

# 颈椎椎体 CT 值在颈椎退行性疾病手术病人术前骨质量评估中的应用研究

何磊<sup>1,2</sup> 周非非<sup>1</sup> 李舒扬<sup>1</sup> 董骥源<sup>1</sup> 李彤<sup>1</sup> 张有余<sup>1</sup> 邹达<sup>1</sup> 李危石<sup>1</sup> 孙宇<sup>1</sup>

**【摘要】** 目的 研究颈椎椎体 CT 值在颈椎退行性疾病术前骨质量评估中的应用价值。方法 回顾性分析 2015 年 1 月至 2017 年 12 月在北京大学第三医院骨科颈椎专业组接受颈椎手术治疗的 939 例颈椎退行性疾病病人,其中男 484 例,女 455 例,平均年龄为 59 岁。在 PACS 系统上测量 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体中横断面的 CT 值,通过双能 X 线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)获得 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度 T 值。分析 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体 CT 值的变化规律、颈椎椎体 CT 值与 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度 T 值的相关性,并分别计算 -2.5 < T 值 < -1、T 值 ≤ -2.5 时, C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体 CT 均值的临界值。**结果** C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体的 CT 值分别为(363.43±92.52) HU、(340.44±80.73) HU、(338.37±86.92) HU、(333.43±87.49) HU、(289.98±76.60) HU、(259.43±62.59) HU,依次递减; C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体 CT 值为(322.52±89.27) HU。L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度 T 值平均值为-0.73。C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体的 CT 值与 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度 T 值呈正相关( $r=0.487, P<0.001$ )。-2.5 < T 值 < -1 时, C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体 CT 均值的临界值为 327 HU,采用该临界值筛查骨质减少的灵敏度为 75.7%,特异度为 59.8%。T 值 ≤ -2.5 时, C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体 CT 均值的临界值为 269 HU,采用该临界值筛查骨质疏松的灵敏度为 63.8%,特异度为 80.8%。**结论** 颈椎退行性疾病手术病人的颈椎 CT 值自 C<sub>2</sub>至 C<sub>7</sub>递减;颈椎椎体 CT 值与 DXA 检查的骨密度 T 值呈正相关,有助于术前临床评估病人的骨质量。

**【关键词】** CT 值;双能 X 线吸收法;T 值;颈椎;骨密度

**Application of CT value of cervical vertebral body in preoperative bone quality assessment of patients with cervical degenerative diseases.** HE Lei<sup>1,2</sup>, ZHOU Fei-fei<sup>1</sup>, LI Shu-yang<sup>1</sup>, DONG Qi-yuan<sup>1</sup>, LI Tong<sup>1</sup>, ZHANG You-yu<sup>1</sup>, ZOU Da<sup>1</sup>, LI Wei-shi<sup>1</sup>, SUN Yu<sup>1</sup>. <sup>1</sup>Department of Orthopaedics, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China; <sup>2</sup>Department of Orthopaedics, Beijing Changping District Hospital, Beijing 102200, China

Corresponding author: ZHOU Fei-fei, E-mail: orthozhou@163.com

**【Abstract】 Objective** To study the application of CT value of cervical vertebral body in preoperative bone quality assessment of patients with cervical degenerative diseases. **Methods** A retrospective analysis was made on 939 patients with cervical degenerative diseases who underwent cervical spine surgery from January 2015 to December 2017 in the Cervical Spine Specialty Group of Orthopaedic Department of the Third Hospital of Peking University, including 484 males and 455 females, with an average age of 59 years. The CT value of C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub> vertebral body in sagittal reconstruction of cervical spine was measured on PACS system. The total T value of L<sub>1</sub>-L<sub>4</sub> was obtained by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). To analyze the regularity of CT value of C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub> cervical vertebral, the correlation between CT value of cervical vertebral and T value measured by DXA, and the critical value of CT value of cervical vertebral when -2.5 < T value < -1.0 and T value ≤ -2.5. **Results** The CT values of C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub> vertebral body in sagittal reconstruction of cervical spine on PACS system were (363.43±92.52), (340.44±80.73), (338.37±86.92), (333.43±87.49), (289.98±76.60), and (259.43±62.59) HU respectively, with an average of (322.52±89.27) HU. The average of T value by DXA was -0.73 in all patients included in the study. The CT value of C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub> vertebral body was positively correlated with the T value of DXA ( $r=0.487, P<0.001$ ). While -2.5 < T value < -1.0, the mean CT value of C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub> vertebral body was 327 HU, the sensitivity and specificity of using the mean CT value to screen osteopenia were 75.7% and 59.8%

DOI:10.3969/j.issn.1674-8573.2019.04.007

基金项目:北京大学第三医院临床重点项目(BYSY2017028)

作者单位:1. 北京大学第三医院骨科,北京 100191;2. 北京市昌平区医院骨科,北京 102200

通信作者:周非非, E-mail: orthozhou@163.com

respectively. While  $T \leq -2.5$ , the mean CT value of C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub> vertebral body was 269 HU, the sensitivity and specificity of using the mean CT value to screen osteoporosis were 63.8% and 80.8% respectively.

**Conclusion** The CT value of cervical spine in patients with cervical degenerative diseases decreased gradually from C<sub>2</sub> to C<sub>7</sub>. The CT value of cervical spine was positively correlated with the  $T$  value of DXA, which would be helpful to evaluate the bone quality of patients before operation.

**【Key words】** CT value; Dual-energy X-ray absorptiometry;  $T$  value; Cervical vertebral; Bone mineral density

随着我国老龄化社会的到来,骨质疏松症在临床中越来越常见。目前临床公认的骨质疏松症的诊断标准是基于双能 X 线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)测量的结果<sup>[1]</sup>,使用  $T$  值判断骨密度是否正常。近年来有学者应用 CT 值诊断骨质疏松,大多数研究集中在腰椎<sup>[2-6]</sup>。CT 值是 CT 扫描中 X 线衰减系数的相对值,能够测定人体某一局部组织或器官密度的大小,通常称为亨氏单位(Hounsfield unit, HU),一般情况下组织密度越大其数值越大。很多文献证实,在腰椎非退行性病变人群中腰椎椎体 CT 值与腰椎骨密度及  $T$  值存在正相关性,CT 值可以准确反映腰椎的骨质情况,是评估腰椎骨密度的补充方法<sup>[7]</sup>。但对于腰椎退行性病变,DXA 检查可能会高估真实的  $T$  值,而腰椎椎体 CT 值能很好地反映其真实的骨质量<sup>[7,8]</sup>。

目前关于颈椎 CT 值的相关研究较少,为此我们进行了一项回顾性研究,旨在研究颈椎退行性疾病手术病人颈椎椎体 CT 值的自身变化规律、颈椎 CT 值与腰椎骨密度  $T$  值的关系,以及其在评估骨质量中的应用。

### 资料与方法

#### 一、纳入与排除标准

纳入标准:①术前明确诊断为脊髓型颈椎病、神经根型颈椎病、混合型颈椎病及颈椎后纵韧带骨化症者;②经过规范保守治疗无效,具备明确手术指征者;③术前 1 个月内在北京大学第三医院行颈椎三维 CT 及 DXA 骨密度检查者。

排除标准:①既往颈椎及腰椎骨折史或手术史者;②颈椎及腰椎骨质破坏(如肿瘤、感染等)者。

#### 二、一般资料

2015 年 1 月至 2017 年 12 月,在北京大学第三医院骨科颈椎专业组接受颈椎手术治疗的颈椎退行性疾病病人共 1 170 例,939 例符合入选标准及排除标准,其中,男 484 例,女 455 例,平均年龄为 59 岁。所有病人都接受手术治疗,其中行颈前路手术者 644 例,行颈后路手术者 295 例。

#### 三、测量方法

根据病人术前的颈椎三维 CT,应用 PACS 系统 [RA1000 3.0 版,通用电器医疗系统(中国)有限公司]分别测量 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub> 椎体的 CT 值,并计算 CT 值的均值。CT 值的测量方法为:在 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub> 椎体矢状面重建的中横断面上,圈定尽量大的目标区域,该区域不包括皮质骨及骨质异常区域,如骨岛、静脉窦、压缩骨质(图 1)。每一椎体的 CT 值由 PACS 系统计算所得,与 CT 的窗位变化无关。

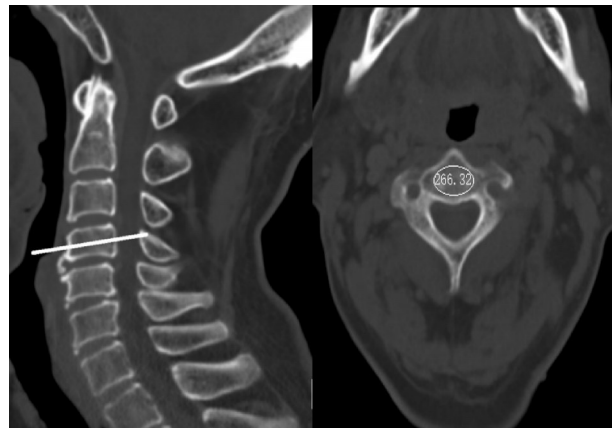


图 1 CT 值测量方法 在椎体中部横断面上圈定尽量大的区域, PACS 系统计算 CT 值,取其平均值

同时收集每位病人术前 DXA 所测得的 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub> 总的骨密度  $T$  值。

#### 四、统计学方法

本研究采用 SPSS 20.0 统计学软件(IBM 公司,美国)进行统计分析,采用双侧检验,  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。采用 Spearman 秩相关检验法检测颈椎序列与其椎体 CT 值的相关性,采用一般线性模型检验 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub> 总的骨密度  $T$  值与 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub> 椎体 CT 均值的相关性。采用 ROC 曲线分析,分别以  $T < -1$  或  $T \leq -2.5$  作为骨质减少或骨质疏松的标准,计算曲线下面积;以 ROC 曲线上灵敏度+特异度最大时的 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub> 椎体 CT 值为临界点,得到以该 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub> 椎体 CT 值筛查骨质减少或骨质疏松的灵敏度和特异度。

## 结 果

### 一、测量结果

C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体的CT值分别为:(363.43±92.52) HU、(340.44±80.73) HU、(338.37±86.92) HU、(333.43±87.49) HU、(289.98±76.60) HU、(259.43±62.59) HU。C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT值为(322.52±89.27) HU。

939例病人术前经DXA检查的L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度T值平均值为-0.73。

### 二、相关性分析

颈椎序列与其CT值呈负相关( $r=-0.396, P < 0.001$ )。C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT值的均值与L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度T值呈正相关( $r=0.487, P < 0.001$ )(图2)。

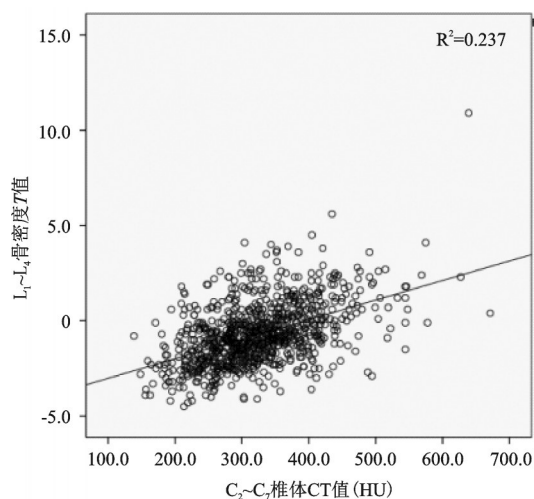


图2 散点图 C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT均值与L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度T值存在正相关性

用C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT值均值筛查骨质减少( $-2.5 < T < -1$ )的ROC曲线下面积为0.726,95%置信区间:(0.694,0.758),见图3,在ROC曲线上取灵敏度+特异度最大时对应的C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT均值为327 HU,采用该CT均值筛查骨质减少的灵敏度为75.7%,特异度为59.8%;筛查骨质疏松( $T \leq -2.5$ )的ROC曲线下面积为0.767,95%置信区间:(0.718,0.816),见图4,在ROC曲线上取灵敏度+特异度最大时对应的C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT均值为269 HU,采用该CT均值筛查骨质疏松的灵敏度为63.8%,特异度为80.8%。

## 讨 论

骨质疏松症是一种以骨量低,骨组织微结构受损,导致骨脆性增加,易发生骨折为特征的全身性骨病,多见于绝经后女性和老年男性<sup>[1]</sup>。临床工作中常见颈椎退行性变病人合并骨质疏松症。骨质疏松

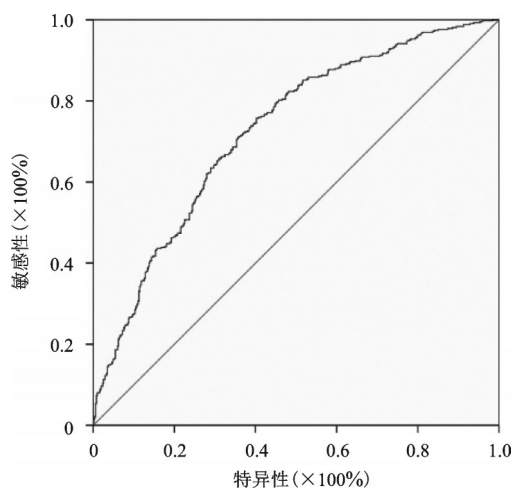


图3 筛查骨质减少( $-2.5 < T < -1$ )的ROC曲线,曲线下面积为0.726

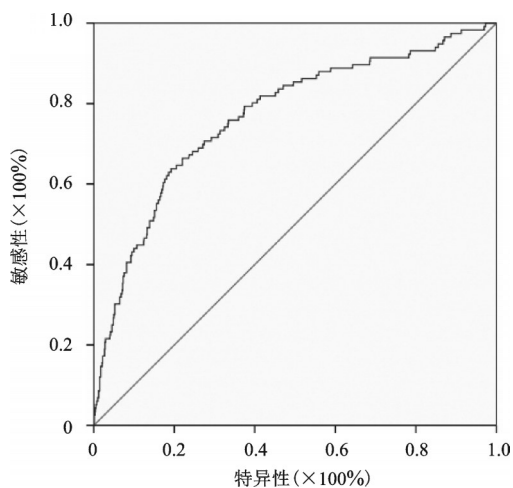


图4 筛查骨质疏松( $T \leq -2.5$ )的ROC曲线,曲线下面积为0.767

会对颈椎手术及术后康复造成不良影响,有文献证明在因颈椎退行性变而行手术的病人中,骨质疏松病人较非骨质疏松病人更多地采用颈后路融合手术,术后出血更多,进行翻修手术的概率更高,并且住院时间延长,住院费用增加<sup>[9]</sup>。

临床中,颈椎椎体的骨质情况依据DXA测定的骨密度值及其T值进行评估,但L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度T值能否准确反映颈椎椎体真实的骨质情况,相关的研究不多。目前评估颈椎骨质量比较好的方法为颈椎定量CT(Quantitative CT, QCT)检查,其能够精确选择特定部位进行骨密度检查。与DXA相比,QCT检查具有更高的诊断能力,能够更准确地测量颈椎椎体骨密度<sup>[10,11]</sup>。但QCT价格比较昂贵,病人接受的射线较多,并且仅有少数医院有此设备,限制了其在临床中的广泛应用。近年来不少学者尝试应用CT值来评估腰椎椎体骨质的情况,并提出了相应的



阈值来诊断骨质疏松。CT检查是脊柱外科的术前常规检查,CT值的获取简单、方便,应用CT值评估骨质情况,病人无需再进行额外的检查。

### 一、颈椎椎体CT值及变化规律

目前尚无应用颈椎CT值来评估颈椎骨质情况的相关文献,仅有少数几篇文献应用QCT检查研究颈椎骨密度,并且研究对象大多集中在相对年轻的志愿者。一项利用QCT测量健康成年男性脊柱椎体骨密度的研究结果显示,颈椎骨密度值为 $(256.0 \pm 48.1) \text{ mg/cm}^3$ ,从颈椎到腰椎,骨密度值逐渐下降<sup>[12]</sup>。有学者对8具新鲜尸体的颈椎进行了CT扫描,测量C<sub>3</sub>~C<sub>7</sub>椎体松质骨的骨密度值为 $(270 \pm 74) \text{ mg/cm}^3$ <sup>[13]</sup>。88例行颈前路手术的病人,术前应用QCT检测颈椎的骨密度值为 $235.5 \sim 302.0 \text{ mg/cm}^3$ ,从头端向尾端逐渐降低<sup>[14]</sup>。另一篇报道应用QCT检查研究颈椎不同解剖位置的骨密度,发现椎体中心部分的骨密度值从C<sub>3</sub>至C<sub>7</sub>逐渐降低,均值分别为336、354、360、311、248  $\text{mg/cm}^3$ <sup>[15]</sup>。不同研究得到的颈椎骨密度值有所差异,可能与所选择的研究对象及测量仪器之间的差异有关。但颈椎骨密度值的变化趋势都是从头端向尾段逐渐降低。

本研究得到了类似结果,C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>序列与椎体CT值呈负相关,随着颈椎序列从上至下,颈椎椎体CT值逐渐下降。本研究中,C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>椎体的CT值较C<sub>2</sub>~C<sub>5</sub>明显降低,因此在对C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>椎体置钉固定时应特别注意固定强度的问题。同时,对于涉及C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>的颈前路器械也有待进一步改进。

### 二、利用颈椎椎体CT值评估骨密度的优越性

本研究结果得出,颈椎椎体CT值与腰椎总骨密度T值呈正相关,可以认为颈椎与腰椎骨质情况是平行的,腰椎总骨密度T值能在一定程度上反映颈椎椎体的骨质情况。目前,临床中颈椎术前需行腰椎DXA检查以评估颈椎骨质情况,当T值较高时,其颈椎的骨质情况亦较好。

在腰椎相关研究中,非退变组腰椎骨密度T值与CT值的相关系数为0.7以上,退变组腰椎骨密度T值与CT值的相关系数为0.6以上<sup>[7]</sup>。本研究结果中颈椎CT均值与腰椎的骨密度T值的相关系数(0.487)低于上述研究中腰椎CT值与T值的相关系数,原因可能为上述研究中CT值与T值均是针对同一腰椎椎体进行测量的;而本研究中的腰椎T值为L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub>总的骨密度T值,代表腰椎整体骨质情况。

颈椎CT值测量的是所圈定的颈椎椎体松质骨区域;而腰椎骨密度T值测量的是腰椎单位面积内

所有的骨量,包括椎体的皮质骨、松质骨、附件结构及增生的骨赘甚至钙化的动脉。因此颈椎CT值比腰椎骨密度T值更能精确地反映颈椎椎体的骨质情况,可将此作为辅助诊断方法,从而避免颈椎骨质疏松的漏诊。

### 三、利用颈椎椎体CT值评估病人术前的骨质量

根据WHO的诊断标准, $T \leq -2.5$ 时诊断为骨质疏松症, $-1.0 < T < -2.5$ 时诊断为骨量较少, $T \geq -1.0$ 时为骨量正常<sup>[1,16]</sup>。北京大学第三医院的研究指出:L<sub>1</sub>的CT值 $\leq 110 \text{ HU}$ 、L<sub>2</sub>的CT值 $\leq 100 \text{ HU}$ 、L<sub>3</sub>的CT值 $\leq 85 \text{ HU}$ 、L<sub>4</sub>的CT值 $\leq 80 \text{ HU}$ 对应于 $T \leq -2.5$ ,认为应用上述CT值阈值可以作为在腰椎退变性疾病中降低骨质疏松漏诊率的补充方法<sup>[7]</sup>。一些作者提供了不同部位的CT值阈值用以帮助诊断骨质疏松,例如利用肩关节CT测量肩胛颈的CT值,低于197 HU的病人有97%的概率存在骨密度降低,而CT值高于257 HU的病人可能骨密度正常<sup>[17]</sup>。利用头颅CT扫描测量颅骨CT值,颅骨CT值低于610 HU的病人需要进一步评估可能存在的骨质疏松<sup>[18]</sup>。

本研究中以骨密度T值作为诊断骨量减少及骨质疏松的金标准,骨量减少对应的CT值为327 HU,接近于939例病人的C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT值为 $(322.52 \pm 89.27) \text{ HU}$ ,考虑为该组病人均因颈椎退行性变行颈椎手术,平均年龄为59岁,T值平均值为-0.73,一部分病人存在骨量减少或骨质疏松。临床医师可以应用颈椎CT均值辅助腰椎骨密度T值诊断骨质疏松及骨量减少。根据术前颈椎CT测量C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体CT均值,如果CT均值小于269 HU,该病人可能存在骨质疏松,其诊断骨质疏松的灵敏度为63.8%,特异度为80.8%。本研究中C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>椎体CT值下降明显,如果C<sub>2</sub>~C<sub>5</sub>椎体其中之一的椎体CT值小于269 HU,病人极可能存在骨质疏松。本研究的样本全部为住院行颈椎手术的病人,虽然无健康人群进行对照,但是在临床工作中脊柱外科医师可能更关注拟行手术病人的骨质情况。以后需要进一步研究健康人群的颈椎椎体CT值及其与腰椎骨密度T值的关系。

颈椎退行性疾病手术治疗病人的颈椎CT值自C<sub>2</sub>至C<sub>7</sub>逐渐递减;颈椎椎体CT值与DXA检查的骨密度T值呈正相关,有助于术前临床评估病人的骨质量。

### 参 考 文 献

- [1] 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年版). 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017, 18(1): 1-11. (下转第302页)

- [14] Kashiwagi K. Histological changes of the lumbar ligamentum flavum with age [J]. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*, 1993, 67(4): 221-229.
- [15] Giulioni M, Zucchelli M, Damiani S. Thoracic myelopathy caused by calcified ligamentum flavum [J]. *Joint Bone Spine*, 2007, 74(5): 504-505.
- [16] Feng FB, Sun CG, Chen ZQ. Progress on clinical characteristics and identification of location of thoracic ossification of the ligamentum flavum [J]. *Orthop Surg*, 2015, 7(2): 87-96.
- [17] Okada K, Oka S, Tohge K, et al. Thoracic myelopathy caused by ossification of the ligamentum flavum. Clinicopathologic study and surgical treatment [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1991, 16(3): 280-287.
- [18] Sun X, Sun C, Liu X, et al. The frequency and treatment of dural tears and cerebrospinal fluid leakage in 266 patients with thoracic myelopathy caused by ossification of the ligamentum flavum [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(12): E702-707.
- [19] Wang H, Wei F, Long H, et al. Surgical outcome of thoracic myelopathy caused by ossification of ligamentum flavum [J]. *J Clin Neurosci*, 2017, 45: 83-88.
- [20] Grauvogel J, Scheiwe C, Kaminsky J. Use of Piezosurgery for removal of retrovertebral body osteophytes in anterior cervical discectomy [J]. *Spine J*, 2014, 14(4): 628-636.
- [21] Dellepiane M, Mora R, Salzano FA, et al. Clinical evaluation of piezoelectric ear surgery [J]. *Ear Nose Throat J*, 2008, 87(4): 212-213, 216.
- [22] Liu X, Li T, Shi L, et al. Application of the piezosurgery in en bloc laminectomy for the treatment of multilevel thoracic ossification of ligamentum flavum [J]. *World Neurosurg*, 2019, 126: 541-546.

(收稿日期: 2019-04-09)

(本文编辑: 陈姗姗)

(上接第296页)

- 疗指南(2017) [J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2017, 10(5): 413-443.
- [2] Alacreu E, Moratal D, Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe [J]. *Osteoporos Int*, 2017, 28(3): 983-990.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Wagner SC, Formby PM, Helgeson MD, et al. Diagnosing the undiagnosed: osteoporosis in patients undergoing lumbar fusion [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41(21): E1279-E1283.
- [6] 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.
- [7] 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*, 2018. [Epub ahead of print]
- [8] Bokov A, Bulkin A, Aleynik A, et al. Pedicle screws loosening in patients with degenerative diseases of the lumbar spine: potential risk factors and relative contribution [J]. *Global Spine J*, 2019, 9(1): 55-61.
- [9] Guzman JZ, Feldman ZM, McAnany S, et al. Osteoporosis in cervical spine surgery [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41(8): 662-668.
- [10] Weishaupt D, Schweitzer ME, DiCuccio MN, et al. Relationships of cervical, thoracic, and lumbar bone mineral density by quantitative CT [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2001, 25(1): 146-150.
- [11] Anderst WJ, West T, Donaldson WF, et al. Cervical spine bone density in young healthy adults as a function of sex, vertebral level and anatomic location [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(9): 2281-2289.
- [12] Yoganandan N, Pintar FA, Stemper BD, et al. Trabecular bone density of male human cervical and lumbar vertebrae [J]. *Bone*, 2006, 39(2): 336-344.
- [13] Ordway NR, Lu YM, Zhang X, et al. Correlation of cervical endplate strength with CT measured subchondral bone density [J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(12): 2104-2109.
- [14] Brenke C, Dostal M, Scharf J, et al. Influence of cervical bone mineral density on cage subsidence in patients following stand-alone anterior cervical discectomy and fusion [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(12): 2832-2840.
- [15] Anderst WJ, Thorhauer ED, Lee JY, et al. Cervical spine bone mineral density as a function of vertebral level and anatomic location [J]. *Spine J*, 2011, 11(7): 659-667.
- [16] WHO Scientific Group. Prevention and management of osteoporosis [J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 2003, 921: 1-164.
- [17] Nappo KE, Christensen DL, Wolfe JA, et al. Glenoid neck Hounsfield units on computed tomography can accurately identify patients with low bone mineral density [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2018, 27(7): 1268-1274.
- [18] Na MK, Won YD, Kim CH, et al. Opportunistic osteoporosis screening via the measurement of frontal skull Hounsfield units derived from brain computed tomography images [J]. *PLoS One*, 2018, 13(5): e0197336.

(收稿日期: 2019-04-22)

(本文编辑: 陈姗姗)