

探讨腹部 CT 增强能谱成像碘对 HAP(Iodine)/HAP(Water)/HAP(Fat)密度测量值影响

赵明月, 刘义军, 张子敬, 魏巍, 刘磊

【摘要】 目的:探究碘对比剂对能谱 CT 基物质成像 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)密度测量值的影响,寻找增强扫描中可用于骨密度测量参考的基物质对。**方法:**回顾性搜集基于 BMI 行个体化全腹部能谱(GSI)增强扫描患者 214 例,男 135 例、女 79 例,年龄 16~85 岁,记录每位患者的碘摄入量。临床采用 4 期(平扫期、动脉期、静脉期、延迟期)GSI 扫描,获得图像数据传输到 AW4.7 工作站,应用 GSI 后处理软件重组各期的 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)基物质图像,测量并记录 4 期图像中第三腰椎椎体骨松质的 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)密度值。采用配对样本 t 检验分别对 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)各期密度测量值进行两两比较;对患者碘摄入量与增强 3 期 HAP(Iodine)密度测量值行 Pearson 相关分析。**结果:**4 期 HAP(Water)、HAP(Fat)值差异均有统计学意义($P < 0.05$),而 4 期 HAP(Iodine)值差异无统计学意义($P > 0.05$),4 期 HAP(Iodine)值分别为 693.49 ± 20.29 、 693.39 ± 20.30 、 693.18 ± 20.14 、 693.19 ± 20.44 ,单位为 2 mg/cm^3 ;碘摄入量与增强 3 期 HAP(Iodine)密度测量值均无相关性($P > 0.05$)。**结论:**HAP(Water)、HAP(Fat)测量值受碘对比剂影响较大,而 HAP(Iodine)测量值不受碘对比剂影响,4 期中 HAP(Iodine)测量值趋于稳定。HAP(Iodine)测量值可用作平扫与增强扫描评估骨密度的参考。

【关键词】 骨密度; 体层摄影术, X 线计算机; 物质分离技术; 基物质对; 对比剂

【中图分类号】 R336; R814.4; R981.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)10-1298-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.10.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



To investigate the effect of Iodine on density measurement of HAP-(Iodine), HAP-(Water) and HAP-(Fat) in abdominal CT enhanced with energy spectrum imaging ZHAO Ming-yue, LIU Yi-jun, ZHANG Zi-jing, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Liaoning 116011, China

【Abstract】 Objective: To investigate the effect of iodine contrast agent on the density measurement of HAP-(Iodine), HAP-(Water) and HAP-(Fat) with dual-energy spectral CT basis material imaging. To search the basis material pair that would be used as a reference for bone mineral density measurement in the CT enhanced scanning. **Methods:** The image data of 214 patients (ages 16 to 85 years, 135 males and 79 females) who were underwent abdominal enhance scanning with Gemstone spectral image (GSI) based BMI scan protocol were collected retrospectively. The dose of injection iodine were recorded. Every patients was underwent with CT GSI including 4 phases scan (plain-, arterial-, portal venous-, and delayed phases). The acquisition image were send to the AW4.7 work station. The four phase basis material image of HAP-(Iodine), HAP-(Water) and HAP-(Fat) were reconstructed with GSI post-processing software. The HAP densities of HAP-(Iodine), HAP-(Water) and HAP-(Fat) of the third lumbar vertebrae spongy bone in each scan phases were measured and recorded. The differences of HAP-(Iodine), HAP-(Water) and HAP-(Fat) densities value in each phases were compared with Paired-samples T test statistically. The correlation analysis were performed between iodine injection dose and value of HAP-(Iodine) in arterial-, portal venous-, and delayed phases with Pearson correlation analysis. **Results:** The HAP density values which were measured with HAP-

作者单位: 116011 辽宁, 大连医科大学附属第一医院

作者简介: 赵明月(1997-), 男, 安徽阜阳人, 研究生在读, 从事医学影像技术研究。

通讯作者: 刘义军, E-mail: yijunliu1965@126.com

(Water) and HAP-(Fat) basis material pairs in four phase are significant different ($P < 0.05$). The HAP density values which were measured with HAP-(Iodine) basis material pairs in four phase are no significant different ($P > 0.05$). The HAP-(Iodine) density values in four phases were 693.49 ± 20.29 ($2\text{mg}/\text{cm}^3$), 693.39 ± 20.30 ($2\text{mg}/\text{cm}^3$), 693.18 ± 20.14 ($2\text{mg}/\text{cm}^3$) and 693.19 ± 20.44 ($2\text{mg}/\text{cm}^3$), respectively. There was no significant correlation between iodine injection dose and the value of HAP-(Iodine) in post-enhanced phases ($P > 0.05$). **Conclusion:** The bone mineral density value which were measured with HAP-(Water) or HAP-(Fat) may be impacted by injection Iodine contrast agent. While it maybe no impact on the measurement with HAP-(Iodine). The bone density value of HAP-(Iodine) in four phases imaging is stable. The bone mineral density value which were measured with HAP-(Iodine) among pre and post enhancement with GSI scan may be a valuable reference for evaluation bone density.

【Key words】 Bone density; Bonemineraldensity; Tomography, X-ray computed; Material decomposition technique; Basis material pair; Contrast media

骨密度(bone mineral density, BMD)全称是骨矿物质密度,是骨骼强度的一个重要指标^[1],会随着年龄的增长发生改变。BMD降低是发生某些骨类疾病的重要相关性因素,大多数椎体脆性骨折发生在骨量减少的个体中,强调了早期发现高危患者的重要性^[2-3]。随着社会逐渐老龄化,骨质疏松已成为影响人类健康生活的重要因素之一^[4],是医疗领域中的一个严峻挑战,因此对骨密度的测定是近年来临床研究的热点。

骨矿物质主要成分是羟基磷灰石(Hydroxylapatite, HAP),测定 HAP 的含量可得出 BMD 值^[5]。基于能谱 CT 物质分离技术在平扫和增强扫描中经过高低两组电压扫描的图像均可表达为两种物质的密度图,物质密度图像中每一个体素反映了相应的物质成分信息^[6-7],可作为测量骨密度的一个新方法。目前大部分采用 HAP 和水(Water)、HAP 和脂肪(Fat)作为基物质对 BMD 进行分析^[8-10]。临床上许多患者会定期接受能谱 CT 腹部增强扫描,产生大量的影像数据,可使其成为回顾性 BMD 测量方法,在进行疾病评估的同时获取骨密度信息以监测诸如与治疗相关的骨量多少等变化^[2],避免额外的骨密度专项检查。本研究利用能谱 CT 腹部平扫与增强影像进行评价 BMD 的表达方法,因为增强扫描中使用碘类对比剂,故选用 HAP 和碘(Iodine)、HAP 和水(Water)、HAP 和脂肪(Fat)作为基物质对行回顾性研究,探讨在增强扫描中碘对比剂对 3 种基物质对密度测量值的影响。

材料与方法

1. 研究对象

选取 2018 年 12 月—2019 年 12 月接受全腹部能谱(GSI)增强扫描患者 214 例,男 135 例、女 79 例,年龄 16~85 岁,平均(51.71 ± 16.30)岁,入选标准:无腰椎外伤史、手术史及其他影响骨密度的疾病(如风湿类

疾病、内分泌疾病、长期使用激素或椎体显著增生破坏病变等)。

2. 检查方法

所有受检者均接受能谱 CT 的 GSI 模式行全腹部增强扫描。扫描参数:管电压 80~140 kVp 瞬切、管球转速 0.6 s/r、螺距 0.992:1、SFOV 50 cm、扫描层厚 5 mm、重建层厚 1.25 mm mono 图像。采用规范个体化碘对比剂注射方案。基于患者体重计算碘摄入量:500 mgI/kg,速率=(对比剂用量+生理盐水用量)ml/25 s,应用碘海醇(350 mg I/mL)或碘佛醇(320 mg I/mL)对比剂,使用 Ulrich 双通道高压注射器经肘正中静脉注射,对比剂注射完毕后再以相同速率注射生理盐水^[11]。在 AW4.7 工作站上利用 1.25 mm mono 图像重组 4 期的 HAP(Iodine)、HAP(Water)和 HAP(Fat)密度图像,选取第三腰椎(L₃)椎体中间层面较均匀、无异常的骨松质放置感兴趣区(ROI),ROI 与椎体边缘距离>5 mm,避开椎体静脉丛和骨岛等结构^[12](图 1),测量椎体中间上下连续 3 个层面,ROI 大小保持 100 mm² 左右一致,取 3 次测量平均值,HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)密度测量值单位分别用 2 mg/cm³、mg/cm³、mg/cm³ 来表示。

3. 统计学分析

应用 SPSS 24.0 统计学软件,采用配对样本 *t* 检验对患者 4 期扫描图像中 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)测量值差异进行分析;对碘摄入量与增强 3 期 HAP(Iodine)密度测量值行 Pearson 相关分析,计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

患者第三腰椎椎体骨松质各期 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)值均符合正态分布,4 期

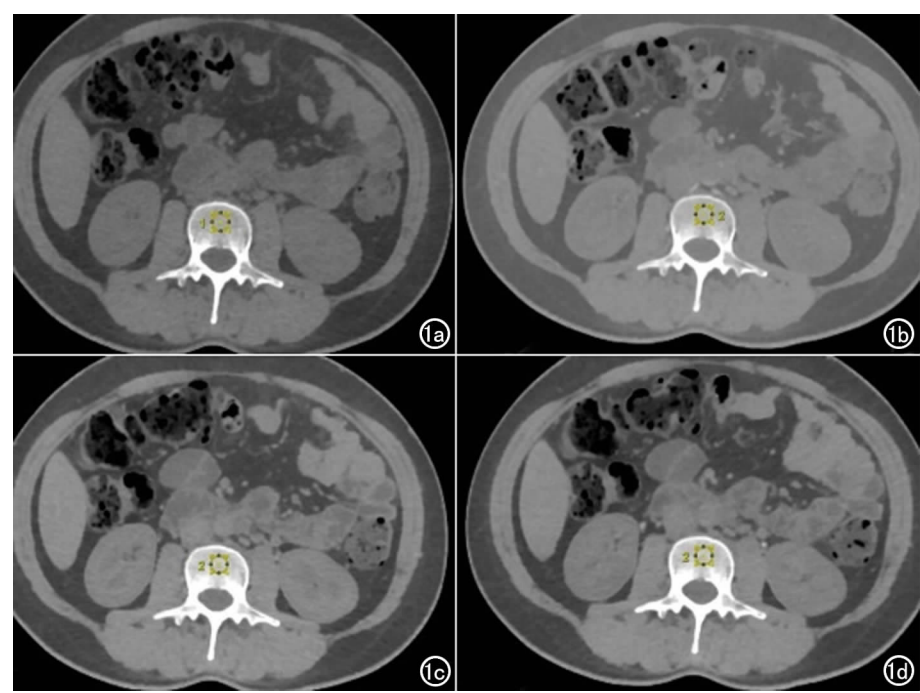


图1 HAP(Iodine)基物质对图像及腰椎椎体骨松质 ROI 选取示例,增强图像中无碘对比剂显影。a) 平扫期; b) 动脉期; c) 静脉期; d) 延迟期。

HAP(Iodine)值间差异均无统计学意义($P>0.05$,表2),增强3期与平扫期 HAP(Iodine)值偏差接近于0(表1);4期 HAP(Water)值间差异均有统计学意义($P<0.05$,表2),增强3期与平扫期 HAP(Water)值偏差为24.3%、33.3%、22.1%左右;4期 HAP(Fat)值间差异均有统计学意义($P<0.05$),增强3期与平扫期 HAP(Fat)值偏差为17.4%、23.9%、15.8%左右。增强3期 HAP(Iodine)密度测量值与碘摄入量均不存在相关性($P>0.05$,图2)。

表1 四期 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)测量值

	HAP(Iodine) 2mg/cm ³	HAP(Water) mg/cm ³	HAP(Fat) mg/cm ³
平扫期	693.49±20.29	105.02±35.93	142.33±35.98
动脉期	693.39±20.30	130.58±42.74	167.06±42.57
静脉期	693.18±20.14	139.98±38.97	176.29±38.90
延迟期	693.19±20.44	128.28±37.75	164.88±37.81

表2 四期 HAP(Iodine)、HAP(Water)、HAP(Fat)测量值两两比较

	HAP(Iodine) <i>t</i>	HAP(Water) <i>t</i>	HAP(Fat) <i>t</i>
平扫期-动脉期	0.646 ^a	-22.326 ^b	-22.202 ^c
平扫期-静脉期	1.681 ^a	-39.686 ^b	-39.996 ^c
平扫期-延迟期	1.518 ^a	-33.555 ^b	-33.673 ^c
动脉期-静脉期	1.482 ^a	-9.959 ^b	-9.982 ^c
动脉期-延迟期	1.208 ^a	2.083 ^b	2.021 ^c
静脉期-延迟期	-0.053 ^a	19.548 ^b	19.874 ^c

注: ^a $P>0.05$; ^b $P<0.05$; ^c $P<0.05$

讨 论

目前临床上测量 BMD 的影像学方法有 DXA、

QCT、定量超声、MRI、能谱 CT 等,其中 DXA 是应用最广泛的方法之一,是公认测量 BMD 的“金标准”^[13-14],但是该方法是区域内面积密度测量,不能区分骨皮质与骨松质,受骨皮质等影响不能完全准确的反映骨密度随年龄的真实变化^[5,15],有一定的局限性。近年来能谱 CT 得到了广泛的临床应用,GSI 成像模式开创 CT 定量分析新阶段^[16],学者提出了利用腹部能谱 CT 成像测量椎体的骨密度,逐渐成为一种骨密度的新兴测量方法。采用能谱 CT 进行骨密度测量能排除骨皮质等影响,测得数值接近真实值,更具有代表性^[17-18],同时可利用腹部 CT 检查行骨密度分析,避免患者的二次检查或二次辐射。

能谱 CT 中物质分离技术的原理是任何一种组织都可由另外两种基物质来表达^[19],基物质对的选择原则上是没有局限的,可选择自然界中的任意两种物质^[20],利用两种基物质对 X 线的衰减来反映感兴趣区内物质成分的衰减^[21],当恰好是组织中含有的主要成分时基物质密度图的测量值就能反映组织中该物质的相对含量,从而对组织有关指标做出相对定量的表达^[22]且对组织的鉴别具有一定的特异性,因此基物质对的选择应尽量与被检测对象组成部分相似^[9]。腰椎是骨量减少最常见、较早发生的部位,骨松质对骨量的减少较为敏感^[23],腰椎椎体富含均匀的骨松质,因此腰椎椎体骨松质为测量骨密度的常用位置^[24]。腰椎的组成物质主要有 HAP、水、脂肪、钙等,HAP 的含量决定了椎体的骨密度^[25],本研究选择无明显病变的第三腰椎椎体中部层面骨松质作为骨密度测量部位,感兴趣区(ROI)置于均匀的骨松质上,尽量避免异常区域^[26]。

近来研究表明基于能谱 CT 物质分离技术测定含羟基磷灰石(HAP)基物质对的密度值^[1,8-9,27]可间接反映骨质随年龄的变化,预测诊断骨量减少、骨质疏松症的密度值阈值,为 BMD 的测量提供新的方式。能谱 CT 检查的普及,很多患者不需要进行额外的骨密度(DXA 等)检查,仅接受过能谱 CT 扫描即可获得相关骨密度的信息,减少了额外的辐射剂量和费用。此外扫描分为平扫和增强扫描,增强扫描一般都采用碘类对比剂,故选择 HAP 和碘(Iodine)、HAP 和水(Water)、HAP 和脂肪(Fat)作为基物质对进行研究,

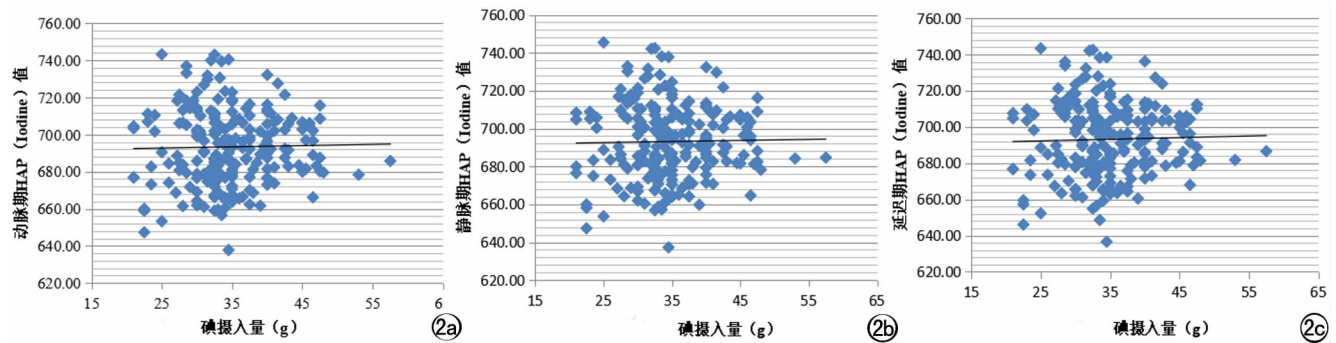


图 2 增强 3 期 HAP(Iodine) 值与碘摄入量的相关性分析散点图 ($r=0.021, 0.018, 0.028, P=0.762, 0.796, 0.682$)。a) 动脉期; b) 静脉期; c) 延迟期。

通过比较增强扫描前后骨质中 HAP(Iodine)、HAP(Fat)、HAP(Water) 密度值,旨在探究增强扫描中碘对比剂是否会对其密度测量值产生影响。

结果表明 4 期 HAP(Iodine) 测量值趋于稳定,且患者碘摄入量不影响增强 3 期 HAP(Iodine) 密度值测量,碘对比剂对 HAP(Water)、HAP(Fat) 测量值影响较大。虽然 3 种基物质对均可用于 BMD 分析,但若想在增强扫描中进行 BMD 测量可选择不受碘对比剂注射方案影响的 HAP(Iodine) 作为基物质对。4 期扫描中 3 种基物质对密度测量值稳定性的差异可能与基物质对的组成和后期重建图像有关,图 1 可见 HAP(Iodine) 的重建图像可很好地将 HAP 与 Iodine 区分,减少了碘对比剂对 ROI 内骨质的影响,更准确地显示骨质中的 HAP 成分,使得测量值较稳定。而 HAP(Water) 和 HAP(Fat) 是用 HAP 与 Water、Fat 这两组基物质对来代替骨质中物质的 X 线衰减去反映骨密度,无法排除外来引入的碘对比剂影响,导致增强扫描前后数值差异较大。另外测得的 HAP(Iodine) 密度值较大,单位用 $2\text{mg}/\text{cm}^3$ 表示, HAP(Water)、HAP(Fat) 密度值较小,单位用 mg/cm^3 表示,方便于统计和比较。

本研究存在一定的局限性:没有考虑增强扫描中别的参数,不能确定这些密度值的变化是不是仅由对比剂所导致的,或者除了对比剂别的因素是否也会使这些值发生波动;其次应该建立除羟基磷灰石(HAP)类之外别的基物质对如钙和水^[5]等,测量增强扫描前后的密度值,再比较之间的稳定性会更有说服力;第三,本研究只是对可能的影响因素进行探究,仅仅比较了密度测量值,缺乏多种基物质对与骨密度相关性之间的对比,可作为后续研究。

综上所述, HAP(Iodine) 测量值不受碘对比剂影响,4 期中 HAP(Iodine) 测量值趋于稳定,利用能谱 CT 物质分离技术,以 HAP(Iodine) 作为基物质对可在平扫和增强扫描中测量骨密度或者研究增强扫描前

后骨密度的变化。

参考文献:

- [1] 张文娟,张国晋,王丹,等. 基于能谱 CT 基物质成像技术的骨密度测量[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 25(2): 121-124.
- [2] Roski F, Hammel J, Mei K, et al. Opportunistic osteoporosis screening: contrast-enhanced dual-layer spectral CT provides accurate measurements of vertebral bone mineral density[J]. Eur Radiol, 2021, 31(5): 3147-3155.
- [3] 高红玉,汪爱军,穆宝山,等. 北京和深圳两城市体检人群腰椎骨密度结果分析[J]. 放射学实践, 2018, 33(11): 1202-1206.
- [4] 翟建,吴雅琳,胡琴,等. 基于定量 CT 对不同性别,年龄人群尿酸与腰椎骨密度的相关性分析[J]. 放射学实践, 2020, 35(3): 385-388.
- [5] 张进,宋飞鹏,郜璐璐,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, 2015, 9(17): 3250-3254.
- [6] Li X, Wang X, Yu Y, et al. Detection of uric acid depositing in tophaceous gout using a new dual energy spectral CT technology [J]. J Xray Sci Technol, 2014, 22(4): 541-549.
- [7] 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.
- [8] 董强,解琪琪,赵若辰,等. 能谱 CT 定量参数与骨生物力学的相关性[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(8): 978-982.
- [9] 韩合理,郁万江,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.
- [10] Pan J, Yan L, Gao H, et al. Fast kilovoltage(KV)-switching dual-energy computed tomography hydroxyapatite (HAP)-water decomposition technique for identifying bone marrow edema in vertebral compression fractures [J]. Quant Imaging Med Surg, 2020, 10(3): 604-611.
- [11] 魏巍,刘义军,刘爱连,等. 评估 80kVp 结合 ASIR-V 腹部 CT 血管成像:图像质量,辐射剂量及碘摄入量研究[J]. 重庆医科大学学报, 2019, 44(10): 1337-1341.
- [12] 邵伟光,刘典美,赵兴圣,等. 宝石 CT 能谱成像测定成人骨密度初步研究[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(9): 1524-1527.
- [13] Berry ME. Using DXA to identify and treat osteoporosis in pediatric patients[J]. Radiol Technol, 2018, 89(3): 312-317.
- [14] Rodrigues AM, Canh ? o H, Marques A, et al. Portuguese recommendations for the prevention, diagnosis and management of primary osteoporosis-2018 update [J]. Acta Reumatol Port,

- 2018,43(1):10-31.
- [15] Woisetschlager M, Späugeus A. Model for improved correlation of BMD values between abdominal routine dual energy CT data and DXA scans[J]. Eur J Radiol, 2018, 99: 76-81.
- [16] 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.
- [17] 程晓光, 李勉文, 李娜, 等. 定量 CT 骨密度测量(QCT)在骨质疏松症诊治中的临床应用 2007 国际临床骨密度学会(ISCN)共识摘录[J]. 中国骨质疏松杂志, 2012, 18(11): 969-974.
- [18] 邓亚军, 韩蕾, 解琪琪, 等. 能谱 CT 与 DXA 测量骨密度准确性的比较研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(2): 194-198.
- [19] 谢婷婷, 曾建奇, 石桥, 等. 辐射剂量和机型对瞬时 kVp 切换单源双能 CT 物质分离技术肝脏铁与脂肪定量评估的影响[J]. 放射学实践, 2019, 34(6): 597-602.
- [20] Son W, Park C, Jeong HS, et al. Bone marrow edema in non-traumatic hip: high accuracy of dual-energy CT with water-hydroxyapatite decomposition imaging[J]. Eur Radiol, 2020, 30(4): 2191-2198.
- [21] Zhang D, Li X, Liu B. Objective characterization of GE discovery CT750 HD scanner: gemstone spectral imaging mode[J]. Med Phys, 2011, 38(3): 1178-1188.
- [22] 谢婷婷, 何冠勇, 张珍, 等. 肝脏脂肪变性对瞬时管电压切换单源双能 CT 物质分离技术量化评估肝脏铁过载的影响[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(3): 229-232.
- [23] Booz C, Noeske J, Albrecht MH, et al. Diagnostic accuracy of quantitative dual-energy CT-based bone mineral density assessment in comparison to hounsfield unit measurements using dual X-ray absorptiometry as standard of reference[J]. Eur J Radiol, 2020, 132: 109321.
- [24] La Fontaine J, Shibuya N, Sampson HW, et al. Trabecular quality and cellular characteristics of normal, diabetic, and charcot bone [J]. J Foot Ankle Surg, 2011, 50(6): 648-653.
- [25] 陈民, 张艳, 袁慧书. 快速千伏切换能谱 CT 与 QCT 测定羊椎体骨密度的相关性及其一致性研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(3): 326-329. 370.
- [26] 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.
- [27] van Hamersvelt RW, Schilham AMR, Engelke K, et al. Accuracy of bone mineral density quantification using dual-layer spectral detector CT: a phantom study[J]. Eur Radiol, 2017, 27(10): 4351-4359.

(收稿日期: 2020-08-30 修回日期: 2020-12-28)

书 讯

由巫北海教授总主编的专门研究和讨论误诊的《当代医学影像误诊学》2021 年 10 月由天津科学技术出版社正式出版, 书号为 ISBN 978-7-5576-9449-4。

作为《活体形态学》的姐妹篇,《当代医学影像误诊学》全书约 800 万字, 图文并茂, 与《活体形态学》一样, 也分为六卷: 第一卷(颅脑脊髓), 第二卷(面颈和多系统多部位疾病), 第三卷(胸心), 第四卷(腹盆上), 第五卷(腹盆下), 第六卷(肌骨和脊柱)。本书适用于临床医学影像诊断各科医务工作者、临床各科医生、各类医学院校师生阅读, 有利于扩大知识面, 增加信息量, 是有关临床医学影像诊断继续教育较好的参考资料。本书由新华书店发行, 在京东、当当和淘宝网上可网购。

(秦将均)