

文章编号: 1004-7220(2023)05-0969-07

自主研发新型肩胛颈部解剖锁定钢板的生物力学对比

罗亮¹, 何思远², 刘晋辉^{3,4}, 梁杰^{3,4}, 杨楷文³, 范伟³, 向飞帆^{3,4*}, 阳运康^{3,4*}

(1. 重庆两江新区人民医院 骨科二病区, 重庆 401121; 2. 重庆医科大学附属第二医院 眼科, 重庆 400010;

3. 西南医科大学附属第一医院 骨科, 四川 泸州 646000; 4. 四川省骨科置入器械研发及应用技术工程实验室, 四川 泸州 646000)

摘要: **目的** 将自主研发新型肩胛颈部解剖锁定钢板与 Watson 重建接骨板进行生物力学对比分析, 观察其生物力学方面的特点及优势。 **方法** 选取 12 具防腐、湿润的成人肩胛骨尸体标本(男 7 具, 女 5 具), 造模成肩胛颈骨折 (Miller 分型 II B 型) 标本, 根据取标本的先后顺序及性别随机分为实验组和对照组; 实验组采用新型肩胛颈部解剖锁定钢板内固定, 对照组采用 Watson 重建接骨板内固定。将标本安置钢板后在生物力学实验机上分别进行肩胛颈部抗拉伸实验、钢板螺钉抗拔出实验、动态疲劳实验。通过与实验终端相连接的计算机采集实验数据, 并绘制力-位移曲线以及周期-位移曲线。 **结果** 在肩胛颈部抗拉伸实验中, 实验组平均抗拉伸力[(356.50±32.19) N] 优于对照组[(193.83±29.39) N] ($P<0.05$)。在肩胛颈部钢板螺钉抗拔出实验中, 实验组平均抗拔出出力[(263.83±22.85) N] 优于对照组[(135.50±15.40) N] ($P<0.05$)。在动态疲劳实验中, 300 个周期内实验组平均位移小于对照组 ($P<0.05$), 且均未出现钢板、螺钉断裂松动现象。 **结论** 自主研发的新型肩胛颈部解剖锁定钢板在抗拉伸、抗拔出、动态疲劳生物力学性能优于重建接骨板, 可为临床上治疗肩胛骨颈部骨折提供一种较为理想的内固定系统。

关键词: 肩胛颈骨折; 肩胛颈解剖锁定钢板; 重建接骨板; 生物力学

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.05.018

Biomechanical Comparison of the Novel Self-Developed Scapular Neck Anatomical Locking Plate

LUO Liang¹, HE Siyuan², LIU Jinhui^{3,4}, LIANG Jie^{3,4}, YANG Kaiwen³, FAN Wei³, XIANG Feifan^{3,4*}, YANG Yunkang^{3,4*}

(1. The Second Department of Orthopedics, People's Hospital of Chongqing Liang Jiang New Area, Chongqing 401121, China; 2. Department of Ophthalmology, the Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China; 3. Department of Orthopaedics, the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan, China; 4. Sichuan Provincial Laboratory of Orthopaedic Engineering, Luzhou 646000, Sichuan, China)

Abstract: Objective The biomechanical comparison between the novel scapular neck anatomical locking plate (SNALP) and the Watson reconstruction plate (WTRP) was conducted, so as to observe characteristics and advantages of the SNALP in the aspect of biomechanics. **Methods** Twelve preserved and moistened adult scapula cadaver specimens (7 males and 5 females) were selected and molded into scapular neck fracture

收稿日期: 2022-11-29; 修回日期: 2022-12-29

基金项目: 四川省科技厅项目(2022NSFSC1534), 四川省科技计划联合创新专项(2022YFS0628), 泸州市科技局课题(2021-JYJ-60), 泸县人民政府与西南医科大学联合课题(2020LXXNYKD-03)

通信作者: 阳运康, 主任医师, E-mail: droyk@163.com; 向飞帆, 主治医师, E-mail: 907971009@qq.com

* 为共同通信作者

(Miller's type II B) specimens, which were randomly divided into experimental and control groups according to the order of specimen collection and gender; the SNALP for internal fixation was used in experimental group, and the WTRP for internal fixation was used in control group. The specimens were placed on the biomechanical testing machine, then the scapular neck tensile test, plate screw anti-pullout test and dynamic fatigue test were conducted respectively. The experimental data were collected by the computer connected to the experimental terminal, and the stress-displacement curves and cycle-displacement curves were plotted. **Results** In the scapular neck tensile test, the average tensile strength of experimental group [(356.50 ± 32.19) N] was better than that of control group [(193.83 ± 29.39) N] ($P < 0.05$). In the anti-pullout test of scapular neck plate and screw, the average anti-pullout force of experimental group [(263.83 ± 22.85) N] was better than that of control group [(135.50 ± 15.40) N] ($P < 0.05$). In dynamic fatigue test, the average displacement of experimental group was smaller than that of control group within 300 cycles ($P < 0.05$), and no fracture and loosening of the steel plate and screw occurred. **Conclusions** The novel SNALP is better than the WTRP in terms of tensile, pullout and dynamic fatigue biomechanical properties, and can provide a more ideal internal fixation system for clinical treatment of scapular neck fractures.

Key words: scapular neck fracture; scapular neck anatomical locking plate; reconstruction plate; biomechanics

肩胛颈为关节盂与肩胛体的移行部,具有维持肩关节盂的正常位置和传导应力的作用,对肩关节的稳定性起关键作用。肩胛颈骨折在临床上并不多见,占有所有肩胛骨骨折的7%~25%,占全身骨折的1%,且多发生于车祸伤、高处坠落伤和重物砸伤等高能暴力损伤,或者摔倒时侧方着地,肱骨头撞击肩关节盂导致肩胛颈骨折,故肩胛颈骨折常合并肱骨近端骨折、肩袖损伤、锁骨骨折、气胸、头部创伤、肋骨骨折等多发创伤。在临床诊疗过程中,肩胛颈骨折往往因位置较深,临床表现不典型,导致漏诊误诊,延误治疗时间^[1-2]。

早期大部分学者对于肩胛颈骨折倾向于采用保守治疗,但随着对肩胛颈部及周围解剖的深入研究,发现肩胛颈骨折后因周围肌肉和韧带的牵拉,导致其正常的解剖结构往往发生改变,肩胛孟的前倾角或后倾角超过正常位置,从而导致复发性肩关节脱位、肩关节失稳、肩胛骨畸形愈合、肩峰下撞击综合征等并发症,肩关节功能明显受限,故越来越多的学者倾向于手术治疗^[3]。

临床上应用于肩胛颈骨折的内固定器械种类繁多,例如克氏针、空心钉、重建钢板、桡骨远端T型钢板等内固定器械,但均存在诸多缺陷。肩胛颈部为松质骨,解剖形态特殊,位置较深且显露困难,单纯克氏针或空心钉固定肩胛颈骨折,往往位置不理想,不能起到牢靠固定的作用。重建钢板常需塑形且塑形困难,导致手术时间延长,使手术风

险明显增加,若与肩胛颈贴附不好,容易引起骨折的移位从而导致内固定失败,另外重建钢板在肩胛颈部放置螺钉数量有限且螺钉方向很难控制,尤其对于粉碎性骨折或骨质疏松患者可能出现内固定把持力不足,导致骨折断端的松动、移位,进而发生骨折不愈合、愈合不良等风险。桡骨远端T型钢板因塑形及固定均很困难,在临床上使用很少。目前国内尚无一款真正符合肩胛颈周围解剖特点的解剖锁定钢板。本文研制出一款符合肩胛颈周围解剖特点的解剖锁定钢板(见图1)。该新型肩胛颈周围解剖锁定钢板由肩胛孟颈部、连接部和外侧缘部三部分组成。钢板整体厚度2 mm,宽度10 mm,并整体进行圆角处理。该钢板肩胛孟颈部与肩胛骨孟颈部弧形完美贴合,头部最上方设计1枚过关节盂中心的锁定钉,对于肩胛孟颈部螺钉孔所处平面,第1枚螺钉方向向左侧倾斜 6° ,向下方倾斜 21° 。下方设计向喙突方向的两枚锁定钉,第2枚螺钉位于孟颈部的中心,向右侧倾斜 31° ,第3枚螺钉靠近连接部,向右侧倾斜 16° ,3枚锁定钉在孟颈部交叉成角,实现三维立体固定。外侧缘部与肩胛骨外侧缘背部走行吻合,设计4枚普通锁定联合孔,可根据需要选择锁定方式。该钢板已获得国家实用新型专利(202221488758.0)。

本文从生物力学角度将该钢板与临床上常用的重建接骨板进行对比,观察其生物力学特点及优势,以期指导肩胛颈骨折的临床治疗。

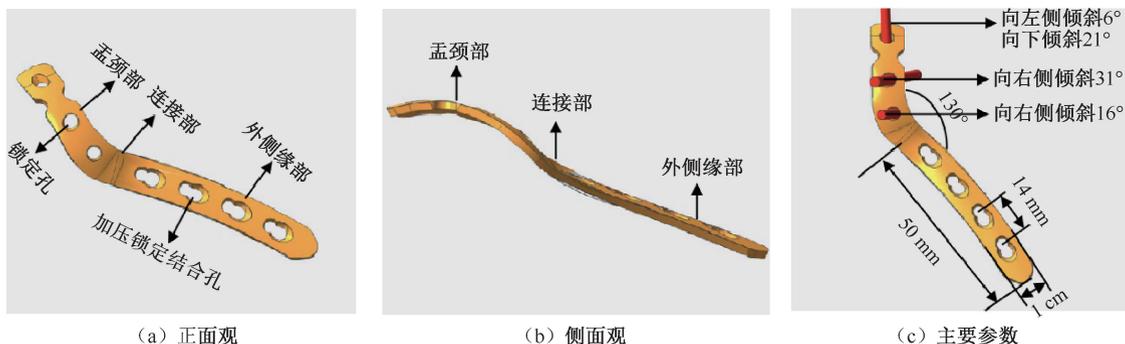


图1 新型肩胛颈部解剖锁定钢板设计图和主要参数

Fig.1 Design diagram and main parameters of the novel scapular neck anatomical locking plate (a) Frontal view, (b) Lateral view, (c) Main parameters

1 实验与方法

1.1 实验标本

选取12具防腐、湿润的成人肩胛骨标本,肉眼观察标本尺寸无明显差异。其中,男性标本7具,女性标本5具,死亡年龄25~67岁,平均年龄 (43.08 ± 11.98) 岁。所有标本经影像学检查已排除肿瘤、骨折、形态畸形、代谢性疾病、骨质疏松等异常情况。清理肩胛骨周围不相关的肌肉和软组织,用浸泡生理盐水纱布将肩胛骨标本包裹好后放置于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱中保存。实验前常温下解冻 $10\text{ h}^{[3]}$ 。

1.2 内固定材料及内固定实验模型制备

自主研发的新型肩胛颈部解剖锁定钢板数块、



图2 骨折标本及内固定标本

Fig.2 Pictures of fracture and internal fixation specimens (a) Fracture model, (b) Locking steel plate, (c) Reconstruction bone plate

1.3 生物力学实验

使用 1.5 mm 钢丝及夹具把肩胛颈骨折标本固定在生物力学实验机上,分别进行肩胛骨颈部抗拉伸实验、钢板螺钉抗拔出实验和动态疲劳实验。所有仪器检测系统在测试前调整灵敏度、调零,以提

10孔重建接骨板数块(均为钛合金,由四川维思达盛康医疗科技有限公司提供)。

根据所取收集顺序及性别,对所有标本进行随机对照分组:实验组6例(用自主研发的新型肩胛颈部解剖锁定钢板固定)和对照组6例(用Watson重建接骨板固定)。将标本制备成临床上常见的肩胛颈骨折模型(Miller分型II B型),在每个标本上标记骨折线(从肩胛骨外侧边缘近端斜行穿过肩峰基底或肩胛,位于喙突基底或肩胛冈部),尽量保持骨折线走行一致,用摆锯沿着标记制作骨折模型。所有骨折模型均由同组高年资骨科医师按照标准术式完成(见图2)。

高实验精准度。每次实验前进行预加载,以消除骨的松弛、系统蠕变等影响。通过与生物力学实验机相连接的计算机自动收集实验数据,并使用GraphPad Prism 8.0软件绘制力-位移曲线图和周期-位移曲线图。实验环境稳定,湿度50%,温度

25 ℃。力学实验在西南医科大学重点生物力学实验室完成。

1.3.1 肩胛骨颈部抗拉伸实验 将标本-内固定模型固定在生物力学实验机上进行肩胛骨颈部抗拉伸实验,由于肩胛骨颈部前方多为肌肉包绕,前方移位不明显,模拟肩胛骨颈部骨折后肌肉牵拉和侧方肱骨近端撞击的受力机制。每次测试前进行预加载,消除系统蠕变,在两组标本肩胛骨颈部垂直于骨折断端纵向施加 0~500 N,速度 5.00 mm/min 负载进行抗拉伸实验,终端连接计算机直接得出实验数据并使用 GraphPad Prism 8.0 软件绘制力-位移曲线图,记录两组最大抗拉伸力(曲线峰值)[见图 3(a)]。

1.3.2 肩胛骨颈部钢板螺钉抗拔出实验 将标本-内固定模型固定在生物力学实验机上进行肩胛骨颈部钢板螺钉抗拔出实验。为确保实验数据的准

确性,将钢丝从钢板后方肩胛孟颈侧间隙的螺钉间隙中穿出,使生物力学实验机对肩胛颈部的钢板螺钉只产生垂直方向的拔出力。实验前确保钢丝无张力,所有仪器检测系统调零,以 10 mm/min 加载速度进行肩胛颈部钢板螺钉抗拔出实验,终端连接计算机直接得出实验数据并使用 GraphPad Prism 8.0 软件绘制力-位移曲线图,记录两组最大抗拔出力(曲线峰值)[见图 3(b)]。

1.3.3 肩胛颈部动态疲劳实验 将标本-内固定模型固定在生物力学实验机上进行动态疲劳实验,模拟肱骨近端侧方撞击肩胛颈部最常见的受力机制,通过生物力学实验机对标本进行负载加载,连续施加 30~50 N 载荷力,频率 5 Hz,持续循环 300 个周期,分析在不同载荷力作用下骨折断端移位情况,比较两组内固定方式下肩胛颈骨折的稳定[见图 3(c)]。

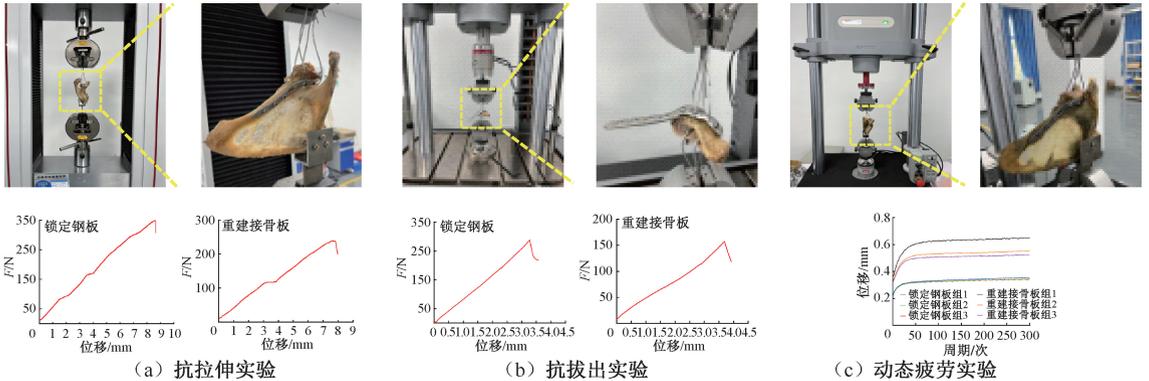


图3 生物力学实验

Fig. 3 Biomechanical experiment (a) Tensile test, (b) Anti-pullout test, (c) Dynamic fatigue test

1.4 统计学分析

实验数据应用 SPSS 25.0 统计学软件进行统计分析,制图使用 GraphPad Prism 8.0 软件。定量资料以均数±标准差表示,肩胛骨颈部抗拉伸实验、钢板螺钉抗拔出实验以及动态疲劳实验测试结果比较采用独立样本 t 检验,检验水准 $\alpha = 0.05, P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 肩胛骨颈部抗拉伸实验

实验组 ($n=6$) 钢板螺钉平均抗拉伸力为 (356.50 ± 32.19) N,对照组 ($n=6$) 钢板螺钉平均抗拉伸力为 (193.83 ± 29.39) N,差异具有统计学意义

($t=9.14, P < 0.05$),表明实验组颈部钢板螺钉抗拉伸能力强于对照组(见图 4)。

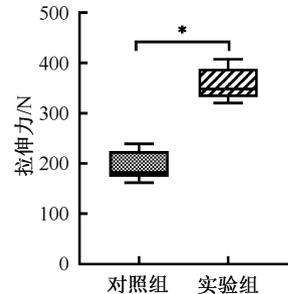


图4 两组平均抗拉伸力比较(* $P < 0.05$)

Fig. 4 Comparison of average tensile force between two groups

2.2 肩胛骨颈部钢板螺钉抗拔出实验

实验组 ($n=6$) 钢板螺钉平均抗拔出出力为 (263.83 ± 22.85) N, 对照组 ($n=6$) 钢板螺钉平均抗拔出出力为 (135.50 ± 15.40) N, 差异具有统计学意义 ($t=11.41, P<0.05$), 表明实验组固定肩胛颈部需要更大的力量才能拔出, 其抗拔出能力强于对照组 (见图 5)。

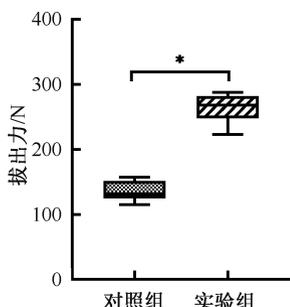


图 5 两组平均抗拔出出力比较 (* $P<0.05$)

Fig. 5 Comparison of the average anti-pullout force between two groups

2.3 肩胛骨颈部动态疲劳实验

分别分析两组实验第 1、50、100、150、200、250、300 个周期的位移。结果表明, 在 300 个周期内, 位移差异均具有统计学意义, 表明实验组采用新型肩胛颈部解剖锁定钢板固定肩胛颈骨折后骨折断端的移位更小, 其稳定性优于对照组 (见表 1)。

表 1 两组钢板动态疲劳实验

Tab. 1 Dynamic fatigue experiments for two groups of steel plates

周期/个	实验组	对照组	t	P
1	0.223±0.136	0.354±0.100	17.262	<0.05
50	0.341±0.363	0.580±0.120	4.263	<0.05
100	0.353±0.428	0.608±0.145	3.754	<0.05
150	0.362±0.480	0.613±0.158	3.414	<0.05
200	0.368±0.052	0.621±0.166	3.246	<0.05
250	0.375±0.055	0.632±0.177	3.091	<0.05
300	0.381±0.059	0.638±0.179	3.052	<0.05

3 讨论

3.1 新型肩胛颈部解剖锁定钢板的解剖学研究

肩胛骨为形态不规则的三角形扁平骨, 位于第 2~7 肋骨之间, 胸廓的后外侧上方, 具有保护胸腔和稳定上肢的作用^[5]。肩胛骨周围被丰富的肌肉组织包裹, 大部分肌肉附着于肩胛骨的外侧缘和肩峰处, 故该部位骨质较坚强, 有利于内固定的放

置^[6]。背面观肩胛冈把肩胛骨分为冈上窝及冈下窝, 这两个部位的骨质最为薄弱, 不利于内固定的放置。肩胛骨血供丰富, 主要来源于肩胛上动脉、旋肩胛动脉以及肩胛背动脉^[7]。

肩胛颈位置较深, 形状不规则, 位于肩胛体的外侧, 肩关节盂的内侧缘, 侧面观肩胛颈呈弧形, 大部分为松质骨。肩胛颈部周围有丰富的肌肉组织包裹, 分为两层, 三角肌位于外层, 冈下肌、小圆肌、冈上肌等组织位于内层。三边孔和四边孔结构位于小圆肌的外缘, 旋肩胛动脉、旋肱后动脉以及腋神经行走于其中^[8-10]。肩胛颈内侧有重要的肩胛上神经以及肩胛上血管, 当发生骨折时容易损伤这些结构。肩胛上神经为臂丛神经上干的感觉和运动神经, 从冈上窝开始走形于冈上肌的下表面, 经过肩胛冈基底后向内侧弯曲走形, 并支配冈下肌, 肩胛上神经在肩胛冈基底与肩胛盂外侧缘的距离平均为 1.8 cm^[11]。Shishido 等^[12]提出在肩胛上结节内 2.3 cm, 以及肩胛盂中部内 1.4 cm 内为肩胛盂颈部的安全区, 在这个区域进行手术操作将最大程度地避免肩胛上神经的医源性损伤。

3.2 新型肩胛颈部解剖锁定钢板的设计思路

肩胛颈骨折常见于高能量暴力损伤, 常合并肋骨骨折、肩袖损伤、肱骨近端骨折以及脑部损伤等多发创伤, 且位置较深, 临床医生在诊疗过程中关注其合并伤, 导致肩胛颈骨折误诊、漏诊率较高^[13-19]。目前临床上对于肩胛颈骨折的治疗原则为早期复位, 坚强内固定和早期肩关节功能锻炼, 尚无针对肩胛颈部骨折的解剖锁定钢板, 常采用克氏针、空心钉、重建接骨板或桡骨远端 T 型钢板等内固定材料固定肩胛颈部^[20-23]。这些内固定材料与肩胛颈的解剖匹配性差, 术中常需塑形, 延长手术时间, 且贴附不良, 存在许多缺陷; 且没有足够的临床数据统计分析各种常用的内固定材料所带来的治疗效果, 导致肩胛颈部骨折的治疗方案的选择仍存在较大争议。随着骨科内固定器械的推出和改进, 内固定技术的提高以及治疗理念的更新, 为更好满足肩胛颈部骨折患者的需求, 本文设计并研制出一款符合肩胛颈部解剖学特点, 力学性能好, 且疗效可靠的新型肩胛颈部解剖锁定钢板。

3.3 新型肩胛颈部解剖锁定钢板的生物力学特性及优势

新型肩胛颈部解剖锁定钢板根据国人肩胛颈

部周围解剖及生物力学特点所设计,经过尸体标本上反复测试及多次改进,使其更加符合肩胛颈解剖力学特点。将自主设计并研制的新型肩胛颈解剖锁定钢板与目前临床上常用的重建接骨板进行生物力学实验比较,结果表明,新型肩胛颈解剖锁定钢板无论在抗拉伸、抗拔出以及动态疲劳实验方面均明显优于重建接骨板,固定肩胛颈部具有良好的生物力学稳定性。

新型肩胛颈解剖锁定钢板是一种全新设计,适用于几乎所有肩胛颈骨折,并具有以下优势:

(1) 新型肩胛颈解剖锁定钢板参照肩胛颈部及周围解剖学和影像学资料,结合解剖及生物力学特性设计而成,避开了肩胛颈部周围的重要组织结构(肩胛上神经、血管),可有效防止医源性损伤。

(2) 新型肩胛颈解剖锁定钢板符合肩胛颈解剖特点,贴附性良好,操作简便,术中可不用塑形或略微塑形即可使钢板与肩胛颈部及肩胛骨外侧缘骨面贴附。

(3) 新型肩胛颈解剖锁定钢板的肩胛孟颈部螺钉螺纹均设计有一定角度和方向,可避免螺钉置入关节内导致医源性损伤,头部最上方设计1枚过关节孟中心的锁定钉,可有效固定肩胛孟颈部,这种多平面多角度的固定方式,可以实现对肩胛孟颈部的三维立体固定,对于老年骨质疏松的患者,该钢板的三维立体固定也能起到较好的固定效果。从本次生物力学实验结果可以看出,这种多平面多角度的三维立体固定方式,相比于重建接骨板,其抗拉伸、抗拔出、动态疲劳实验性能强,可有效防止内固定松动或断裂等风险。

(4) 该钢板符合骨科微创观念,无需大范围剥离周围软组织,手术创伤小,可保护肩胛颈部的血供和软组织,为骨折早期愈合提供基础。

3.4 本生物力学实验的不足

本研究的局限性如下:① 实验样本量较少,在以后的研究中可以增加样本量来进一步论证新型肩胛颈解剖锁定钢板与其他内固定材料的生物力学性能;② 同一标本分别进行3项生物力学实验,对下一项的实验结果难免产生一定影响;③ 所选取的肩胛骨标本年龄跨度较大,骨质之间存在差异,对实验结果有一定的影响;甲醛保存的尸体标本可造成钙磷丢失,导致骨密度降低,其生物力学

性能和活体情况存在差异,实验结果在某些方面不能完全反映真实的情况^[24]。

4 结论

本文自主设计并研制的新型肩胛颈解剖锁定钢板符合肩胛颈解剖学和生物力学特点,操作简单,贴附性良好,并且在抗拉伸、抗拔出和动态疲劳实验等生物力学实验性能方面均优于重建接骨板,具有良好的生物力学稳定性,可为临床上治疗肩胛骨颈部骨折提供一种较为理想的内固定系统。

参考文献:

- [1] ZHENG JL, LU N, SHEN Z, *et al.* Superior approach for treating Ideberg III glenoid fractures with superior shoulder suspensory complex injury: A technical trick [J]. *Trauma Case Reports*, 2020, 29: 100343.
- [2] STRÖM P. Glenoid fractures of the shoulder [J]. *EFORT Open Rev*, 2020, 5(10): 620-623.
- [3] 齐新文, 邝立鹏, 陈军平, 等. 重建钛板治疗肩胛颈骨折并同侧锁骨骨折的疗效观察[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2015, 30(11): 1199-2000.
- [4] 曾浪清, 曾路路, 陈云丰, 等. 新型双叶型肱骨近端锁定钢板的研制与生物力学研究[J]. *医用生物力学*, 2017, 32(5): 407-414.
ZENG LQ, ZENG LL, CHEN YF, *et al.* Design and biomechanical study of a novel double-leaf proximal humeral locking plate [J]. *J Med Biomech*, 2017, 32(5): 407-414.
- [5] 王雷舰. 肩胛骨的形态测量与应用研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2014.
- [6] 吕飞飞. 肩胛骨外侧缘切口辅助有限 Judet 切口与肩胛骨外侧缘切口治疗肩胛骨骨折的临床对比研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2015.
- [7] 陈婷婷, 张斌, 汤明明, 等. 肩胛上动脉走行异常 1 例[J]. *医学信息*, 2020, 33(19): 190-192.
- [8] 勒世海, 许永武. 肩胛骨骨折诊断、分型、治疗方法的研究进展[J]. *实用临床医学*, 2012, 13(4): 126-129.
- [9] 罗令, 任高宏, 张杰, 等. 肩胛孟、肩胛颈骨折后路微创手术的解剖及临床研究[J]. *中国矫形外科杂志*, 2015, 23(18): 1638-1642.
- [10] 于浩然. 腋缘纯间隙入路治疗肩胛颈、孟骨折疗效分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2020.
- [11] BIGLIANI LU, DALSEY RM, MCCANN PD, *et al.* An anatomical study of the suprascapular nerve. [J]. *Arthroscopy*, 1990, 6(4): 301-305.
- [12] SHISHIDO H, KIKUCHI S, Injury of the suprascapular

- nerve in shoulder surgery: An anatomic study [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2001, 10(4): 372-376.
- [13] 赵吉连, 李明东, 尹占文, 等. 改良后侧入路手术治疗肩胛颈孟骨折[J]. *中华关节外科杂志*, 2010, 4(1): 132-134.
- [14] 徐俊杰, 李业海, 刘庆, 等. 不稳定肩胛颈骨折植入物与非植入物治疗的比较[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(30): 5561-5564.
- [15] UZKESER M, EMET M, KILİÇ M, *et al.* What are the predictors of scapula fractures in high-impact blunt trauma patients and why do we miss them in the emergency department? [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2012, 38(2): 157-162.
- [16] RM A, NBK B, AKM C. Can displaced extra-articular fractures of the scapula be stabilized through a direct lateral-column approach [J]. *J Orthop Traumatol*, 2020, 11(Suppl 4): S626-S630.
- [17] BERRITTO D, PINTO A, RUSSO A, *et al.* Scapular fractures: A common diagnostic pitfall [J]. *Acta Biomed*, 2018, 89(1-S): 102-110.
- [18] 刘磊, 杨宗西, 孙家元, 等. 2010年至2011年中国东部和西部地区肩胛颈骨折的流行病学对比分析[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2018, 20(9): 787-791.
- [19] CHEN L, LIU CL, WU P. Fracture of the scapular neck combined with rotator cuff tear: A case report [J]. *World J Clin Cases*, 2020, 8(24): 6450-6455.
- [20] 周康, 罗增文, 冯平东. 不稳定型肩胛颈骨折患者行双入路切开复位双重建钛板内固定的疗效观察[J]. *山西医药杂志*, 2018, 47(8): 926-929.
- [21] HU YJ, SHI HM, WANG F, *et al.* Functional outcomes of extra-articular scapula fracture fixation with distal humeral Y-type locking plate: A retrospective study [J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 176.
- [22] PANIGRAHI R, MADHARIA D, DAS DS, *et al.* Outcome analysis of intra-articular scapula fracture fixation with distal radius plate: A multicenter prospective study [J]. *Arch Trauma Res*, 2016, 5(4): e36406.
- [23] 胡远军, 成瑞萍, 史会明, 等. “Y”型锁定板内固定治疗肩胛骨体部和孟颈部骨折[J]. *实用骨科杂志*, 2019, 25(3): 257-259.
- [24] 周举, 杨琨, 孙远林, 等. 自主研发胸锁关节解剖锁定钢板的生物力学对比[J]. *医用生物力学*, 2020, 35(5): 608-614.
- ZHOU J, YANG K, SUN YL, *et al.* Biomechanical comparison of self-developed anatomical locking plate for sternoclavicular joint [J]. *J Med Biomech*, 2020, 35(5): 608-614.