

舟骨骨折的螺钉居中固定:生物力学试验

郭 阳¹, 田光磊^{1△}, 姜保国², 陈山林¹, 韩 娜²

(1. 北京积水潭医院手外科, 北京 100035; 2. 北京大学人民医院创伤骨科, 北京大学交通医学中心, 北京 100044)

[摘要] **目的:**对于斜形不稳定的舟骨骨折,通过生物力学试验评价舟骨螺钉的位置居中与否对其固定强度的影响。**方法:**将32例外形、材质相同的Sawbone舟骨分为4组,每组8例,模拟腰部骨折,用螺钉固定,分组依据骨折的水平(远、近)及螺钉的位置(居中、不居中)。对其中的1例Sawbone舟骨进行CT扫描,流量数据导入术前设计与手术模拟软件(VxWork 4.0),建立舟骨的中央区,同时在软件中设计骨折模拟平面、螺钉导针位置。将螺钉固定后的舟骨置于生物力学试验机平台,测量不同试验组标本固定失效时的最大负荷及位移。**结果:**不同组间固定失效时的最大负荷和位移有统计学差异($F = 31.485, P = 0.001$; $F = 33.328, P = 0.018$)。对于腰部偏近端的骨折,居中组与非居中组最大负荷[(80.82 ± 15.63) N vs. (58.32 ± 17.18) N]及位移均值[(2.3 ± 0.5) mm vs. (3.1 ± 0.5) mm]差异有统计学意义(P 均 < 0.001);对于腰部偏远端的骨折,居中组最大负荷及位移优于非居中组[(76.83 ± 14.54) N vs. (70.38 ± 13.32) N; (2.2 ± 0.7) mm vs. (2.5 ± 0.6) mm],但二者差异无统计学意义。**结论:**本次生物力学研究表明,对于舟骨斜形不稳定骨折,将螺钉在舟骨内居中放置可以提供更高的固定强度。

[关键词] 舟骨;骨折固定术,内;生物力学

[中图分类号] R683.41 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-167X(2013)05-0684-04

doi:10.3969/j.issn.1671-167X.2013.05.005

Central placement of screw fixation for scaphoid fracture: a biomechanical study

GUO Yang¹, TIAN Guang-lei^{1△}, JIANG Bao-guo², CHEN Shan-lin¹, HAN Na²

(1. Department of Hand Surgery, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China; 2. Department of Trauma and Orthopedics, Peking University People's Hospital, Peking University Traffic Medicine Center, Beijing 100044, China)

ABSTRACT Objective: To evaluate the effect to the fixation stability of central screw placement during scaphoid fracture surgery. **Methods:** We designed oblique osteotomies for 32 identical sawbone scaphoids and fixed each specimen with a cannulated screw. Sawbone scaphoids were divided into 4 groups, according to position of the osteotomy (distal waist portion or proximal waist portion) and the position of the screw (central or eccentric). We performed Computed Tomography scanning to one specimen, and then the central zone of the scaphoid was established from volume data by using the preoperative planning system software (VxWork 4.0). The position of the osteotomy plane, the entrance and exit points of the screw guide pin were designed on the software as well. We placed the specimens under the increasing load of a pneumatically driven plunger to compare the load to failure and the distance at failure between the central and eccentric screw groups. **Results:** In general, we found the statistical differences of the load to failure and the displacement of fracture between the groups ($F = 31.485, P = 0.001$; $F = 33.328, P = 0.018$). The average load to failure and fracture displacement was more statistically different in the central group [(80.82 ± 15.63) N, (2.3 ± 0.5) mm] for proximal waist fracture than in the eccentric group [(58.32 ± 17.18) N, (3.1 ± 0.5) mm]. As to the distal waist fracture, the average load to failure and fracture displacement was better in the central group [(76.83 ± 14.54) N, (2.2 ± 0.7) mm] than in the eccentric group [(70.38 ± 13.32) N, (2.5 ± 0.6) mm] without significant difference. **Conclusion:** In this biomechanical model of an unstable oblique scaphoid fracture, we find that higher stability of fixation has been achieved with a screw placed centrally in the scaphoid, compared with a screw peripherally placed.

KEY WORDS Scaphoid bone; Fracture fixation, internal; Biomechanics

近年来,将新鲜或陈旧舟骨骨折复位后用螺钉固定已经成为一种趋势。选择螺钉在舟骨内的最佳位置一直是手外科医生讨论的热点,一些学者指出

当螺钉的位置在舟骨内居中时,具有生物力学固定优势^[1-2],因此将它作为首选的固定方式;然而,也有一些医生认为,螺钉在舟骨内居中与否,其固定的

△ Corresponding author's e-mail, tiangl57@tom.com

牢固程度可能并没有显著差别^[3-4]。出现这样分歧的一个重要原因可能是不同学者对于“居中”这个概念的判断标准有差异。本研究利用通过螺旋 CT 建立三维舟骨中央区的方法^[5-6],作为判断螺钉是否居中的标准,在 Sawbone 舟骨上模拟骨折,比较螺钉在舟骨内居中与不居中时的固定强度,现将结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 舟骨材料

本研究共购买 40 例 Sawbone 舟骨 (Pacific Research Labs, Washington, USA),质地、强度与外观形态相同,均为左侧。在对舟骨腰部进行截骨模拟骨折,用空心钉进行固定后,使用生物力学仪器对骨折固定的牢固程度进行评价,评价参考的指标为固定发生失效时的最大负荷和最大位移。

1.2 螺钉居中的判断

用小刀在舟骨远、近端的嵴上各开一个很小的槽,使其刚好容纳一段显影线,从纱布上取下足够长的显影线,用胶水粘到舟骨远近端的槽内,作为确定螺钉导针及截骨面位置的标记线(图 1)。对其中一个舟骨进行 CT 扫描 (Aqualin, Toshiba Corporation Medical Systems Company, Otwaru, Japan)。条件:电压 120 kV,电流 100 mA,扫描时间 0.4 s,视野 225.0 mm,层厚 0.5 mm,矩阵 512 × 512。应用手术计划和模拟系统软件 VxWork4.0 (北京卓格公司产品, FDA 认证序列号:510 K)接收 CT 扫描所获 DICOM 数据,借助 VxWork 软件中的 Erode 功能建立舟骨的“中央区”(图 2)。将此中央区作为我们判断螺钉是否居中的标准(具体步骤见文献^[5])。

1.3 截骨的 CT 设计

本实验分为 A、B、C、D 共 4 组,分组的依据为截骨面的位置在腰部偏近端或腰部偏远端以及舟骨的螺钉是否居中(表 1)。将扫描得到的舟骨 CT 数据导入 VxWork 软件,做术前设计。A 组:截骨面位于舟骨腰部偏近端(腰部以近 4 mm),将螺钉的轴线沿舟骨近极中央区放置并与截骨面垂直,此时螺钉相对于骨折部位在舟骨内是居中的。B 组:截骨面所处位置与 A 组相同,螺钉轴线沿舟骨远极中央区放置并与截骨面垂直,此时螺钉相对这个骨折部位在舟骨内不居中。C 组:截骨面位于舟骨腰部偏远端(腰部以远 4 mm),螺钉的轴线沿舟骨远极中央区放置并与截骨面垂直,即螺钉居中。D 组:截骨面所处位置与 C 组相同,螺钉的轴线沿舟骨近极中央区放置并与截骨面垂直,螺钉不居中。在软件内利

用三维测量功能记录截骨面及螺钉轴线在舟骨两端的出、入点与显影线的相对距离,以确保在舟骨上作截骨及打入空心钉进行固定的位置与在软件上设计的相同(图 3)。

表 1 根据骨折的位置及螺钉在舟骨内是否居中进行分组
Table 1 Specimen were divided into 4 groups

| | Fracture plane | Location of screw |
|---------|----------------|-----------------------------------|
| Group A | Proximal waist | Proximal central zone |
| Group B | Proximal waist | Distal central zone (eccentric) |
| Group C | Distal waist | Distal central zone |
| Group D | Distal waist | Proximal central zone (eccentric) |

1.4 截骨与螺钉固定

根据术前设计确定的螺钉轴线在舟骨远、近极的入、出点,在螺钉导向器的辅助下,将螺钉的导针打入舟骨。用手动微型锯根据设计的截骨面对舟骨进行截骨模拟骨折,之后将骨折复位,以拇、示指拧入合适长度的空心钉。对每组的一个舟骨用 CT 扫描确定螺钉与截骨面的位置满意。

1.5 生物力学测量

将舟骨近端用聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethylmethacrylate, PMMA) 固定,然后再固定到可与生物力学实验机平台相连接的铁质基座上,舟骨近端沉入 PMMA 的距离最多不能高于骨折平面。舟骨与水平面的夹角控制到 45°,模拟生理状态下腕关节中立位时舟骨所保持的高度(图 4)。使用生物力学试验机 (Autograph, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japan) 测试螺钉对舟骨固定的强度。将舟骨-基座置于试验平台,将液压传感器置于舟骨远极,施加垂直方向的压力,模拟舟骨在生理状态下承受的自背-掌方向的负荷。传感器向下移动的速度设定为 1 mm/min,直至骨折部位固定失效。我们用个人电脑及专业软件 (Trapezium x, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japan) 测量最大负荷及失效时发生的位移。

1.6 样本量估算及统计学处理

在正式做力学测定之前,用每组 2 例共 8 例舟骨作预实验,根据初步实验的结果, $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.20$,取 95% 的可信区间。估计每组的样本量在 8 例即可比较出实验各组间的差异,结果见表 2,这个样本量与之前报告过的相似^[7-8]。考虑到舟骨本身材质几乎无差异,得到的力学数据应为正态分布(实际检测亦为正态分布),因此用 SPSS 11.0 统计学软件对各组数据(最大负荷、位移)进行方差分析,比较差异有无统计学意义。

2 结果

A、D 两组使用的空心钉在舟骨近极居中,长度为 30 mm;B、C 两组使用的空心钉在舟骨远极居中,长度为 28 mm。所有样本内固定失效的模式均为空心钉在舟骨内的移动,即钉-骨交界的骨折,骨折远端沿骨折平面出现滑动。实验后检查空心钉,无一例发生弯曲变形。生物力学实验结果显示,总体比较各组间固定的牢固程度与骨折位移差异有统计学意义($F = 31.485, P = 0.001; F = 33.328, P = 0.018$, 表 3)。如果进行两两比较,当骨折平面位于舟骨腰部偏近端时,居中组(A)与不居中组(B)的最大负荷、最大位移差异均有统计学意义($P < 0.001$);当骨折平面位于舟骨腰部偏远端时,居中组(C)的最大负荷及位移要优于不居中组(D),但差异无统计

学意义($P = 0.166$)。

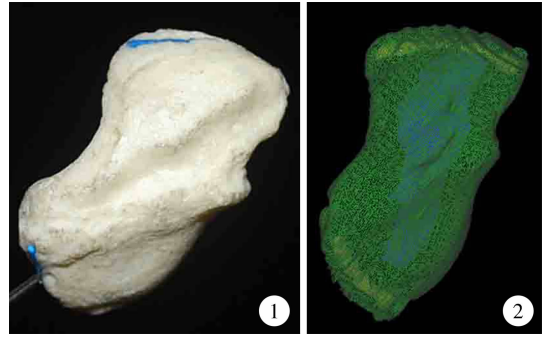


图 1 在 Sawbone 舟骨两极的嵴上开槽,用胶水将显影线粘好

图 2 对一个 Sawbone 舟骨进行 CT 扫描,在软件中建立舟骨的中央区

Figure 1 Radio-opaque lines were stick to the grooves onto the distal and proximal ridges of one scaphoid

Figure 2 The central zone was established in the software after CT scanning of one scaphoid

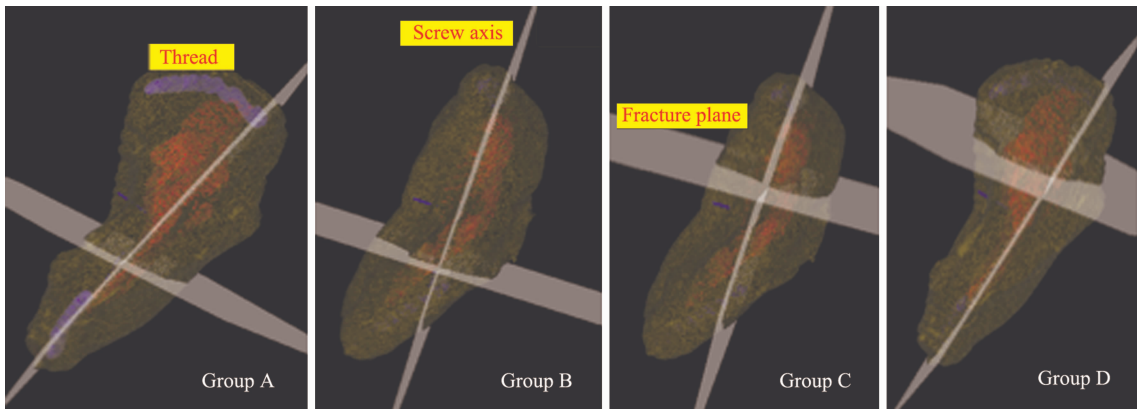


图 3 骨折面及螺钉轴线的位置不同

Figure 3 Different fracture plane and screw axis



图 4 将舟骨近端用聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 固定,与水平面的夹角控制至 45°

Figure 4 The proximal pole of the scaphoid was fixed into PMMA, 45° to the horizontal plane

表 2 预实验各组最大负荷

Table 2 The results of load to failure from trial test

| T | Load to failure/N, $\bar{x} \pm s$ |
|-----------------|------------------------------------|
| Group A (n = 2) | 5.73 ± 1.88 |
| Group B (n = 2) | 7.18 ± 2.31 |
| Group C (n = 2) | 4.45 ± 1.48 |
| Group D (n = 2) | 4.23 ± 1.38 |

表 3 各组失效时的最大负荷及最大位移

Table 3 Load to failure and displacement of the fracture of different groups

| | Load to failure/N | Displacement of fracture/mm |
|---------|-------------------|-----------------------------|
| Group A | 80.82 ± 15.63 | 2.3 ± 0.5 |
| Group B | 58.32 ± 17.18 * | 3.1 ± 0.5 * |
| Group C | 76.83 ± 14.54 | 2.2 ± 0.7 |
| Group D | 70.38 ± 13.32 | 2.5 ± 0.6 |

* $P < 0.001$ vs. Group A.

3 讨论

有关舟骨螺钉在舟骨中的位置近年来成为手外科的争议性话题,不少学者认为将螺钉在舟骨内居中放置可以缩短骨折愈合时间,提高愈合率,缩短制动时间^[1-2,9],因此,将螺钉居中作为最重要的操作,甚至不惜切除部分大多角骨^[9-10]。但其他学者

认为,舟-大多角骨关节的完整性相当重要,与其在手术中增加副损伤,不如考虑其他方式代替螺钉的中置化。比如,对于舟骨腰部斜行骨折,避开大多角骨的掌侧入路打入与骨折线垂直的螺钉,此时螺钉居中与否,与其固定强度的关系不大^[3-4]。

本次生物力学试验的主要目的,就是评价螺钉在舟骨内居中与否对固定强度的影响。实际上,就生物力学测定这部分内容而言,类似的试验在以前有过报告,我们在测量的基本方式上沿用了以前的方法^[1,7-8],但对螺钉在舟骨内是否居中的判断有所不同。由于舟骨本身形态比较复杂,居中的判断并无明确、统一的标准^[11],Trumble 等^[1]认为,螺钉在正侧位 X 线片上位于舟骨近极的中三分之一区域即为居中。虽然这个观点大致上被接受,但作者并没有描述具体用怎样的方法在 X 线片上划出中三分之一这个区域,因此在判断上略显主观。Luria 等^[4]在 X 线片上通过一系列划线测量对舟骨近极进行三等分,但并没有证明自己的方法有良好的重复性。对舟骨这样一个外形轮廓极不规则的短、小骨,如果螺钉居中性的判断不明确,那么螺钉的位置对固定的影响就无从谈起,这可能是造成手外科医生有关螺钉居中性对固定强度影响的观点出现较大差别的原因。随着螺旋 CT 成像及软件技术的发展,舟骨的三维影像可以得到更精确与丰富的展现。我们通过以往报告过的 CT 三维重建的方法对居中进行判断^[5-6],所有步骤均为电脑程序计算,精确度和重复性较之前的方法更高。我们认为,用准确度高的方法对螺钉在舟骨内是否居中进行精确的判断,是此类生物力学试验是否成功的基础和关键步骤。

从舟骨中央区的几何形状和大小来看,螺钉的轴线从远极至近极贯穿整个中央区是不可能的,也就是说很难使一枚螺钉在整个舟骨内居中,而只能在舟骨其中的一部分骨质内居中。如何在这个不规则的中央区放置螺钉的轴线?术者必须作出选择。本研究实际上同时回答了这个问题,如在非居中组 B 中,螺钉的轴线实际上也在一部分中央区(远极中央区),但不在近极的中央区,由于骨折部位在舟骨腰部以近的水平,该螺钉相对于骨折部位的舟骨是不居中的。我们的试验数据证明该螺钉与居中的螺钉对骨折固定的强度有显著差异。本研究结果提示,在手术操作过程中,医生需要根据骨折的位置,选择不同的中央区,使螺钉在相应部位的舟骨居中,以提供更加牢固的固定。

本研究采用 Sawbone 舟骨替代舟骨解剖标本,是考虑 Sawbone 舟骨的材料、结构、外形的同一性,

但 Sawbone 材料的总体强度要小于舟骨解剖标本。因此,本次力学试验测量的螺钉的最大负荷约为 40~96 N,与以前报告过使用舟骨解剖标本所测量的最大负荷(150~500 N)有明显差距。当然,骨折面的稳定性对测量结果的大小也有影响。McCallister 等^[2]设计的腰部骨折线(horizontal oblique)接近水平方向,更为稳定,测量的结果最大(500~700 N)。Fulkerson 等^[12]对舟骨进行楔形截骨,模拟陈旧骨折驼背畸形的情况,最大负荷明显降低(200~400 N)。为了做到与螺钉垂直,我们设计的骨折线更接近于 Russe 分型中的垂直斜形(vertical oblique),稳定性较差,结合 Sawbone 材质的强度较弱,测量得到较小的最大负荷的结果是合理的。

本试验有其自身局限性。首先,并没有考虑舟骨附着的韧带和软组织对固定方式的影响;其次,施加的负荷为单次单向负荷,与生理状态下的实际负荷有差距;最后,模拟骨折的截骨面为简单骨折,不能完全代表实际骨折时可能出现的骨折粉碎或骨量缺损。

参考文献

- [1] Trumble TE, Gilbert M, Murray LW, et al. Displaced scaphoid fractures treated with open reduction and internal fixation with a cannulated screw [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2000, 82(5): 633-641.
- [2] McCallister WV, Knight J, Kaliappan R, et al. Central placement of the screw in simulated fractures of the scaphoid waist: a biomechanical study [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85(1): 72-77.
- [3] Luria S, Hoch S, Liebergall M, et al. Optimal fixation of acute scaphoid fractures: finite element analysis [J]. *J Hand Surg Am*, 2010, 35(8): 1246-1250.
- [4] Luria S, Lenart L, Lenart B, et al. Optimal fixation of oblique scaphoid fractures: a cadaver model [J]. *J Hand Surg*, 2012, 37(7): 1400-1404.
- [5] 郭阳,田光磊,姜保国,等.舟骨螺旋 CT 影像中央区的确立与舟骨螺钉位置的选择[J]. *北京大学学报:医学版*, 2011, 43(5): 686-689.
- [6] Guo Y, Tian GL. The length and position of the long axis of the scaphoid measured by analysis of three-dimensional reconstructions of computed tomography images [J]. *J Hand Surg*, 2011, 36(2): 98-101.
- [7] Shaw JA. A biomechanical comparison of scaphoid screws [J]. *J Hand Surg Am*, 1987, 12(3): 347-353.
- [8] Newport ML, Williams CD, Bradley WD. Mechanical strength of scaphoid fixation [J]. *J Hand Surg*, 1996, 21(1): 99-102.
- [9] Merrell G, Slade J. Technique for percutaneous fixation of displaced and nondisplaced acute scaphoid fractures and select nonunions [J]. *J Hand Surg Am*, 2008, 33(6): 966-973.
- [10] Geurts G, van Riet R, Meermans G, et al. Incidence of scapho-trapezial arthritis following volar percutaneous fixation of nondisplaced scaphoid waist fractures using a transtrapezial approach [J]. *J Hand Surg Am*, 2011, 36(11): 1753-1758.
- [11] Slade JF 3rd, Grauer JN, Mahoney JD. Arthroscopic reduction and percutaneous fixation of scaphoid fractures with a novel dorsal technique [J]. *Orthop Clin North Am*, 2001, 32(2): 247-261.
- [12] Fulkerson E, Keshner M, Kubiak EN, et al. Comparison of fixation methods for scaphoid nonunions: a biomechanical model [J]. *Bull NYU Hosp Jt Dis*, 2007, 65(4): 271-275.