

能谱CT与DXA测量骨密度准确性的比较研究

邓亚军^{1,2}, 韩蕾³, 解琪琪^{1,2}, 李文洲^{1,2}, 史卫东^{1,2}, 马靖林², 潘云燕³, 康学文¹, 汪静^{1,2}

1. 兰州大学第二医院骨科, 甘肃 兰州 730030; 2. 甘肃省骨关节疾病研究重点实验室, 甘肃 兰州 730030; 3. 兰州大学第二医院放射科, 甘肃 兰州 730030

【摘要】目的:以羊腰椎体骨煅烧后的灰重密度为标准,比较能谱CT与双能X线骨密度仪(DXA)测量椎体骨密度(BMD)的准确性,探讨能谱CT对BMD的测量价值。**方法:**选取36节新鲜市售羊腰椎椎体作为研究对象,清除椎体周围软组织及其附件后,分别采用能谱CT与DXA测量BMD,然后煅烧椎体得到灰重密度。将两种方法测量所得BMD值与灰重密度值进行比较,同时分析两种方法测量所得BMD值与灰重密度值的相关性;最后将能谱CT测得BMD的偏离度与DXA测得BMD的偏离度进行比较。**结果:**能谱CT、DXA测得BMD值与灰重密度值差异有统计学意义($P<0.05$);相关性分析可得,能谱CT与DXA测得BMD值与灰重密度值均有显著相关性($P<0.05$),但能谱CT相关性更高;能谱CT测得BMD的偏离度(平均值为0.288)低于DXA测得BMD的偏离度(平均值为0.372)($P<0.05$)。**结论:**能谱CT测量椎体BMD值更接近灰重密度值,准确性及相关性均优于DXA测量方法,能够更好、更精确地反映BMD变化。

【关键词】能谱CT;双能X线骨密度仪;骨密度;腰椎体;灰重密度

【中图分类号】R318.01;R445.3

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)02-0194-05

Comparison of the accuracy of bone mineral density measurement by spectral CT vs DXA

DENG Yajun^{1,2}, HAN Lei³, XIE Qiqi^{1,2}, LI Wenzhou^{1,2}, SHI Weidong^{1,2}, MA Jinglin², PAN Yunyan³, KANG Xuewen¹, WANG Jing^{1,2}

1. Department of Orthopaedics, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730030, China; 2. Key Laboratory of Bone and Joint Diseases of Gansu Province, Lanzhou 730030, China; 3. Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730030, China

Abstract: Objective With the ash density of sheep lumbar vertebrae as the standard, to compare the accuracy of spectral computed tomography (CT) and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) for vertebral bone mineral density (BMD) measurement, and to investigate the value of spectral CT in BMD measurement. **Methods** A total of 36 freshly prepared sheep lumbar vertebrae were selected as the research object. After removing soft tissue around the vertebral body and its attachments, BMD was measured by spectral CT and DXA, and the vertebral body was calcined to obtain the ash density. The BMD values measured by the two methods were compared with ash density, and the correlations between the measured BMD values and ash density were analyzed. Finally, the deviation of BMD measured by energy spectrum CT was compared with the deviation of BMD measured by DXA. **Results** The difference between measured BMD and ash density was statistically significant ($P<0.05$). There was a significant correlation between measured BMD and ash density ($P<0.05$), but the correlation of ash density and BMD measured with spectral CT was higher. The mean deviation of BMD measured by spectral CT was lower than the mean deviation of BMD measured by DXA (0.288 vs 0.372, $P<0.05$). **Conclusion** The BMD measured by spectral CT is closer to ash density. Spectral CT is superior to DXA in BMD measurement accuracy and the correction with ash density, which indicates that spectral CT can reflect the changes of BMD more accurately.

Keywords: spectral computed tomography; dual-energy X-ray absorptiometry; bone density; lumbar vertebrae; ash density

【收稿日期】2018-10-12

【基金项目】国家自然科学基金(81371230);兰州大学第二医院院内博士科研基金(ynbskyjj2015-1-01)

【作者简介】邓亚军,硕士研究生,研究方向:骨质疏松、骨生物力学,E-mail: 157342993@qq.com;韩蕾,硕士研究生,研究方向:神经影像学,E-mail: 2199390253@qq.com(邓亚军和韩蕾为共同第一作者)

【通信作者】汪静,博士,副主任医师,副教授,研究方向:骨质疏松、疼痛,E-mail: wang_jing@lzu.edu.cn

前言

骨质疏松症(Osteoporosis, OP)是一种中老年人常见的全身性骨骼疾病,以骨量降低、骨组织的显微结构退化、骨强度下降为主要特征,具有高发病率、高致残率等特点^[1-2]。随着老龄化社会的到来,OP病人日益增多,其严重并发症不仅影响患者生存质量,同时也给家庭和社会带来沉重的经济负担,严重威胁公众健康^[3]。OP又被称为无症状疾病,其症状隐匿性较强,因此早期诊断是治疗的关键。骨密度(Bone Mineral Density, BMD)测量是目前诊断OP的重要手段,它是指单位体积的骨质密度,BMD值越大,骨质强度越好^[4]。目前,用于BMD测量的方法很多,但临床使用较为广泛的是双能X线骨密度仪(Dual-Energy X-ray Absorptiometry, DXA)。随着科学技术的进步,计算机及断层扫描设备不断更新与发展,不少学者提出应用以瞬时双电压切换为核心技术的能谱CT进行基物质对分离,通过分析羟基磷灰石HAP(水)的X线衰减变化,反映骨质中HAP(水)密度,即可得出BMD值^[5-6]。但能谱CT能否准确测量BMD,与DXA相比较准确性又如何,目前尚无定论。笔者以羊腰椎体灰重密度为参考标准,对能谱CT与DXA测量结果进行比较,进而探讨能谱CT在测量BMD方面的临床应用价值和前景。

1 材料与方法

1.1 实验材料

从市场购买新鲜羊腰椎骨6副,每副取L₁~L₆椎体,共36节椎体,清除椎体周围软组织及其附件。

1.2 实验设备

能谱CT机及AW4.6工作站(HD750 Discovery, GE公司,美国生产);DXA(HOLOGICDiscovery Ci, 美国生产);马弗炉(SX2-2.5-10A型,索域实验设备有限公司,上海生产);电子天平(GM1302型, Mettler Toledo生产);量筒、坩埚及解剖工具。

1.3 实验方法

1.3.1 能谱CT测量椎体BMD 采用能谱CT机对实验椎体进行扫描,扫描参数设置为GSI扫描模式。扫描完成后,将能谱图像传输至AW4.6工作站,进入GSI-Viewer能谱后处理分析程序,对椎体HAP(水)基物质对密度进行分析处理。测量包含皮质骨和松质骨的感兴趣区(Region of Interest, ROI)内HAP(水)基物质对密度,每个椎体ROI应保持一致。数据提取过程中,由2名专业人员对椎体HAP(水)密度进行分析处理,取平均值作为测量值。能谱CT测量椎

体BMD的示例见图1。

1.3.2 DXA测量椎体BMD 由2名专业人员运用DXA对已去除周围组织及附件的36节椎体进行扫描,分析并记录每个椎体的总骨矿含量(g)及面积骨密度(g/cm²)。

1.3.3 椎体灰重密度测量 首先对坩埚进行编号,并用电子天平进行称质量,记录坩埚的净质量,精确到0.01 g,然后对椎体进行编号,并应用体积溢出法测量各个椎体的体积,数值精确到0.1 mL。待椎体晾干后,按编号将其放入对应编号的坩埚中,然后把坩埚放入马弗炉中,保持900℃的温度持续煅烧9 h。由于HAP的热分解温度为1 280.4℃,具有很好的热稳定性,因此在900℃温度下进行煅烧,最后所得的骨灰即为HAP^[7-8]。煅烧结束后进行自然冷却,再次使用电子天平对坩埚进行称质量并记录数值,精确到0.01 g。相同编号的坩埚,其煅烧后质量与煅烧前质量之差即为灰重(m),则椎体灰重密度=灰质量/体积。

1.3.4 计算DXA测量的体积骨密度、DXA测量得到的体积骨密度的偏离度及能谱CT测得的骨密度的偏离度 DXA测量得到的体积骨密度(g/cm³)=DXA测量得到的总骨矿含量(m)/椎体体积(v);以椎体灰重密度值作为真实值,DXA测量得到的体积骨密度偏离度=(体积骨密度值-灰重密度值)/灰重密度值×100%;能谱CT测得的骨密度偏离度=(骨密度值-灰重密度值)/灰重密度值×100%。

1.4 统计学处理

采用SPSS 23.0软件对数据进行分析处理,所有计量数据用均数±标准差表示。将能谱CT测量所得BMD值、DXA测量所得体积BMD值及灰重密度值3组数据间进行成组t检验,P<0.05为差异有统计学意义;将能谱CT测量所得BMD值、DXA测量所得体积BMD值分别与灰重密度值作相关性分析,P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 能谱CT、DXA测量椎体所得BMD值与灰重密度值3组实验数据的统计描述

由表1可知,3组实验数据中DXA测量所得BMD值最大,能谱CT测量所得BMD次之,灰重密度值最小。

2.2 能谱CT、DXA测量椎体所得BMD值与灰重密度值比较结果分析

能谱CT、DXA测量所得BMD值与灰重密度值之间差异有统计学意义(P<0.05),即能谱CT与DXA

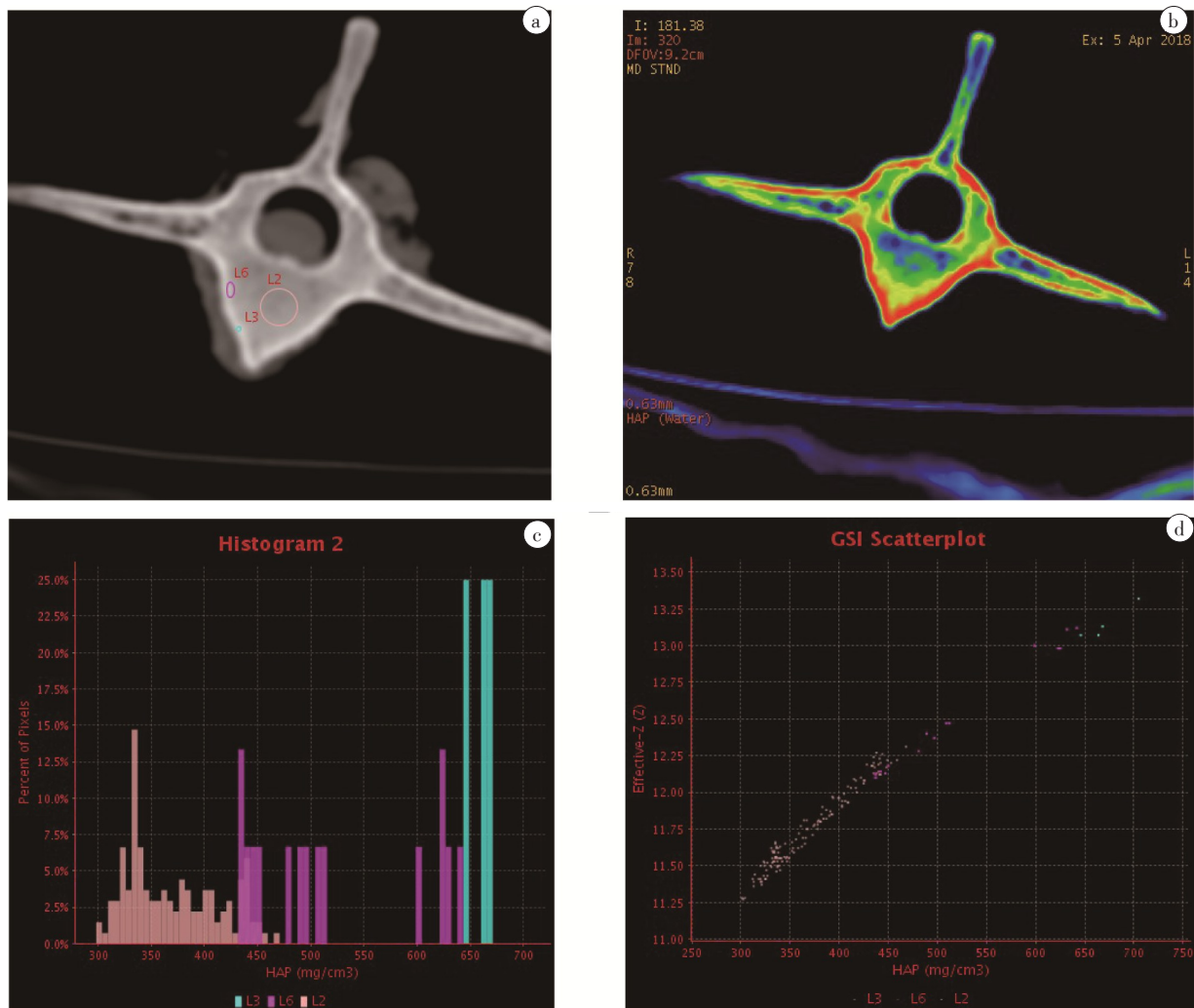


图1 能谱CT测量椎体BMD

Fig.1 Measurement of the bone mineral density (BMD) of vertebral body by spectral CT

a: Pseudo-color image of hydroxyapatit (HAP); b: Selection of regions of interest; c: Histogram of HAP content distribution; d: Scatter plot of HAP content distribution

表1 能谱CT、DXA测量所得BMD值及灰重密度值(n=36)

Tab.1 Ash density and BMD measured with spectral CT and DXA (n=36)

Method	Minimum	Maximum	Mean±SD
Spectral CT	0.425	0.722	0.584±0.077
DXA	0.369	0.924	0.624±0.123
Ash density	0.343	0.553	0.455±0.050

DXA: Dual-energy X-ray absorptiometry

表2 能谱CT、DXA测量所得BMD值及灰重密度值比较结果

Tab.2 Comparison of ash density and BMD measured by spectral CT and DXA

Comparison	t value	P value
Spectral CT-Ash density	8.359	P1: 0.031 0
DXA-Ash density	7.583	P2: 0.000 4
DXA-Spectral CT	1.635	P3: 0.037 0

测量所得BMD值与相对标准的灰重密度值相比存在一定的误差,P1等于0.031 0,而P2等于0.000 4,DXA与能谱CT测量所得BMD值之间差异又有统计学意义(P<0.05),表明DXA测量BMD的准确性可能低于能谱CT,详见表2。

2.3 能谱CT、DXA测量椎体所得BMD值与灰重密度

值之间相关性分析

如图2所示,能谱CT与DXA测量所得到的BMD值均与灰重密度值呈正相关(P<0.05),即能谱CT与DXA测量所得到的BMD值与灰重密度值的变化趋势一致;DXA所测得BMD值与灰重密度值之间的决定系数r为0.469,低于能谱CT与灰重密度值之间的决定系数(r=0.514),表明能谱CT与灰重密度间

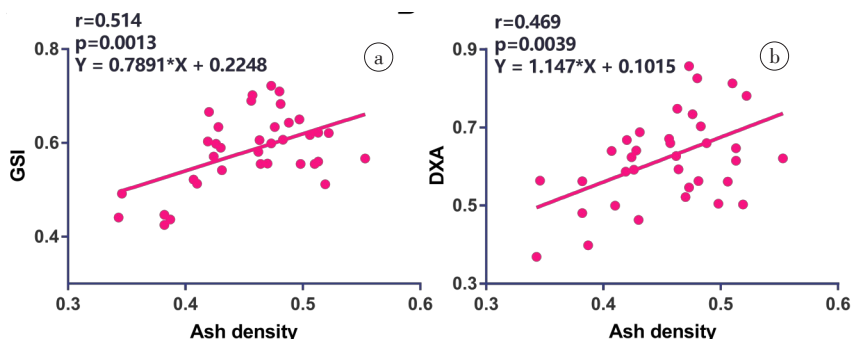


图2 能谱CT和DXA测得BMD值与灰重密度值的线性相关图

Fig.2 Linear correlations of ash density and BMD measured by spectral CT and DXA

a: Linear correlation of ash density and BMD measured by spectral CT; b: Linear correlation of ash density and BMD measured by DXA

有更好的相关性,更接近灰重密度值的变化趋势。

2.4 能谱CT测得骨密度的偏离度与DXA测得体积骨密度的偏离度比较结果

能谱CT测量所得BMD的偏离度平均值为0.288,低于DXA测量所得的BMD的偏离度(平均值为0.372),差异有统计学意义($P=0.003$),进一步说明能谱CT在测量BMD方面比DXA更有优势。

3 讨论

目前,OP主要依靠临床症状、体征、骨代谢指标及BMD测量等方面综合进行诊断,其中早期精确的BMD测量是关键,对诊断具有重大意义。BMD测量方法较多,其中DXA技术被世界卫生组织确认为BMD测量的“金标准”^[9-11]。其基本工作原理是利用不同能量的X线照射不同组织得到相应的X线衰减分布曲线,再经过计算机的运算处理可得到骨质中单位面积HAP的含量(g/cm^2),即为BMD值^[12-13]。DXA具有价格便宜、操作方便、辐射剂量低、敏感性高等特点^[14],因此广泛应用于临床。DXA尽管具有以上优点,但其存在的局限性也不容忽视。首先,DXA测量的是面积BMD,不能将松质骨和皮质骨区分开;其次,当患者出现骨质增生、严重腰椎退变及骨折等病变情况时,就会导致BMD测量值偏大^[15-16],进而影响OP的早期诊断、治疗及预后;此外,人体软组织厚度、动脉壁钙化及骨折等都会影响BMD测量的准确性^[10,17]。

近年来,能谱CT实现了对疾病的早期诊断及定量分析,为疾病的早期治疗提供可靠依据,每种物质都有特定的X线衰减曲线是其基本工作原理^[18-19]。当患者出现骨质疏松时骨质内HAP含量会降低,此时用HAP和水作为基物质,可得到能谱HAP(水)基物质对密度值,即BMD值^[6]。能谱CT是一种真实体积BMD测量技术,可以对皮质骨和松质骨分别进行

BMD测量,能够避免骨质增生、退行性疾病等因素对BMD测量值的影响。与此同时,其具有费用高、辐射剂量大等不足之处^[20]。但对于已骨折或患有其他骨科疾病的患者,可以在进行腹部能谱CT扫描时,同时对相应部位进行BMD测量,这样可以有效避免再次搬动患者进行DXA测量BMD,减少不必要的X线辐射和额外费用。

本研究结果显示,能谱CT、DXA两种方法均能进行BMD测量,但能谱CT较DXA更准确、更具有优越性。在相关性方面,能谱CT、DXA的BMD测量值与灰重密度值均存在中度相关性,表明两种方法测量所得BMD值与灰重密度值的变化趋势比较接近,但能谱CT与灰重密度间的相关性高于DXA。

综上所述,能谱CT在一定程度上可准确测量BMD,但由于其辐射剂量相对DXA要大、费用较高等原因,限制了其在临床上的推广。如果以上问题得到改善及解决,能谱CT可作为一种新的BMD测量方法,将具有广泛的临床运用前景。

【参考文献】

- [1] 任晓静,蔡思清,吕国荣,等.髋部结构分析在预测髋部脆性骨折的意义[J].中国医学物理学杂志,2017,34(5):513-520.
REN X J, CAI S Q, LÜ G R, et al. The significance of hip structural analysis in predicting fragility hip fractures[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(5): 513-520.
- [2] FARDELLONE P, CORTET B, LEGRAND E, et al. Cost-effectiveness model of using zoledronic acid once a year *versus* current treatment strategies in postmenopausal osteoporosis[J]. Joint Bone Spine, 2010, 77(1): 53-57.
- [3] EBELING P R, DALY R M, KERR D A, et al. Building healthy bones throughout life: an evidence-informed strategy to prevent osteoporosis in Australia[J]. Med J Aust, 2013, 199(7 Suppl): S1.
- [4] LEVINE J P. Identification, diagnosis, and prevention of osteoporosis[J]. Am J Manag Care, 2011, 17(Suppl 6): S170-S176.
- [5] MATSUMOTO K, JINZAKI M, TANAMI Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: improved image quality as compared with that obtained with

- conventional 120-kVp CT[J]. Radiology, 2011, 259(1): 257-262.
- [6] 韩合理, 郝万江, 马千里, 等. 宝石能谱CT(GSI)诊断骨质疏松的应用价值初探[J]. 医学影像学杂志, 2018, 28(2): 294-297.
- HAN H L, YU W J, MA Q L, et al. The application value of gem spectrum CT (GSI) in diagnosing osteoporosis[J]. Journal of Medical Imaging, 2018, 28(2): 294-297.
- [7] 崔杰, 李征, 何惠宇, 等. 去抗原羊椎松质骨支架微观空间结构的分析[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(42): 7341-7348.
- CUI J, LI Z, HE H Y, et al. Analysis of microscopic spatial structure of degenerative vertebral cancellous bone scaffold[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2013, 17(42): 7341-7348.
- [8] 罗民华, 徐琼琼, 朱庆霞. 羟基磷灰石分解和恢复的研究[J]. 中国陶瓷, 2007, 43(4): 15-17.
- LUO M H, XU Q Q, ZHU Q X. Hydroxyapatite decomposition and recovery[J]. Chinese pottery, 2007, 43(4): 15-17.
- [9] KANIS J A, MCCLOSKEY E V, JOHANSSON H, et al. A reference standard for the description of osteoporosis[J]. Bone, 2008, 42(3): 467-475.
- [10] STEWART K J, DEREGIS J R, TURNER K L, et al. Fitness, fatness and activity as predictors of bone mineral density in older persons[J]. J Intern Med, 2002, 252(5): 381-388.
- [11] 王秋灵, 杨乃龙, 王军, 等. 两种双能X射线吸收法骨密度仪数据共享: Challenger与Hologic仪器的交叉校正[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(35): 6871-6874.
- WANG Q L, YANG N L, WANG J, et al. Two kinds of dual-energy X-ray absorption bone densitometer data sharing: cross-correction of Challenger and Hologic Instruments[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2008, 12(35): 6871-6874.
- [12] GAUSDEN E B, NWACHUKWU B U, SCHREIBER J J, 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.
- [13] 王芳洁, 赵小兰. 骨质疏松检查方法的研究进展[J]. 检验医学与临床, 2016, 13(8): 1137-1139.
- WANG F J, ZHAO X L. Research progress of osteoporosis examination methods[J]. Laboratory Medicine and Clinic, 2016, 13(8): 1137-1139.
- [14] DAMILAKIS J, ADAMS J E, GUGLIELMI G, et al. Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis[J]. Eur Radiol, 2010, 20(11): 2707-2714.
- [15] 侯建明, 蓝旭华, 吴晖南, 等. 近5年国内外骨质疏松症诊疗指南比较[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2012, 6(3): 472-478.
- HOU J M, LAN X H, WU H N, et al. Comparison of guidelines for diagnosis and treatment of osteoporosis at home and abroad in the past 5 years[J]. Chinese Journal of Joint Surgery (Electronic Edition), 2012, 6(3): 472-478.
- [16] 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)[J]. 中国骨质疏松杂志, 2014, 20(9): 1007-1010.
- ZHANG Z H, LIU Z H, LI N, et al. Expert consensus on diagnostic criteria for osteoporosis in China (third draft · 2014 edition) [J]. Chinese Journal of Osteoporosis, 2014, 20(9): 1007-1010.
- [17] 张进, 宋飞鹏, 郗璐璐, 等. CT能谱成像、定量CT骨密度测定值与骨灰重密度值的比较实验研究[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2015, 9(17): 3250-3254.
- ZHANG J, SONG F P, GAO L L, et al. Comparative study of CT emission imaging, quantitative CT bone densitometry and ash dense weight density[J]. Chinese Journal of Clinicians (Electronic Edition), 2015, 9(17): 3250-3254.
- [18] 雷立昌, 陈建宇. 能谱CT的临床应用与研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2013, 29(1): 146-149.
- LEI L C, CHEN J Y. Clinical application and research progress of spectral CT[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2013, 29(1): 146-149.
- [19] 黄仁军, 李勇刚. 能谱CT的临床应用与研究进展[J]. 放射学实践, 2015, 30(1): 81-83.
- HUANG R J, LI Y G. Clinical application and research progress of spectral CT[J]. Radiologic Practice, 2015, 30(1): 81-83.
- [20] ZHAO Y, WU Y, ZUO Z, et al. CT angiography of the kidney using routine CT and the latest gemstone spectral imaging combination of different noise indexes: image quality and radiation dose[J]. Radiol Med, 2017, 122(5): 327-336.

(编辑:黄开颜)