

## ◆ 骨骼肌肉影像学

## Feasibility of bone mineral density of T12 measured with quantitative CT for replacing abnormal lumbar vertebrae for diagnosis of osteoporosis

PAN Yaling<sup>1</sup>, CHEN Tongtong<sup>1</sup>, WANG Hanqi<sup>1</sup>, CHENG Xiaoguang<sup>2</sup>, LU Yong<sup>1\*</sup>

(1. Department of Radiology, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; 2. Department of Radiology, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the feasibility of bone mineral density (BMD) of T12 for replacing abnormal L1 or L2 for diagnosis of osteoporosis during lung cancer screening with low-dose CT and bone mineral density examination with quantitative CT. **Methods** Totally 1 298 healthy individuals who underwent lung cancer screening with low-dose CT and BMD examination with quantitative CT were enrolled. BMD of T12 to L2 vertebrae were measured, and the calibrated BMD of T12 was calculated and recorded as T12\*. Taking L1+L2 as diagnostic criteria, the consistencies in bone mass assessment and the differences in diagnosis of osteoporosis among vertebral combinations of T12+L1, T12+L2, T12\*+L1, T12\*+L2 and L1+L2 were analyzed, respectively. **Results** There were good consistencies between vertebral combinations and L1+L2 in bone mass assessment (all  $Kappa > 0.75$ , all  $P < 0.05$ ). The specificities of vertebral combinations in osteoporosis diagnosis were all  $> 98\%$ . The sensitivities of T12+L1 and T12+L2 in osteoporosis diagnosis were 73.33% (143/195) and 77.95% (152/195), respectively, whereas of T12\*+L1 and T12\*+L2 in osteoporosis diagnosis were 83.08% (162/195) and 90.26% (176/195), respectively. **Conclusion** BMD of T12 for replacing abnormal L1 or L2 during quantitative CT can reduce the sensitivity in diagnosis of osteoporosis, therefore BMD of T12 should be calibrated in measurement.

**[Keywords]** osteoporosis; thoracic vertebra; lumbar vertebra; bone density; tomography, X-ray computed

DOI:10.13929/j.1003-3289.201901102

## 定量 CT 测量 T12 骨密度替代病变腰椎用于骨质疏松诊断的可行性

潘亚玲<sup>1</sup>, 陈彤彤<sup>1</sup>, 王晗琦<sup>1</sup>, 程晓光<sup>2</sup>, 陆勇<sup>1\*</sup>

(1. 上海交通大学医学院附属瑞金医院放射科, 上海 200025; 2. 北京积水潭医院放射科, 北京 100035)

**[摘要]** **目的** 探讨在低剂量 CT 肺癌筛查联合定量 CT 骨密度检查中, 以测量 T12 椎体骨密度替代病变的 L1 或 L2 用于骨质疏松诊断的可行性。 **方法** 选取 1 298 名接受低剂量 CT 肺癌筛查联合定量 CT 骨密度检查的健康体检者, 测量其 T12、L1、L2 椎体骨密度, 并计算校准的 T12 骨密度, 记为 T12\*。以 L1+L2 为诊断标准, 分别分析各椎体组合 T12+L1、T12+L2、T12\*+L1、T12\*+L2 与 L1+L2 评估骨量的一致性和诊断骨质疏松的差异性。 **结果** 各椎体组合与 L1+L2 评估骨量的一致性均较好 ( $Kappa$  均  $> 0.75$ ,  $P$  均  $< 0.05$ )。各椎体组合诊断骨质疏松的特异度均  $> 98\%$ 。T12+L1、T12+L2 诊断骨质疏松的敏感度分别为 73.33% (143/195) 及 77.95% (152/195); 而 T12\*+L1、T12\*+L2 诊断骨质疏松

**[基金项目]** 上海市科学技术委员会科研计划项目 (17411964900)、重大疾病防治科技行动计划 (2017ZX01001-S12)。

**[第一作者]** 潘亚玲 (1993—), 女, 甘肃定西人, 在读硕士。研究方向: 定量 CT 及人工智能影像诊断。E-mail: 117720910175@sjtu.edu.cn

**[通信作者]** 陆勇, 上海交通大学医学院附属瑞金医院放射科, 200025。E-mail: ly10936@rjh.com.cn

**[收稿日期]** 2019-01-16 **[修回日期]** 2019-05-07

的敏感度分别为 83.08%(162/195)及 90.26%(176/195)。结论 定量 CT 测量 T12 骨密度替代病变 L1 或 L2,可能降低诊断骨质疏松的敏感度,应对其进行校准。

[关键词] 骨质疏松;胸椎;腰椎;骨密度;体层摄影术,X 线计算机

[中图分类号] R816.5; R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2019)07-1086-05

低剂量 CT 肺癌筛查现已在我国各医疗机构广泛开展<sup>[1]</sup>。我国骨质疏松患病率高,60 岁以上人群总患病率达 36%<sup>[2]</sup>。肺癌和骨质疏松均好发于老年人群。在不增加辐射剂量的情况下,胸部低剂量 CT 肺癌筛查联合定量 CT (quantitative CT, QCT) 骨密度 (bone mineral density, BMD) 检查可通过一次 CT 扫描同时完成肺癌和骨质疏松 2 种疾病筛查,在老年人群健康体检中有较高的应用价值<sup>[3]</sup>。2013 版美国放射学院关于 QCT 测量 BMD 操作指南<sup>[4]</sup>指出,腰椎 QCT 检查扫描范围为 L1-L2 椎体,以 L1 和 L2 椎体的 BMD 平均值诊断骨质疏松。目前胸部低剂量 CT 肺癌筛查联合 QCT 检查扫描范围多为肺尖至 L2 椎体下缘<sup>[3]</sup>,当 L1 或 L2 椎体发生病变时,单个椎体的 BMD 尚不能诊断骨质疏松。本研究探讨以 QCT 测量 T12 椎体 BMD 替代 L1 或 L2 椎体用于诊断骨质疏松的可行性。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2018 年 4—11 月于上海交通大学医学院附属瑞金医院接受胸部低剂量 CT 肺癌筛查联合 QCT BMD 检查的 1 298 名健康体检者,男 821 名,女 477 名,年龄 51~91 岁,平均(62.5±7.4)岁。纳入标准:年龄>50 岁;可测量 T12、L1、L2 椎体的 BMD。排除标准:T12、L1、L2 椎体存在囊性、硬化性或肿瘤性病变;有椎体骨折及手术史;图像存在金属伪影影响测量。

1.2 仪器与方法 采用 Philips iCT256 128 排 CT 及 Model 4 QCT BMD 测量系统(Mindways 公司)。嘱受检者仰卧,双手上举;采取吸气末屏气扫描,扫描范围自肺尖至 L2 椎体下缘。低剂量 CT 扫描参数:管电压 120 kVp,采用自动毫安秒技术,平均管电流 30 mAs,螺距 0.775,旋转时间 0.625 s,扫描层厚 5 mm,FOV 500 mm,矩阵 512×512,床高 93~95 cm。采用混合迭代重建技术,重建层厚 1 mm。定期用质控和校准体模对 CT 机及 QCT 系统进行校准。

1.3 QCT 测量 BMD 采用 QCT Pro Model 4 软件,分别在 T12、L1 和 L2 椎体中心半自动设置高度为 9 mm 的 ROI,避开骨皮质和椎体后方中央静脉沟,测量各椎体 BMD(图 1)。采用 QCT 胸椎 BMD 校准公式<sup>[5]</sup>计算 T12 椎体校正后 BMD,记为 T12\*,男性

$BMD_{T12^*} = 0.813 \ 9BMD_{T12} + 11.822$ , 女性  $BMD_{T12^*} = 0.878 \ 9BMD_{T12} + 0.268 \ 8$ 。根据 2007 年国际临床骨密度学会及 2013 年美国放射学院建议腰椎 QCT 骨质疏松诊断标准,BMD>120 mg/cm<sup>3</sup>为骨量正常,80~120 mg/cm<sup>3</sup>为骨量减低,<80 mg/cm<sup>3</sup>为骨质疏松,该标准经国内数据验证适用于中国人群<sup>[6]</sup>。分别计算不同椎体组合 L1+L2、T12+L1、T12+L2、T12\*+L1、T12\*+L2 的 BMD 平均值。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,以单因素方差分析比较 T12、L1 及 L2 椎体 BMD 的差异,两两比较采用 LSD 检验。以 L1+L2 椎体的平均 BMD 为评价标准<sup>[4]</sup>,计算各椎体组合平均 BMD 对骨质疏松的诊断敏感度和特异度。分别采用 McNemar 检验和 Kappa 检验分析各椎体组合与 L1+L2 检出骨质疏松的差异性和评估骨量的一致性。Kappa 值>0.75 为一致性较好,0.4~0.75 为一致性中等,<0.4 为一致性差。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 男性、女性 T12、L1、L2 椎体 BMD 男性 T12、L1 和 L2 椎体的 BMD 分别为(123.88±30.06)mg/cm<sup>3</sup>、(119.49±30.01)mg/cm<sup>3</sup>和(116.06±30.33)mg/cm<sup>3</sup>(图 2)。女性 T12、L1 和 L2 椎体的 BMD 分别为(113.65±32.97)mg/cm<sup>3</sup>、(108.90±32.64)mg/cm<sup>3</sup>和(104.40±34.16)mg/cm<sup>3</sup>(图 3)。男性及女性的 T12、L1 和 L2 椎体间 BMD 总体差异均有统计学意义(男性: $F = 13.915, P < 0.001$ ;女性: $F = 9.228, P < 0.001$ ),T12、L1、L2 椎体 BMD 均逐渐减低,两两比较差异均有统计学意义( $P$ 均<0.05)。

2.2 各椎体组合与 L1+L2 评估骨量的一致性 针对椎体组合 L1+L2、T12+L1、T12+L2、T12\*+L1、T12\*+L2 的骨量评估结果见表 1。各椎体组合与 L1+L2 评估骨量的一致性均较好(Kappa 均>0.75, $P$ 均<0.05);其中椎体组合 T12+L1、T12+L2 与 L1+L2 评估骨量的 Kappa 值分别为 0.814( $P < 0.001$ )、0.869( $P < 0.001$ ),椎体组合 T12\*+L1、T12\*+L2 与 L1+L2 评估骨量的 Kappa 值分别为 0.846( $P = 0.002$ )、0.873( $P < 0.001$ ),后者略高于前者。

2.3 各椎体组合对骨质疏松的诊断效能 L1+L2 检出骨质疏松 195 例(195/1 298, 15.02%), T12\* +L1 和 T12\* +L2 分别检出骨质疏松 178 例(178/1 298, 13.71%)和 196 例(196/1 298, 15.10%), T12+L1 和 T12+L2 分别检出骨质疏松 150 例(150/1 298, 11.56%)、157 例(157/1 298, 12.10%), T12\* +L2 组合对骨质疏松的检出率与 L1+L2 差异无统计学意义( $\chi^2=0, P=1.000$ ), T12\* +L1( $\chi^2=5.224, P=0.022$ )、T12 +L1 ( $\chi^2=32.814, P<0.001$ )和 T12 +L2 ( $\chi^2=28.521, P<0.001$ )对骨质疏松的检出率均低于 L1+L2。

以 L1+L2 诊断结果为标准,各椎体组合 T12+L1、T12+L2、T12\* +L1、T12\* +L2 诊断骨质疏松的特异度均较高,分别为 99.37% (1 096/1 103)、99.55% (1 098/1 103)、98.55% (1 087/1 103) 和 98.19% (1 083/1 103)。椎体组合 T12 +L1、T12+L2 诊断骨质疏松的敏感度较低,分别为 73.33% (143/195)、77.95% (152/195); 而 T12\* +L1、T12\* +L2 诊断骨质疏松的敏感度较高,分别为 83.08% (162/195)、90.26% (176/195)。

表 1 各椎体组合对骨量的评估结果[名(%)]

椎体组合	骨量正常	骨量减低	骨质疏松
L1+L2	546(42.06)	557(42.91)	195(15.02)
T12+L1	615(47.38)	533(41.06)	150(11.56)
T12+L2	580(44.68)	561(43.22)	157(12.10)
T12* +L1	516(39.75)	604(46.53)	178(13.71)
T12* +L2	477(36.75)	625(48.15)	196(15.10)

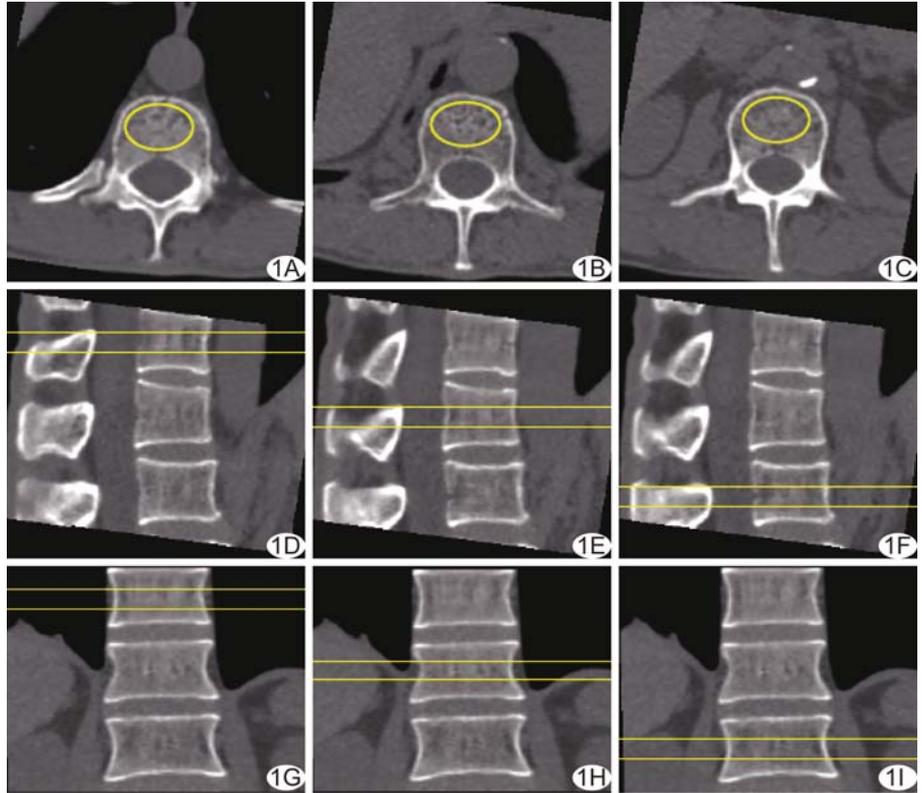


图 1 QCT 测量 T12、L1、L2 椎体 BMD 示意图 A~C. T12、L1、L2 椎体轴位图像; D~F. T12、L1、L2 椎体矢状位图像; G~I. T12、L1、L2 椎体冠状位图像

### 3 讨论

骨质疏松是一种以骨量减少和骨组织显微结构退

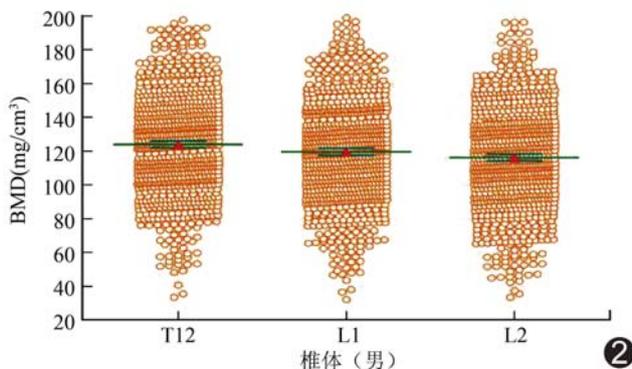


图 2 男性 T12、L1、L2 椎体 BMD

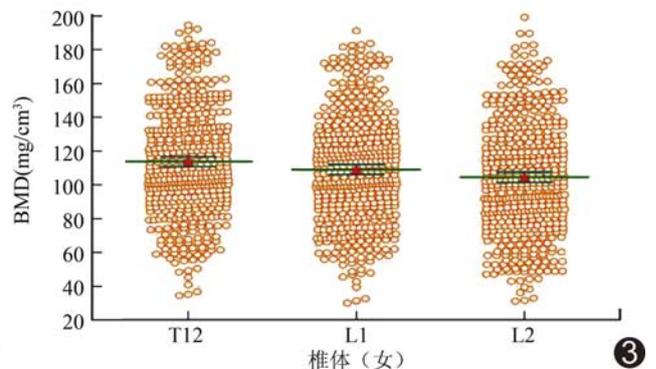


图 3 女性 T12、L1、L2 椎体 BMD

化为特征的全身性代谢骨病,易导致骨脆性增加、骨负载功能减低,轻微外力作用下可发生脆性骨折,严重危害老年人的身体健康<sup>[7-8]</sup>。BMD 能反映 70%~75% 的骨强度变化,是临床筛查和诊断骨质疏松的主要指标<sup>[9]</sup>。腰椎的骨小梁组织极为丰富,约占整个腰椎体积的 66%~99%,而腰椎骨松质被认为是反映骨代谢状态最敏感的部位<sup>[10]</sup>。因此,测量腰椎 BMD,早期筛查骨质疏松和低骨量人群,是预防脆性骨折发生的关键。目前国际公认的 BMD 测量方法包括双能 X 线吸收法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)和 QCT。DXA 测量单位面积 BMD,受试者体位、脊柱退变、腹主动脉钙化等因素对结果影响较大,易造成假阴性结果<sup>[7,11]</sup>。QCT 可测量单位体积的骨松质 BMD,测量敏感度高、准确率好且可重复性强,但辐射剂量较 DXA 高<sup>[12]</sup>。QCT 是基于 CT 图像的 BMD 测量技术,根据所采集的 CT 图像,除可显示扫描范围内的疾病和解剖结构外,还能通过 QCT 评估骨量丢失状况。研究<sup>[3]</sup>表明,低剂量 CT 肺癌筛查时,利用 QCT 软件测量 L1 和 L2 椎体 BMD 机会性筛查骨质疏松,能够有效规避 QCT 辐射剂量高的不足。

L1 和 L2 椎体是脊柱骨折的好发部位。Oei 等<sup>[13]</sup>采用 ABQ 法(algorithm-based qualitative method)对 7 582 名 45~95 岁中老年受试者进行分析,发现脊柱骨折最常见的部位是胸腰交界处,这可能与胸腰交界处(T12~L1)的机械应力较高有关<sup>[14]</sup>。同时,脊柱也是肺癌、乳腺癌等恶性肿瘤转移常见部位<sup>[15-16]</sup>。伴椎体脆性骨折的乳腺癌患者的 BMD 显著低于伴肿瘤转移性骨折的乳腺癌患者,且乳腺癌成骨性转移灶可使椎体 BMD 明显增高<sup>[16]</sup>。L1 或 L2 存在骨折、较大范围的骨岛、原发性或转移性肿瘤等病变时,会造成椎体 BMD 异常,不适于诊断骨质疏松;而 T12 椎体与腰椎邻近。本研究探讨 T12 用于替代 L1 或 L2 测量 BMD 的可行性。Li 等<sup>[17]</sup>研究显示,在校正年龄、性别及体质指数等因素后,胸椎 BMD 是腰椎 BMD 的 1.163 倍,且二者具有明显相关性。Budoff 等<sup>[18]</sup>将 QCT 校准体模置于 T1-L5 椎体下方,采用 64 排 CT 对 147 名女性和 153 名男性行胸腹部扫描,扫描参数为电压 120 kVp,电流 200~700 mAs;通过 QCT 选取高度为 6 mm 的 ROI 测量 T1-L5 椎体 BMD,发现男性和女性 T1-L5 椎体 BMD 变化规律相同,即 T1-L3 椎体 BMD 逐渐减低,L4-L5 椎体 BMD 逐渐增高;本研究结果与之相符,T12、L1、L2 椎体 BMD 差异均有统计学意义,T12、L1、L2 椎体 BMD 逐渐减低。

目前临床广泛应用的骨质疏松诊断标准<sup>[6]</sup>适用于腰椎 QCT。由于 T12 椎体 BMD 与 L1、L2 椎体 BMD 存在明显差异,以 T12 替代腰椎可能会高估腰椎 BMD,故使用 QCT 测量胸椎 BMD 诊断骨质疏松时,应对其进行校准。本研究采用 Budoff 等<sup>[5]</sup>提出的校准公式,该研究通过分析 9 585 名接受冠状动脉钙化 CT 检查的无症状受试者和 644 名同时接受腰椎 QCT 检查的受试者,发现男性和女性受试者的胸椎 BMD 平均值分别是腰椎平均值的 1.170 倍和 1.207 倍;采用线性回归分析,分别得到男性和女性的胸椎 BMD 校准公式。本研究结果显示各椎体组合 T12+L1、T12+L2、T12\*+L1、T12\*+L2 与 L1+L2 评估骨量的一致性均较好,但进行校准后 T12 椎体 BMD 的椎体组合 T12\*+L1、T12\*+L2 评估骨量的一致性优于 T12+L1、T12+L2;且诊断骨质疏松的敏感度更高(83.08%、90.26%);提示 L1 或 L2 椎体存在病变时,采用根据性别校准的 T12 椎体 BMD 替代诊断骨质疏松的效能更高。本研究的主要不足之处在于为单中心临床研究,而我国不同地区、不同民族人群的 BMD 可能存在一定差异。

综上所述,在低剂量肺癌筛查联合 QCT BMD 测量时,以 T12 椎体替代病变的 L1 或 L2 椎体用于诊断骨质疏松的敏感度较低,可能降低骨质疏松的检出率;采用经过校准的 T12 椎体 BMD 可提高诊断效能。

## [参考文献]

- [1] 胡钰,方进,邓达标,等.低剂量胸部 CT 对肺癌筛查的研究进展.中国医学影像技术,2015,31(1):146-149.
- [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.中国骨质疏松杂志,2016,22(12):1590-1596.
- [3] 刘桐希,李香凝,曾庆,等.胸部低剂量 CT 筛查联合定量 CT 骨密度测量在健康体检中的应用.中华健康管理学杂志,2018,12(3):269-271.
- [4] 李娜,程晓光.2013 版“美国放射学院关于定量 CT(QCT)骨密度测量操作指南”解读.中国骨与关节杂志,2014,3(11):835-837.
- [5] Budoff MJ, Hamirani YS, Gao YL, et al. Measurement of thoracic bone mineral density with quantitative CT. Radiology, 2010,257(2):434-440.
- [6] 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).中国骨质疏松杂志,2014,20(9):1007-1010.
- [7] 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.中国医学影像技术,2015,31(10):1454-1456.
- [8] 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. Clin Radiol, 2017,72(2):177.e9-177.e15.
- [9] Mao SS, Li D, Luo Y, et al. Application of quantitative

- computed tomography for assessment of trabecular bone mineral density, microarchitecture and mechanical property. Clin Imaging, 2016, 40(2):330-338.
- [10] Mao SS, Li D, Syed YS, et al. Thoracic quantitative computed tomography (QCT) can sensitively monitor bone mineral metabolism: Comparison of thoracic QCT vs lumbar QCT and dual-energy X-ray absorptiometry in detection of age-relative change in bone mineral density. Acad Radiol, 2017, 24(12):1582-1587.
- [11] 张灵艳, 李绍林, 郝帅, 等. 定量 CT 和双回波 MRI 评价骨质疏松. 中国医学影像技术, 2015, 31(10):1466-1469.
- [12] 蒋耀军, 吴艳, 张永高, 等. 低管电流联合迭代重建算法对胸部体模 T12 骨密度值准确性和胸部图像质量的影响. 中国医学影像技术, 2018, 34(3):429-433.
- [13] Oei L, Koromani F, Breda SJ, et al. Osteoporotic vertebral fracture prevalence varies widely between qualitative and quantitative radiological assessment methods: The rotterdam study. J Bone Miner Res, 2018, 33(4):560-568.
- [14] Szulc P. Vertebral fracture: Diagnostic difficulties of a major medical problem. J Bone Miner Res, 2018, 33(4):553-559.
- [15] Vicent S, Perurena N, Govindan R, et al. Bone metastases in lung cancer. Potential novel approaches to therapy. Am J Respir Crit Care Med, 2015, 192(7):799-809.
- [16] Neuhaus V, Abdullayev N, Hellmich M, et al. Association of quality and quantity of bone metastases and computed tomography volumetric bone mineral density with prevalence of vertebral fractures in breast cancer patients. Clin Breast Cancer, 2016, 16(5):402-409.
- [17] Li D, Mao SS, Khazai B, et al. Noncontrast cardiac computed tomography image-based vertebral bone mineral density: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). Acad Radiol, 2013, 20(5):621-627.
- [18] Budoff MJ, Khairallah W, Li D, et al. Trabecular bone mineral density measurement using thoracic and lumbar quantitative computed tomography. Acad Radiol, 2012, 19(2):179-183.

## 《中国医学影像技术》投稿要求(三)

**15 计量单位** 采用国际单位制并严格执行国家标准 GB 3100~3201《量和单位》的规定,使用法定计量单位,不再使用 N(当量浓度)、M(克分子浓度)、百分比浓度[% (V/V)、% (m/m)]等已废除的非标准计量单位和符号。

**16 统计学符号** 以国家标准 GB/T 3358.1-1993《统计学名词及符号》为准,样本算术平均数用英文小写斜体  $\bar{x}$ ;标准差用英文小写斜体  $s$ ;  $t$  检验用英文小写  $t$ ;  $F$  检验用英文大写  $F$ ;卡方检验用希腊斜体  $\chi^2$ ;相关系数用英文小写斜体  $r$ ;自由度用希腊斜体  $\gamma$ ;概率用英文大写斜体  $P$ ;样本数用英文小写斜体  $n$ 。

**17 统计学方法** 需注明使用的统计学软件名称和版本,以及所使用的统计学方法。率的计算保留小数点后两位,年龄需要提供  $\bar{x}$  或者中位年龄,保留小数点后一位。

**18 图片** 研究论著类论文和短篇报道均需附有相应患者的影像学资料,图片分辨率应在 300 dpi 以上, JPG/JEPG 格式,有良好的清晰度和对比度,最好是医院图像工作站中直接提取的图像。每图下面应标有图序号、图题、图说(解释图片内容的文字),文中应有图位。图中箭示或文字应有说明,病理图应注明染色方法及放大倍数。

**19 表格** 本刊采用三线表,表格列于文后,每表应标有表序号、表题,文中应有表位。

**20 参考文献** 严格按照国家标准 GB 7714-2015《文后参考文献著录规则》中规定,采用“顺序编码制”。仅限于作者直接阅读的近 5 年的文献,尽量不用二次文献,无特殊需要不必罗列众所周知的教科书或某些陈旧史料,提倡引用国内外同行新近发表的研究论文为参考文献,引用论点必须准确无误,不能断章取义。除短篇报道外,论文参考文献应至少来源于 5 种以上的期刊,研究论著类论文参考文献不少于 13 条,综述类论文参考文献应在 20 条以上,以反映论文的科学依据,以及对前人科学工作的继承性。参考文献的编排应按每条文献在文中出现的先后顺序逐条列于文后,并在文内引用处用右上角加方括号注明角码。参考文献书写格式如下:

- [1] Lopera JE, Trimmer CK, Lamba R, et al. MDCT angiography of mesenteric bypass surgery for the treatment of chronic mesenteric ischemia. AJR Am J Roentgenol, 2009, 193(5):1439-1445.
- [2] 陈奇琦, 吴婷, 康冰, 等. 脑磁图观察针刺太冲穴所致脑部能量变化. 中国医学影像技术, 2013, 29(12):1927-1930.