

·临床研究·

# 腰椎能谱 CT 评估 Graves 甲状腺功能亢进症患者 $^{131}\text{I}$ 治疗前后骨量变化的价值

王任飞 田小丽 谭建 张桂芝 张瑞国 何雅静

300052, 天津医科大学总医院核医学科

通信作者: 谭建, Email: tanpost@163.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.06.004

**【摘要】目的** 探讨能谱 CT 成像对 Graves 甲状腺功能亢进症(简称甲亢)患者骨量评估的价值, 以及  $^{131}\text{I}$  治疗对 Graves 甲亢患者骨量的影响。**方法** 收集 2015 年 6 月至 10 月期间在我科接受  $^{131}\text{I}$  治疗的 68 例 Graves 甲亢患者(男性 13 例、女性 55 例, 年龄  $(40.6\pm 10.7)$  岁), 治疗前采用双能 X 线吸收法(DXA)测定腰椎骨密度(BMD), 能谱 CT 测定第 3 腰椎钙(水)密度, 采用 Pearson 相关分析及线性回归探讨二者的相关性。治疗后半年随访评价疗效, 复查腰椎能谱 CT, 采用配对  $t$  检验比较  $^{131}\text{I}$  治疗前后骨量变化。**结果** DXA 的测定结果显示, 68 例 Graves 甲亢患者中有 21 例伴有骨量减少(30.9%), 7 例伴有骨质疏松(10.3%)。骨量正常组患者的第 3 腰椎钙(水)密度为  $(64.33\pm 14.65)\text{g}/\text{cm}^3$ , 骨量减少组为  $(48.29\pm 4.45)\text{g}/\text{cm}^3$ , 而骨质疏松组为  $(41.65\pm 1.21)\text{g}/\text{cm}^3$ , 3 组间差异有统计学意义( $\chi^2=35.811$ ,  $P<0.001$ )。骨量正常组患者的第 3 腰椎 BMD 为  $(1.252\pm 0.305)\text{g}/\text{cm}^2$ , 骨量减少组为  $(1.103\pm 0.254)\text{g}/\text{cm}^2$ , 而骨质疏松组为  $(0.539\pm 0.066)\text{g}/\text{cm}^2$ , 3 组间差异有统计学意义( $F=12.968$ ,  $P<0.001$ )。Graves 甲亢患者的第 3 腰椎钙(水)密度与 DXA 测定的腰椎 BMD 呈高度正相关( $r=0.794$ , 假设检验水准  $\alpha=0.01$ ,  $t=10.605$ ,  $P<0.001$ )。由线性回归分析得到线性回归方程: 第 3 腰椎钙(水)密度  $=24.485+34.529$  腰椎 BMD。治疗后半年随访发现, 甲亢治愈组患者  $^{131}\text{I}$  治疗后腰椎钙(水)密度较治疗前增加, 骨量改善, 差异有统计学意义( $t=7.86$ ,  $P<0.001$ ); 而甲亢未愈组患者较治疗前变化不显著, 差异无统计学意义( $t=2.29$ ,  $P=0.062$ )。**结论** 能谱 CT 测得的腰椎钙(水)密度可用于评估 Graves 甲亢患者的骨量。患者经  $^{131}\text{I}$  治疗后, 骨量可随着甲亢的有效缓解而显著改善。

**【关键词】** 格雷夫斯病; 甲状腺功能亢进; 体层摄影术, X 线计算机; 碘放射性同位素; 骨量; 放射性核素治疗

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金(81501510)

## Changes of bone mass in patients with Graves' hyperthyroidism before and after $^{131}\text{I}$ therapy based on CT spectral imaging

Wang Renfei, Tian Xiaoli, Tan Jian, Zhang Guizhi, Zhang Ruiguo, He Yajing

Department of Nuclear Medicine, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China

Corresponding author: Tan Jian, Email: tanpost@163.com

**【Abstract】Objective** To investigate the value of CT spectral imaging to evaluate bone mass in patients with Graves' hyperthyroidism, and the changes of bone mass before and after  $^{131}\text{I}$  therapy. **Methods** Sixty-eight patients(13 males, 55 females; age  $40.6\pm 10.7\text{yr}$ ) with Graves' hyperthyroidism who received  $^{131}\text{I}$  therapy from June to October 2015 were involved in our study. The bone mineral density(BMD) of lumbar was obtained by dual energy X-ray absorptiometry(DXA), and the calcium-water concentration of L3 was measured by CT spectral imaging before  $^{131}\text{I}$  therapy. Pearson correlation analysis and linear regression were performed to explore the relationship between them. All clinical data were collected to assess the efficacy of  $^{131}\text{I}$  therapy after 6 months. CT spectral imaging was repeated, in order to compare the changes of bone mass using comparative  $t$ -test. **Results** Of these patients with Graves' hyperthyroidism, 30.9% (21/68) patients with osteopenia and 10.3%(7/68) patients with osteoporosis were diagnosed according to the results of BMD by DXA. The calcium (water) densities of L3 were  $(64.33\pm 14.65)$ ,  $(48.29\pm 4.45)$  and  $(41.65\pm 1.21)\text{g}/\text{cm}^3$  in patients with normal bone mass, bone loss and osteoporosis, respectively. The differences between the three

groups were statistically significant ( $\chi^2=35.811, P<0.001$ ). The bone mineral density of L3 were (1.252±0.305), (1.103±0.254) and (0.539±0.066) g/cm<sup>3</sup> in patients with normal bone mass, bone loss and osteoporosis, respectively. The differences between the three groups were statistically significant ( $F=12.968, P<0.001$ ). The calcium-water concentrations of L3 (g/cm<sup>3</sup>) were highly correlated with BMD values (g/cm<sup>2</sup>) of lumbar determined by DXA ( $r=0.794$ , hypothesis testing standard  $\alpha=0.01, t=10.605, P<0.001$ ). Equation of linear regression: the calcium-water concentration of L3=24.485+34.529 BMD value of lumbar. Furthermore, after <sup>131</sup>I therapy, the calcium-water concentrations of L3 increased ( $t=7.86, P<0.001$ ) in the cured group of patients. But there weren't significant difference in the uncured group of patients ( $t=2.29, P=0.062$ ).

**Conclusions** CT spectral imaging can be used to evaluate bone mass in patients with Graves' hyperthyroidism. Bone mass can be improved with remission of hyperthyroidism after <sup>131</sup>I therapy.

**【Key words】** Graves disease; Hyperthyroidism; Tomograp, X-ray computed; Bone mass; Radionuclide therapy; Iodine Radioisotopes

**Fund program:** National Natural Science Foundation Youth Science Foundation of China(81501510)

Graves 甲状腺功能亢进症(简称甲亢)患者伴有骨量减少甚至骨质疏松,这已引起临床医师的普遍重视。<sup>131</sup>I 治疗通过破坏甲状腺滤泡,使甲状腺激素水平恢复正常或降低,骨转化动力减弱,骨代谢可趋于正常<sup>[1]</sup>。双能 X 线吸收法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)测定骨密度(bone mineral density, BMD)是目前诊断骨质疏松的有效手段与金标准,并能很好地预测骨折风险<sup>[2]</sup>,但腰椎骨质增生会造成常规前后位 BMD 测定结果的假阳性增高,影响对患者骨量的准确评价<sup>[3]</sup>。腰椎能谱 CT 可通测定椎体中间层面松质骨中钙(水)的含量,更加灵敏、精确地评价骨矿含量<sup>[4]</sup>。本研究通过能谱 CT 测定 68 例 Graves 甲亢患者腰椎钙(水)密度,分析其与 DXA 测定 BMD 结果的相关性,并了解 <sup>131</sup>I 治疗前后腰椎钙(水)密度的变化,探讨能谱 CT 成像对 Graves 甲亢患者骨量评估的价值,以及 <sup>131</sup>I 治疗对甲亢患者骨量的影响。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

收集 2015 年 6 月至 10 月期间在我科住院首次接受 <sup>131</sup>I 治疗、随访半年以上且临床资料齐全的 68 例 Graves 甲亢患者作为研究对象,其中男性 13 例,女性 55 例,年龄 21~67(40.6±10.7)岁,病程 1 个月至 20 年。将女性未绝经者及男性 ≤50 岁定义为青年组,而将绝经后女性及 >50 岁男性定义为高龄组。诊断及入选标准包括:高代谢症候群, FT<sub>3</sub>、FT<sub>4</sub> 水平升高及 TSH 水平降低,同时具备甲状腺肿大、突眼、胫前黏液性水肿、血清甲状腺刺

激免疫球蛋白 [本研究为促甲状腺素受体抗体(thyrotrophin receptor antibody, TRAb)]阳性之一者,甲状腺吸 <sup>131</sup>I 率增高(或 ECT 检查可见甲状腺摄取核素能力增强)<sup>[5]</sup>。所有患者均除外合并肝、肾功能损害、其他内分泌疾病及骨关节病史,无应用钙剂、维生素 D 及糖皮质激素史。

### 1.2 方法

常规采集病史,进行体格检查,检测血清 FT<sub>3</sub>、FT<sub>4</sub>、TSH、TRAb、抗甲状腺球蛋白抗体、甲状腺过氧化物酶抗体水平,甲状腺行超声检查估算重量,测定甲状腺最高摄 <sup>131</sup>I 率及有效半衰期,采用美国 Lunar 公司的 DPX-L 型双能 X 线骨密度仪测定腰椎 BMD。根据国际 BMD 测量标准将测定结果分为骨量正常组(T 或 Z 值 > -1 标准差)、骨量减低组(T 或 Z 值 -1 ~ -2.5 标准差)和骨质疏松组(T 或 Z 值 ≤ -2.5 标准差)<sup>[6]</sup>。腰椎 CT 采集图像,扫描参数:管电压在 140 kVp 和 80 kVp 瞬时切换,自动 mAs,辐射剂量为 14.4 mGy,后台重建成 1.25 mm 层厚的钙(水)密度图像,由两名影像专业的主治医师分别测量钙(水)密度值,选取第 3 腰椎上、中、下 3 个层面,每个层面勾画 2~3 个大小为 90~100 mm<sup>2</sup> 的 ROI,ROI 应距离椎体边缘 3 mm 以上,并避开椎后静脉丛及骨岛等影响因素,将测量结果取平均值,获得该椎体的钙(水)密度值(图 1)。

我们采用计算剂量法结合患者自身因素进行适当调整而得到个体化 <sup>131</sup>I 治疗剂量(具体方法参见 <sup>131</sup>I 治疗格雷夫斯甲亢指南推荐的第 22 项),并一次性给予患者服用<sup>[7]</sup>。本研究患者口服 <sup>131</sup>I 剂

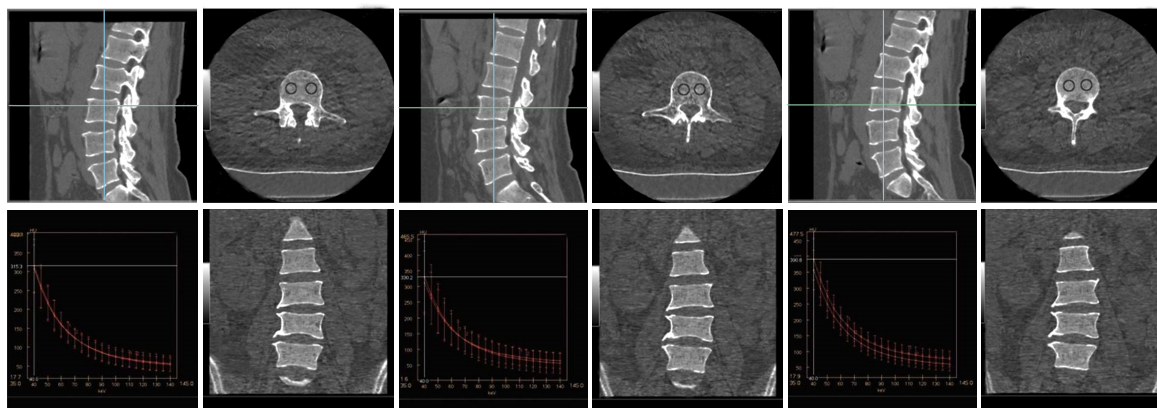


图1 能谱CT测量Graves甲状腺功能亢进症患者第3腰椎钙(水)密度图

Fig.1 The calcium-water concentration measurement of Graves hyperthyroidism patient's L3 by CT spectral imaging

量为74~555 MBq(2~15 mCi), 平均剂量为(240.5±88.8) MBq[(6.5±2.4) mCi]。

全部病例均随访半年以上, 依据《<sup>131</sup>I治疗格雷夫斯甲亢指南(2013版)》评价<sup>131</sup>I治疗甲亢的疗效<sup>7</sup>。治疗后半年复查甲状腺功能以及腰椎能谱CT。所有患者均在治疗前签署了知情同意书。

### 1.3 统计学分析

应用SPSS15.0软件进行统计学分析。所有数据用均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 不同性别及年龄组DXA测定的腰椎BMD比较采用独立样本t检验(符合正态分布且方差齐); 不同骨量组别的第3腰椎钙(水)密度比较采用非参数统计Kruskal-Wallis H检验及Mann-Whitney U检验(因各组间方差不齐), 不同骨量组别的第3腰椎BMD比较采用单因素方差分析, 腰椎能谱CT与DXA测定结果的关系采用Pearson相关分析及线性回归分析; Graves甲亢患者治疗前后腰椎钙(水)密度的比较采用配对t检验。P<0.05表示差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 Graves甲亢患者骨量检测结果

DXA测定腰椎BMD的结果显示, 68例Graves甲亢患者中骨量正常40例(58.8%), 骨量减少21例(30.9%), 骨质疏松7例(10.3%)。男性甲亢患者的BMD(0.92±0.35) g/cm<sup>3</sup>与女性患者(1.03±0.25) g/cm<sup>3</sup>比较, 差异无统计学意义(t=-1.284, P>0.05)。高龄组患者的BMD(0.72±0.35) g/cm<sup>3</sup>低于青年组患者(1.03±0.29) g/cm<sup>3</sup>, 差异有统计学意义(t=-3.660, P<0.01)。高龄组患者的BMD(0.72±0.35) g/cm<sup>3</sup>低于青年组患者[(1.03±0.29) g/cm<sup>3</sup>],

差异有统计学意义(t=-3.660, P<0.01)。

骨量正常组患者、骨量减少组、骨质疏松组进行第3腰椎钙(水)密度比较, 3组间差异有统计学意义( $\chi^2=35.811$ , P<0.001)。骨量正常组腰椎钙(水)密度高于骨量减少组与骨质疏松组, 差异均有统计学意义(Z=4.903、3.974, 均P<0.001), 骨量减少组腰椎钙(水)密度高于骨质疏松组, 差异有统计学意义(Z=-3.502, P<0.001)(表1)。

表1 不同骨量组别的Graves甲状腺功能亢进症患者第3腰椎钙(水)密度比较(g/cm<sup>3</sup>)

Table 1 Comparison of calcium (water) densities of L3 in Graves hyperthyroidism patients with different bone mass(g/cm<sup>3</sup>)

组别	例数	最小值	最大值	$\bar{x} \pm s$	$\chi^2$ 值	P值
骨量正常组	40	34.62	112.48	64.33±14.65	35.811	0.000
骨量减少组	21	36.96	55.77	48.29± 4.45		
骨质疏松组	7	40.22	43.30	41.65± 1.21		

骨量正常组患者的第3腰椎BMD为(1.252±0.305) g/cm<sup>2</sup>, 骨量减少组为(1.103±0.254) g/cm<sup>2</sup>, 而骨质疏松组为(0.539±0.066) g/cm<sup>2</sup>, 3组间差异有统计学意义(F=12.968, P<0.001)。其中骨量正常组和骨量减少组第3腰椎BMD的差异无统计学意义(t=1.910, P>0.05), 但均高于骨质疏松组(t=6.294、4.589, 均P<0.001)(表2)。

表2 不同骨量组别的Graves甲状腺功能亢进症患者第3腰椎骨密度比较(g/cm<sup>2</sup>)

Table 2 Comparison of bone mineral densities of L3 in Graves hyperthyroidism patients with different bone mass (g/cm<sup>2</sup>)

组别	例数	最小值	最大值	$\bar{x} \pm s$	F值	P值
骨量正常组	40	1.04	1.44	1.252±0.305	12.968	0.000
骨量减少组	21	0.96	1.32	1.103±0.254		
骨质疏松组	7	0.42	0.60	0.539±0.066		

## 2.2 Graves 甲亢患者腰椎能谱 CT 与 DXA 测定结果的相关性

以 DXA 测定的腰椎 BMD 为横坐标, 能谱 CT 测定第 3 腰椎钙(水)密度为纵坐标, 将每例甲亢患者成对的数据描述在直角坐标系上, 形成散点图(图 2)。由图 2 可见二者大致呈线性正相关趋势。

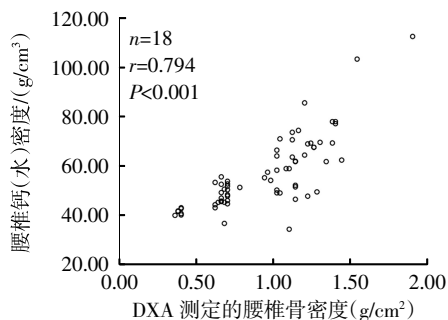


图 2 Graves 甲亢患者腰椎能谱 CT 与 DXA 测定结果的相关性 图中, DXA: 双能 X 线吸收法

Fig.2 The relationship between calcium(water) densities and BMDs in Graves hyperthyroidism patients

由图 2 可见, DXA 测定的 BMD 在 1.0~1.5 g/cm<sup>2</sup> 范围内, 椎体钙(水)密度值波动比较大。将 BMD 测定结果代入线性回归方程计算所得的椎体钙(水)密度与实测值进行比较, 其中 8 例患者二者接近(差异 ≤ 2 g/cm<sup>3</sup>), 7 例患者后者高于前者, 而另外 15 例(占 50%)患者前者高于后者。这 15 例患者的年龄为(48.2±5.7)岁, 其中 10 例患者相应 CT 图像见腰椎骨质增生。

进一步对甲亢患者的第 3 腰椎钙(水)密度与 DXA 测定的腰椎 BMD 进行 Pearson 相关分析, 结果呈高度相关( $r=0.794$ )。对其进行假设检验, 检验水准  $\alpha=0.01$ 、 $t=10.605$ 、 $P<0.001$ , 故可认为二者之间有正相关关系。由线性回归分析得到线性回归方程: 第 3 腰椎钙(水)密度=24.485+34.529 腰椎 BMD。由此可见, 我们可以用 Graves 甲亢患者的腰椎钙(水)密度来评估患者骨量。

## 2.3 Graves 甲亢患者 <sup>131</sup>I 治疗后骨量的变化

全部患者 <sup>131</sup>I 治疗后半年复查腰椎能谱 CT, 再次测定第 3 腰椎钙(水)密度值, <sup>131</sup>I 治疗后 Graves 甲亢患者的腰椎钙(水)密度(62.23±11.77) g/cm<sup>3</sup> 较治疗前(57.04±14.54) g/cm<sup>3</sup> 增加, 即患者的骨量改善, 差异有统计学意义( $t=8.84$ ,  $P<0.001$ )。

## 2.4 Graves 甲亢患者 <sup>131</sup>I 治疗后不同转归与骨量变化的关系

本组 68 例 Graves 甲亢患者 <sup>131</sup>I 治疗后随访半

年, 完全缓解 36 例, 甲状腺功能减退(简称甲减) 15 例, 部分缓解 13 例, 无效或复发 4 例。我们将完全缓解及甲减定义为甲亢治愈, 将部分缓解、无效或复发定义为甲亢未愈。甲亢治愈组患者 <sup>131</sup>I 治疗后腰椎钙(水)密度(65.01±11.74) g/cm<sup>3</sup> 较治疗前(59.26±15.61) g/cm<sup>3</sup> 增加( $t=7.86$ ,  $P<0.001$ ), 而甲亢未愈组患者治疗后腰椎钙(水)密度(52.17±7.65) g/cm<sup>3</sup> 较治疗前(50.39±7.82) g/cm<sup>3</sup> 变化不显著, 差异无统计学意义( $t=2.29$ ,  $P=0.062$ )。

## 3 讨论

Graves 甲亢是一种常见的自身免疫性甲状腺疾病, 除表现为甲状腺腺体合成和分泌过多的甲状腺激素, 引起以神经、循环、消化等系统兴奋性增高和代谢亢进的症候群外, 过多的甲状腺激素还会引起骨矿物质代谢紊乱, 加速骨吸收, 导致骨质疏松, 严重者甚至发生骨折<sup>[8-9]</sup>。其可能的机制包括: ①过多分泌的甲状腺激素直接作用于骨骼, 使骨转换加快; ②甲状腺激素的分泌增多干扰了活性维生素 D<sub>3</sub> 的生成, 从而导致肠道钙吸收降低; ③甲亢患者经常腹泻, 容易出现负钙、负磷平衡; ④甲亢时由于分解代谢加速, 引起钙、磷代谢紊乱, 可出现高转换性骨质疏松<sup>[10-12]</sup>。

DXA 是测定 BMD 的标准方法, 其精确度高、重复性好。本研究的腰椎 BMD 测定结果显示, 30.9%(21/68)的 Graves 甲亢患者伴有骨量减少, 10.3%(7/68)的患者伴有骨质疏松。高龄组甲亢患者腰椎 BMD 低于青年组, 与健康人群变化规律类似, 但已有研究证实甲亢患者的骨密度明显低于性别和年龄相匹配的正常人群, 尤其是女性和高龄患者<sup>[8, 13]</sup>。

能谱 CT 的基物质成像技术是近年来开发的可比较简单准确地测量骨密度的新技术。它通过高低瞬间切换技术, 获得两组能量数据进行基物质密度成像。当基物质恰好是组织中含有的两种主要成分时, 则可以反映组织内该物质的相对含量<sup>[4]</sup>。陈靖等<sup>[14]</sup>利用能谱 CT 定量分析腰椎中钙的含量, 证实可选择钙和水作为配对的基物质, 获得骨小梁中钙的含量, 来达到间接定量评估骨量的目的。本研究通过腰椎能谱 CT 测定 Graves 甲亢患者第 3 腰椎钙(水)密度, 并与同一患者 DXA 测量的腰椎 BMD 结果进行相关性分析, 证实二者呈高度正相关( $r=$

0.794), 故可将腰椎能谱 CT 定量分析技术用于 Graves 甲亢患者骨量的评估。

然而 DXA 是一种区域面密度测量方法, 易受多种外部因素的干扰, 如腰椎间盘的退行性改变、骨质增生及运动终板硬化症等均可导致腰椎 BMD 的假性增高<sup>[3,15]</sup>。本研究结果显示, 30 例 DXA 测定的 BMD 在 1.0~1.5 g/cm<sup>2</sup> 范围内的患者中, 15 例平均年龄在(48.2±5.7)岁的患者根据 BMD 结果推算的腰椎钙(水)密度值要高于实测值, 其中 10 例(约占 66.67%)患者合并有骨质增生。可见对伴有腰椎骨质增生的部分中老年患者, DXA 测定的 BMD 结果可能会高估患者的骨量状况。

DXA 的测量结果包括皮质骨和松质骨在内的所有骨量的总和, 但二者的代谢转换率不同, 皮质骨的存在会降低观察治疗反应的敏感性<sup>[16]</sup>。能谱 CT 可以区分开皮质骨和松质骨, 在非侵入性地评估治疗反应方面具有非常大的潜力<sup>[17]</sup>, 故可以更灵敏地评估 Graves 甲亢患者 <sup>131</sup>I 治疗前后骨量的变化。本研究采用能谱 CT 测定的腰椎钙(水)密度来评估 Graves 甲亢患者 <sup>131</sup>I 治疗后骨量的变化, 结果证实, <sup>131</sup>I 治疗后患者的腰椎钙(水)密度较治疗前增加, 患者的骨量得到改善。我们进一步分析 Graves 甲亢经 <sup>131</sup>I 治疗后转归与骨量变化的关系, 结果显示, 甲亢治愈组患者的腰椎钙(水)密度较治疗前明显增加, 而甲亢未愈组患者较治疗前差异无统计学意义。其原因可能为甲亢治愈组患者甲状腺激素水平恢复正常或低于正常, 骨转换的动力减弱, 骨代谢随之趋于正常; 而未愈组患者增高的甲状腺激素可导致骨转换加速, 骨矿物质丢失, 骨量改善不明显。经 <sup>131</sup>I 治疗的 Graves 甲亢患者即使未采用抗骨质疏松治疗, BMD 也可恢复正常, 与既往的研究结果基本一致<sup>[11,12,18]</sup>。

Graves 甲亢患者如合并有骨量减少甚至骨质疏松, 可优先考虑 <sup>131</sup>I 治疗, 因为甲亢的有效缓解有利于骨代谢的恢复。本研究尚存在一些不足, 如样本量较小, 未能对病程长短不同、病情严重程度不一的 Graves 甲亢患者的骨量状况及 <sup>131</sup>I 治疗前后变化进行分层分析; 未进一步分析经 <sup>131</sup>I 干预治疗后能谱 CT 测得的钙(水)密度值与 DXA 测定的腰椎 BMD 的关系, 未比较采取补充维生素 D 及钙剂等干预治疗对骨量的影响等。

**利益冲突** 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 不涉及任何利益冲突。

**作者贡献声明** 王任飞负责研究设计及具体工作的实施、论文的撰写及修改; 田小丽负责部分数据获取及分析; 谭建负责研究命题的提出及设计方案总指导; 张桂芝负责临床病例资料的收集及研究结果评判; 张瑞国负责研究结果的整理及统计分析; 何雅静负责患者的检查流程及资料汇总整理。

## 参 考 文 献

- [1] 高继兵, 蔡善武, 黄海泉, 等. 甲亢 <sup>131</sup>I 治疗前后骨密度及相关指标变化分析[J]. 中华核医学杂志, 2005, 25(4): 237-239.  
Gao JB, Cai SW, Huang HQ, et al. Changes of bone mineral density and related parameters in patients of hyperthyroidism before and after <sup>131</sup>I therapy[J]. Chin J Nucl Med, 2005, 25(4): 237-239.
- [2] El MA, Roux C. DXA scanning in clinical practice[J]. QJM, 2008, 101(8): 605-617. DOI: 10.1093/qjmed/hcn022.
- [3] Karabulut O, Tuncer MC, Karabulut Z, et al. Relationship between radiographic features and bone mineral density in elder men [J]. Folia Morphol (Warsz), 2010, 69(3): 170-176.
- [4] 陈靖, 郑邵微, 苗延巍, 等. 能谱 CT 定量钙(水)密度技术对腰椎椎体内及椎体间骨密度差异的研究[J]. 大连医科大学学报, 2015, 37(3): 289-292. DOI: 10.11724/jdmu.2015.03.21.  
Chen J, Zheng SW, Miao YW, et al. Intra and inter vertebral calcium(water) density variation measured by Gemstone Spectral Imaging[J]. J Dalian Med Univ, 2015, 37(3): 289-292. DOI: 10.11724/jdmu.2015.03.21. DOI: 10.11724/jdmu.2015.03.21.
- [5] 蒋宁一, 匡安仁, 谭建, 等. <sup>131</sup>I 治疗 Graves 甲亢专家共识[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2010, 30(5): 346-351. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2010.05.019.  
Jiang NY, Kuang AR, Tan J, et al. Expert consensus for <sup>131</sup>I treatment of Graves hyperthyroidism[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2010, 30(5): 346-351. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2010.05.019.
- [6] 袁园, 卫红艳, 刘萍, 等. 甲状腺功能亢进对骨代谢影响[J]. 临床荟萃, 2012, 27(3): 206-209.  
Yuan Y, Wei HY, Liu P, et al. Effect of hyperthyroidism on bone metabolism[J]. Clin Focus, 2012, 27(3): 206-209.
- [7] 蒋宁一, 林岩松, 关海霞, 等. <sup>131</sup>I 治疗格雷夫斯甲亢指南[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2013, 33(2): 83-95. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.02.002.  
Jiang NY, Lin YS, Guan HX, et al. Clinical guidelines for <sup>131</sup>I treatment of Graves hyperthyroidism[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2013, 33(2): 83-95. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.02.002.
- [8] 邱明琪, 胡美华. 甲状腺功能亢进症患者骨密度变化的临床分析[J]. 实用临床医学, 2012, 13(6): 16-17, 20. DOI: 10.3969/j.issn.1009-8194.2012.06.006.  
Qiu MQ, Hu MH. Bone mineral density in patients with

(下转第 506 页)

- obese and obese patient population[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(6): 2298–2308. DOI: 10.1007/s00330-016-4601-2.
- [13] Apfaltrer G, Szolar DH, Wurzing E, et al. Impact on Image Quality and Radiation Dose of Third-Generation Dual-Source Computed Tomography of the Coronary Arteries[J]. *Am J Cardiol*, 2017, 119(8): 1156–1161. DOI: 10.1016/j.amjcard.2016.12.028.
- [14] Linsen PV, Coenen A, Lubbers MM, et al. Computed Tomography Angiography with a 192-slice Dual-source Computed Tomography System: Improvements in Image Quality and Radiation Dose[J]. *J Clin Imaging Sci*, 2016, 6: 44. DOI: 10.4103/2156-7514.192840.
- [15] Gordic S, Husarik DB, Desbiolles L, et al. High-pitch coronary CT angiography with third generation dual-source CT: limits of heart rate[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2014, 30(6): 1173–1179. DOI: 10.1007/s10554-014-0445-5.
- [16] Meyer M, Haubenreisser H, Schoepf UJ, et al. Closing in on the K edge: coronary CT angiography at 100, 80, and 70 kV-initial comparison of a second- versus a third-generation dual-source CT system[J]. *Radiology*, 2014, 273(2): 373–382. DOI: 10.1148/radiol.14140244.
- [17] Hell MM, Bittner D, Schuhbaeck A, et al. Prospectively ECG-triggered high-pitch coronary angiography with third-generation dual-source CT at 70 kVp tube voltage: feasibility, image quality, radiation dose, and effect of iterative reconstruction[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2014, 8(6): 418–425. DOI: 10.1016/j.jcct.2014.09.003.
- [18] Hausleiter J, Meyer TS, Martuscelli E, et al. Image quality and radiation exposure with prospectively ECG-triggered axial scanning for coronary CT angiography: the multicenter, multivendor, randomized PROTECTION-III study[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012, 5(5): 484–493. DOI: 10.1016/j.jcmg.2011.12.017.

(收稿日期: 2018-02-24)

(上接第 499 页)

- hyperthyroidism[J]. *Pract Clin Med*, 2012, 13(6): 16–17, 20. DOI: 10.3969/j.issn.1009-8194.2012.06.006.
- [9] Dhanwal DK. Thyroid disorders and bone mineral metabolism[J]. *Indian J Endocrinol Metab*, 2011, 15(Suppl 2): S107–112. DOI: 10.4103/2230-8210.83339.
- [10] Gorka J, Taylor-Gjevrev RM, Arnason T. Metabolic and clinical consequences of hyperthyroidism on bone density[J/OL]. *Int J Endocrinol*, 2013, 2013: 638727 [2018-03-07]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23970897>. DOI: 10.1155/2013/638727.
- [11] Tuchendler D, Bolanowski M. The influence of thyroid dysfunction on bone metabolism[J]. *Thyroid Res*, 2014, 7(1): 12. DOI: 10.1186/s13044-014-0012-0.
- [12] 王勇, 丁勇, 邢家骝, 等. 甲状腺功能亢进患者<sup>131</sup>I治疗前后骨密度的变化[J]. *临床荟萃*, 2015, 30(1): 74–77. DOI: 10.3969/j.issn.1004-583X.2015.01.020.
- Wang Y, Ding Y, Xing J L, et al. Bone mineral density change in hyperthyroidism patients before and after <sup>131</sup>I treatment[J]. *Clin Focus*, 2015(1): 74–77. DOI: 10.3969/j.issn.1004-583X.2015.01.020.
- [13] 张红, 叶爱玲, 廖二元. 女性甲状腺功能亢进症患者的骨密度变化[J]. *中南大学学报(医学版)*, 2008, 33(5): 452–455. DOI: 10.3321/j.issn:1672-7347.2008.05.015.
- Zhang H, Ye AL, Liao EY. Change in bone mineral density in female patients with hyperthyroidism[J]. *J Cent South Univ (Med Sci)*, 2008, 33(5): 452–455. DOI: 10.3321/j.issn:1672-7347.2008.05.015.
- [14] 陈靖, 董越, 葛莹, 等. 探讨能谱 CT 宝石能谱成像技术用于骨密度测量的可行性[J]. *中国医学影像技术*, 2013, 29(1): 133–137.
- Chen J, Dong Y, Ge Y, et al. Feasibility of bone density measurement based on CT gemstone spectral imaging[J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2013, 29(1): 133–137.
- [15] Grampps S. *Radiology of osteoporosis*[M]. Berlin: Springer, 2008: 163–173.
- [16] 张昕, 王峻, 苏晋生, 等. 定量 CT 与双能 X 线吸收测定仪测量腰椎各椎体间骨密度差异性研究[J]. *中国医学影像学杂志*, 2011, 19(12): 884–886, 930. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2011.12.002.
- Zhang X, Wang J, Su JS, et al. Differences of BMD between lumbar vertebrae measured by QCT and DXA[J]. *Chin J Med Imaging*, 2011, 19(12): 884–886, 930. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2011.12.002.
- [17] Anderson NG, Butler AP. Clinical applications of spectral molecular imaging: potential and challenges[J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2014, 9(1): 3–12. DOI: 10.1002/cmim.1550.
- [18] Vestergaard P, Mosekilde L. Hyperthyroidism, bone mineral, and fracture risk—a meta-analysis[J]. *Thyroid*, 2003, 13(6): 585–593. DOI: 10.1089/105072503322238854.

(收稿日期: 2018-03-08)