

髋部结构分析在预测髋部脆性骨折的意义

任晓静¹, 蔡思清¹, 吕国荣², 李毅中¹, 颜丽笙¹

1. 福建医科大学附属第二医院, 福建 泉州 362000; 2. 泉州医学高等专科学校, 福建 泉州 362000

【摘要】目的:探讨绝经后女性髋部结构几何力学参数在预测髋部脆性骨折危险性的临床意义。**方法:**选取216例绝经后女性,其中髋部骨折70例,正常对照组146例,测量股骨颈骨密度(FN-BMD),并用髋结构分析(HSA)软件在DXA扫描图像上分析得出髋结构几何力学参数,包括截面弯曲模量(SEM)、股骨颈横截面转动惯量(CSMI)、股骨颈横截面积(CSA)、屈曲应力比(BR)、股骨颈的皮质骨厚度(FNCT)及股骨颈干角(NSA)。利用ROC曲线分别分析其预测髋部骨折的效能。**结果:**FN-BMD、CSA、CSMI、FNCT、SEM在骨折组低于对照组($P<0.05$),年龄、BR在骨折组高于对照组($P<0.05$)。Logistic回归分析。年龄、BMI、FN-BMD、CSA、CSMI、FNCT、SEM、BR影响骨折发生的因素,得出FN-BMD、FNCT是判定绝经后妇女髋部脆性骨折最相关的危险因素。FN-BMD、CSA、CSMI、FNCT、SEM与年龄呈负相关,CSA、SEM与FN-BMD呈显著正相关(r 分别为0.945、0.763, $P<0.001$),BR与FN-BMD呈显著负相关($r=-0.854$, $P<0.001$),与年龄呈中度正相关。NSA角与年龄、绝经年龄、FN-BMD无相关性。通过ROC曲线分析髋关节几何学参数、FN-BMD及二者联合预测髋部骨折准确度,发现髋关节几何学参数联合FN-BMD的ROC曲线下面积为0.860($P=0.000$),高于FN-BMD及髋关节几何学参数单独对脆性骨折的预测,并且曲线下面积差异存在统计学意义($P<0.05$)。**结论:**(1)绝经后妇女的髋部骨强度不仅与骨量丢失相关,还与几何力学空间因素改变相关,故临床预测髋部脆性骨折应考虑FN-BMD及髋几何结构参数;(2)髋结构分析联合FN-BMD测定可以提高髋部脆性骨折风险的预测水平。

【关键词】骨质疏松;脆性骨折;骨密度;双能X线骨密度仪;髋结构分析

【中图分类号】R814.4;R683.3

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)05-0513-08

Significance of hip structure analysis in the prediction of osteoporotic hip fracture

REN Xiaojing¹, CAI Siqing¹, LÜ Guorong², LI Yizhong¹, YAN Lisheng¹

1. Second Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Quanzhou 362000, China; 2. Quanzhou Medical College, Quanzhou 362000, China

Abstract: Objective To examine the clinical significance of geometric parameters of the hip (GPH) of post-menopausal women in the prediction of osteoporotic hip fractures. **Methods** The femoral neck bone mineral density (FN-BMD) of 216 post-menopausal women, including 70 cases of hip fractures and 146 cases of normal controls, were measured. Based on the dual energy X-ray absorptiometry (DXA) image of the hip, hip strength analysis (HSA) software was used to analyze the GPH, including section modulus (SEM), cross-sectional moment of inertia (CSMI), cross-sectional area (CSA), buckling ratio (BR), cortical thickness of femoral neck (FNCT) and neck shaft angle (NSA). The performance of HAS software in the prediction of hip fractures was analyzed using receiver operator characteristics (ROC) curve. **Results** Fracture group showed significantly lower FN-BMD, CSA, CSMI, FNCT, SEM ($P<0.05$), older age, and significantly higher BR than control group ($P<0.05$). The logistic regression analysis of the factors affecting the fracture incidence (including age, BMI, FN-BMD, CSA, CSMI, FNCT, SEM and BR) confirmed that FN-BMD and FNCT were the most important risk factors related to the hip fracture incidence of post-menopausal women. FN-BMD, CSA, CSMI, FNCT, SEM were negatively correlated with age, while CSA, SEM were positively correlated with FN-BMD ($r=0.945$ and 0.763 , respectively; $P<0.001$); BR was negatively correlated with FN-BMD ($r=-0.854$, $P<0.001$), but moderately positively with age; neck shaft angle didn't showed any correction with FN-BMD, age and age at menopause. The area under ROC curve for the logistic regression probability model incorporating GPH and FN-BMD was 0.860, larger than that predicted by GPH and FN-BMD, separately ($P=0.000$), and the differences in the area under ROC curve were statistically

【收稿日期】2016-12-03

【基金项目】泉州市科技局社会发展计划重点资助项目(2013Z106)

【作者简介】任晓静, 硕士, 主治医师, 研究方向: 骨质疏松诊断与治疗, E-mail: 342268923@qq.com

significant ($P<0.05$). **Conclusion** The bone strength of the hip in post-menopausal women is not only influenced by bone loss, but also by the changes of geometric structure of the hip, therefore both the GPH and FN-BMD should be considered in the prediction of fragility fracture of the hip in order to reduce the fragility fracture incidence of the hip.

Keywords: osteoporosis; fragility fracture; bone mineral density; dual energy X-ray absorptiometry; hip structure analysis

前言

骨质疏松是以骨量降低、骨组织的显微结构退化为主要特征,骨的强度降低所导致的骨脆性增加、骨质疏松性骨折危险性升高的全身性骨病^[1]。预防骨质疏松的关键在于早期发现高危人群,降低骨质疏松性骨折的发生率。骨质疏松症影响全球近2亿的女性,临床脆性骨折最常发生于绝经后的女性,约30%绝经期女性发生过一次或多次脆性骨折。因此,如何做到早期发现高危人群,以及降低脆性骨折发生率,已成为当今世界面临的严峻问题。骨密度仅仅能反映约70%的骨强度,临床研究发现一些骨密度值未达到骨质疏松阈值的绝经后女性亦发生脆性骨折,髋关节几何力学参数的提出促进了骨组织显微结构的研究^[2]。数字化骨密度仪的应用,由髋结构分析(HSA)软件在双能X线骨密度仪(DXA)扫描的基础图像上自动分析得出5种髋部几何力学参数,包括:截面弯曲模量(SEM)是力学上衡量管状物的抵抗弯曲载荷的指标(单位: cm^3);股骨颈横截面转动惯量(CSMI)为与股骨颈长轴垂直横截面的转动惯量(单位: cm^4);股骨颈横截面积(CSA)是在骨量剖面图中测定股骨颈横断面的整体骨表面积;屈曲应力比(BR)是力学上衡量管状物皱折强度,是骨骼几何结构不稳定性的体现;股骨颈的皮质骨厚度(FNCT)。髋部几何力学参数完善了感兴趣区域的骨强度,有效监测骨密度的改变及骨折风险的评价。我们通过探讨绝经后妇女髋关节几何结构的特点,其与骨密度之间的相关性,联合髋关节几何学参数及股骨颈骨密度(FN-BMD)测定在预测髋部脆性骨折方面的意义。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取福建医科大学附属第二医院2013年1~12月共216例行骨密度检查的绝经后女性,平均年龄为(66.93 ± 10.09)岁。患髋部脆性骨折患者70例(包括股骨转子间骨折25例和股骨颈骨折35例,并无合并其他部位骨折),年龄51~97岁,平均年龄(75.63 ± 9.15)岁;对照正常组(非骨折组)146例,年龄50~81岁,平均年龄(62.76 ± 7.55)岁,已排除合并影响髋关节

几何结构疾病的患者。所有患者均签署知情同意书,并经医院伦理委员会批准。

1.2 方法

采用美国Hologic Discovery-A型DXA并配置后处理软件(图1)。对照组选取左侧股骨近端进行测量,避免大多数人群右侧为主力腿对骨密度的干扰,骨折组选取健侧股骨近端,避免骨折端嵌插、旋转对骨密度的干扰。扫描时患者下肢置于固定装置上,呈标准内旋位至特定角度,使小转子为后方结构,股骨干的长轴应与扫描台的长轴平行。测定髋部骨密度,选定FN-BMD,由HSA软件在DXA扫描的基础图像上自动分析得出包括CSA、CSMI、FNCT、SEM、BR的5种髋部几何力学参数和NSA角(颈干角:股骨颈的长轴与股骨干纵轴之间形成的角度)分析。HSA软件获得美国食品药品监督管理局(FDA)的批准。

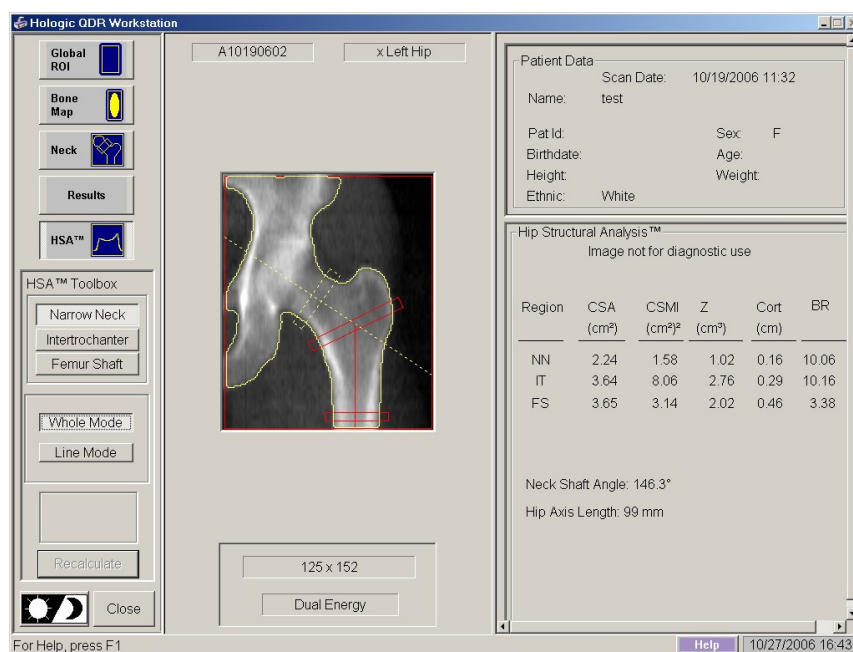
1.3 统计学方法

采用统计学SPSS 19.0软件对样本进行数据统计分析,数据均使用均数 \pm 标准差表示。多组间比较采用单因素方差分析,两组间比较采用 t 检验;计数资料组间率(骨折发生率)的比较采用卡方检验,并用卡方分割法两两比较检验。危险因素分析应用Logistic回归分析。采用偏相关分析研究参数的相关性,使用SPSS的Binary Logistic过程进行多变量Logistic回归,求出Logistic回归方程,并在SPSS工作数据表中产生含各个体预测概率的(髋关节几何学参数、髋关节几何学参数联合FN-BMD)新变量。相关变量对于髋部脆性骨折的诊断价值采用ROC曲线计算曲线下面积,不同指标以曲线下面积评价预测髋部脆性骨折的准确性。利用Medcalc软件进行配对比较不同指标ROC曲线下面积差异是否有统计学意义。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义,得到的概率值均表示双侧概率。

2 结果

2.1 骨折组与非骨折组年龄、绝经年龄、髋结构几何参数变化

结果显示, FN-BMD、CSA、CSMI、FNCT、SEM在骨折组低于对照组($P<0.05$);年龄、BR在骨折组高于对照组($P<0.05$);绝经年龄、NSA两组间没有统计学意义(表1)。



DXA: Dual energy X-ray absorptiometry

图1 DXA 扫描图像基础上得出髋关节几何力学参数

Fig.1 Geometric parameters of the hip (GPH) obtained from DXA scanning image

表1 髋部非骨折组与骨折组年龄、髋几何力学参数比较

Tab.1 Comparison of age and geometric parameters of hip between the fracture group and non-fracture group

Parameter	Non-fracture group	Fracture group	P value
Age (years)	62.76±7.55	75.63±9.15	0.000
Age at menopause (years)	49.79±4.19	48.66±3.52	0.052
FN-BMD/g·cm ⁻²	0.63±0.11	0.48±0.10	0.000
CSA/cm ²	2.38±0.39	1.91±0.40	0.000
CSMI/cm ⁴	1.96±0.45	1.68±0.51	0.000
FNCT/cm	0.16±0.11	0.12±0.02	0.002
SEM/cm ³	1.09±0.23	0.87±0.21	0.000
BR	12.55±3.38	17.49±4.59	0.000
NSA/°	128.54±4.56	129.49±5.01	0.169

FN-BMD: Femoral neck bone mineral density; CSA: Cross-sectional area; CSMI: Cross-sectional moment of inertia;

FNCT: Cortical thickness of femoral neck; SEM: Section modulus; BR: Buckling ratio; NSA: Neck shaft angle

2.2 髋结构几何力学参数判定髋部骨折的 Logistic 回归分析

以髋部骨折为因变量,将骨折组间存在统计学差异的参数年龄、BMI、FN-BMD、CSA、CSMI、FNCT、SEM、BR作为自变量引入判定髋部骨折的 Logistic 回归分析,得出FN-BMD、FNCT是绝经后妇女的髋部脆性骨折最危险的因素。

2.3 髋结构几何参数及骨折发病率在不同骨密度组间两两比较

根据T值不同,分为正常骨量组A($T \geq -1.0$ SD)、低骨量组B(-1.0 SD $>T > -2.5$ SD)及骨质疏松组C($T \leq -2.5$ SD),不同组间骨折发病率的差异具有显著的统计学意义,A组骨折占样本量为1%,B组为16%,C组为83%。随着FN-BMD降低,CSA、CSMI、SEM降低,BR增高,骨质疏松较高龄。FNCT:B组与C组比较,骨质疏松组比低骨量组降低,A组与C组比较,骨质疏松组比正常骨量组降低,NSA各组间比较差异没有统计学意义(表2)。

表2 髋结构几何参数及骨折发病率在不同骨密度组间两两比较

Tab.2 Comparison of geometric parameters of the hip and fracture incidence in different bone mineral density groups

Variables	Group A (T \geq -1.0 SD)	Group B (-1.0 SD>T>-2.5 SD)	Group C (T \leq -2.5 SD)	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
Tot. No. in group	20	88	108	-	-	-	-
No. of F	1	11	58	-	-	-	-
No. of controls	19	77	50	-	-	-	-
Fracture rate	5.0%	12.5%	53.7%	<0.010	-	-	-
Age (years)	57.8 \pm 5.54	62.14 \pm 7.06	72.53 \pm 9.61	-	0.037	0.000	0.000
FN-BMD/g \cdot cm ⁻²	0.83 \pm 0.06	0.65 \pm 0.05	0.48 \pm 0.07	-	0.000	0.000	0.000
CSA/cm ²	3.03 \pm 0.36	2.45 \pm 0.22	1.90 \pm 0.29	-	0.000	0.000	0.000
CSMI/cm ⁴	2.24 \pm 0.72	2.02 \pm 0.43	1.67 \pm 0.39	-	0.047	0.000	0.000
FNCT/cm	0.21 \pm 0.02	0.17 \pm 0.15	0.12 \pm 0.02	-	0.141	0.000	0.000
SEM/cm ³	1.33 \pm 0.28	1.11 \pm 0.21	0.88 \pm 0.16	-	0.000	0.000	0.000
BR	8.12 \pm 1.30	11.93 \pm 2.13	17.07 \pm 4.07	-	0.000	0.000	0.000
NSA/ $^{\circ}$	129.25 \pm 4.46	128.38 \pm 5.03	129.16 \pm 4.51	-	0.456	0.251	0.936

P₀: Comparison between each of them; P₁: Comparison between group A and B; P₂: Comparison between group B and C; P₃: Comparison between group A and C. Tot No. in group: The total number of subjects in different bone mineral density groups; No. of F: The number of fracture; No. of controls: The number of controls

2.4 髋几何力学参数与年龄、FN-BMD 相关分析

FN-BMD、CSA、CSMI、FNCT、SEM 与年龄呈负相关, CSA、SEM 与 FN-BMD 呈显著正相关(r 分别为 0.945、0.763, $P < 0.001$), BR 与 FN-BMD 呈显著负相关($r = -0.854$, $P < 0.001$), 与年龄呈中度正相关。NSA 角(颈干角)与年龄、绝经年龄、FN-BMD 无相关性(表3)。

表3 髋几何力学参数与年龄、FN-BMD 相关分析

Tab.3 Correlation analysis among age, FN-BMD and GPH

Variables	Age (r/P)	FN-BMD (r/P)
BR	0.491*/0.000	-0.854**/0.000
CSA	-0.589*/0.000	0.945**/0.000
CSMI	-0.384*/0.000	0.521*/0.000
FNCT	-0.279*/0.000	0.490*/0.000
SEM	-0.512*/0.000	0.763**/0.000
FN-BMD	-0.618*/0.000	1.000/-
NSA/ $^{\circ}$	0.116/0.088	-0.088/0.196

*: Correlation; **: Significant correlation

BMD 及二者联合预测髋部骨折准确度, 发现髋关节几何学参数联合 FN-BMD 的 ROC 曲线下面积为 0.860($P = 0.000$), 高于 FN-BMD 及髋关节几何学参数单独对脆性骨折的预测, 并且曲线下面积差异存在统计学意义($P < 0.05$)(见表4、图2和图3)。

表4 相关变量预测髋部骨折 ROC 判别结果

Tab.4 Area under ROC curve (AUC) of the correlated variables to predict the hip fractures

Variables	AUC	SE	P value
BR	0.841	0.029	0.000
FNCT	0.832	0.029	0.000
CSA	0.805	0.034	0.000
SEM	0.777	0.037	0.000
CSMI	0.698	0.041	0.000
Five GPH	0.848	0.028	0.000
FN-BMD	0.837	0.029	0.000
Combination of FN-BMD and GPH	0.860	0.027	0.000

ROC: Receiver operator characteristic curve; SE: standard error

2.5 相关变量预测髋部骨折准确度 ROC 判别结果

通过 ROC 曲线分析髋关节几何学参数、FN-

应用 Medcalc 软件对髋关节几何学参数联合 FN-BMD、FN-BMD 参数进行 ROC 曲线下面积配对差异

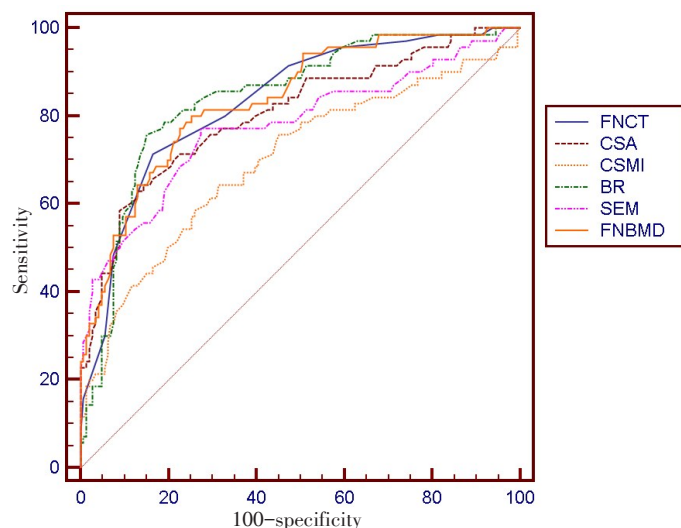


图2 髋结构几何力学、FN-BMD判定髋部骨折AUC比较

Fig.2 AUC comparison of GPH and FN-BMD to predict the hip fractures

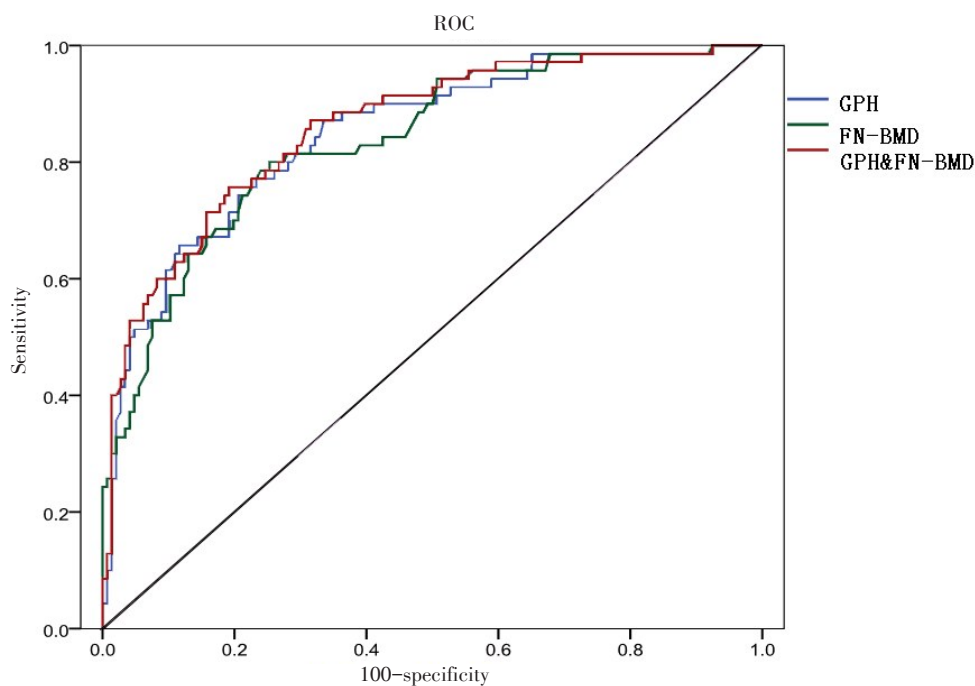


图3 FN-BMD、髋结构几何力学及两者联合判定髋部骨折AUC比较

Fig.3 AUC comparison among FN-BMD, GPH, and the combination of FN-BMD and GPH to predict the hip fractures

比较,髋关节几何学参数联合FN-BMD与FN-BMD两者的AUC差异为0.022 7,差异具有统计学意义($P<0.05$),表明髋关节几何学参数联合FN-BMD提高了对髋部脆性骨折的预测诊断。

3 讨论

原发性骨质疏松症是引起绝经后妇女骨质疏松性骨折的重要原因之一。最新关于骨质疏松症的定义是:以骨强度下降、骨折风险增加为特征的全身性骨骼系统疾病。骨密度在国际上被冠以预测骨质疏

松性骨折的“金标准”,然而在社会老龄化人群中,骨密度仅仅解释了部分导致骨折的风险因素。戴鹤玲等^[3]报道在发生脆性骨折人群中的骨密度分布存在一定范围内的重叠现象,该研究发现提示影响骨强度的因素除骨密度外还可能存在其他因素。许多研究证实,骨质疏松的病理改变不仅有骨量变化、骨密度的减少,而且有骨结构的改变,这种骨结构的变化与骨强度相关,也是骨质疏松性骨折发生的重要因素^[4],故髋部几何结构也被认为与骨折相关^[5-6]。骨质疏松骨折的风险评估应包括骨密度和骨结构的综合

分析^[7]。探讨绝经后女性髌部结构几何力学参数在预测髌部脆性骨折危险性的临床意义。

3.1 髌部结构几何力学参数在绝经后妇女的改变

通过相关性分析,发现绝经后妇女随年龄增长,CSA及CSMI、FNCT、SEM逐渐下降,BR值却逐渐增高。其中CSA与年龄呈负相关,相关系数为-0.589,其相关性高于其它几项几何力学指标。CSA、SEM与BMD呈显著正相关,CSA的相关性要远远高于其他参数,BR与骨密度呈显著负相关。随着年龄增长、骨量降低,骨结构变化及骨量空间分布进行重塑^[8-9]。相同的骨量,但其分布不同、空间几何结构不同、骨强度不同,通过CSMI表达,增加了股骨颈的应力,尤其是张力面。CSMI是与股骨颈长轴垂直的横截面的转动惯量力矩,与骨受力时的弯曲变形有关,是骨刚度的几何学指数^[10-11]。绝经后妇女,雌激素水平降低,使得骨内膜骨吸收增加,骨外膜新生骨形成减少^[12]。CSA是表征抵抗轴向压缩应力的指标,是衡量骨骼机械强度的指标,其测定股骨颈横断面的整体骨表面积^[13-15]。SEM是衡量管状物的抗弯曲载荷的力学指标,SEM数值越大,强度越高^[16]。绝经后女性随着年龄增长,股骨近端骨皮质变薄,CSA和SEM变小,骨骼抗轴向应力及弯曲应力下降,髌部几何结构的不稳定性增高,骨折风险加大。在老龄化骨量减少的过程中,股骨颈刚度降低,股骨颈横截面所受压力增加,骨质脆性增高。BR是衡量管状物骨折强度的力学指标,其数值越高,骨骼几何结构的稳定性越差^[17-19]。NSA与年龄、骨密度无相关性。符合Blake等^[20]报告髌部骨折组与对照组NSA差异无统计学意义。成人NSA角平均为127°,在髌部骨折组与非骨折组和各年龄组间均无统计学差异,我们认为NSA角不受年龄、骨密度的影响,不会增加骨折风险,受操作时体位影响,故采集患者原始数据图像时,应选择标准内旋体位,从而有效消除由于患者体位造成的NSA角度误差。

3.2 髌部结构几何力学参数预测髌部脆性骨折的风险

骨折组CSA、CSMI、FNCT、SEM降低,BR增高,说明绝经后妇女由于骨强度下降引起脆性骨折的发生不仅与骨量的降低相关,亦与髌部几何力学参数的变化相关,这也同样解释了为什么在临床实践中会出现髌部脆性骨折患者的骨密度提示骨量减少,甚至为正常骨量,并没有达到骨质疏松的状态,尤其是骨量减少的绝经后妇女^[21]。骨的新陈代谢包括了骨内膜的骨吸收引起的骨丢失、骨外膜成骨细胞形成的新生骨及由于其引起骨体积改变3方面因素^[22]。骨皮质占骨骼总重量的80%,但仅占总骨表面

积的20%,每年更新约3%。骨质疏松时骨皮质骨内膜骨吸收增加,骨皮质变薄,出现骨强度的降低。松质骨占骨骼总重量的20%,但仅占总骨表面积的80%,每年更新约25%。松质骨在股骨颈强度中所起作用较小,皮质骨起主要作用,在髌部承受主要压力负荷为皮质骨^[10],在股骨颈骨强度中起主要作用,皮质骨变薄应是易发生脆性髌部骨折的重要解剖学因素。随着皮质骨的持续性丢失,髌部发生脆性骨折的危险性增高。发生脆性骨折的患者股骨近端骨皮质较薄,CSA和SEM变小,骨骼抗轴向应力及弯曲应力下降^[24],髌部几何结构的不稳定性增高,说明骨密度的降低伴随着反映骨强度的几何学参数的改变,骨质疏松时骨结构变化及骨量空间分布的重塑等过程同时存在。髌部几何力学结构指数下降,从而影响了骨强度。

骨折组CSA、CSMI、FNCT、SEM降低,BR增高,两组间差别具有显著统计学意义($P<0.01$),绝经年龄、NSA骨折分组中差异无统计学意义,NSA各个骨量组间比较差异没有统计学意义。符合Kuruvilla等^[24]研究报道骨折组NSA与对照组的NSA未见显著差异,故不将其纳入脆性骨折影响因素内讨论。应用Logistic回归分析对年龄、BMI、FN-BMD、CSA、CSMI、FNCT、SEM、BR预测髌部骨折风险性进行评估,发现FN-BMD、FNCT为髌部脆性骨折的最危险因素,结果符合Siris等^[25]报告绝经后女性在50~64岁阶段,骨骼松质骨丢失速度明显较皮质骨迅速,但在65~79岁阶段,发生了转变,骨量丢失最多是皮质骨而不是松质骨,80岁以后尤为明显,约90%的骨丢失来自皮质骨而不是松质骨。影响骨强度的重要因素之一是骨密度,但是骨密度的降低不仅仅表现在骨矿含量的减少,还表现骨空间分布的改变;横断面中轴周围的骨空间分布影响了股骨颈负载的压力和扭转力受力,髌部几何力学参数是从空间结构方面解释了骨质疏松致脆性骨折发生率增高的原因^[26]。故髌部几何力学参数是骨密度以外影响骨强度和预测骨折危险性的因素^[27]。

3.3 髌部结构几何力学参数联合FN-BMD预测髌部脆性骨折的风险

骨质疏松的评估应包括骨密度和骨结构的综合分析,国内外学者对髌部骨密度测量及骨结构评估的研究分析,发现其与脆性骨折亦有相关性,多种原因抗骨折能力(骨强度)的下降,导致髌部骨折风险的增加。因此,骨密度及相关骨结构的测量及评估对研究骨质疏松有重要的作用。采用ROC曲线预测髌部骨折发生风险,由图2、图3观察发现,各个独立

的髌部几何学参数、FN-BMD、髌部几何学参数联合FN-BMD的ROC曲线均在参考线以上,并远离参考线,各组的ROC曲线下面积均有统计学意义($P<0.05$)。因此,各个独立的髌部几何学参数、FN-BMD、髌部几何学参数联合FN-BMD在预测绝经后妇女脆性骨折均具有较好的特异度和灵敏度。ROC曲线分析,曲线下面积越接近1,诊断准确度越高;ROC曲线下面积 $A_z<0.7$ 时,表示诊断准确度较低;当 A_z 为0.7~0.9时,表示诊断准确度为中等;当 $A_z>0.9$ 时,表示诊断准确度较高。利用ROC曲线观察比较各个髌部几何学参数、FN-BMD、髌部几何学参数联合FN-BMD对预测绝经后妇女脆性骨折的准确度,研究发现髌部几何学参数联合FN-BMD在预测髌部骨折进行ROC曲线分析,ROC曲线下面积分别为0.860($P=0.000$),有较高的诊断准确率,其ROC曲线下面积高于FN-BMD或是髌部几何学参数单独对脆性骨折的预测。Medcalc软件分析功能强大、易掌握,可直接进行AUC比较^[28]。利用Medcalc软件进行曲线下面积配对比较,髌关节几何学参数联合FN-BMD与FN-BMD的ROC曲线下面积的差异比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。再次说明绝经后妇女脆性骨折的发生不仅与骨量的降低相关,亦与髌部几何力学参数的变化相关,两者相结合分析提高脆性骨折风险的预测。

总之,随着年龄增大,特别是高龄老人,骨量丢失往往伴随着骨几何结构的重建,髌部几何结构发生相应改变。绝经后妇女髌部骨强度不仅与骨量丢失相关,而且与几何力学因素改变相关,故临床预测脆性骨折应考虑骨密度及髌几何结构参数,不应单纯使用骨密度值作为骨折风险评估的指标,髌部几何力学指标亦是老年人易发生脆性髌部骨折的重要解剖学因素。综上所述,我们得出在预测髌部骨折的风险方面,髌部几何结构分析联合FN-BMD测定比单纯用BMD预测具有更有效的灵敏度和特异度。

【参考文献】

- [1] 徐铮,孙君雷,许忠,等. DXA髌结构分析参数预测髌部脆性骨折的价值[J]. 中国骨质疏松杂志, 2014, 20(4): 360-371.
XU Z, SUN J L, XU Z, et al. Prediction of hip osteoporotic fractures from the hip structure analysis using dual energy X-ray absorptiometry[J]. Chinese Journal of Osteoporosis, 2014, 20(4): 360-371.
- [2] Chinese Society of Osteoporosis Bone Mineral Research. Guide for diagnosis and treatment of primary osteoporosis (2011)[J]. Chin J Osteoporosis & Bone Miner Res, 2011, 4(1): 2-17.
- [3] 戴鹤玲,孙天胜,刘智. 髌部骨密度和几何结构与老年髌部骨折发病的关系[J]. 中国老年学杂志, 2013, 33(2): 294-296.
DAI H L, SUN T S, LIU Z. The relationship between incidence of hip fracture and hip bone mineral density with geometry structure[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2013, 33(2): 294-296.
- [4] 宋飞鹏,张进,郝璐璐,等. 骨质疏松症影像学诊断的研究现状[J]. 中国现代医生, 2014, 52(11): 158-160.
SONG F P, ZHANG J, GAO L L, et al. Research status on the diagnosis of osteoporosis using radiologic techniques[J]. Modern Chinese Doctor, 2014, 52(11): 158-160.
- [5] VOKES T J, GILLEN D L. Using clinical risk factors and bone mineral density to determine who among patients undergoing bone densitometry should have vertebral fracture assessment[J]. Osteoporos Int, 2010, 21(12): 2083-2091.
- [6] 林华,包丽华,韩祖斌,等. DEXA、QUS在绝经后骨质疏松脊柱骨折诊断中的应用与探讨[J]. 中国骨质疏松杂志, 2000, 6(2): 13-15.
LIN H, BAO L H, HAN Z B, et al. Discussion of DEXA, QUS in the diagnosis of postmenopausal spine osteoporosis fracture[J]. Chinese Journal of Osteoporosis, 2000, 6(2): 13-15.
- [7] 林华. 骨质疏松诊治的几个新观点[J]. 实用老年医学, 2000, 14(3): 125-128.
LIN H. Several viewpoints of diagnosis and treatment of osteoporosis[J]. Practical Geriatrics, 2000, 14(3): 125-128.
- [8] 朱文骏,瞿玉兴,朱亚平. 老年髌部骨折患者的骨密度分析[J]. 江苏大学学报(医学版), 2003, 13(2): 118-120.
ZHU W J, QU Y X, ZHU Y P. Analysis of bone mineral density among patients with hip fracture in the aged[J]. Academic Journal of Jiangsu University (Medicine Edition), 2003, 13(2): 118-120.
- [9] 徐瑞达,傅晓东,张玲,等. 老年股骨转子间骨折患者骨量状况对内固定治疗效果的影响[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2015, 35(12): 1922-1925.
XU R D, FU X D, ZHANG L, et al. Effect of the bone mass of old patients with intertrochanteric fracture on the internal fixation surgery[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Medical Science), 2015, 35(12): 1922-1925.
- [10] BERGOT C, BOUSSON V, MEUNIER A, et al. Hip fracture risk and proximal femur geometry from DXA scans[J]. Osteoporos Int, 2002, 13(7): 542-550.
- [11] KIM S R, HA Y C, KIM J R, et al. Incidence of hip fractures in Jeju Island, South Korea: a prospective study (2002-2006)[J]. Clin Orthop Surg, 2010, 2(2): 64-68.
- [12] PULKKINEN P, JAMSM T, LOCHMULLER E M, et al. Experimental hip fracture load can be predicted from plain radiography by combined analysis of trabecular bone[J]. Osteoporos Int, 2006, 17(4): 593-599.
- [13] 袁东. 股骨近端几何力学参数与髌部骨折及股骨近端骨髓MRS、R2*值和骨质疏松相关性的探讨[D]. 北京: 中国协和医科大学中国医学科学院, 2007: 1-49.
YUAN D. Correlation of structural geometric properties of the proximal femur with hip fracture and the value of MRS, R2* of the proximal femur bone marrow in evaluating qsteoporosis [D]. Beijing: China Union Medical University of Chinese Academy of Medical Sciences, 2007: 1-49.
- [14] JOHNNELL O, KANIS J A. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures[J]. Osteoporos Int, 2006, 17(12): 1726-1733.
- [15] 阮建萍,李冠武,汤光宇,等. DXA髌几何力学参数评估女性股骨近端强度[J]. 同济大学学报(医学版), 2014, 35(1): 46-51.
RUAN J P, LI G W, TANG G Y, et al. Evaluation of hip bone strength in healthy women by dual energy X-ray absorptiometry[J]. Journal of Tongji University (Medical Science), 2014, 35(1): 46-51.
- [16] TANG H, LUO X Z, REN S M, et al. Femoral neck BMD and femoral neck axial length relationship with elderly hip fracture[J]. Orthop J, 2000, 20(4): 222-225.

- [17] FUJIWARA T, NAKAMURA H, ORIMO T, et al. Development and application of a Japanese model of the WHO fracture risk assessment tool (FRAX™)[J]. *Osteoporos Int*, 2008, 19(4): 429-435.
- [18] WANG X F, DUAN Y, BECK T J, et al. Varying contributions of growth and ageing toracial and sex differences in femoral neck structure and strength in old age[J]. *Bone*, 2005, 36(6): 978-986.
- [19] 张飞, 彭吾训. 髋关节置换术在治疗老年股骨转子间骨折中的应用现状[J]. *实用医学杂志*, 2016, 32(21): 3486-3488.
- ZHANG F, PENG W X. Application of hip replacement in the treatment of intertrochanteric fractures in elderly patients[J]. *The Journal of Practical Medicine*, 2016, 32(21): 3486-3488.
- [20] BLAKE G M, FOGELMAN I. An update on dual-energy X-ray absorptiometry[J]. *Semin Nucl Med*, 2010, 40(1): 62-73.
- [21] KOH J M, KING S, OH B, et al. Microphthalmia- associated transcription factor polymorphisms and association with bone mineral density of the proximal femur in postmenopausal women[J]. *Mol Cells*, 2007, 23(2): 246-251.
- [22] GNUDI W, SITTA E, FIUMI N. Bone density and geometry in assessing hip fracture risk in post-menopausal women[J]. *Br J Radiol*, 2007, 80(959): 893-897.
- [23] ITO M. Recent progress in bone imaging for osteoporosis research[J]. *J Bone Miner Metab*, 2011, 29(2): 131-140.
- [24] KURUVILLA K, KENY A M, RAISZ L G, et al. Importance of bone mineral density measurements in evaluating fragility bone fracture risk in Asian Indian men[J]. *Osteoporosis Int*, 2010, 22(1): 56-61.
- [25] SIRIS E S, BRENNEMAN S K, BARRET-TCONNOR E, et al. The effect of age and bone mineral density on the absolute, excess, and relative risk of fracture in postmenopausal women aged 50-99: results from the National Osteoporosis Risk Assessment (NORA) [J]. *Osteoporos Int*, 2006, 17(4): 1-10.
- [26] 庄华峰, 李毅中, 林金矿, 等. 脆性股骨颈骨折的股骨近端几何结构分析[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2011, 17(4): 324-327.
- ZHUANG H F, LI Y Z, LIN J K, et al. The analysis of proximal femur geometry in fragile fracture of femoral neck[J]. *Chinese Journal of Osteoporosis*, 2011, 17(4): 324-327.
- [27] SLEMENDA C W, TURNER C H, PEACOCK M, et al. The genetics of proximal femur geometry, distribution of bone mass and bone mineral density[J]. *Osteoporos Int*, 1996, 6(2): 178-182.
- [28] 丁勇生, 夏淦林, 王汉杰. Medcalc软件进行ROC曲线分析在影像学中的应用[J]. *临床医药实践*, 2011, 20(4): 275-276.
- DING Y S, XIA J L, WANG H J. The application of Medcalc software in ROC curve imaging analysis[J]. *Proceeding of Clinical Medicine*, 2011, 20(4): 275-276.

(编辑:陈丽霞)

(上接479页)

- [5] BROGGI S, CATTANEO G M, MOLINELLI S, et al. Results of two-year quality control program for a helical tomotherapy unit [J]. *Radiation Oncol*, 2008, 86(2): 231-241.
- [6] BALOG J, SOISSON E. Helical tomotherapy quality assurance[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 71(1): 113-117.
- [7] STATON R J, LANGEN K M, KUPELIAN P A, et al. Dosimetric effects of rotational output variation and X-ray target degradation on helical tomotherapy plans[J]. *Med Phys*, 2009, 36(7): 2881-2888.
- [8] FENWICK J D, TOME W A, JARADAT H A, et al. Quality assurance of helical tomotherapy machine[J]. *Phys Med Biol*, 2004, 49(13): 2933-2953.
- [9] CHEN Q, WESTERLY D, FANG Z, et al. Tomotherapy MLC verification using exit detector data [J]. *Med Phys*, 2012, 39(1): 143-151.
- [10] YANG B, WONG W K, GENG H, et al. Filmless methods for quality assurance of tomotherapy using ArcCHECK[J]. *Med Phys*, 2017, 44(1): 7-16.
- [11] WANG Q, DAI J R, ZHANG K. A novel method for routine quality assurance of volumetric-modulated arc therapy[J]. *Med Phys*, 2013, 40(10): 101712.
- [12] CHAPMAN D, BARNETT R, YARTSEV S. Helical tomotherapy quality assurance with Arc CHECK[J]. *Med Dosim*, 2014, 39(2): 159-162.
- [13] YUE Q, DUAN J, LI R, et al. Systematic analytic of the Arc CHECK diode arrays for tomotherapy delivery[J]. *Int J Med Phys Clin Eng Radiat Oncol*, 2014, 3(4): 218-225.
- [14] SONG J Y, KIM Y H, JEONG J U, et al. Dosimetric evaluation of Map CHECK 2 and 3DVH in the IMRT delivery quality assurance process [J]. *Med Dosim*, 2014, 39(2): 134-138.
- [15] LANGEN K M, MEEKS S L, POOLE D O, et al. Evaluation of diode array for QA measurements on a helical tomotherapy unit[J]. *Med Phys*, 2005, 32(11): 3424-3430.
- [16] KUTCHER G J, COIA L, GILLIN M, et al. Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM radiation therapy committee Task Group 40[J]. *Med Phys*, 1994, 21(4): 581-618.
- [17] KLEIN E E, HANLEY J, BAYOUTH J, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators[J]. *Med Phys*, 2009, 36(9): 4197-4212.
- [18] LANGEN K M, PAPANIKOLAOU N, BALOG J, et al. QA for helical tomotherapy: report of the AAPM Task Group 148[J]. *Med Phys*, 2010, 37(9): 4817-4853.

(编辑:陈丽霞)