

老年股骨上段标本几何参数及骨密度与生物力学性能的相关性分析

张扬 雷伟 吴子祥 于良

中图分类号: R683 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2009)01-0032-04

摘要:目的 探讨股骨颈部几何因素及骨密度对髋部骨折的影响,通过生物力学试验研究髋部生物力学性能与二者的关系。方法 随机选取16例甲醛浸泡国人成年男性尸体股骨上段标本,测量其几何参数(包括股骨颈长、股骨颈直径、股骨头直径及颈干角)和骨密度,再通过生物力学试验,比较各因素对股骨颈生物力学特性的影响。结果 转子间骨密度、股骨颈骨密度及股骨头直径与股骨的生物力学特性有明显的相关性($r = 0.792, r^2 = 0.628, P < 0.001$; $r = 0.749, r^2 = 0.560, P = 0.001$; $r = 0.706, r^2 = 0.499, P = 0.002$)。逐步线性回归分析结果显示转子间骨密度、股骨头直径和股骨颈直径相结合是预测髋部骨折的最好方法($r^2 = 0.844, P < 0.001$)。结论 骨密度值结合股骨近端几何参数能提高对骨质疏松性髋部骨折的预测。

关键词: 骨质疏松; 骨密度; 几何参数; 髋部骨折

Biomechanical evaluation of the effect of femoral neck fracture about geometric factors and bone mineral density ZHANG Yang, LEI Wei, WU Zixiang, et al. Department of Orthopaedics, Xijing Hospital, Xi'an 710032, China

Abstract: **Objective** To evaluate the effect of hip fracture about geometric factors and bone mineral density and to explore the correlation between them by mechanical test. **Methods:** sixteen specimens of cadaveric human proximal femurs were selected randomly and measured their geometric factors(include neck axis length, neck diameter, head diameter and neck-shaft angle) and bone mineral density. Measure the forces at failure(N) to compare effect of these factors. **Results:** Significant correlation was shown between femur biomechanical properties and trochanter BMD, neck BMD and head diameter ($r = 0.792, r^2 = 0.628, P < 0.001$; $r = 0.749, r^2 = 0.560, P = 0.001$ and $r = 0.706, r^2 = 0.499, P = 0.002$). Stepwise linear regression analysis showed that the best predictor of hip fracture was the combination of trochanter BMD, head diameter and neck diameter($r^2 = 0.844, P < 0.001$). **Conclusions:** The results confirm that the combination of BMD and upper femur geometry improve the assessment of the risk of osteoporotic hip fracture and that bone geometry plays an important role in the evaluation of bone strength.

Key words: Osteoporosis; Bone mineral density; Geometric factor; Hip fracture

髋部骨折是一种常见的创伤,多见于老年人,而骨质疏松是造成老年人髋部骨折的重要因素之一。研究表明骨质疏松性髋部骨折与骨密度及局部骨小梁结构有密切的相关性^[1,2],股骨近端几何参数在评估股骨颈生物力学特性及髋部骨折发生方面也十分

重要^[3,4],因此对患者骨密度及股骨近端几何因素的研究有利于预测患者股骨颈生物力学特性及骨折风险。本实验通过对标本的相关数据测量和生物力学实验分析,以了解骨密度及股骨颈近端几何参数对其生物力学特性的影响及相互关系。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 标本准备:收集甲醛浸泡国人(蒙古利亚人种、黄种人)成年男性尸体股骨标本16例,平均年龄

作者单位: 710032 西安,第四军医大学西京医院全军骨科研究所(张扬、雷伟、吴子祥);西安交通大学机械学院机械振动与结构强度国家重点实验室(于良)

通讯作者: 雷伟, Leiwei@fmmu.edu.cn

为78岁(53~89岁)。去除股骨头及颈部组织,经X线检查,排除畸形、骨折等病变,制成16个股骨标本。所有股骨均用游标卡尺测量股骨近端几何参数(包括股骨颈长、股骨颈直径、股骨头直径及颈干角,图1)及用DEXA测量股骨颈和转子间的骨密度(bone mineral density, BMD,图2)。使用双层塑料袋包裹置于-20℃深低温冰柜保存。测试前24h取出,室温下自然解冻后进行实验。

1.1.2 实验仪器:双能X线吸收骨密度仪(Lunar Corp. Madison, WI, USA), MTS 880生物材料实验机(MTS System Inc, Minneapolis, USA)。

1.2 方法

将16例股骨标本测量其股骨颈中部垂直于股骨颈长轴平面及股骨近端转子间的平均骨密度后,将股骨标本两端固定于特制的夹具上,该夹具作用是将股骨干固定,避免滑动并与MTS 880生物材料实验机垂线成16°夹角,模拟人单足站立下的股骨受力情况。连接完毕后在垂直方向以5 mm/min的加载速度从原始载荷开始逐渐增加直至股骨头或颈部破坏(破坏标准:标本出现骨折,股骨颈、股骨头破裂)。实验机载荷信号由计算机数据采集系统记录,并由相应软件计算出最大载荷。



图2 骨密度测量仪

2 结果

所测量的股骨标本其平均最大载荷值为8658.18 N,转子间平均骨密度为0.590 g/cm² ± 0.14 SD,股骨颈平均骨密度为0.614 g/cm² ± 0.76 SD。平均股骨颈长为101.89 mm ± 8.80 SD,平均股骨颈直径31.88 mm ± 3.19 SD,平均股骨头直径46.78 mm ± 4.24 SD,平均颈干角为124.48° ± 6.83 SD(表1)。

表1 16例股骨标本几何因素、骨密度及最大载荷

编号	股骨颈长 (mm)	股骨颈直径 (mm)	股骨头直径 (mm)	颈干角 (°)	骨密度 (g/cm ²)		极限 载荷 (N)
					转子间	股骨颈	
1	90.2	27.3	40.9	118.9	0.488	0.591	7568.7
2	116.3	37.5	52.2	123.1	0.721	0.709	9343.2
3	102.6	34.4	46.8	122.2	0.540	0.491	7260.2
4	93.5	30.8	41.6	126.6	0.569	0.574	7190.8
5	109.4	30.7	52.7	126.2	0.530	0.542	10546.3
6	94.1	31.0	45.2	127.8	0.641	0.623	8215.1
7	108.3	35.6	48.9	131.5	0.671	0.647	9947.2
8	107.9	37.1	51.8	125.7	0.989	0.776	13728.1
9	101.2	29.4	45.5	133.9	0.437	0.565	6810.4
10	97.3	30.5	44.1	119.8	0.503	0.589	5542.5
11	91.7	28.2	43.0	126.2	0.591	0.687	9317.9
12	105.1	33.4	48.3	110.8	0.480	0.539	5879.6
13	97.8	30.9	44.0	113.1	0.501	0.577	6971.7
14	101.2	28.7	45.3	133.5	0.439	0.569	6813.3
15	120.1	34.9	54.8	132.3	0.701	0.710	14497.8
16	93.6	29.7	43.3	120.0	0.636	0.641	8897.9
\bar{x}	101.89	31.88	46.78	124.48	0.590	0.614	8658.18

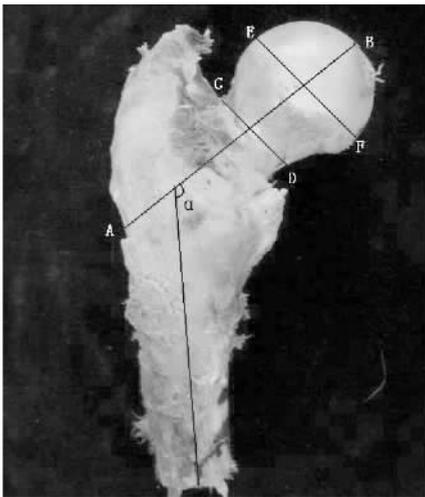


图1 股骨标本近端几何参数

A-B 股骨颈长 C-D 股骨颈直径 E-F 股骨头直径 α 颈干角

1.3 统计学处理

采用SPSS 13.0统计软件分析。各股骨颈几何因素、骨密度及最大载荷值采取线性相关回归及逐步多元回归模型进行分析,比较不同因素对股骨颈最大载荷的影响及其相互关系。

2.1 股骨颈骨密度及各几何参数与最大载荷的 Pearson's 相关系数、决定系数及 P 值

通过线性相关回归分析可见,股骨颈骨密度($r = 0.749$, $r^2 = 56.0\%$, $P = 0.001$)、股骨头直径($r = 0.706$, $r^2 = 49.9\%$, $P = 0.002$)与股骨近端极限载荷间有明显的相关性;股骨颈长($r = 0.599$, $r^2 = 35.9\%$, $P = 0.014$)、股骨颈直径($r = 0.516$, $r^2 = 26.6\%$, $P = 0.041$)与极限载荷有一定的相关性;股骨颈干角的度数($r = 0.402$, $r^2 = 16.2\%$, $P = 0.122$)与其之间没有明显的相关性;而股骨近端转子间骨密度($r = 0.792$, $r^2 = 62.8\%$, $P < 0.001$)较其他因素与极限载荷之间有最为明显的相关性(表2)。

2.2 预测髌部骨折的变量组合的多元回归分析

本实验通过多元线性回归分析,描述预测髌部骨折的最佳变量组合。经过分析,最佳变量组合是转子间骨密度、股骨头直径和股骨颈直径($r^2 = 84.4\%$)。其次是转子间骨密度及股骨头直径($r^2 = 70.7\%$)。后面依次是转子间骨密度、颈干角和股骨颈长($r^2 = 70.5\%$)、转子间骨密度和股骨颈长($r^2 = 67.4\%$)等(表3)。

表2 测量的预测变量与最大载荷的相关性

指标	r	$r^2(\%)$	P 值
转子间骨密度	0.792	62.8	<0.001
股骨颈骨密度	0.749	56.0	0.001
股骨头直径	0.706	49.9	0.002
股骨颈长	0.599	35.9	0.014
股骨颈直径	0.516	26.6	0.041
颈干角度数	0.402	16.2	0.122

表3 预测变量不同组合的多元回归分析

指标	$r^2(\%)$	P 值
转子间骨密度	84.4	<0.001
股骨头直径		<0.001
股骨颈直径		0.004
转子间骨密度	70.7	0.004
股骨头直径		0.029
转子间骨密度	70.5	0.001
颈干角		0.153
股骨颈长		0.105
转子间骨密度	67.4	0.001
股骨颈长		0.062
转子间骨密度	65.7	<0.001
颈干角		0.092

3 讨论

老年人随着年龄的增高其骨质疏松的发生率也增加,骨质疏松是造成髌部骨折重要的危险因素之一,任何轻微的暴力即有可能造成老年人的髌部损伤。骨量的减少是影响骨生物力学强度的重要因素,因此临床检测骨密度是评价髌部骨折的重要指标^[5,6]。然而研究表明单独以骨密度进行髌部骨折预测准确率并不高,骨密度结合股骨近端几何参数更能够提高预测的准确性^[7,8]。通过试验数据显示:股骨近端转子间骨密度、股骨颈骨密度($r = 0.792$, $r^2 = 62.8\%$, $P < 0.001$; $r = 0.749$, $r^2 = 56.0\%$, $P = 0.001$)较其他因素与极限载荷之间有最为明显的相关性。这与 Le Bras 等^[9]及 Pulkkinen 等^[10]的研究结果一致。Duboeuf 等^[11]通过试验认为股骨颈及股骨头直径不是预测髌部骨折的因素,Alonso 等^[12]认为股骨颈长和髌部骨折危险性也没有相关性。但本试验证实股骨头直径($r = 0.706$, $r^2 = 49.9\%$, $P = 0.002$)与股骨近端极限载荷间有明显的相关性;股骨颈长($r = 0.599$, $r^2 = 35.9\%$, $P = 0.014$)、股骨颈直径($r = 0.516$, $r^2 = 26.6\%$, $P = 0.041$)与极限载荷有一定的相关性,这与一些学者的结论一致^[7,13]。Pulkkinen 等^[14]认为在众多几何参数中,颈干角是预测髌部骨折尤其对于股骨颈骨折类型最好的参数指标,不同性别及极限载荷的标本其预测髌部骨折类型的最佳因素是颈干角的度数。但本试验结果显示股骨颈干角的度数($r = 0.402$, $r^2 = 16.2\%$, $P = 0.122$)与其之间没有明显的相关性,结果不同的原因可能与标本的性别差别有关。

由于髌部生物力学性能受骨密度及集合参数众多因素的影响,我们应用逐步多元回归分析那些参数组合最有意义,能够预测髌部骨折发生的危险性。本实验结果显示最能预测髌部骨折发生可能性的变量组合是股骨转子间骨密度、股骨头直径及股骨颈直径。说明3个因素不仅单独能够影响髌部力学性能,而且通过变量的组合最能预测骨折的风险。股骨颈骨密度及转子间骨密度两因素单独都能对股骨近端极限载荷产生影响,且较几何参数影响力更大;但二者中转子间骨密度在结合其他因素预测方面则更有意义。结果显示骨密度结合几何参数联合预测髌部骨折较单独骨密度预测骨折的危险性及骨折的类型具有更好的准确性,这与 Pulkkinen 等^[7]及 Faulkner 等^[13]的实验结果一致。

骨质疏松性骨折(OF)具有明显的种族差异性,

研究表明各类 OF 发生的危险性以高加索人(白种人)为最高,尼格罗人(黑种人)为最低,其他种族居中^[15]。骨几何参数差异可能是 OF 发生率种族差异的主要原因之一,骨强度是抗骨折能力的最终标准,它主要由骨 BMD 与骨几何参数决定^[16]。一项白种人和黑种人女性髌部骨折风险研究表明,黑种人具有更高的峰值骨量和骨强度,这可能解释了黑种人 OF 发生率低于白种人的现象^[17]。亚洲人群(黄种人)较白种人具有较小的骨骼和较低的 BMD 值,髌部骨折风险则较低。比较研究发现,中国人群峰值骨量较同年龄组白种人低 15% 左右,股骨颈部 BMD 值随年龄升高而降低的速度也较白种人快^[18],这些结果提示了除 BMD 种族差异的影响外,高加索人和亚洲人群之间髌部骨折发生率差异还可能受股骨颈部几何参数差异的影响。而本组实验为减少性别差异全部选择为男性标本。

因此相比单独骨密度因素进行预测,骨密度结合股骨近端几何参数能够明显提高预测髌部骨折风险的准确率,股骨近端几何参数在评估股骨生物力学强度方面也起到重要作用。这一方法对临床中预测髌部骨折的危险性起到很好的作用。

【参 考 文 献】

- [1] Ulrich D, Van Rietbergen B, Laib A, et al. The ability of three-dimensional structural indices to reflect mechanical aspects of trabecular bone. *Bone*, 1999, 25(1):55-60.
- [2] Hawker GA, Jamal SA, Ridout R, et al. A clinical prediction rule to identify premenopausal women with low bone mass. *Osteoporos Int*, 2002, 13(5):400-406.
- [3] Gnudi S, Ripamonti C, Lisi L, et al. Proximal femur geometry to detect and distinguish femoral neck fractures from trochanteric fractures in postmenopausal women. *Osteoporos Int* 2002, 13(1):69-73.
- [4] Bouxsein ML, Szulc P, Munoz F, et al. Contribution of trochanteric soft tissues to fall force estimates, the factor of risk, and prediction of hip fracture risk. *J Bone Miner Res* 2007, 22(6):825-831.
- [5] Rivadeneira F, Zillikens MC, De Laet CE, et al. Femoral neck BMD is a strong predictor of hip fracture susceptibility in elderly men and women because it detects cortical bone instability: the rotterdam study. *J Bone Miner Res* 2007, 22(11):1781-1790.
- [6] Partanen J, Heikkinen J, Jämsä T, et al. Characteristics of lifetime

factors, bone metabolism, and bone mineral density in patients with hip fracture. *J Bone Miner Metab* 2002, 20(6):367-375.

- [7] Pulkkinen P, Partanen J, Jalovaara P, et al. Combination of bone mineral density and upper femur geometry improves the prediction of hip fracture. *Osteoporos Int* 2004, 15(4):274-280.
- [8] Szulc P, Duboeuf F, Schott AM, et al. Structural determinants of hip fracture in elderly women: re-analysis of the data from the EPIDOS study. *Osteoporos Int* 2006, 17(2):231-236.
- [9] Le Bras A, Kolta S, Soubrane P, et al. Assessment of femoral neck strength by 3-dimensional X-ray absorptiometry. *J Clin Densitom*, 2006, 9(4):425-430.
- [10] Pulkkinen P, Jämsä T, Lochmüller EM, et al. Experimental hip fracture load can be predicted from plain radiography by combined analysis of trabecular bone structure and bone geometry. *Osteoporos Int* 2008, 19(4):547-558.
- [11] Duboeuf F, Hans D, Schott AM, et al. Different morphometric and densitometric parameters predict cervical and trochanteric hip fracture: the EPIDOS Study. *J Bone Miner Res*, 1997, 12(11):1895-1902.
- [12] Alonso CG, Curiel MD, Carranza FH, et al. Femoral bone mineral density, neck-shaft angle and mean femoral neck width as predictors of hip fracture in men and women. Multicenter Project for Research in Osteoporosis. *Osteoporos Int* 2000, 11(8):714-720.
- [13] Faulkner KG, Wacker WK, Barden HS, et al. Femur strength index predicts hip fracture independent of bone density and hip axis length. *Osteoporos Int* 2006, 17(4):593-599.
- [14] Pulkkinen P, Eckstein F, Lochmüller EM, et al. Association of geometric factors and failure load level with the distribution of cervical vs. trochanteric hip fractures. *J Bone Miner Res* 2006, 21(6):895-901.
- [15] Barrett-connor E, Siris ES, Wehren LE, et al. Osteoporosis and fracture risk in women of different ethnic groups. *J Bone Miner Res*, 2005, 20(2):185-194.
- [16] Ammann P, Rizzoli R. Bone strength and its determinants. *Osteoporos Int* 2003, 14(Suppl 3):513-518.
- [17] Nelson DA, Pettifor JM, Baroness DA, et al. Comparison of cross-sectional geometry of the proximal femur in white and black women from Detroit and Johannesburg. *J Bone Miner Res* 2004, 19(4):560-565.
- [18] Liao EY, Wu XP, Deng XG, et al. Age-related bone mineral density, accumulated bone loss rate and prevalence of osteoporosis at multiple skeletal sites in chinese women. *Osteoporos Int*, 2002, 13(8):669-676.

(收稿日期 2008-10-28)