描结果的同时，无需接受额外的辐射剂量就可获得椎体骨密度数据。在我国，DXA 的数量还无法满足临床骨密度测量的需要，而我国拥有数量庞大的 CT 机，如果与 QCT 骨密度测量技术相结合，将有效提高骨质疏松症的检出率，也将极大促进我国绝经后女性骨质疏松防治工作的发展。除测量骨密度外，QCT 还可以评估慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者的肺结构和功能，并可有为 COPD 疾病风险或已经确诊 COPD 早期阶段人群的疾病风险评估提供重要和客观的证据；QCT 还能反映腹部脂肪和肝脏脂肪的含量及分布、肌肉质量等，可用于评价脂肪肝、肌少症等，但目前 QCT 对脂肪肝和肌少症的测定标准尚无定论，QCT 对未来脂肪肝、肌少症的定量分析有至关重要的作用，具有良好的应用价值和医学前景。

参考文献

- [1] Wa, P. (1993) Consensus Development Conference: Diagnosis, Prophylaxis, and Treatment of Osteoporosis. *The American Journal of Medicine*, **94**, 646-650. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(93\)90218-E](https://doi.org/10.1016/0002-9343(93)90218-E)
- [2] 国家统计局, 国务院第七次全国人口普查领导小组办公室. 第七次全国人口普查公报(第五号)——人口年龄构成情况[J]. 中国统计, 2021(5): 10-11.
- [3] 中国疾病预防控制中心慢性非传染性疾病预防控制中心, 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 中国骨质疏松症流行病学调查报告(2018) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2021.
- [4] 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.
- [5] Salari, N., Ghasemi, H., Mohammadi, L., *et al.* (2021) The Global Prevalence of Osteoporosis in the World: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **16**, Article No. 609. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02772-0>
- [6] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 中国骨质疏松症流行病学调查及“健康骨骼”专项行动结果发布[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2019, 12(4): 317-318.
- [7] 吴惠一, 刘颖, 兰亚佳, 等. 中国绝经女性骨质疏松患病率的 Meta 分析[J]. 中国循证医学杂志, 2022, 22(8): 882-890.
- [8] Gosset, A., Pouillès, J.M. and Trémollières, F. (2021) Menopausal Hormone Therapy for the Management of Osteoporosis. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, **35**, Article ID: 101551. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2021.101551>
- [9] Noh, J.Y., Yang, Y. and Jung, H. (2020) Molecular Mechanisms and Emerging Therapeutics for Osteoporosis. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 7623. <https://doi.org/10.3390/ijms21207623>
- [10] Chow, S.K., Qin, J.H., Wong, R.M., *et al.* (2018) One-Year Mortality in Displaced Intracapsular Hip Fractures and Associated Risk: A Report of Chinese-Based Fragility Fracture Registry. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **13**, Article No. 235. <https://doi.org/10.1186/s13018-018-0936-5>
- [11] 夏维波. 骨质疏松症高骨折风险患者的识别与防治策略[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2020, 13(6): 493-498.
- [12] Qu, B., Ma, Y., Yan, M., Wu, H.H., Fan, L., Liao, D.F., Pan, X.M. and Hong, Z. (2014) The Economic Burden of Fracture Patients with Osteoporosis in Western China. *Osteoporosis International*, **25**, 1853-1860. <https://doi.org/10.1007/s00198-014-2699-0>
- [13] 中国老年学和老年医学学会骨质疏松分会妇产科专家委员会与围绝经期骨质疏松防控培训部. 围绝经期和绝经后妇女骨质疏松防治专家共识[J]. 中国临床医生杂志, 2020, 48(8): 903-908.

- [14] Prince, R.L., Smith, M., Dick, I.M., Price, R.I., Webb, P.G., Henderson, N.K. and Harris, M.M. (1991) Prevention of Postmenopausal Osteoporosis: A Comparative Study of Exercise, Calcium Supplementation, and Hormone-Replacement Therapy. *New England Journal of Medicine*, **325**, 1189-1195. <https://doi.org/10.1056/NEJM199110243251701>
- [15] Prior, J.C., Vigna, Y.M., Schechter, M.T. and Burgess, A.E. (1990) Spinal Bone Loss and Ovulatory Disturbances. *New England Journal of Medicine*, **323**, 1221-1227. <https://doi.org/10.1056/NEJM199011013231801>
- [16] Riggs, B.L., Khosla, S. and Melton III, L.J. (1998) A Unitary Model for Involutional Osteoporosis: Estrogen Deficiency Causes Both Type I and Type II Osteoporosis in Postmenopausal Women and Contributes to Bone Loss in Aging Men. *Journal of Bone and Mineral Research*, **13**, 763-773. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.5.763>
- [17] 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(2017年) [J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017(9): 415-416.
- [18] Kanis, J.A., McCloskey, E.V., Johansson, H., Cooper, C., Rizzoli, R. and Reginster, J.Y. (2013) European Guidance for the Diagnosis and Management of Osteoporosis in Postmenopausal Women. *Osteoporosis International*, **24**, 23-57. <https://doi.org/10.1007/s00198-012-2074-y>
- [19] 杨其松, 刘高, 马健东. QCT 椎体骨密度测定在骨质疏松症诊治中的临床意义[J]. 深圳中西医结合杂志, 2020, 30(1): 122-123.
- [20] Salzmann, S.N., Okano, I., Jones, C., Basile, E., Iuso, A., Zhu, J., Hughes, A.P., et al. (2021) Thoracic Bone Mineral Density Measured by Quantitative Computed Tomography in Patients Undergoing Spine Surgery. *The Spine Journal*, **21**, 1866-1872. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.05.016>
- [21] Yuan, Y., Zhang, P., Tian, W., Deng, X., Yue, R., Ge, X. and Li, X. (2021) Application of Bone Turnover Markers and DXA and QCT in an Elderly Chinese Male Population. *Annals of Palliative Medicine*, **10**, 6351-6358. <https://doi.org/10.21037/apm-21-612>
- [22] Amstrup, A.K., Jakobsen, N.F.B., Moser, E., Sikjaer, T., Mosekilde, L. and Rejnmark, L. (2016) Association between Bone Indices Assessed by DXA, HR-pQCT and QCT Scans in Post-Menopausal Women. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, **34**, 638-645. <https://doi.org/10.1007/s00774-015-0708-9>
- [23] Link, T.M. (2012) Osteoporosis Imaging: State of the Art and Advanced Imaging. *Radiology*, **263**, 3-17. <https://doi.org/10.1148/radiol.12110462>
- [24] 李凯, 李新民, 闫东, 等. 腰椎 QCT 与 DXA 对老年骨质疏松的诊断差异[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017, 10(3): 271-276.
- [25] Xu, X.M., Li, N., Li, K., Li, X.Y., Zhang, P., Xuan, Y.J. and Cheng, X.G. (2019) Discordance in Diagnosis of Osteoporosis by Quantitative Computed Tomography and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Chinese Elderly Men. *Journal of Orthopaedic Translation*, **18**, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2018.11.003>
- [26] Cann, C.E. and Genant, H.K. (1980) Precise Measurement of Vertebral Mineral Content Using Computed Tomography. *Journal of Computer Assisted Tomography*, **4**, 493-500. <https://doi.org/10.1097/00004728-198008000-00018>
- [27] Engelke, K., Adams, J.E., Armbrrecht, G., Augat, P., Bogado, C.E., Bouxsein, M.L., Lewiecki, E.M., et al. (2008) Clinical Use of Quantitative Computed Tomography and Peripheral Quantitative Computed Tomography in the Management of Osteoporosis in Adults: The 2007 ISCD Official Positions. *Journal of Clinical Densitometry*, **11**, 123-162. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2007.12.010>
- [28] Link, T.M. and Lang, T.F. (2014) Axial QCT: Clinical Applications and New Developments. *Journal of Clinical Densitometry*, **17**, 438-448. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.04.119>
- [29] 程晓光, 王亮, 曾强, 等. 中国定量 CT (QCT)骨质疏松症诊断指南(2018) [J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(6): 733-737.
- [30] 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.
- [31] Link, T.M. and Kazakia, G. (2020) Update on Imaging-Based Measurement of Bone Mineral Density and Quality. *Current Rheumatology Reports*, **22**, Article No. 13. <https://doi.org/10.1007/s11926-020-00892-w>
- [32] 王延, 杨彦茹, 刘涛. 骨密度测定影像学研究进展[J]. 中国医药科学, 2023, 13(13): 56-59. <https://doi.org/10.20116/j.issn2095-0616.2023.13.13>
- [33] 刘美快, 陈斌. 定量超声评估肌肉功能研究进展[J]. 中国介入影像与治疗学, 2018, 15(12): 769-772. <https://doi.org/10.13929/j.1672-8475.201807030>
- [34] 马爱玲, 朱丽, 赵小辉, 杜晓丽. 跟骨定量超声测量筛查体检绝经期妇女骨质疏松症的临床价值分析[J]. 临床和实验医学杂志, 2019, 18(11): 1224-1227.
- [35] Bousson, V., Bergot, C., Sutter, B., Levitz, P., Cortet, B. and Scientific Committee of the GRIO (Groupe de Recherche et d'Information sur les Ostéoporoses) (2012) Trabecular Bone Score (TBS): Available Knowledge, Clinical Relevance,

- and Future Prospects. *Osteoporosis International*, **23**, 1489-1501. <https://doi.org/10.1007/s00198-011-1824-6>
- [36] Martineau, P. and Leslie, W.D. (2017) Trabecular Bone Score (TBS): Method and Applications. *Bone*, **104**, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.01.035>
- [37] Ulivieri, F.M., Silva, B.C., Sardanelli, F., Hans, D., Bilezikian, J.P. and Caudarella, R. (2014) Utility of the Trabecular Bone Score (TBS) in Secondary Osteoporosis. *Endocrine*, **47**, 435-448. <https://doi.org/10.1007/s12020-014-0280-4>
- [38] Silva, B.C. and Leslie, W.D. (2017) Trabecular Bone Score: A New DXA-Derived Measurement for Fracture Risk Assessment. *Endocrinology and Metabolism Clinics*, **46**, 153-180. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2016.09.005>
- [39] Tothill, P., Hannan, W.J., Cowen, S. and Freeman, C.P. (1997) Anomalies in the Measurement of Changes in Total-Body Bone Mineral by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry during Weight Change. *Journal of Bone and Mineral Research*, **12**, 1908-1921. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.11.1908>
- [40] Wade, S.W., Strader, C., Fitzpatrick, L.A., Anthony, M.S. and O'Malley, C.D. (2014) Estimating Prevalence of Osteoporosis: Examples from Industrialized Countries. *Archives of Osteoporosis*, **9**, Article No. 182. <https://doi.org/10.1007/s11657-014-0182-3>
- [41] Hsu, Y., Hsieh, T.J., Ho, C.H., Lin, C.H. and Chen, C.H. (2021) Effect of Compression Fracture on Trabecular Bone Score at Lumbar Spine. *Osteoporosis International*, **32**, 961-970. <https://doi.org/10.1007/s00198-020-05707-3>
- [42] Tenne, M., McGuigan, F., Besjakov, J., Gerdhem, P. and Åkesson, K. (2013) Degenerative Changes at the Lumbar Spine—Implications for Bone Mineral Density Measurement in Elderly Women. *Osteoporosis International*, **24**, 1419-1428. <https://doi.org/10.1007/s00198-012-2048-0>
- [43] Amstrup, A.K., Jakobsen, N.F.B., Lomholt, S., Sikjaer, T., Mosekilde, L. and Rejnmark, L. (2016) Inverse Correlation at the Hip between Areal Bone Mineral Density Measured by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Cortical Volumetric Bone Mineral Density Measured by Quantitative Computed Tomography. *Journal of Clinical Densitometry*, **19**, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.01.002>
- [44] Wang, X., Sanyal, A., Cawthon, P.M., Palermo, L., Jekir, M., Christensen, J., Keaveny, T.M., *et al.* (2012) Prediction of New Clinical Vertebral Fractures in Elderly Men Using Finite Element Analysis of CT Scans. *Journal of Bone and Mineral Research*, **27**, 808-816. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1539>
- [45] Lee, S.J., Binkley, N., Lubner, M.G., Bruce, R.J., Ziemlewicz, T.J. and Pickhardt, P.J. (2016) Opportunistic Screening for Osteoporosis Using the Sagittal Reconstruction from Routine Abdominal CT for Combined Assessment of Vertebral Fractures and Density. *Osteoporosis International*, **27**, 1131-1136. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3318-4>
- [46] Li, N., Li, X.M., Xu, L., Sun, W.J., Cheng, X.G. and Tian, W. (2013) Comparison of QCT and DXA: Osteoporosis Detection Rates in Postmenopausal Women. *International Journal of Endocrinology*, **2013**, Article ID: 895474. <https://doi.org/10.1155/2013/895474>
- [47] 苗辉, 蒋萍, 姜振凯, 等. QCT 与 DXA 对绝经后妇女骨质疏松症检出率的对比[J]. 昆明医科大学学报, 2022, 43(4): 55-61.
- [48] American College of Radiology (2018) ACR-SPR-SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (QCT). American College of Radiology, Reston. <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/QCT.pdf>