

·研究快报·

股骨近端N三角理论及股骨近端仿生髓内钉(PFBN)的设计理念

朱燕宾^{1,2,3,4} 陈伟^{1,2,3,4} 叶丹丹^{1,2,4} 张奇^{1,2,4} 吕红芝^{1,2,4} 郑占乐^{1,2,3,4} 张英泽^{1,2,3,4,5}

【摘要】 Ward三角由Ward于1838年提出,是当时了解股骨近端解剖结构及力学传导特点的一个重要发现。事实上,股骨近端远不止有一个Ward三角,而是由数个肉眼可观的“宏观三角”和数量庞大的“微观三角”构成,这就是“张氏N三角理论”。基于“张氏N三角理论”,并在分析股骨近端骨折术后内固定物并发症的原因后,课题组设计并研发出更符合人体力学特点的股骨近端仿生髓内钉(PFBN)。本文旨在通过详细阐述“张氏N三角理论”及其指导下研发的PFBN的结构和力学特点,为其临床应用的科学性和合理性提供研究思路。

【关键词】 转子间骨折; 股骨近端; Ward三角; 仿生髓内钉; 张氏N三角理论

Proximal Femur N Triangle Theory and the Design Concept of Proximal Femur Bionic Nail (PFBN)

Zhu Yanbin^{1,2,3,4}, Chen Wei^{1,2,3,4}, Ye Dandan^{1,2,4}, Zhang Qi^{1,2,4}, Lyu Hongzhi^{1,2,4}, Zheng Zhanle^{1,2,3,4}, Zhang Yingze^{1,2,3,4,5}

¹Orthopedic Research Institution of Hebei Province; ²Department of Orthopaedic Surgery, the Third Hospital of Hebei Medical University; ³Key Laboratory of Biomechanics of Hebei Province; ⁴NHC Key Laboratory of Intelligent Orthopaedic Equipment (The Third Hospital of Hebei Medical University), Shijiazhuang 050051, China; ⁵Chinese Academy of Engineering, Beijing 10088, China

Corresponding author: Zhang Yingze, Email: dryzzhang@126.com

【Abstract】 Ward's triangle was proposed by Ward in 1838 and was an important finding to understand the anatomical structure and mechanical conduction characteristics of the femur at that time. In fact, there is far more than one Ward triangle, but it is composed of several "macroscopic triangles" and a large number of "microscopic triangles", which is the "Zhang's N triangle theory". Based on Zhang's N triangle theory, and after analyzing the causes of complications of internal fixation after femoral fracture surgery, the research team designed and developed a proximal femoral bionic nail (PFBN) that is more in accordance with the mechanical characteristics of the human body. The aim of this paper is to provide research ideas for the scientificity and rationality of its clinical application by elaborating the structural and mechanical characteristics of PFBN developed under the guidance of "Zhang's N triangle theory".

【Key words】 Intertrochanteric fracture; Proximal femur; Ward triangle; Bionic intramedullary nail; Zhang's N triangle theory

1838年,年仅20岁的Frederick Oldfield Ward在其《人类骨科学》一书中首次提出股骨近端Ward三角的概念,即股骨近端压力骨小梁系统和张力骨小梁系统在股骨颈交叉的中心区形成一个明显的三角

区(Trigonum)^[1]。Ward三角对于理解股骨近端张力和压力骨小梁分布特点、力学传导和指导内固定物设计具有极其重要的意义,但在当时的条件下并不为人所重视,直到60年后X线的出现才让人们了解并逐渐认识到它的重要性。事实上,在股骨近端不止一个Ward三角,而是有无数个三角,除了肉眼可观的数个“宏观三角”外,还有数量庞大的“微观三角”,即N三角理论;该理论由张英泽院士课题组首次提出,因此也称作“张氏N三角理论”(Zhang's N Triangle Theory)。基于“张氏N三角理论”和多年临床经验,综合分析股骨近端骨折术后内固定物相

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-0263.2021.05.001

基金项目: 国家自然科学基金(82072447); 中国医学科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(2019PT320001); 河北省杰出青年基金(H2021206329)

作者单位: 050051 石家庄, 河北省骨科研究所¹, 河北省骨科生物力学重点实验室², 河北医科大学第三医院创伤急救中心³, 国家卫生健康委骨科智能器材重点实验室⁴; 100088 北京, 中国工程院⁵

通信作者: 张英泽, Email: dryzzhang@126.com

关并发症(如,髓内翻、螺钉切出、退钉、断钉、骨不连、畸形愈合等)的原因,张英泽院士课题组设计并研发出更符合人体力学传导特点的内固定物--股骨近端仿生髓内钉(proximal femur bionic nail, PFBN)。本文旨在介绍“张氏N三角理论”及其指导下的PFBN的仿生力学特征。

一、张氏N三角理论

股骨近端有5种类型的骨小梁,分别是主要张力小梁、主要压力小梁(内侧压力小梁)、次要压力小梁(外侧压力小梁)、次要张力小梁、大转子小梁。主要张力小梁是呈弧形,从大转子的外侧边缘延伸到中央凹下方,弧形穿过颈部的上部皮质和股骨头;主要是沿着拉伸/压缩应力的“线”(轨迹),类似于顶点位于中性轴上的拱。主要压力小梁是垂直方向,呈三角形分布,从股骨头的内侧皮质延伸到股骨颈,是股骨头受重力载荷形成的。次要压力小梁呈扇形分布,从股骨距和小转子延伸到大转子,主要是受来自小转子下方的压力形成的。由主要张力小梁、主要压力小梁及次要压力小梁三种小梁围成的中心区域称为Ward三角区,也就是Ward在183年前提到的经典三角区。但除此外,我们尚可观察到多个宏观三角区:Triangle 1 T1--主要张力小梁、主要压力小梁及股骨头内下方边界构成,T2--主要张力小梁、主要压力小梁及股骨头内上方边界构成;T3--主要张力小梁、主要压力小梁及股骨头外上方边界构成;T4--主要张力小梁、大转子小梁及大转子上方边界构成;T5--次要张力小梁、次要压力小梁及股骨内横向骨小梁构成(图1)。

根据沃尔夫定律(Wolf's Law),骨的解剖结构是与其功能相匹配的,在微观层面尤其如此^[2]。重力载荷在股骨近端传导过程中,力的方向会分散向

张力小梁和压力小梁,由于两类骨小梁是彼此交叉的,因此从微观层面来看,股骨近端正是由无数个张力小梁和压力小梁构成“微观三角”组成,这就是“张氏N三角理论”的理论基础。换言之,股骨近端是由数个“宏观三角”和无数个“微观三角”构成,这些三角衍架结构不仅对于维持股骨近端骨性结构稳定性具有重要的生理性意义,同时对于骨折后内固定物的设计、研发、固定植入具有重要的临床价值。

二、PFBN的设计理念

股骨近端粗隆间骨折导致内侧皮质连续性中断,主要压力骨小梁结构遭到破坏;且在大多数情况下,骨折线走行与次要压力骨小梁方向一致,即完全垂直于主要张力骨小梁,这意味着主要张力骨小梁的微观三角结构受到“剪切性”破坏,无法起到继续稳定支撑的作用(图2~5)。因此,粗隆间骨折内固定物的设计必须至少符合两个特征:(1)能够使重力载荷沿着压力骨小梁顺利传导至股骨干内侧皮质区,解决对抗压力骨小梁或内侧皮质断裂的问题,当前临床应用的内固定物均能满足此要求;(2)能够解决张力骨小梁断裂导致的张力缺失问题,这是防止继发性复位丢失、髓内翻畸形的关键设计,但目前应用的内固定物不能或不足以解决该问题^[3-6]。除此外,增强内固定物的抗旋、保存骨量等功能也是内固定物设计的重点考虑。

PFBN正是基于“张氏N三角理论”设计而研发出的新一代股骨近端髓内固定物。相比于传统的近端髓内钉(PFN或PFNA),PFBN将平行螺钉改为与固定螺钉相交叉的横向支撑螺钉,使其与固定螺钉

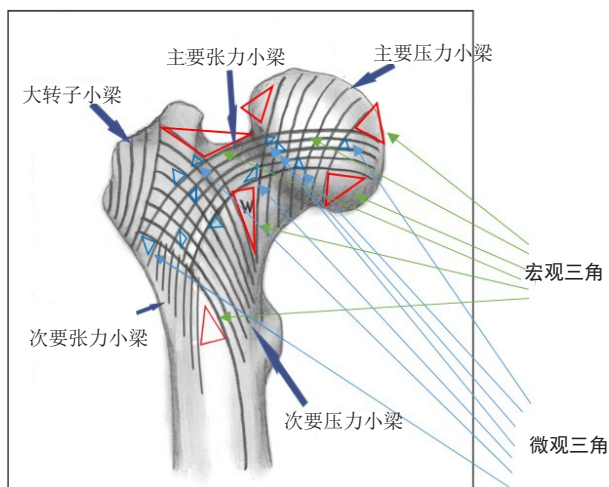


图1 股骨上端冠状位结构示意图



图2~5 股骨粗隆间骨折X线图:示骨折线与次要压力骨小梁方向一致,垂直于主要张力骨小梁

在股骨近端形成三维空间交叉,成为三角形悬臂梁稳定结构,其涵盖范围扩展至股骨近端边界,将股骨近端所有宏观和微观三角结构包括在内,可显著提高内固定强度并发挥抗旋作用(图6)。

讨 论

髌部骨折是老年人最常见的骨折之一,被称作“人生中的最后一次骨折”,其严重后果不言而喻。转子间骨折是髌部骨折中更为常见的一种骨折,占比约54%,发病年龄较股骨颈骨折高5~10岁,与骨质疏松关系更为密切,其术后并发症也更高^[7]。从上世纪50年代开始,手术治疗已成为股骨转子间骨折的标准方法,内固定理念及设计理念亦历经数次革新,从最初的单纯螺钉固定(如,滑动髌螺钉、加压髌螺钉等),到偏心性的髓外钢板螺钉固定系统,再到中心性的髓内固定(如Gamma钉、PFN和PFNA等),临床效果一直在稳步提高,内固定物相关并发症也逐步下降,从最初的98%(滑动髌螺钉)下降至5~12%(髓内固定)^[3-4,6,8-10],但在过去的30余年内并无显著改善。

正如上文所提到,目前临床应用的内固定物一个最大的缺点在于,不能够或不足以解决张力骨小梁断裂导致的张力缺失问题,这是导致螺钉切出、退钉、断钉、骨不连和髓内翻畸形的最主要原因。“张氏N三角理论”正是在分析了各种并发症的发生原因之后提出的,其源理论框架为Ward三角理论。“张氏N三角理论”的核心在于:从整体观念出发,确立了股骨近端由无数个三角形衍架结构组成,该结构是维持股骨近端稳定性的关键,对于内固定物设计较Ward三角理论更具针对性。在此理论指导下研发的PFBN,其生物力学性能较传统的PFN或PFNA更具优势,不仅有效解决了骨折后张力缺失的问题,更使得横向支撑螺钉与固定螺钉和髓内钉主钉通过钉孔和螺纹结构牢固地结合在一起,形成稳定的三角支撑结构,使其在抗旋、抗压、抗张等方面均发挥最大优势。我们在前期的生物力学实验也证实了这一点^[11]。

Ward三角是在不断认识股骨近端力学特点过程中的一个经典发现,“张氏N三角理论”是在Ward三角基础上的延伸和理论创新。该理论对于指导股骨近端骨折内固定物的设计、研发、植入都有着重要的参考价值。同时,对于重力载荷传导时对力线方

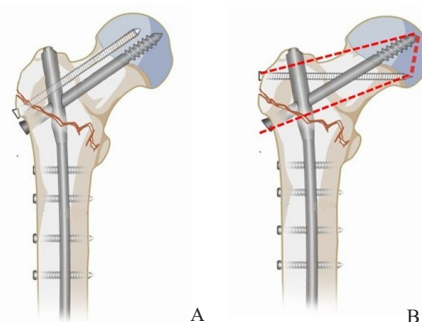


图6 PFN的平行落定固定(A)与PFBN三角支撑固定示意图(B)

向起到关键转折的其他骨与关节结构(如,跟骨、髌骨、髌髌关节等)及其内固定物设计等也有重要启示,也是课题组的进一步研究方向。

参 考 文 献

- 1 White TD, Black MT, Folkens PA. -Human osteology [Z]. 3rd ed, New York: Academic Press, 2011: 593 - 632.
- 2 Wolf JH. [Julius Wolff and his "law of bone remodeling"]. Orthopade. 1995, 24(5): 378-86.
- 3 Mavrogenis AF, Panagopoulos GN, Megalioikonomos PD, et al. Complications after hip nailing for fractures [J]. Orthopedics, 2016, 39 (1): e108-e116.
- 4 Von Rüden C, Hungerer S, Augat P, et al. Breakage of cephalomedullary nailing in operative treatment of trochanteric and subtrochanteric femoral fractures [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2015, 135(2): 179-185.
- 5 Lim SJ, So SY, Ye Y, et al. A forward-striking technique for reducing fracture gaps during intramedullary nailing: A technical note with clinical results [J]. Injury, 2015, 46(12): 2507-2511.
- 6 Horner NS, Samuelsson K, Solyom J, et al. Implant-Related complications and mortality after use of short or long gamma nail for intertrochanteric and subtrochanteric fractures:a prospective study with minimum 13-Year follow-up [J]. JB JS Open Access, 2017, 2(3): 26-32.
- 7 Zhang YZ. Clinical epidemiology of orthopaedic trauma [M]. 2nd ed, Stuttgart: Thieme, 2016: 157-213.
- 8 Bovbjerg PE, Larsen MS, Madsen CF, et al. Failure of short versus long cephalomedullary nail after intertrochanteric fractures [J]. J Orthop, 2020, 18: 209-212.
- 9 Kokoroghiannis C, Aktselis I, Deligeorgis A, et al. Evolving concepts of stability and intramedullary fixation of intertrochanteric fractures--a review [J]. Injury, 2012, 43(6): 686-693.
- 10 Norris R, Bhattacharjee D, Parker MJ. Occurrence of secondary fracture around intramedullary nails used for trochanteric hip fractures: a systematic review of 13,568 patients [J]. Injury, 2012, 43(6): 706-711.
- 11 张英泽,王海程,陈伟,等.三角支撑固定:股骨转子间骨折手术的革新——来自生物力学研究的证据 [J]. 中华创伤骨科杂志, 23: 461-466.

(收稿日期:2021-09-25)

(本文编辑:吕红芝)