

椎体 CT 值评估腰椎退变患者骨密度的研究进展

Research progress on lumbar CT attenuation value in assessing bone mineral density of patients with lumbar degenerative diseases

包洁, 邹达, 李危石

(北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2020.08.12

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2020)-08-0745-06

骨质疏松是骨密度和骨质量下降, 骨组织微结构退化, 进而导致脆性增加、脆性骨折风险增加的系统性代谢疾病^[1]。随着老龄化社会的到来, 骨质疏松发病率正在逐年提高。2018 年国家卫生健康委员会的流调结果显示, 我国 65 岁以上人群骨质疏松患病率已达 32.0%^[2], 严重降低老年人生活质量, 带来了巨大的社会经济负担。腰椎退变性疾病 (lumbar degenerative disease, LDD) 是由腰椎结构退变导致的一系列疾病, 常见的有腰椎管狭窄症、退行性腰椎滑脱症、腰椎间盘突出症等^[3]。越来越多的老年腰椎退变患者需要接受腰椎手术来改善症状和提升生活质量。然而, 腰椎退变患者也是骨质疏松的高危人群, 其中, ≥ 50 岁的女性手术患者的骨质疏松患病率为 48.9%, 男性手术患者为 27.1%^[3]。如此高的骨质疏松患病率带来的是高发的腰椎融合内固定术后骨质疏松相关并发症, 如椎弓根螺钉松动^[4]、相邻椎体骨折^[5]、融合器移位^[6]、植骨不融合^[7]等, 严重影响手术疗效。因此, 患者的术前骨密度评估对内固定手术策略制定至关重要, 及时识别骨质疏松患者有助于术者采取必要的预防措施降低骨质疏松相关并发症发生率, 改善手术疗效。笔者通过对椎体 CT 值评估腰椎退变患者骨密度进行文献综述, 总结椎体 CT 值辅助诊断骨质疏松的方法及其临床意义, 旨在提高脊柱外科医师对术前骨密度评估重要性的认识, 更好地在临床实践中应用椎体 CT 值。

1 骨密度测量方法及优缺点

目前临床和科研应用的骨密度 (bone mineral density, BMD) 测量方法有双能 X 线吸收法 (dual energy X-ray absorptiometry, DXA)、定量 CT (quantitative computed tomography, QCT)、外周 QCT (peripheral quantitative computed tomography, pQCT) 和定量超声 (quantitative ultrasound, QUS) 等^[8]。常用的测量方法有 DXA 和 QCT 两种。

1.1 DXA

DXA 是 WHO 推荐的测量 BMD 和诊断骨质疏松的金

标准方法, 其辐射暴露低、费用低、操作简单、测量时间短、精度高^[9]。对于 50 岁以上的男性和绝经后女性, DXA 以腰椎 (L1~L4) 和髌部任何一处的最低 BMD T 值为参考指标, 将 T 值 ≤ -2.5 作为骨质疏松诊断标准。其中 T 值是相对值, 代表患者 BMD 与同种族同性健康青年人 BMD 平均值 (平均 BMD) 的相对大小, 计算公式为: T 值 = (实测 BMD - 平均 BMD) / SD, 其中 SD 为同种族同性健康青年人 BMD 的标准差 (standard deviation, SD)。基于 DXA 测定的 BMD T 值, 将患者分为四类: 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) 和严重骨质疏松 (T 值 ≤ -2.5 且存在脆性骨折)^[10]。

然而, DXA 采用的是平面投影技术, 测量的是面积 BMD (areal BMD, aBMD), 单位 g/cm^2 , 包括椎体皮质骨、松质骨以及椎体前后方结构等 X 线投射路径中遇到的所有矿物成分的密度^[10]。故在严重腰椎退变患者中, 包括椎体骨折、骨赘形成、椎间盘与小关节退变、终板硬化等在内的退变结构会使 BMD 测量值和 T 值假性增高, 掩盖松质骨骨量的真实变化, 导致骨质疏松漏诊^[10-12]。并且, 腰椎退变性改变越严重, BMD 值假性增高的程度越多^[11]; 患者年龄越大, DXA 的骨质疏松漏诊率越高^[9]。在脆性椎体骨折患者中, 约有 50% 患者的 DXA 检测结果仅报告骨量减少甚至骨量正常^[13-17]。

因松质骨更易发生骨量丢失, 在骨折风险、轴向力学作用等方面也比皮质骨更为重要, 所以在骨质疏松监测中应当更关注松质骨量, 以便能更敏感地反映 BMD 的真实变化和骨质疏松的程度。

1.2 QCT

QCT 也被推荐用于 BMD 测量和骨质疏松诊断。QCT 技术在 CT 扫描图像的基础上, 需要使用专业软件处理分析和 QCT 体模校准 (calibration phantom)。软件自动在 L1~L3 椎体中选择两节椎体 (一般为 L1 和 L2), 然后在中层轴位松质骨内选择测量感兴趣区 (region of interest, ROI), 以获得椎体的体积 BMD (volumetric BMD, vBMD), 单位 mg/cm^3 ^[18]。美国放射学会 (American College of Radiology, ACR) 关于 QCT 使用的指南中推荐 BMD 值 $< 80 \text{mg}/\text{cm}^3$ 诊断为骨质疏松, $80 \sim 120 \text{mg}/\text{cm}^3$ 为骨量减少, $>$

第一作者简介: 女 (1998-), 本科生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)82267368 E-mail: bjmu_bj98@163.com

通讯作者: 李危石 E-mail: puh3liweishi@163.com

120mg/cm³ 为骨量正常^[19]。因为松质骨更早且更容易出现骨量丢失^[20,21],所以 QCT 在评估骨质疏松方面比 DXA 更敏感,有更大的优越性。另外,QCT 可以选取三维 ROI,在避开皮质骨和退变结构的基础上测量 vBMD,提供更精确更有代表性的 BMD 值^[19,22]。

QCT 技术目前主要应用于科研,临床推广程度比 DXA 低。这可能与 QCT 技术需要额外配置测量软件、体模校准和专业影像学技术人员相关。另一方面,与 DXA 相比,QCT 测量 BMD 的检查费用更高,辐射剂量更大^[22]。

2 临床常规 CT 中的椎体 CT 值测量与 BMD 评估方法

近年来,CT 已经成为临床实践中最常用的疾病诊断评估工具之一。据统计,美国每年胸腹部 CT 检查超过 5000 万人次,若加上各类脊柱 CT 则 CT 扫描总数将更为庞大^[23]。这些 CT 扫描往往都覆盖了不同节段的椎体,即便不使用 QCT 中的专业软件,也可以通过在这些 CT 图像中测量椎体松质骨的 CT 值来识别更多的骨质疏松患者。

CT 值代表组织密度值。CT 图像将人体分割成若干体积单元,每一个体积单元内的物质对 X 线的衰减系数代表了该体积单元的物质密度,记为 CT 值,单位是亨氏单位(Hounsfield unit,HU)。一般规定标准压力和温度下蒸馏水的 CT 值为 0HU,空气为-1000HU,则某体积单元相应的 CT 值为:CT 值(HU)=1000×(μ_x-μ_{water})/μ_{water},其中 μ_{water}和 μ_x 分别代表蒸馏水和某体积单元对 X 线的衰减系数。骨质密度较高,一般在 300~3000HU^[24,25]。因为椎体内组织以松质骨为主,所以椎体内的 CT 值也反映了松质骨的骨量水平。

具体来讲,椎体松质骨 CT 值的测量原理与 QCT 类似^[23,26-28]。在三维重建 CT 图像中,选择椎体中层轴位,在轴位像的椎体松质骨前方放置一尽可能大的椭圆形 ROI,避开皮质骨、局部骨质增生区、退变结构和后方的静脉丛;使用阅片常规使用的 PACS(picture archiving and communication system)软件自动读取 ROI 内的平均 HU 数值,即为每个椎体松质骨的 CT 值(图 1)^[29]。或者选择椎体的三层

轴位,分别是上终板的下一层、椎体中间层、下终板的上一层,分别得出三个层面 ROI 的 HU 值(图 2)^[24],进而计算得出每个腰椎体的平均 HU 值。由于一般不同类型临床 CT(肺 CT、腹部 CT、腰椎 CT 等)的扫描范围都包含 L1 椎体,因此 L1 是最常用的椎体 CT 值测量节段^[13]。

3 椎体松质骨 CT 值的临床意义

3.1 CT 值与 DXA 测量值的相关性

常规 CT 测量腰椎椎体松质骨所得 HU 值与 DXA 测量值之间呈显著性正相关,可以用于识别 BMD 下降和评估骨折风险。国外多项研究提示 L1~L4 椎体 CT 值与 DXA 的 BMD 值之间相关系数 r² 为 0.38~0.77,与 DXA 的 T 值之间相关系数为 0.37~0.79,证实了随着 BMD 和骨质量的减少,椎体 CT 值明显降低^[24,30,31]。其中, Lee 等^[30]通过对 128 例 ≥40 岁女性腰痛患者进行研究发现,随年龄增长椎体 CT 值随之下降,L1~L4 椎体 CT 值与 T 值(r² 分别为 0.673、0.794、0.766、0.713,P<0.001)、BMD 值(r² 分别为 0.657、0.774、0.737、0.673,P<0.001)均显著性正相关。且 Lee 等^[32]也发现 L1 CT 值的下降与将来脆性骨折风险的增加有关。所以常规 CT 检查可以在一定程度上用作评估 BMD 的补充方法,帮助识别低骨量和骨质疏松。

为明确腰椎 CT 值诊断骨质疏松的标准,许多研究者基于 DXA 标准计算获得了 CT 值的诊断界值,并评估了其诊断效果。各研究中 CT 值区分骨质疏松与骨质减少或正常 BMD 的曲线下面积(areas under the curve,AUC)基本均大于 0.8,说明常规 CT 值筛查和诊断骨质疏松的效果令人满意。其中, Pickhardt 等^[13]回顾性分析了 1867 例平均 59.2 岁因其他适应证进行腹部 CT 检查的患者,并使用 L1 的 CT 值诊断骨质疏松,平衡敏感度和特异度(约为 75%)得到的界值为 135HU,其 AUC 为 0.83;当界值为 160HU 时其对骨质疏松的诊断敏感度为 90%,界值为 110HU 时诊断特异度为 91.3%。

大部分分析 CT 值与 DXA 相关性的研究,以及确立诊断骨质疏松的 CT 值界值的方法都直接参考了 DXA 的

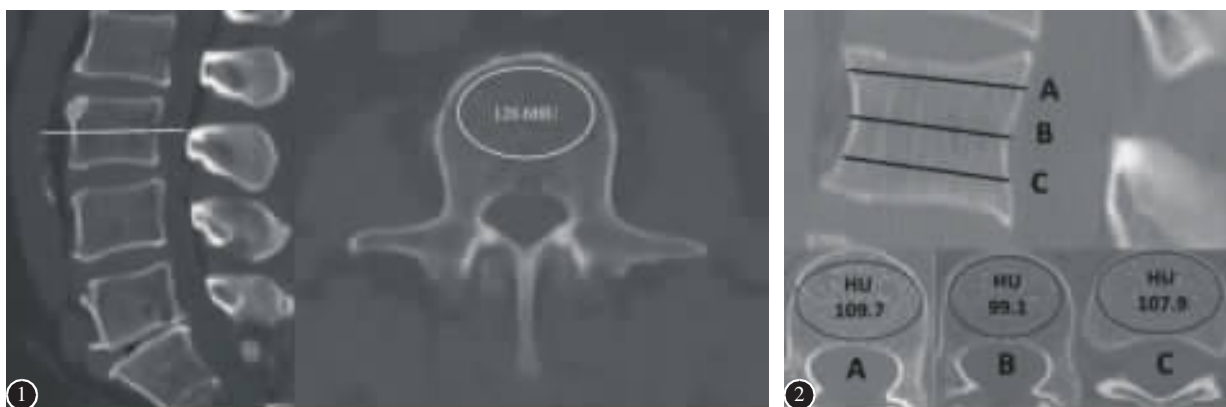


图 1^[29] 左图表示在三维重建 CT 图像中选择 L3 椎体中层轴位,右图显示中层轴位上 ROI 的放置及使用 PACS 系统自动计算 ROI 内平均 HU 值 图 2^[24] 上图表示三维重建 CT 图像中选择某一椎体 A、B、C 三层轴位,分别是上终板的下一层、椎体中间层、下终板的上一层;下图分别表示三层轴位上感兴趣区(ROI)的放置及使用 PACS 系统自动计算 ROI 内平均 HU 值

结果。但在腰椎退变患者中腰椎 DXA 结果是被高估的,所以这些界值可能并不准确。为减少这一影响,Choi 等^[20]依据关节突关节^[21]、椎间盘的退变程度^[22]以及腹壁血管钙化程度,将 110 例即将行腰椎手术的患者分为退变组和未退变组,使用未退变组患者数据分析相关性、诊断性能和界值,发现在未退变组中,L1~L4 平均 CT 值与 DXA 测量的 BMD 和 T 值有强正相关性,相关系数 r 分别为 0.721 和 0.734 ($P<0.001$),而在退变组中,相关性非常差, r 只分别有 0.426 ($P<0.0019$) 和 0.398 ($P<0.031$);以未退变组数据所做的受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线提示 CT 值作为骨质疏松诊断工具的敏感度为 88.2%,特异度为 85.7%,但是并未给出相应诊断骨质疏松的界值。Zou 等^[12]探讨了国人腰椎退变患者的椎体 CT 值与 DXA 测量值的相关性,也考虑到腰椎退变结构对 DXA 测量的 BMD 值的影响,根据骨赘形成^[23]、椎间盘退变^[24]、关节突关节退变^[25]或椎体压缩^[26]的程度,判断椎体是否退行性改变,若 L1~L4 中有至少 3 个退变椎体,则将患者纳入重度退变组,其余退变相对较轻的患者纳入对照组,研究发现对照组中腰椎 CT 值与相对应 DXA 结果相关系数均 $r>0.7$,而重度退变组中均 $r<0.7$,更加证实了严重退变会使 DXA 结果假性增高,进而使得 CT 值与其相关性变差。所以该研究使用相关性更好的对照组数据,建立线性回归方程,并计算每个椎体 T 值=-2.5 时的 CT 值,得出 L1~L4 椎体诊断骨质疏松的界值分别为 110HU、100HU、85HU 和 80HU;用这一标准分析 DXA 的骨质疏松漏诊率,发现重度退变组为 38.7%而对照组仅为 11.5%,说明该方法能在一定程度上减少严重腰椎退变患者骨质疏松的漏诊情况。

从表 1 中可以看到各项研究获得的界值有所不同,这可能与种族、性别、年龄、设备(CT 机类型和扫描参数等)或方法使用的不同有关,需要进一步更大样本量的研

究来获得更明确的骨质疏松诊断标准。

3.2 CT 值与 QCT 测量值的相关性

考虑到 QCT 相比于 DXA 的优点,许多研究者认为在腰椎退变患者中也可以探寻 CT 值与 QCT 测得的 BMD 值之间的相关性,进而得到更为准确的骨质疏松诊断界值。Gerety 等^[28]研究了 30 例 55~71 岁健康志愿者,发现 L1 的 CT 值与 QCT 的 BMD 值之间有很好的相关性 ($r=0.83$)。Kim 等^[29]回顾性研究了 180 例即将行腰椎手术的患者,发现 L1~L3 的平均 CT 值与 QCT 的 BMD 值呈显著性正相关 ($r=0.868, P<0.001$),而与脊柱 DXA 的 BMD 值相关性 r 仅为 0.489 ($P<0.001$);同时,参考 QCT 结果建立的诊断骨质疏松界值为 146HU,敏感度和特异度分别为 94.3%和 87.5%,AUC 为 0.960;而使用 DXA 确定的界值为 95HU,敏感度及特异度均较低,分别为 82.5%和 66.4%,AUC 仅为 0.781。由于 QCT 和 DXA 的诊断结果本来就存在较大差异,所以分别基于 QCT 和 DXA 所得到的骨质疏松诊断 CT 值界值也会不同。

3.3 CT 值与脊柱术后并发症的相关性

由于老年骨质疏松患者常存在 BMD 低、血液供应差、成骨细胞活性低等问题,易导致植骨不融合和椎弓根螺钉松动甚至拔出等腰椎融合内固定术后并发症^[30]。许多研究^[4-7,29]认为患者椎体 CT 值越低,腰椎术后骨质疏松相关并发症风险越高。因此建议医生在术前腰椎 CT 检查时报告椎体 CT 值,以便及时进行骨质疏松的早期治疗和预防腰椎内固定融合手术后相关并发症。

3.3.1 椎弓根螺钉松动 Bredow 等^[4]通过对 365 例进行了腰椎和胸椎融合手术的患者进行研究,发现,有 45 例 (12.3%)患者发生了螺钉松动,其 CT 均值为 116.3HU,明显低于未松动患者的 132.7HU。Zou 等^[29]也发现在 503 例行腰椎椎弓根螺钉固定手术的患者中有 151 例 (30.0%)术

表 1 各项研究诊断骨质疏松的界值及效果评估

作者	样本量	人群	女性比例/年龄(岁)	CT类型	诊断椎体	界值(HU)	敏感度(%)	特异度(%)	AUC
Pickhardt等 ^[13]	1867	美国	81%/平均 59.2	腹部 CT (54.6%增强)	L1	135 160 110	75.5 90.0 52.1	75.4 52.3 91.3	0.830
Buckens等 ^[14]	302	荷兰	67.5%/平均 57.9	胸部和腹部 CT	L1	99	62	79	0.740
Alacreu等 ^[17]	326	西班牙	81%/平均 62.4	腹部增强 CT	L1	116 160 73	59.7 91.4 23.7	60.8 27.0 90.1	0.664
Li等 ^[31]	109	中国	83%/平均 67	腹部 CT	L1~L5 平均	136	90.3	72.3	0.860
Cansu等 ^[37]	111	土耳其	73%/平均 57.6	腹部增强 CT	L3	119 170 102	72.2 88.9 66.7	65.9 25.3 89.1	—
Choi等 ^[20]	80 ^①	韩国	66%/平均 51.4	腰椎 CT	L1~L4 平均	—	88.2	85.7	—
Zou等 ^[12]	152 ^②	中国	57%/平均 58.5	腰椎 CT	L1 L2 L3 L4	110 100 85 80	58.3 58.2 40.8 33.3	90.2 85.6 84.5 88.5	0.860 0.855 0.758 0.811

注:AUC,曲线下面积;①为未退变组样本量;②为对照组样本量

后发生了螺钉松动,松动组的平均 CT 值低于非松动组(分别为 106.3HU 和 132.6HU),且术前较低的椎体 CT 值是术后内固定松动的独立危险因素。

3.3.2 相邻节段骨折 Meredith 等^[21]研究了 20 例脊柱融合术后发生相邻节段骨折的患者,与在年龄、性别、体重指数和融合水平方面匹配的未骨折的对照组的术前 CT 值相比较,发现骨折组中发生骨折的椎体 CT 均值为 145.6HU,明显低于对照组 199.4HU,并且,骨折组中全部胸椎和腰椎的 CT 均值也明显低于对照组,分别为 139.9HU 和 170.1HU。

3.3.3 融合器移位 Mi 等^[6]进行回顾性队列研究,调查 18 例例行单节段 L4-L5 经椎间孔椎体间融合术联合单侧椎弓根螺钉固定(TLIF-UPF)手术的患者中术前 CT 值与 cage 移位的关系,发生 cage 移位患者的平均 CT 值明显低于对照组,分别为 112.4HU 和 140.2HU。

3.3.4 植骨不融合 Schreiber 等^[7]回顾性研究了 28 例例行腰椎融合术的患者中椎体 CT 值与融合的关系,共 52 个手术节段中,有 27%的节段未融合,成功融合节段的平均 CT 值为 203.3HU,显著高于未融合节段的 139.8HU;比较邻近融合节段的椎体的 BMD,发现融合组的 CT 均值也比未融合组高,分别为 133.7HU 和 107.3HU。该研究说明拟融合节段椎体 CT 值越低,发生植骨不融合的风险越高。

总的来说,患者腰椎融合内固定手术前更低的 CT 值与术后螺钉松动、相邻节段骨折、融合器移位和植骨不融合等并发症有关,且发生率高达 12%~30%,严重影响手术疗效和患者功能恢复。但以上均为回顾性研究,研究价值和有限,需要进一步进行前瞻性研究观察术前 CT 值与术后并发症的相关性,为术前及时治疗和预防术后并发症提供更全面的指导。

4 影响椎体 CT 值测量的相关因素

椎体 CT 值的测量结果和骨质疏松诊断界值的确立可能与 CT 机扫描参数、测量者误差、造影剂使用、测量 ROI 的选择、诊断椎体的选择有关。常规 CT 中椎体 CT 值测量作为一种新的评估 BMD 的方法,需要控制相关影响因素,确立广泛认可的诊断界值,以便推广使用。

CT 机扫描参数主要包括管电压(tube voltage)和管电流(tube current)。当管电压不同时得到的 CT 值不同,随着管电压的降低,CT 值将明显增高^[40],所以控制 CT 扫描设备的参数对于建立统一诊断界值来说是十分必要的。对于腰椎退变患者来说,腰椎平扫 CT 的管电压一般为 120kVp,所以利用腰椎 CT 测量 CT 值具有较好的可比性,利于推广;管电流对 CT 值测量的影响一般较小。

单一测量者内和不同测量者之间 HU 值测量有很好的一致性和可重复性,各研究中组内相关系数(intraclass correlation coefficients, ICC)基本均大于 0.90(表 2)。

大部分研究认为静脉注射造影剂可能增高 CT 值。Pickhardt 等^[43]发现增强 CT 的 HU 值比未增强 CT 平均增

加了 11HU,但两者诊断骨质疏松的效果是相似的(AUC 分别为 0.81 和 0.83),准确性基本不受有无增强的影响。Pompe 等^[44]发现造影剂明显增加了椎体的密度(约 18HU),这可能会导致骨质疏松的漏诊。Jang 等^[45]发现静脉注射造影剂对 35 岁以下、50~54 岁、60~64 岁年龄组的患者 CT 值有显著影响,而在其他年龄组影响较小,具体的原因并不明确。

同时,ROI 的不同放置方法对 CT 值测量结果的影响需要进一步研究。Lee 等^[46]发现 L1 椎体的中层轴位 CT 值略大于矢状位,平均差异为 3.6HU($P<0.01$),这可能与部分患者椎体中部 BMD 值明显高于头侧和尾侧有关^[47],说明同一椎体不同部位 CT 值的相对大小在不同患者中存在变异。同时,Zou 等^[48]发现 S1 椎体中轴位 CT 值也明显高于矢状位,分别为 202HU 和 185HU。Cansu 等^[47]则发现 L3 椎体轴位(133.7HU)和矢状位(131.9HU)CT 值之间无显著性差异($P>0.05$)。ROI 的面积分别为 50、100 和 200mm² 时 CT 值一致性良好,ICC>0.990^[49]。

关于诊断骨质疏松的椎体水平选择,目前的研究认为 L1~L4 任一椎体水平均能够用于骨质疏松的评估,相关性及诊断效果均无明显差异^[13,43]。由于 L1 一般是第一个没有肋骨发出的椎体,便于识别,且腹部和胸部 CT 中均包括 L1,能大幅度提高骨质疏松的筛选量^[13],所以之前关于诊断界值的研究都使用 L1 作为代表椎体或使用 L1~L4 的平均值。需要注意的是不同节段椎体的 CT 值存在显著性差异,L1 椎体的骨质疏松 CT 值诊断界值未必可以直接应用到其他节段的椎体,尤其是 S1,因为 S1 椎体 CT 值显著高于腰椎^[48]。

5 椎体 CT 值的临床应用价值

使用 CT 测量椎体 CT 值来代表 BMD 和诊断骨质疏松有很多优点。(1)与 QCT 检查相比,腰椎 CT 是腰椎融合内固定术患者的术前常规检查之一,所以进行 HU 测量不需要额外的费用、时间、扫描设备、软件和辐射暴露,且 CT 值测量操作更方便快捷,更易在基层医院普及^[27]。(2)如前所述,椎体 CT 值测量的是松质骨 BMD,避开了皮质骨、退变结构、骨折等的影响,在严重退变患者中可以获得比 DXA 更准确的 BMD 值。(3)有椎体骨折的患者 DXA 结果大多表现为骨量减少甚至正常,用 DXA 不能检查出骨折的存在,而使用常规 CT 筛查骨质疏松时也能直接在矢状

表 2 同一观察者之间和不同观察者之间椎体 CT 值测量的一致性

作者	测量者内 ICC	测量者间 ICC
Schreiber 等 ^[24]	0.964	0.975
Pompe 等 ^[41]	—	0.70~0.91
Hendrickson 等 ^[42]	0.98	0.98
Kim 等 ^[18]	—	0.961
Gerety 等 ^[38]	0.99	0.97

位重建图像上确定椎体压缩性骨折的存在^[15,16],以便早期治疗。同时,相比于 DXA 只筛查高危人群来说,常规 CT 可以扩大骨质疏松人群的筛查工作,因任何适应证行腹部和胸部 CT 检查的患者均可进行椎体 CT 值的测量。

6 小结

综上,在严重腰椎退变患者中,由于 DXA 无法区分退变结构和正常骨量,存在 BMD 假性增高和骨质疏松漏诊的问题。而利用术前腰椎 CT 测量椎体松质骨 CT 值可以避开退变结构,更加准确地反映患者的真实骨量水平,且椎体 CT 值与 BMD 及骨强度之间存在明显正相关性。因此,在没有严重腰椎退变的患者中仍可以将 DXA 作为评估 BMD 的第一选择,但当术前腰椎放射学检查发现患者有严重退行性变时,应用 DXA 诊断骨质疏松是不充分的。此时,脊柱外科医生可以使用 CT 进一步检测腰椎是否存在骨质疏松,并在必要时调整治疗方案以便于患者术后更好地恢复。近几年椎体 CT 值评估 BMD 的方法不断发展,越来越成熟和完善,但仍有许多临床问题亟待研究和解决,其诊断价值也需要进一步验证。同时,椎体 CT 值诊断骨质疏松的标准尚不明确,也限制了椎体 CT 值评估 BMD 的进一步推广,需要大样本量数据进一步分析和计算。

7 参考文献

- Prevention and management of osteoporosis[J]. World Health Organ Tech Rep Ser, 2003, 921: 1-164, back cover.
- 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.
- Zou D, Jiang S, Zhou S, et al. Prevalence of osteoporosis in patients undergoing lumbar fusion for lumbar degenerative diseases: a combination of DXA and Hounsfield units [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2020, 45(7): E406-E410.
- Bredow J, Boese CK, Werner CM, et al. Predictive validity of preoperative CT scans and the risk of pedicle screw loosening in spinal surgery[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2016, 136(8): 1063-1067.
- Meredith DS, Schreiber JJ, Taher F, et al. Lower preoperative Hounsfield unit measurements are associated with adjacent segment fracture after spinal fusion[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(5): 415-418.
- Mi J, Li K, Zhao X, et al. Vertebral body Hounsfield units are associated with cage subsidence after transforaminal lumbar interbody fusion with unilateral pedicle screw fixation [J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(8): E1130-E1136.
- Schreiber JJ, Hughes AP, Taher F, et al. An association can be found between hounsfield units and success of lumbar spine fusion[J]. *HSS J*, 2014, 10(1): 25-29.
- 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.
- Celi M, Rao C, Scialdoni A, et al. Bone mineral density evaluation in osteoporosis: why yes and why not[J]. *Aging Clin Exp Res*, 2013, 25(Suppl 1): S47-S49.
- Paiva LC, Filardi S, Pinto-Neto AM, et al. Impact of degenerative radiographic abnormalities and vertebral fractures on spinal bone density of women with osteoporosis[J]. *Sao Paulo Med J*, 2002, 120(1): 9-12.
- 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.
- Zou D, Li W, 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.
- 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.
- Buckens CF, Dijkhuis G, de Keizer B, et al. Opportunistic screening for osteoporosis on routine computed tomography? an external validation study[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(7): 2074-2079.
- Marinova M, Edon B, Wolter K, et al. Use of routine thoracic and abdominal computed tomography scans for assessing bone mineral density and detecting osteoporosis[J]. *Curr Med Res Opin*, 2015, 31(10): 1871-1881.
- Carberry GA, Pooler BD, Binkley N, et al. Unreported vertebral body compression fractures at abdominal multidetector CT[J]. *Radiology*, 2013, 268(1): 120-126.
- Alacreu E, Moratal D, Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe[J]. *Osteoporos Int*, 2017, 28(3): 983-990.
- Kim KJ, Kim DH, Lee JJ, et al. Hounsfield units on lumbar computed tomography for predicting regional bone mineral density[J]. *Open Med(Wars)*, 2019, 14: 545-551.
- Link TM, Lang TF. Axial QCT: clinical applications and new developments[J]. *J Clin Densitom*, 2014, 17(4): 438-448.
- 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.
- Eswaran SK, Gupta A, Adams MF, et al. Cortical and trabecular load sharing in the human vertebral body[J]. *J Bone Miner Res*, 2006, 21(2): 307-314.
- Adams JE. Quantitative computed tomography [J]. *Eur J Radiol*, 2009, 71(3): 415-424.
- Smith AD. Screening of bone density at CT: an overlooked

- opportunity[J]. *Radiology*, 2019, 291(2): 368–369.
24. 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.
 25. Goldman LW. Principles of CT and CT technology[J]. *J Nucl Med Technol*, 2007, 35(3): 115–128; quiz 129–130.
 26. Anderson PA, Polly DW, Binkley NC, et al. Clinical use of opportunistic computed tomography screening for osteoporosis [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100(23): 2073–2081.
 27. 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.
 28. Gausden EB, Nwachukwu BU, Schreiber JJ, et al. Opportunistic use of CT imaging for osteoporosis screening and bone density assessment: a qualitative systematic review[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017, 99(18): 1580–1590.
 29. Zou D, Muheremu A, Sun Z, et al. Computed tomography Hounsfield unit-based prediction of pedicle screw loosening after surgery for degenerative lumbar spine disease [J]. *J Neurosurg Spine*, 2020 Jan 3; 1–6. doi: 10.3171/2019.11.SPINE19868. Online ahead of print.
 30. Lee S, Chung CK, Oh SH, et al. Correlation between bone mineral density measured by dual-energy X-ray absorptiometry and Hounsfield units measured by diagnostic CT in lumbar spine[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2013, 54(5): 384–389.
 31. Li YL, Wong KH, Law MW, et al. Opportunistic screening for osteoporosis in abdominal computed tomography for Chinese population[J]. *Arch Osteoporos*, 2018, 13(1): 76.
 32. Lee SJ, Graffy PM, Zea RD, et al. Future osteoporotic fracture risk related to lumbar vertebral trabecular attenuation measured at routine body CT[J]. *J Bone Miner Res*, 2018, 33(5): 860–867.
 33. Weishaupt D, Zanetti M, Boos N, et al. MR imaging and CT in osteoarthritis of the lumbar facet joints [J]. *Skeletal Radiol*, 1999, 28(4): 215–219.
 34. Ghiselli G, Wang JC, Hsu WK, et al. L5–S1 segment survivorship and clinical outcome analysis after L4–L5 isolated fusion[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(12): 1275–1280; discussion 1280.
 35. Nathan H, Israel J. Osteophytes of the vertebral column[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1962, 44: 243–268.
 36. Kim JY, Ryu DS, Paik HK, et al. Paraspinal muscle, facet joint, and disc problems: risk factors for adjacent segment degeneration after lumbar fusion[J]. *Spine J*, 2016, 16(7): 867–875.
 37. Cansu A, Atasoy D, Eyuboglu I, et al. Diagnostic efficacy of routine contrast-enhanced abdominal CT for the assessment of osteoporosis in the Turkish population[J]. *Turk J Med Sci*, 2020, 50(1): 110–116.
 38. Gerety EL, Hopper MA, Bearcroft PW. The reliability of measuring the density of the L1 vertebral body on CT imaging as a predictor of bone mineral density [J]. *Clin Radiol*, 2017, 72(2): 177.e9–177.e15.
 39. Lubelski D, Choma TJ, Steinmetz MP, et al. Perioperative medical management of spine surgery patients with osteoporosis[J]. *Neurosurgery*, 2015, 77(Suppl 4): S92–S97.
 40. Garner HW, Paturzo MM, Gaudier G, et al. Variation in attenuation in L1 trabecular bone at different tube voltages: caution is warranted when screening for osteoporosis with the use of opportunistic CT[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2017, 208(1): 165–170.
 41. Pompe E, de Jong PA, de Jong WU, et al. Inter-observer and inter-examination variability of manual vertebral bone attenuation measurements on computed tomography [J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(9): 3046–3053.
 42. 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.
 43. Pickhardt PJ, Lauder T, Pooler BD, et al. Effect of IV contrast on lumbar trabecular attenuation at routine abdominal CT: correlation with DXA and implications for opportunistic osteoporosis screening[J]. *Osteoporos Int*, 2016, 27(1): 147–152.
 44. Pompe E, Willeminck MJ, Dijkhuis GR, et al. Intravenous contrast injection significantly affects bone mineral density measured on CT[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(2): 283–289.
 45. Jang S, Graffy PM, Ziemlewicz TJ, et al. Opportunistic osteoporosis screening at routine abdominal and thoracic CT: normative L1 trabecular attenuation values in more than 20 000 adults[J]. *Radiology*, 2019, 291(2): 360–367.
 46. 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.
 47. Kennedy OD, Brennan O, Rackard SM, et al. Variation of trabecular microarchitectural parameters in cranial, caudal and mid-vertebral regions of the ovine L3 vertebra [J]. *J Anat*, 2009, 214(5): 729–735.
 48. Zou D, Li W, Xu F, et al. Use of Hounsfield units of S1 body to diagnose osteoporosis in patients with lumbar degenerative diseases[J]. *Neurosurg Focus*, 2019, 46(5): E6.
 49. Romme EA, Murchison JT, Phang KF, et al. Bone attenuation on routine chest CT correlates with bone mineral density on DXA in patients with COPD [J]. *J Bone Miner Res*, 2012, 27(11): 2338–2343.

(收稿日期:2020-05-14 修回日期:2020-07-12)

(本文编辑 李伟霞)