

皮质厚度在骨质疏松性髋部骨折中的应用研究

梁伟¹ 吴斗^{1,2} 赵恩哲² 田亮² 郜振武² 邢浩² 刘强^{1,2}

【摘要】 骨质疏松性髋部骨折作为老年骨质疏松症的严重并发症,是临床医生重点关注的问题。临床中多通过骨密度来评价脆性骨折的发生风险。而通过常规影像学检查获得的皮质厚度,在预测髋部骨折风险方面具有重要的辅助作用,特别是结合骨密度、股骨近端几何结构以及多种生化指标时,可明显提高骨折风险评估的准确率。而对于骨折的治疗,皮质厚度在术式、内固定选择以及术中强化内固定稳定性等方面的作用得到了广泛认识。患者术后恢复情况及治疗的效果评价同样可以通过皮质厚度来评估。本文对皮质厚度的研究和临床应用状况进行综述。

【关键词】 骨质疏松症; 髋骨折; 骨密度; 皮质厚度

Application research of Cortical thickness in osteoporotic hip fractures Liang Wei¹, Wu Dou^{1,2}, Zhao Enzhe², Tian Liang², Gao Zhenwu², Xing Hao², Liu Qiang^{1,2}. ¹Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China; ²Department of Orthopedics, Shanxi Academy of Medical Sciences, Shanxi Da Yi hospital, Taiyuan 030032, China

Correspondence author: Wu Dou, Email: 295231578@qq.com

【Abstract】 Osteoporotic hip fractures is a severe complication of osteoporosis and a concern for clinicians. Traditional evaluation of bone mineral density (BMD) is widely used in clinical work for osteoporosis. The cortical thickness can be conveniently obtained through routine examination, which is a significant parameter for predicting hip fractures. Meanwhile, with the combination of cortical thickness, bone mineral density, femoral anatomic structure and multiple biochemical indexes, the accuracy rate of predicting hip fractures is well improved. BMD is also very important in the bone quality evaluation, the choice of internal fixation and stability of inner plant in the treatment of hip fractures. Cortical thickness is efficacy to assess the antiosteoporosis therapy and postoperative recovery. This paper summarize current research status and the development of cortical thickness.

【Key words】 Osteoporosis; Hip fractures; Bone density; Cortical thickness

骨质疏松性骨折,尤其是骨质疏松性髋部骨折(股骨颈骨折及股骨粗隆间骨折),具有致畸致残率高、社会经济负担重等特点,一直是骨科临床工作中的重点和难点问题^[1-2]。随着65岁以上老年人口的增多,其发病率迅猛增长。骨质疏松症(osteoporosis, OP)的主要特点表现为骨密度和骨质量两方面的损害,从而使骨的生物力学减弱,增加了脆性骨折的风险^[3]。近些年,国内外学者对皮质骨厚度的研究逐渐增多,且其在脆性髋部骨折中的应用价值得到广泛认可。

一、OP骨皮质的变化

过去很长时间内,人们认为松质骨中骨小梁的断裂或者丢失是导致骨质疏松性骨折的主要原因。事实上,在人的一生中皮质骨骨量的丢失可达到70%,而其中50%的骨量丢失

来自于骨皮质髓腔侧的三分之一,而其所构成骨体积的总量要远远小于外侧三分之二骨体积总量。Ward等^[4]用外周骨定量CT(quantitative computed tomography, QCT)仪测量皮质骨厚度变化,发现50岁以上成年人的皮质骨厚度每十年下降14%。皮质骨承受的压力大小取决于骨的几何形态、骨密度、部位和承受载荷的方向。长骨一般为管状结构,其所承受的载荷主要防止骨骼弯曲变形^[5]。骨生物力学实验已经证明,在松质骨分布的一些主要部位,骨小梁断裂继发于皮质骨微细结构的改变^[6],如椎体或者股骨颈骨折。当骨小梁断裂和丢失后,由类似皮质骨外壳承受所有负荷。Holzer等^[7]经过对9例尸体的18个股骨颈取样研究后发现,股骨颈皮质骨所承受的负荷远远大于松质骨,皮质骨退变和骨量丢失后发生骨质疏松性骨折的可能性增大。因此,松质骨中骨小梁的断裂、变细与骨皮质变薄、遭受破坏,在发生脆性骨折时起决定性作用。Zebaze等^[8]探索皮质骨破坏的机制时发现在皮质骨中形成了大量的“气孔”,这种气孔并不是由于骨吸收在皮质骨内表面形成的。而这种消融性向外扩张的气孔会引起骨皮质变薄^[9],该研究认为这种气孔形成的机制是由于骨

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-0263.2018.03.012

基金项目: 山西省科技基础条件平台项目(2015091002-0105)

作者单位: 030001 太原,山西医科大学¹; 030032 太原,山西医学科学院 山西大医院骨科²

通信作者: 吴斗, Email: 295231578@qq.com

皮质内部结构的改变,即横穿皮质骨内部的哈佛氏系统管道遭到破坏而导致,并且已应用QCT和高倍显微镜对成年女性桡骨远端代表性区域中皮质骨和松质骨的变化,进行了定量的对比分析,证实了上述理论。Chappard等^[10]使用micro-CT(micro-computed tomography)对20例股骨近端多个位置的骨样本进行研究,发现股骨颈处皮质骨内多孔网状结构在骨外膜侧较少,而在骨内膜处多孔网状结构明显增加,多孔网状结构数量由髓外向髓内呈递增趋势。

二、髌部皮质骨厚度预测老年髌部骨折风险

利用髌部皮质骨厚度评估老年髌部骨折风险的使用价值已经被许多学者提出。Poole等^[11]在临床普通的CT图像上,运用股骨皮质厚度图谱成像技术得到了股骨三维图像,并且经过分析得出股骨颈上部即股骨颈与股骨头连接的部位是最容易也是最先出现骨折裂缝的地方,再与临床上150例病例相对比之后,验证了此结论。所以建议临床医师通过测量股骨颈上部的皮质厚度来评价髌部发生脆性骨折的风险。Courtts等^[12]研究发现股骨颈上外侧的皮质骨密度减低及皮质厚度变薄与发生股骨颈骨折具有相关性,验证了Poole等的结论。Feola等^[3]回顾152例一侧髌部骨折老年患者的骨盆X线平片中股骨近端的皮质厚度,证实骨折一侧的平均股骨皮质厚度较健侧的平均股骨皮质厚度小。Im等^[13]对140例发生髌部脆性骨折老年患者的患侧髌关节正侧位X线片中股骨近端皮质骨的厚度进行了测量,证实股骨近端皮质骨厚度的测量是一个很实用的评估髌部脆性骨折的方法。Tarantino等^[14]使用同样的方法对100例髌部脆性骨折老年皮质厚度进行了测量,证实股骨近端皮质骨厚度的测量不仅可以评估髌部脆性骨折的风险,而且可用于预测骨密度检测结果正常或骨量减低老年人群发生髌部骨折的风险。Napoli等^[15]使用股骨小粗隆下3 cm处的皮质厚度来评估皮质厚度与髌部发生脆性骨折风险大小的相关性,最终得到当骨皮质厚度较薄时,发生股骨颈、股骨粗隆间、股骨粗隆下以及股骨干脆性骨折的风险明显增高。Kersh等^[16]在评价股骨颈异质性对股骨颈结构和生物力学的影响时,发现皮质正中厚度是评价股骨颈脆性骨折的一项有意义参数。我国学者栗平等^[17]对比了100例髌部骨折患者与100例健康老年人的股骨外侧皮质厚度,认为髌部骨折组的股骨外侧皮质骨厚度明显减小。侯宜刚等^[18]也得出股骨颈皮质指数(femoral Cortex Index, FCI)与股骨外侧皮质厚度减小,对于预测髌部骨折有很大价值。同时,年龄、性别与皮质厚度也密切相关,并可作为预测髌部骨折的因素。Johannesdottir等^[19]研究发现老年男性和女性股骨颈上部和下部的皮质厚度随年龄的增大均有明显的减小,并且老年女性皮质变薄程度较男性更为明显。Nicks等^[20]经研究得到了相同的答案,并且股骨颈上端的皮质厚度与年龄具有相关性。Wang等^[21]对中国607例55岁以上老年人的股骨颈进行研究,得出女性更容易随年龄的增大而引发股骨颈各种参数的变化,其中就包括皮质骨变薄。任晓静^[22]的研究显示,绝经后女性随年龄增长,股骨近端骨皮质变薄,骨折风险增大,并且股骨近端骨皮质厚度是判定绝经后妇女髌部

脆性骨折的最相关危险因素。蔡思清等^[23]对225例老年女性患者股骨近端的几何结构进行了研究,发现随着年龄增长,股骨上端骨皮质变薄、髓腔扩大,骨折风险加大。Kang等^[24]探讨股骨近端承受压力的大小与年龄、体重指数、绝经年限以及股骨皮质厚度等指标的相关性,得到年龄与股骨皮质厚度呈负相关性,而股骨皮质厚度变薄使得股骨近端承受负荷的能力减弱,同时得出体重指数、雌激素等与股骨近端承受载荷能力成正相关性。Malo等^[25]研究发现随年龄增大,骨皮质内部的破坏逐渐增多,皮质微结构的强度和刚度均下降,从微观角度解释了发生脆性骨折的机制。赵程等^[26]对不同骨折类型、骨密度以及股骨近端几何结构进行了对比,证实皮质厚度和骨密度结合股骨近端几何结构参数,能提高骨质疏松性髌部骨折及骨折类型预测的准确率。Weiser等^[27]通过生物力学实验后证实,髌关节与膝关节假体之间的骨折与假体之间的距离无相关性,皮质厚度是发生假体间骨折的决定性因素。然而皮质厚度的测量易受到测量仪器、患者拍摄体位及观察者的主观因素影响。虽然国内外对测量方法不断进行创新与改进^[28-34],但是仍然存在一定的缺陷。笔者研究了国内外较多文献报道及临床大样本数据,认为临床中皮质厚度的测量已被多数学者所接受。

三、皮质厚度结合骨密度及骨代谢生化指标预测骨质疏松性髌部骨折

虽然现在对于皮质厚度的研究越来越深入,其预测脆性骨折的重要价值也不断被学者所认可,但对于皮质厚度预测髌部骨质疏松性骨折的准确率却一直存在争议。而国内外文献多倾向于将皮质厚度与其他可预测指标结合起来提高预测的准确率。骨密度检查作为临床及科研工作中诊断OP的常用指标,为广大学者接受。根据WHO推荐的诊断OP标准,即BMD值低于健康人2.5个标准差即诊断为OP,即 $T \text{ 值} \leq -2.5SD$ 。骨密度可有效预测脆性骨折,对行抗脆性骨折或者抗骨质疏松治疗效果的评价也具有重要意义。而Sale等^[35]的研究表明,骨密度的测定低估了骨折风险,充分提示了骨折风险的预测应是多项反映骨量减少指标的综合评估,单一指标的测定会降低预测的准确率。Yang等^[36]利用QCT对50例髌部骨折和50例未发生髌部骨折的绝经女性进行研究,将股骨颈、股骨头、股骨粗隆间及股骨大粗隆横截面分为四个象限,并分别对四个象限中骨皮质的皮质厚度、皮质骨体积骨密度进行测定,发现皮质骨体积骨密度与皮质厚度对于髌部骨折的诊断均有意义,在预测和诊断髌部骨折准确率方面,二者相结合比单测量髌部局部区域的骨密度要明显占优势。Yeung等^[37]随访了112例绝经18年以上的老年女性,发现当骨密度以每年1.7%的速度下降时,髓腔则以每年0.9%的速率增宽,最终得出骨密度的丢失程度和皮质厚度的减小呈明显正相关。Sah等^[38]得到了相同的结果,即股骨皮质厚度与髌部骨密度有很高的相关性,并且建议FCI低于0.4时,行髌部骨密度检测或者OP的评估。Li等^[39]对95例髌部脆性骨折和63例骨密度正常的非髌部骨折绝经女性进行研究,研究内容为使用股骨颈轴长、颈干角以及皮质厚度等内部因素

来区分髋部骨折的种类,最终得到以上三者均与髋部骨折相关,但均做不到准确区分髋部骨折的种类。钟润泉等^[40]利用双能X线骨密度测量仪检测47例髋部骨折的股骨颈、Ward's三角和转子等处的骨密度,并且所有受试对象均拍摄包括股骨上段在内的骨盆X线平片,测量股骨颈轴长、颈干角、同一平面股骨上端骨皮质厚度,得到髋部骨密度、股骨上端几何结构结合皮质厚度可明显提高髋部脆性骨折预测的准确率。而戴鹤玲等^[41]对80例髋部骨折及80例正常老年人行相同指标测量,髋部骨折组BMD较对照组有明显下降、股骨外侧皮质骨厚度明显减小、颈干角比对照组钝,股骨颈轴长、髋轴长长于对照组,股骨颈宽度宽于对照组。但是Tarantino等^[14]研究中发现,通过测量骨密度后诊断为OP的患者人数占骨折组的57%,而骨折组中皮质厚度低于平均皮质厚度的人数比前者多21例,故作者认为运用皮质厚度评价脆性骨折风险不仅是一个很实用的方法,而且可提高OP的诊断率,弥补了骨密度检测的不足。Dorr^[42]对股骨近端各部位的皮质厚度、股骨近端部分骨样本的矿物质、血清钙浓度、甲状旁腺素行定性和定量的测定,同时根据股骨近端X线片上测量的股骨皮质厚度将受试对象分为A、B、C三种类型,通过对比分析后得出A组的皮质厚度高于B组,B组的皮质厚度高于C组,同时相对应的股骨髓腔宽度的变化则是呈逐渐增大趋势,研究中还得出A组中男性所占的比例较后两组明显大,而且C组中老年女性所占的比例最大。但该实验中,未发现之前提到的血清中生化指标之间有明显的统计学差异。同时Feola等^[3]对152例发生髋部脆性骨折老年患者的股骨皮质厚度、骨密度、血清钙浓度、1,25-(OH)₂D₃和合并症种类进行了综合比较后认为,在血清钙浓度、1,25-(OH)₂D₃含量明显低于正常范围的患者中,其皮质厚度要明显低于浓度正常患者的皮质厚度,存在一种合并症患者的皮质厚度高于存在较多种合并症患者的皮质厚度,差异具有统计学意义。Shigdel等^[43]研究了443例发生髋部骨折的绝经女性血清中的骨转化指标(bone turnover markers, BTM)含量后发现,股骨皮质内部微结构的破坏和皮质厚度的变薄与BTM含量的增高有明显相关性。李毅中等^[44]认为,股骨颈皮质变薄和骨密度降低是导致骨质疏松性股骨颈骨折的重要因素,并且小转子上2 cm处股骨颈的长径皮质比率和小转子上2 cm处股骨颈宽径皮质比率是观察股骨颈皮质骨变化的有效指标。而Baumgärtner等^[45]经过研究后发现,股骨近端皮质厚度在日常使用中,具有较高可靠性,但是在有髋部骨折史的老年患者中,没有发现股骨皮质厚度与髋部骨密度存在相关性,所以不推荐使用皮质厚度评价髋部骨折患者髋关节骨密度。庄华烽等^[46]在文章中提到,股骨颈皮质变薄、骨密度下降与股骨颈骨折密切相关;骨密度快速下降期主要集中在50~64岁,骨密度的测量适合评估这个年龄段股骨颈骨折的风险;而对于65岁以上的年龄段,皮质骨厚度的变薄是股骨颈骨强度下降的主要因素,同时也是老年人发生骨质疏松性股骨颈骨折的重要因素。张迪晖等^[47]将皮质厚度与髋部Singh指数结合研究后认为,髋部骨折往往发生在两侧髋部

骨质疏松程度较为严重的一侧,对比双侧髋的Singh指数和皮质骨厚度可以提高髋部骨折风险的预测,在治疗上可给予针对性的措施,以防止骨折的发生。

四、皮质厚度在髋部骨折治疗中的指导

对于老年髋部骨折,临床中治疗方案多种多样,包括髓内固定、髓外固定及髋关节置换,股骨头骨折多可严重影响股骨头的血运,多予以髋关节置换(半髋关节置换或全髋关节置换),对于存在多种内科合并症、不符合手术适应证的老年患者,可选择保守治疗,但是患者长期卧床,致畸致死率明显高于行手术治疗导致的致残率和死亡率。由于粗隆间骨折对股骨近端血供干扰较小,临床上可选择的方案比较多。汪伟等^[48]通过CT测量正常国人股骨大体形态参数后认为股骨形态多样复杂,提出与假体相关的设计理念,认为有必要设计符合国人的假体,而且该研究认为随着年龄增长,髓腔内径会有改变,主要是由于皮质变薄所致,同时,也是导致关节置换后假体松动的原因之一,这与Brown等^[49]的结论相一致。有学者回顾性研究股骨转子间骨折行股骨近端防旋髓内钉(proximal femoral nail anti-rotation, PFNA)内固定术的157例患者的术前髋关节正侧位X线上股骨外侧壁皮质厚度,按照术后发生PFNA内固定失效与否将研究对象分为A(内固定失败)和B(内固定未失效)两组,术前A组外侧壁厚度为18.1 mm,小于B组的21.6 mm,差异有统计学意义,即当外侧壁厚度较小时易发生内固定失效^[50],这与Hsu等^[51]的结果一致,研究还发现当外侧壁厚度小于20.5 mm时,尽量不单独使用动力髋螺钉(dynamic hip screw, DHS),因为DHS易导致外侧壁的骨折。虽然DHS与PFNA之间存在差异,但PFNA置入螺旋刀片钻孔扩髓时,会对外侧壁的稳定有一定的削弱作用。皮质厚度的测量不仅对于预测脆性骨折风险、评估骨质量方面有重要意义,而且对于指导髋关节置换时使用何种假体具有同样重要的作用。Dorr等^[52]使用股骨近端几何形态参数及皮质厚度指导髋关节置换时水泥型假体的选择,对临床的指导具有更深远的影响。Spotorno等^[53]研究建议,如果MCI(髋关节X平片上小转子平面股骨横径/小转子平面下7 cm处髓腔宽度)指数大于3.0时,建议使用非水泥型假体应用于髋关节置换,若MCI指数小于2.3时,建议髋关节置换术中使用水泥型假体。Feola等^[3]在研究中使用沿股骨轴线上小转子远端10 cm处髓腔的宽度和平面处股骨外径的比值,即FCI,研究发现FCI与骨密度呈高度负相关,并且推荐在髋部或骨盆X线片上测量股骨FCI作为临床预测骨质疏松性骨折风险及衡量骨质量的常用方法。Chen等^[54]和Niimi等^[55]在一组对照试验中使用粗隆下股骨的皮质厚度来验证长期使用双磷酸盐是否会引起皮质骨的广泛增厚,得出长期使用双磷酸盐治疗OP并不能使骨皮质广泛的增厚。Engelke等^[56]使用同样方法研究药物奥当卡替的抗OP的效果,发现受试者使用2年该药物后,髋部各区域的骨皮质普遍增厚(除股骨颈以外)。

五、小结

通过临床随机对照试验、大样本数据及临床回顾证实,

皮质厚度在预测老年脆性髋部骨折发生风险中具有重要应用价值,它符合股骨皮质微细结构的消失和破坏规律,同时也符合骨质疏松时皮质骨的生物力学变化。通过各种影像设备,如骨盆正位或者髋关节正侧位X线和髋关节CT检查以及QCT,可判断股骨上段的生物力学强度及骨质疏松程度,但放射技师应注重对皮质厚度的测量,尽量减小偏倚。髋部皮质厚度的测量结合骨密度、骨代谢生化指标以及股骨近端几何结构,可提高髋部脆性骨折的预测准确率,对于股骨颈前外侧或后外侧等位置骨质量的评估,还可弥补骨密度等单一指标对髋部骨折风险精准预测的缺陷。毋庸置疑,对于髋部骨折的治疗,手术是最佳治疗方法,术中应恢复髋部周围生物力线及解剖结构,而股骨皮质厚度结合股骨上端几何形态的研究,对髓内、髓外固定系统的稳定性、髋关节假体的设计、选择、置入都有重要参考价值。但手术方式的选择仍要考虑患者的身体条件,比如是否存在多种内科合并症、骨折分型及稳定性等均会影响手术的效果,术前对于皮质骨厚度的测量也可用于评估内固定的把持强度。目前,对于皮质骨厚度的相关研究已经历半个世纪,其临床应用价值也逐渐被科研工作者不断发掘,但相关文献均为小样本研究,后续仍需大样本研究支持,以期为更广泛的临床推广及研究提供充分的理论依据。

参 考 文 献

- Cummings SR, Melton LJ. Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures [J]. *Lancet*, 2002, 359(9319): 1761-1767.
- Kanis JA, Oden A, Johnell O, et al. The components of excess mortality after hip fracture [J]. *Bone*, 2003, 32(5): 468-473.
- Feola M, Rao C, Tempesta V, et al. Femoral cortical index: an indicator of poor bone quality in patient with hip fracture [J]. *Aging Clin Exp Res*, 2015, 27(Suppl 1): S45-S50.
- Ward KA, Adams JE, Hangartner TN. Recommendations for thresholds for cortical bone geometry and density measurement by peripheral quantitative computed tomography [J]. *Calcif Tissue Int*, 2005, 77(5): 275-280.
- Turner CH, Burr DB. Basic biomechanical measurements of bone: a tutorial [J]. *Bone*, 1993, 14(4): 595-608.
- Bell KL, Loveridge N, Power J, et al. Intracapsular hip fracture: increased cortical remodeling in the thinned and porous anterior region of the femoral neck [J]. *Osteoporos Int*, 1999, 10(3): 248-257.
- Holzer G, Von Skrbensky G, Holzer LA, et al. Hip fractures and the contribution of cortical versus trabecular bone to femoral neck strength [J]. *J Bone Miner Res*, 2009, 24(3): 468-474.
- Zebaze RM, Ghasem- Zadeh A, Bohte A, et al. Intracortical remodelling and porosity in the distal radius and post-mortem femurs of women: a cross-sectional study [J]. *Lancet*, 2010, 375(9727): 1729-1736.
- Zebaze RM, Seeman E. Cortical stability of the femoral neck and hip fracture risk [J]. *Lancet*, 2005, 366(9496): 1523; author reply 1524-1525.
- Chappard C, Bensalah S, Olivier C, et al. 3D characterization of pores in the cortical bone of human femur in the elderly at different locations as determined by synchrotron micro-computed tomography images [J]. *Osteoporos Int*, 2013, 24(3): 1023-1033.
- Poole KE, Treece GM, Mayhew PM, et al. Cortical thickness mapping to identify focal osteoporosis in patients with hip fracture [J]. *PLoS One*, 2012, 7(6): e38466.
- Coutts LV, Jenkins T, Oreffo ROC, et al. Local variation in femoral neck cortical bone: in vitro measured bone mineral density, geometry and mechanical properties [J]. *J Clin Densitom*, 2017, 20(2): 205-215.
- Im GI, Park PG, Moon SW. The relationship between radiological parameters from plain hip radiographs and bone mineral density in a Korean population [J]. *J Bone Miner Metab*, 2012, 30(5): 504-508.
- Tarantino U, Rao C, Tempesta V, et al. Hip fractures in the elderly: The role of cortical bone [J]. *Injury*, 2016, 47(Suppl 4): S107-S111.
- Napoli N, Jin J, Peters K, et al. Are women with thicker cortices in the femoral shaft at higher risk of subtrochanteric/diaphyseal fractures? The study of osteoporotic fractures [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2012, 97(7): 2414-2422.
- Kersh ME, Pandey MG, Bui QM, et al. The heterogeneity in femoral neck structure and strength [J]. *J Bone Miner Res*, 2013, 28(5): 1022-1028.
- 栗平, 王长海, 银和平. 骨密度结合股骨颈颈干角对各型髋部骨质疏松性骨折风险的预测 [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2013, 19(12): 1250-1253.
- 侯宜刚, 赵恒奎, 张波, 等. 老年人骨质疏松与髋部骨折发病关系的分析 [J]. *实用骨科杂志*, 2010, 16(1): 73-74.
- Johannesdottir F, Aspelund T, Reeve J, et al. Similarities and differences between sexes in regional loss of cortical and trabecular bone in the mid-femoral neck: the AGES-Reykjavik longitudinal study [J]. *J Bone Miner Res*, 2013, 28(10): 2165-2176.
- Nicks KM, Amin S, Melton LJ, et al. Three-dimensional structural analysis of the proximal femur in an age-stratified sample of women [J]. *Bone*, 2013, 55(1): 179-188.
- Wang L, Cheng XG, Su YB, et al. Sex-related variations in cortical and trabecular bone of the femoral neck in an elderly Chinese population [J]. *Osteoporos Int*, 2017, 12: [Epub ahead of print].
- 任晓静. 髋部结构分析在预测髋部脆性骨折的意义 [D]. 福州: 福建医科大学, 2015: 1-20.
- 蔡思清, 任晓静, 颜建湘, 等. 年龄对股骨近端几何结构的影响及意义 [J]. *重庆医科大学学报*, 2012, 37(12): 1080-1083.
- Kang H, Chen YM, Han G, et al. Associations of age, BMI, and years of menstruation with proximal femur strength in Chinese postmenopausal women: A cross-sectional study [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2016, 13(2): 157.
- Malo MK, Rohrbach D, Isaksson H, et al. Longitudinal elastic properties and porosity of cortical bone tissue vary with age in human proximal femur [J]. *Bone*, 2013, 53(2): 451-458.
- 赵程, 王继芳, 王震昊. 骨密度结合股骨近端几何参数预测老年髋部骨折 [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2005, 11(2): 186-188, 194.
- Weiser L, Korecki MA, et al. The role of inter-prosthetic distance, cortical thickness and bone mineral density in the development of inter-prosthetic fractures of the femur: a biomechanical cadaver study [J]. *Bone Joint J*, 2014, 96-B(10): 1378-1384.
- Long Y, Leslie WD, Luo Y, et al. Study of DXA-derived lateral-medial cortical bone thickness in assessing hip fracture risk [J]. *Bone Rep*, 2015, 2: 44-51.

- 29 Humbert L, Hazrati Marangalou J, Del Rio Barguero LM, et al. Technical Note: Cortical thickness and density estimation from clinical CT using a prior thickness- density relationship [J]. Med Phys, 2016, 43(4): 1945.
- 30 Serrurier A, Jolivet E, Quijano S, et al. Distribution and variability study of the femur cortical thickness from computer tomography [J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2014, 17(7): 768-786.
- 31 Treece GM, Poole KE, Gee AH. Imaging the femoral cortex: thickness, density and mass from clinical CT [J]. Med Image Anal, 2012, 16(5): 952-965.
- 32 Treece GM, Gee AH. Independent measurement of femoral cortical thickness and cortical bone density using clinical CT [J]. Med Image Anal, 2015, 20(1): 249-264.
- 33 Grimal Q, Grondin J, Guérard S, et al. Quantitative ultrasound of cortical bone in the femoral neck predicts femur strength: results of a pilot study [J]. J Bone Miner Res, 2013, 28(2): 302-312.
- 34 Humbert L, Hazrati Marangalou J, Del Rio Barquero LM, et al. Technical note: cortical thickness and density estimation from clinical CT using a prior thickness- density relationship [J]. Med Phys, 2016, 43(4): 1945.
- 35 Sale JE, Bogoch E, Meadows L, et al. Bone mineral density reporting underestimates fracture risk in Ontario [J]. Health (Irvine Calif), 2015, 7(5): 566-571.
- 36 Yang L, Udall WJ, McCloskey EV, et al. Distribution of bone density and cortical thickness in the proximal femur and their association with hip fracture in postmenopausal women: a quantitative computed tomography study [J]. Osteoporos Int, 2014, 25(1): 251-263.
- 37 Yeung Y, Chiu KY, Yau WP, et al. Assessment of the proximal femoral morphology using plain radiograph- can it predict the bone quality? [J]. J Arthroplasty, 2006, 21(4): 508-513.
- 38 Sah AP, Thornhill TS, Leboff MS, et al. Correlation of plain radiographic indices of the hip with quantitative bone mineral density [J]. Osteoporos Int, 2007, 18(8): 1119-1126.
- 39 Li Y, Lin J, Cai S, et al. Influence of bone mineral density and hip geometry on the different types of hip fracture [J]. Bosn J Basic Med Sci, 2016, 16(1): 35-38.
- 40 钟润泉, 潘刚明, 邓伟民. 股骨上端几何结构和骨密度与骨质疏松性髋部骨折的关系 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(45): 9091-9094.
- 41 戴鹤玲, 孙天胜, 刘智. 髋部骨密度和几何结构与老年髋部骨折发病的关系 [J]. 中国老年学杂志, 2013, 33(2): 294-296.
- 42 Dorr LD. Total hip replacement using APR system [J]. Tech Orthop, 1986, 1(3): 22-34.
- 43 Shigdel R, Osima M, Ahmed LA, et al. Bone turnover markers are associated with higher cortical porosity, thinner cortices, and larger size of the proximal femur and non- vertebral fractures [J]. Bone, 2015, 81: 1-6.
- 44 李毅中, 庄华烽, 林金矿, 等. 脆性股骨颈骨折的股骨颈皮质厚度和骨密度改变 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2013, 19(10): 1018-1021.
- 45 Baumgärtner R, Heeren N, Quast D, et al. Is the cortical thickness index a valid parameter to assess bone mineral density in geriatric patients with hip fractures? [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2015, 135(6): 805-810.
- 46 庄华烽, 李毅中, 林金矿, 等. 脆性股骨颈骨折患者股骨颈骨密度及结构的变化 [J]. 中华老年医学杂志, 2014, 33(3): 282-285.
- 47 张迪晖, 徐逸生, 曹学伟, 等. 双髋骨质疏松的差别与髋部骨折的相关性分析 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2011, 17(8): 680-682.
- 48 汪伟, 王岩, 崔健. 正常股骨近端CT测量及其临床意义 [J]. 中国临床解剖学杂志, 2003, 21(2): 125-128.
- 49 Brown TD, Ferguson AB. Mechanical property distributions in the cancellous bone of the human proximal femur [J]. Acta Orthop Scand, 1980, 51(3): 429-437.
- 50 富仁杰. PFNA 治疗股骨转子间骨折内固定失效的危险因素分析 [J]. 江苏: 江苏大学, 2015.
- 51 Hsu CE, Shih CM, Wang CC, et al. Lateral femoral wall thickness. A reliable predictor of post- operative lateral wall fracture in intertrochanteric fractures [J]. 2013, 95-B(8): 1134-1138.
- 52 Dorr LD, Faugere MC, Mackel AM, et al. Structural and cellular assessment of bone quality of proximal femur [J]. Bone, 1993, 14(3): 231-242.
- 53 Spotorno L, Romagnoli S. Indications for the CLS stem [J]. The CLS uncemented total hip replacement system. Berne, Switzerland: Protek, 1991: 4.
- 54 Chen F, Wang Z, Bhattacharyya T. Absence of femoral cortical thickening in long- term bisphosphonate users: implications for atypical femur fractures [J]. Bone, 2014, 62: 64-66.
- 55 Niimi R, Kono T, Nishihara A, et al. Cortical thickness of the femur and long-term bisphosphonate use [J]. J Bone Miner Res, 2015, 30(2): 225-231.
- 56 Engelke K, Fuerst T, Dardzinski B, et al. Odanacatib treatment affects trabecular and cortical bone in the femur of postmenopausal women: results of a two- year placebo- controlled trial [J]. J Bone Miner Res, 2015, 30(1): 30-38.

(收稿日期:2017-04-06)

(本文编辑: 杨娜)

梁伟, 吴斗, 赵恩哲, 等. 皮质厚度在骨质疏松性髋部骨折中的应用研究 [J/CD]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2018, 4(3): 184-188.