

· 基础研究 ·

# NICE 结固定锁骨中段骨折的生物力学研究

范振环<sup>1a</sup>, 于振海<sup>1b</sup>, 赵廷宝<sup>2b</sup>, 房龙<sup>2b</sup>, 林永杰<sup>2a</sup>, 郝伟<sup>1a, 2a\*</sup>

(1. 滨州医学院 1a: 第二临床医学院; 1b: 解剖教研室, 山东烟台 264000; 2. 山东省立第三医院 2a: 关节与运动医学科; 2b: 脊柱脊髓外科, 山东济南 250000)

**摘要:** [目的] 探讨 NICE 结固定锁骨中段骨折的生物力学特性。[方法] 将 60 例人体锁骨标本随机分为 4 组, 使用骨科摆锯制作锁骨中段骨折 (OTA/AO 分型 15-A2) 模型, 分别行拉力螺钉固定, 以及 2-0 线 NICE 结固定、1-0 线 NICE 结固定和 1# 线 NICE 结固定。采用 Instron 生物力学测试机进行三点弯曲实验, 测量各组不同固定方式骨折模型的失效载荷、最大位移及屈服刚度。[结果] 1# 线 NICE 组与拉力螺钉组在失效载荷 [(98.4±0.7)N vs (99.0±1.7)N,  $P>0.05$ ]、最大位移 [(10.1±0.4)mm vs (10.0±0.4)mm,  $P>0.05$ ]、以及屈服刚度 [(24.4±0.4)N/mm vs (24.5±0.5)N/mm,  $P>0.05$ ] 差异无统计学意义。拉力螺钉组在失效载荷 [(99.0±1.7)N, (45.2±0.5)N, (64.8±0.7)N,  $P<0.05$ ]、最大位移 [(10.0±0.4)mm, (9.4±0.6)mm, (5.6±0.5)mm,  $P<0.05$ ] 及屈服刚度 [(24.5±0.5)N/mm, (5.0±0.3)N/mm, (12.5±0.3)N/mm,  $P<0.05$ ] 均显著大于 2-0 线 NICE 组和 1-0 线 NICE 组。1-0 线 NICE 组失效载荷 [(64.8±0.7)N vs (45.2±0.5)N,  $P<0.05$ ]、屈服刚度 [(12.5±0.3)N/mm vs (5.0±0.3)N/mm,  $P<0.05$ ] 均显著大于 2-0 线 NICE 组, 而前者的最大位移 [(5.6±0.5)mm vs (9.4±0.6)mm,  $P<0.05$ ] 显著小于后者。[结论] 使用 1# 线进行 NICE 结环绕捆扎固定锁骨中段骨折, 与使用拉力螺钉固定方式的生物力学性能相当。

**关键词:** 锁骨中段骨折, NICE 结固定, 拉力螺钉, 生物力学测试

中图分类号: R683.41 文献标志码: A 文章编号: 1005-8478 (2023) 10-0912-05

**Biomechanical test of NICE knot fixation for mid-shaft clavicle fracture // FAN Zhen-huan<sup>1a</sup>, YU Zhen-hai<sup>1b</sup>, ZHAO Ting-bao<sup>2b</sup>, FANG Long<sup>2b</sup>, LIN Yong-jie<sup>2a</sup>, HAO Wei<sup>1a, 2a</sup>. 1a. The Second Clinical College of Medicine, 1b. Anatomy Department, Binzhou Medical University, Yantai 264000, China; 2a. Department of Joint and Sports Medicine; 2b. Department of Spinal Cord Surgery, The Third Hospital of Shandong Province, Jinan 250000, China**

**Abstract:** [Objective] To investigate the biomechanical properties of NICE knot fixation for mid-shaft clavicle fracture. [Methods] A total of 60 human clavicle specimens were randomly divided into 4 groups. The mid-shaft clavicle fracture models (OTA/AO type 15-A2) were made with an oscillating saw. After that, the fracture was fixed with lag screw, 2-0 suture NICE knot, 1-0 suture NICE knot and 1# suture NICE knot, respectively. Failure load, maximum displacement and yield stiffness of fracture models were measured by Instron biomechanical machine. [Results] There were no significant differences between the lag screw group and 1# suture NICE knot group in terms of failure load [(98.4±0.7)N vs (99.0±1.7)N,  $P>0.05$ ], the maximal displacement [(10.1±0.4)mm vs (10.0±0.4)mm,  $P<0.05$ ] and yield stiffness [(24.4±0.4)N/mm vs (24.5±0.5)N/mm,  $P>0.05$ ]. However, the lag screw proved significantly superior to 2-0 suture NICE group and 1-0 suture NICE group in terms of the failure load [(99.0±1.7)N vs (45.2±0.5)N and (64.8±0.7)N,  $P<0.05$ ], the maximal displacement [(10.0±0.4)mm vs (9.4±0.6)mm and (5.6±0.5)mm,  $P<0.05$ ] and yield stiffness [(24.5±0.5)N/mm vs (5.0±0.3)N/mm and (12.5±0.3)N/mm,  $P<0.05$ ]. In addition, the 1-0 suture group was significantly superior to the 2-0 suture NICE group regarding failure load [(64.8±0.7)N vs (45.2±0.5)N,  $P<0.05$ ] and yield stiffness [(12.5±0.3)N/mm vs (5.0±0.3)N/mm,  $P<0.05$ ], despite that the former had significantly less maximum displacement than the latter [(5.6±0.5)mm vs (9.4±0.6)mm,  $P<0.05$ ]. [Conclusion] The biomechanical performance of NICE knot with 1# suture for fixation of mid-shaft clavicle fractures is comparable to that of lag screw fixation.

**Key words:** mid-shaft clavicle fracture, NICE knot fixation, lag screw, biomechanical test

锁骨骨折是临床中常见的骨折类型<sup>[1, 2]</sup>, 其中 69%~81% 为锁骨中段骨折<sup>[3]</sup>。由于内侧胸锁乳突肌

的牵拉以及上肢重力作用, 骨折端往往产生移位。如果同时合并外侧喙锁韧带断裂, 则加重骨折移位程

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.10.10

作者简介: 范振环, 临床医学研究生在读, 研究方向: 创伤骨科, (电话)15553583179, (电子信箱)Fanzh0805@163.com

\* 通信作者: 郝伟, (电话)18396866332, (电子信箱)ehaw@163.com

度<sup>[4]</sup>，穿行在锁骨中段下方的锁骨下动脉、静脉和臂丛神经极易受到断端的创伤<sup>[5]</sup>。文献报道，保守治疗移位性锁骨中段骨折，出现骨折愈合不良的风险较高，造成肢体功能障碍<sup>[6, 7]</sup>。为实现骨折断端的解剖复位，加速患侧肢体功能康复、尽早回归正常工作和生活，手术治疗逐渐成为移位性锁骨中段骨折主要治疗方式<sup>[8]</sup>。目前，拉力螺钉结合发挥中和作用的锁定接骨板内固定手术是治疗移位性锁骨中段骨折的常用方法<sup>[9]</sup>，但是该固定结构仅限于维持垂直方向的稳定力，水平方向的移位则不易控制<sup>[10, 11]</sup>。即使使用拉力螺钉获得的固定结构较为坚固，但螺钉内固定松动、螺钉钻孔破坏骨皮质等内固定失效的危险因素依然存在<sup>[12]</sup>。

NICE 结现常称为尼斯结，具有双缝合线自锁滑结的特点，通过反向拉伸两端缝合线压缩线结并辅以滑结锁定达到固定目的；同时锁定加压有效避免了术后康复锻炼可能出现的线结松动造成固定失败的问题<sup>[13]</sup>。目前已有关于 NICE 结辅助固定锁骨断端用于移位性锁骨中段骨折的手术治疗的文献报道<sup>[14]</sup>，并成功应用在多个部位骨折内固定术<sup>[15]</sup>、关节置换术以及肌腱断裂修复等手术中<sup>[16]</sup>，显示出了良好的临床应用效果。然而将 NICE 结辅助固定移位性锁骨中段骨折的生物力学研究鲜有报道。本文拟在体外条件下对比研究拉力螺钉固定与高强度缝合线 NICE 结环绕捆扎固定的生物力学稳定性，继而评估用 NICE 线结替代拉力螺钉，结合锁定加压接骨板用于移位型锁骨中段骨折的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

本实验中使用的 60 例人体锁骨标本均来自滨州医学院解剖学教研室，其中左侧 28 例，右侧 32 例，所有骨骼标本长度、宽度、弯曲角度相差不大，试验开始前，X 线片检查确定所有锁骨标本均无骨折及愈合迹象。试验进行前锁骨骨骼标本均使用 10% 的甲醛缓冲液防腐处理，并在试验进行过程中将浸泡在等渗盐水溶液中的纱布覆盖骨骼标本表面，保持湿润，避免影响试验结果准确性。本课题研究得到滨州医学院伦理委员会的同意。

### 1.2 锁骨骨折模型建立

测定每个锁骨长度后确定锁骨长度中点，使用数字游标卡尺测量并记录锁骨宽度中点。使用骨科电动摆锯在每例标本中点标记点倾斜 45°角进行截骨，根

据 OTA /AO 15-A2 骨折分型特点<sup>[17]</sup>，使用骨科摆锯配合合适尺寸摆锯锯片人为制造锁骨中段斜行骨折模型。所有骨折模型制作均由同一名经验丰富的骨科主任医师完成，确保所有标本的操作一致性。

### 1.3 分组与内固定方法

采用随机数字表法将 60 例锁骨标本分为四组，分别为拉力螺钉组和 3 个 NICE 结组，即 2-0 线 NICE 组、1-0 线 NICE 组和 1#线 NICE 组。分别使用拉力螺钉、2-0 不可吸收缝合线（山东威高）、1-0 不可吸收缝合线和 1#不可吸收缝合线 NICE 结进行固定。

拉力螺钉组的手术固定方式依照骨折治疗的 AO 原则进行<sup>[9, 17]</sup>，清晰暴露骨折线后，骨折复位钳临时辅助固定骨折骨折断端，使用定位器瞄准已标记的锁骨上表面中心处并倾斜 45°角定位并用电钻钻孔，钻孔过程中需维持导针方向垂直骨折线，钻孔过程中尽量维持固定，避免导针移位甚至加重骨折碎裂程度。钻头钻透对侧皮质后使用测深尺测深并沿钻孔方向拧入 1 枚 3.5 mm 皮质骨螺钉（图 1a）。而应用 NICE 结固定的 3 组骨折模型在骨折复位钳临时固定后，分别使用分组依据对应的不同规格不可吸收缝合线，于骨折端中点两侧对称位置行 NICE 结环扎固定。

### 1.4 力学测试方法

使用 Instron 机器（Instron, High Wycombe, Bucks）配合机器配备的 5 kN 压力传感器通过三点弯曲试验进行失效载荷测试，试验结果记录频率 500 Hz。将各组固定后骨折模型标本用三点弯曲夹具夹持，夹具的两端承重支点位于锁骨两端关节内 2 cm 处，并将两承重支点置于夹具标尺的两侧对称位置，中点位于十字头施压夹具正下方，即承重夹具标尺中心零刻度线处，十字头施压夹具直接连接在压力传感器上。通过三点弯曲试验逐一对各组标本进行失效载荷测试，记录产生失效所需的失效载荷（N）和最大位移（mm）（图 1b），并通过测量数据计算屈服刚度（N/mm）等数据。

### 1.5 统计学方法

采用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计学分析，计量数据以  $\bar{x} \pm s$  表示，资料呈正态分布时，采用单因素方差分析，两两比较采用 LSD 法；资料呈非正态分布时，采用 Krushal-Wallis H 检验，两两比较采用 Mann-whitney U 检验。P<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

## 2.1 损毁模式

使用不同类型固定材料的四组辅助固定结构达到固定失败的表现方式大致相同，均为固定结构与骨的交界处出现固定材料的断裂或骨质破坏。相较于成年人锁骨处的骨质，金属材质的拉力螺钉材料强度明显更强，当施加的载荷逐渐增大时可造成材料属性较弱的锁骨出现持续加重的不可逆性破坏。拉力螺钉组在施加载荷达到峰值后迅速下降，提示钉道周围的皮质遭到破坏，螺钉松动发生，内固定完全失效。而三组使用双股缝合线进行 NICE 结环扎固定组的试验结果出现另一种损毁模式，随着施加载荷的增加，NICE 结固定的骨折标本断端位移随之增大，在达到峰值载荷后仍处于相对平台期，有效避免了载荷的持续增加，大大降低了内固定失败风险，进而维持骨折处的相对稳定。

## 2.2 测量结果

三点弯曲测试结果见表 1，拉力螺钉组的失效载荷、最大位移与屈服刚度均显著大于 2-0 线 NICE 组以及 1-0 线 NICE 组 ( $P < 0.05$ )；1-0 线 NICE 组失效载荷和屈服刚度均显著大于 2-0 线 NICE 组 ( $P < 0.05$ )，而 1-0 线 NICE 组的最大位移显著小于 2-0 线 NICE 组 ( $P < 0.05$ )。而拉力螺钉组与 1# 线 NICE

组的失效载荷、最大位移与屈服刚度差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

四组载荷-位移曲线见图 1c~1f，提示施加载荷大致与位移呈正相关，整体固定结构屈服刚度未发生明显变化；随后的载荷增加过程中位移随载荷增加而逐渐增大，固定结构持续遭到破坏，整体屈服刚度降低，载荷-位移曲线变平缓，进入相对稳定期。即使拉力螺钉组在载荷加载的初始阶段存在载荷-位移曲线平缓的现象，但是在消除骨折断端之间的间隙后获得的整体固定结构的屈服刚度与 1# NICE 组屈服刚度差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。而三组使用缝合线的 NICE 结固定结构的屈服刚度存在明显差异 ( $P < 0.05$ )，1# NICE 组的固定结构的力学稳定性具有显著优势。

表 1 四组标本三点弯曲测试结果 ( $n=15, \bar{x} \pm s$ ) 与比较

组别	失效载荷 (N)	最大位移 (mm)	屈服刚度 (N/mm)
拉力螺钉组	99.0±1.7	10.0±0.4	24.5±0.5
2-0 线 NICE 组	45.2±0.5	9.4±0.6	5.0±0.3
1-0 线 NICE 组	64.8±0.7	5.6±0.5	12.5±0.3
1# 线 NICE 组	98.4±0.7	10.1±0.4	24.4±0.4
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

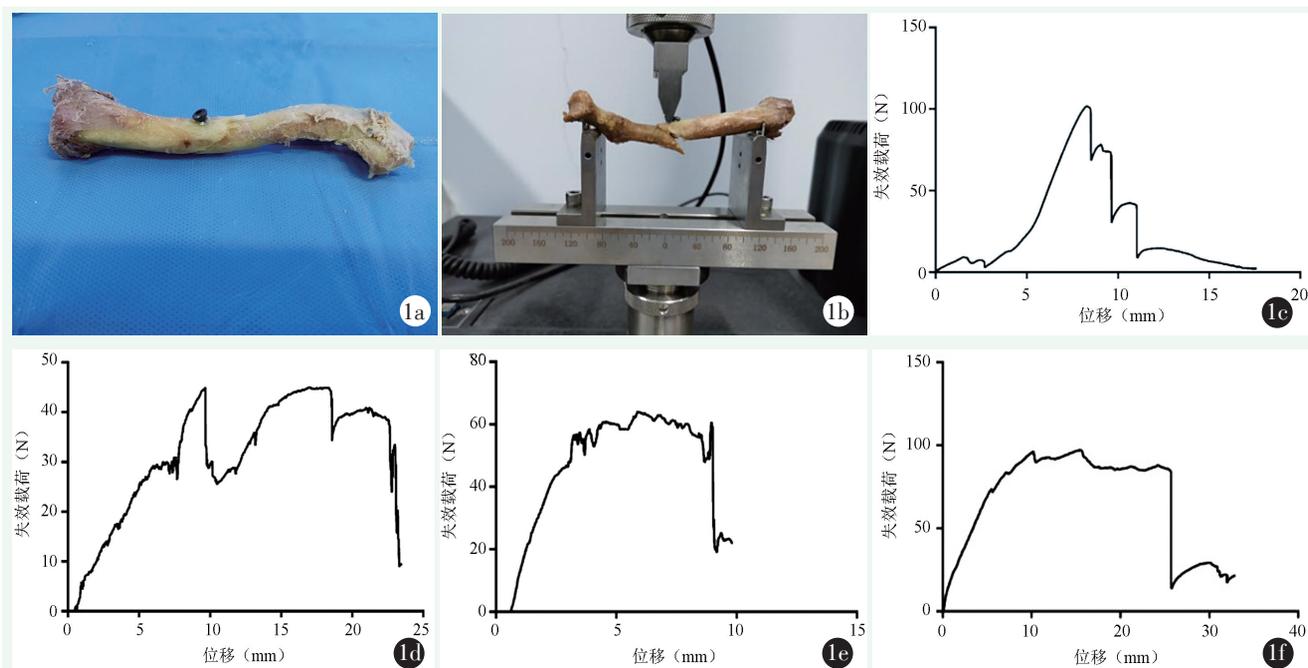


图 1 锁骨中段骨折 (OTA/AO 15-A2) 的模型建立与三点折弯测试 1a: 拉力螺钉组固定 1b: 力学测试加载外观 1c: 拉力螺钉组载荷-位移曲线 1d: 2-0 NICE 组载荷-位移曲线 1e: 1-0 组 NICE 载荷-位移曲线 1f: 1-0 NICE 组载荷-位移曲线

## 3 讨论

锁骨中段 1/3 骨折斜行骨折根据 OTA/AO 骨折

分型法命名为 OTA/AO 15-A2 型骨折，由于锁骨周围复杂的肌肉、韧带等组成部分的作用以及上肢的重力作用，骨折后大多数出现骨折断端的移位及周围组

织的嵌入导致骨折自然愈合效果不佳。有文献报道认为保守治疗锁骨中段骨折并发症较多,影响患肢早期功能锻炼及治疗效果<sup>[18]</sup>。目前的治疗指南建议对完全移位>5 cm、短缩>2 cm、畸形明显(局部突出>1~2 cm)或粉碎严重的锁骨中段1/3骨折进行手术治疗<sup>[19]</sup>。研究证实手术切开复位内固定治疗移位性锁骨中段骨折较保守治疗更具优势,可以实现骨折断端的解剖复位,术后早期功能锻炼,恢复工作和生活,患者对治疗满意度增加<sup>[8]</sup>。

目前,在NICE线结辅助固定锁骨中段斜行骨折的生物力学研究方面,仍然鲜有报道。有临床报道证实,在使用NICE结联合解剖锁定钢板治疗粉碎性锁骨中段骨折的手术中,NICE结在辅助固定锁骨骨块方面具有优势<sup>[20]</sup>,通过NICE结的滑动锁定特性,协助解剖复位骨折断端,维持锁骨原有长度,起到促进骨折愈合作用<sup>[14]</sup>。在一项关于使用NICE结环扎辅助固定蝶形骨块的锁骨中段骨折的回顾性研究报道中,未发现线结滑脱、固定失效导致的骨折延迟愈合、不愈合等现象<sup>[21]</sup>。

线结捆扎辅助固定的牢固程度不仅取决于缝线材料的强度,还取决于所打线结的牢固性。骨折术中所用线结主要为外科结,在固定张力较大组织时需用血管钳协助夹持线结,易损伤线材,降低缝线强度,而NICE结这类滑结的打结操作无需钳夹线结,不损伤缝线。本试验中的NICE结是一种滑动自锁高张力线结<sup>[22]</sup>,已经成功应用在不同骨科手术中,其抗张力效果强,辅助固定效果良好,产生一定的张力可使骨组织在机械应力的作用下受到缓慢、持续牵拉,刺激骨折处成骨细胞及骨细胞的再生及愈合。此外,NICE结的松解和打结操作同样简单,可在术中根据需求进行断端的微小调整及临时固定<sup>[23]</sup>。并且因为NICE结的滑动锁定是通过滑结加压完成,无需钳夹维持张力,对缝合线的破坏较少。相比于使用拉力螺钉,使用NICE结环扎辅助固定移位骨折端时只需钳夹固定游离、移位的骨块后直视下收紧NICE线结,即可达到恢复解剖复位及辅助固定的目的,有效缓解骨折断端钻孔打钉前充分暴露视野而需要过度剥离骨膜组织的问题。

试验研究发现,术中拉力螺钉的不适当加压存在导致骨折端潜在再骨折风险,增加固定难度;同时也存在螺钉松动、脱出风险。NICE结环扎可以快速、高效、微创实现锁骨中段骨折固定,环绕锁骨固定的模式则避免了在应用拉力螺钉过程中由于打孔固定而导致应力集中所引起的术中再骨折风险。本文研究发

现,拉力螺钉组与1#组两种辅助固定结构在类似的峰值载荷下出现了辅助固定材料与骨质交界处的骨质破坏,提示两种辅助固定结构的固定强度相当。然而,1#组在达到失效载荷后,通过加大位移,在骨折端产生微动,以维持骨折断端的相对稳定,有效避免内固定失败。提示其具有比拉力螺钉固定更为优越的生物力学性能。

对于使用NICE结辅助固定移位性锁骨中段骨折的手术治疗方式,尽管国内外已经有数篇研究进行回顾性分析并取得了较好的随访数据,但是仅限于此,并未有定量实验研究分析使用NICE结辅助固定的相关生物力学研究报道,本试验弥补了这一领域空缺,将临床医学基础实验与工科力学实验相结合,为优化锁骨中段骨折固定方式提供研究基础。同时对于不同规格缝合线NICE结环扎固定以及拉力螺钉固定的生物力学特性进行了分析,结果提示2-0#缝合线固定结构的失效载荷明显最小,随缝合线的尺寸增加对应固定结构的失效载荷逐渐增大,1#缝合线具有与拉力螺钉类似的峰值载荷,提示在锁骨中段内固定手术中需要正确选择高强度(大尺寸)缝合线进行NICE结环扎辅助固定,以实现可以替代拉力螺钉固定稳定性的生物力学效果。

借助高强度缝合线制作NICE结环扎结构辅助固定锁骨中段骨折可以提供不弱于拉力螺钉的生物力学性能。此外,NICE结环扎不需过度剥离周围骨膜组织,可减少术中周围组织破坏引起的并发症。本课题研究为在临床中应用NICE结环扎结合锁定加压接骨板固定锁骨中段骨折提供了有力的生物力学证据,同时在线材规格选择方面提供了有意义的参考,为其临床进一步推广应用奠定研究。

#### 参考文献

- [1] Postacchini F, Gumina S, De Santis P, et al. Epidemiology of clavicle fractures [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2002, 11 (5): 452-456.
- [2] Zlowodzki M, Zelle BA, Cole PA, et al. Treatment of acute midshaft clavicle fractures: systematic review of 2144 fractures: on behalf of the Evidence-Based Orthopaedic Trauma Working Group [J]. J Orthop Trauma, 2005, 19 (7): 504-507.
- [3] Ropars M, Thomazeau H, Hutten D. Clavicle fractures [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2017, 103 (1S): S53-S59.
- [4] Preston CF, Egol KA. Midshaft clavicle fractures in adults [J]. Bull NYU Hosp Jt Dis, 2009, 67 (1): 52-57.
- [5] 赵燕鹏,唐佩福.锁骨中1/3骨折钢板固定方式的选择策略[J].中国矫形外科杂志,2013,21(16):1620-1624.
- [6] Axelrod DE, Ekhtiari S, Bozzo A, et al. What is the best evidence for management of displaced midshaft clavicle fractures? A system-

- atic review and network Meta-analysis of 22 randomized controlled trials [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2020, 478 (2): 392-402.
- [7] Liu J, Srivastava K, Washington T, et al. Cost-effectiveness of operative versus nonoperative treatment of displaced midshaft clavicle fractures: a decision analysis [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101 (1): 35-47.
- [8] 王富明, 陈小华, 隆晓涛, 等. 保守治疗和切开复位钢板内固定治疗锁骨中段骨折的荟萃分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 28 (8): 712-716.
- [9] Chen CH, Chen JC, Wang C, et al. Semitubular plates for acutely displaced midclavicular fractures: a retrospective study of 111 patients followed for 2.5 to 6 years [J]. *J Orthop Trauma*, 2008, 22 (7): 463-466.
- [10] Hislop P, Sakata K, Ackland DC, et al. Acromioclavicular joint stabilization: a biomechanical study of bidirectional stability and strength [J]. *Orthop J Sports Med*, 2019, 7 (4): 1810884175.
- [11] Vannabouathong C, Chiu J, Patel R, et al. An Evaluation of treatment options for medial, midshaft, and distal clavicle fractures: a systematic review and Meta-analysis [J]. *JSES Int*, 2020, 4 (2): 256-271.
- [12] Boileau P, Saliken D, Gendre P, et al. Arthroscopic Latarjet: suture-button fixation is a safe and reliable alternative to screw fixation [J]. *Arthroscopy*, 2019, 35 (4): 1050-1061.
- [13] Westberg SE, Acklin YP, Hoxha S, et al. Is suture comparable to wire for cerclage fixation? A biomechanical analysis [J]. *Shoulder Elbow*, 2019, 11 (3): 225-232.
- [14] 杨飞, 付中国. 尼斯结联合解剖锁定钢板治疗成人锁骨中段粉碎骨折疗效分析 [J]. *中华肩肘外科电子杂志*, 2018, 6 (3): 171-176.
- [15] 陈圣, 常小波, 危涛, 等. Fiberwire 缝线 Nice 结技术治疗掌骨干长斜形骨折的临床疗效 [J]. *实用手外科杂志*, 2022, 36 (1): 3-6.
- [16] 吴刚, 谭伦, 罗晓中, 等. 尼斯结与螺钉固定治疗下胫腓联合损伤的比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (8): 682-687.
- [17] 危杰. 骨折治疗的 AO 原则 [M]. 2 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2010: 421-427.
- [18] 杨帆, 王东, 孙海钰, 等. 锁骨骨折植入物内固定与保守治疗效果比较的 Meta 分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2014, 18 (22): 3567-3573.
- [19] 李国坤, 查晔军, 蒋协远. 锁骨中段骨折的治疗现状 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25 (16): 1486-1489.
- [20] Wu G, Chen YQ, Chen CY, et al. Clinical outcomes of doubled-suture Nice knot augmented plate fixation in the treatment of comminuted midshaft clavicle fracture [J]. *BMC Surg*, 2021, 21 (1): 270.
- [21] 陈健, 马剑雄, 马信龙, 等. Nice 结辅助复位技术与传统复位技术在移位粉碎性锁骨中段骨折中的应用比较 [J]. *中华肩肘外科电子杂志*, 2020, 8 (3): 220-225.
- [22] Boileau P, Alami G, Rumian A, et al. The doubled-suture Nice knot [J]. *Orthopedics*, 2017, 40 (2): e382-e386.
- [23] Meyer DC, Bachmann E, Ladermann A, et al. The best knot and suture configurations for high-strength suture material. an in vitro biomechanical study [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2018, 104 (8): 1277-1282.
- (收稿:2022-12-01 修回:2023-03-28)  
(同行评议专家:王明明 张立峰 林永杰 王炳臣)  
(本文编辑:宁 桦)