

锁骨骨折固定方式的生物力学特性

<https://doi.org/10.12307/2021.329>

孙义彤¹, 聂伟志²

投稿日期: 2021-01-22

送审日期: 2021-01-27

采用日期: 2021-03-12

在线日期: 2021-04-24

中图分类号:

R459.9; R318; R687

文章编号:

2095-4344(2021)33-05369-05

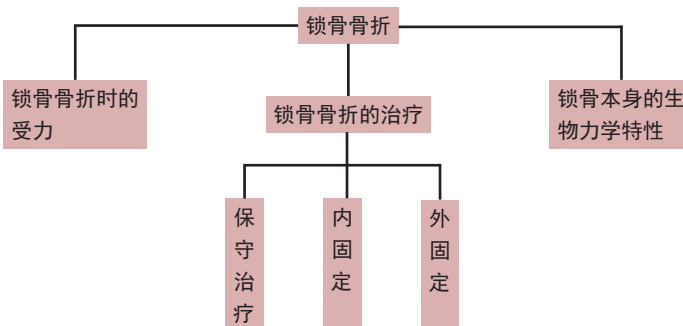
文献标识码: A

文章快速阅读:

文章特点一

△对近年来的相关文献进行归纳总结,分析锁骨及其固定方式的生物力学特性,从而选择合适的治疗方式,为临床治疗锁骨骨折提供依据;

△虽大多引用近10年来的临床研究进行综述,但针对锁骨生物力学特性及治疗的研究仍较局限。



文题释义:

锁骨骨折: 锁骨呈S型,位于胸廓上方,连接着上肢与躯干。由于锁骨中部直径小,肌肉附着较少,容易遭受外力打击导致骨折。

锁骨骨折固定物的选择: 在锁骨骨折固定物的选择上,要对患者年龄、骨折性质、骨折程度以及骨折位置、术后锻炼情况进行评估,选择合适的固定方法,不仅要恢复锁骨正常的生物力学关系与解剖关系,还要做到美观以及保持固定的稳定性。

摘要

背景: 锁骨骨折是骨折中比较常见的一类,常由跌倒导致,国内外学者对锁骨骨折的类型、治疗及其生物力学特点进行了大量的研究。随着科学技术的不断发展与治疗措施的成熟,对于锁骨骨折的治疗及固定方式的选择越来越多,无论是保守治疗还是手术治疗,都有其优缺点。

目的: 归纳总结目前国内外关于锁骨骨折固定方式及其生物力学性能的研究进展,从而指导临床选择合适的方法治疗锁骨骨折。

方法: 通过计算机检索万方医学网、中国知网、PubMed、Embase、Web of Science中2010至2020年发表的相关文献,中文检索词为“锁骨骨折,固定方式,生物力学,保守治疗”,英文检索词为“clavicle, fixation, biomechanics”。根据纳入标准,最终纳入38篇相关文献进行归纳总结。

结果与结论: 对于锁骨骨折,无论是保守治疗还是手术治疗都有其局限性,因此临床上应根据患者年龄、骨折性质、骨折程度、骨折位置以及术后锻炼的评估选择最佳的治疗方法,不仅要恢复锁骨正常的生物力学与解剖关系,还要做到尽量保持美观以及固定的稳定性。

关键词: 锁骨;骨折;分型;固定方式;生物力学;综述

Biomechanical properties of fixation methods for clavicle fractures

Sun Yitong¹, Nie Weizhi²

¹Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250000, Shandong Province, China; ²Shandong Wendeng Osteopathic Hospital, Weihai 264400, Shandong Province, China

Sun Yitong, Master candidate, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250000, Shandong Province, China

Corresponding author: Nie Weizhi, MD, Chief physician, Shandong Wendeng Osteopathic Hospital, Weihai 264400, Shandong Province, China

Abstract

BACKGROUND: Clavicle fractures are a relatively common type of fractures, which are usually caused by falls. Scholars in and outside China have conducted numerous studies addressing the types, treatments and biomechanical characteristics of clavicle fractures. With the continuous development of science and technology and the maturity of therapeutic measures, there are more and more options for the treatment and fixation of clavicle fractures. Both conservative treatment and surgical treatment have the advantages and disadvantages.

OBJECTIVE: To summarize the current research progress regarding clavicle fracture fixation methods and biomechanical properties in and outside China, so as to guide the selection of appropriate methods for clavicle fractures in the clinic.

METHODS: A computer search of relevant articles published from 2010 to 2020 in Wanfang, CNKI, PubMed, Embase, and Web of Science was conducted. Chinese search terms were “clavicle fracture, fixation method, biomechanics, conservative treatment”. English search terms were “clavicle, fixation, biomechanics”. According to the inclusion criteria, 38 relevant articles were finally included for summary.

RESULTS AND CONCLUSION: For clavicle fractures, both conservative and surgical treatments have their limitations. Taken together, clinically, the best therapeutic method should be selected according to the patient’s age, fracture nature, fracture degree, fracture location, and evaluation of postoperative exercise. It is not only necessary to restore the normal biomechanical and anatomical relationship of the clavicle, but also to maintain the beauty and stability of the fixation as much as possible.

¹ 山东中医药大学, 山东省济南市 250000; ² 山东省文登整骨医院, 山东省威海市 264400

第一作者: 孙义彤, 男, 1997年生, 山东省滨州市人, 汉族, 山东中医药大学在读硕士, 主要从事骨与关节损伤的微创治疗。

通讯作者: 聂伟志, 博士, 主任医师, 山东省文登整骨医院, 山东省威海市 264400

<https://orcid.org/0000-0001-8528-197X> (孙义彤)

引用本文: 孙义彤, 聂伟志. 锁骨骨折固定方式的生物力学特性 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(33):5369-5373.



0 引言 Introduction

锁骨骨折是指锁骨在遭受直接或间接的外力打击后导致锁骨断裂,文献报道锁骨骨折约占全身骨折的5.98%^[1]。锁骨中段由于直径小,摔倒时受剪切应力作用,最易发生骨折,占锁骨骨折的76%–81%。锁骨骨折若不及时治疗,不仅会导致畸形愈合或不愈合,还可能因为韧带、血管及神经的损伤而产生其他的后遗症,无移位的骨折可用8字绷带或三角巾悬吊固定4–6周;而存在移位的骨折,因其有可能合并其他的血管、神经、韧带损伤,仅通过保守治疗不能完全恢复正常的生物力学关系,且易产生后遗症,因此需要通过手术来复位并固定。文章针对目前国内外关于锁骨骨折固定方式及其生物力学性能的研究现状进行论述,从而指导临床选择合适的方法治疗锁骨骨折。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 由第一作者在2020年11月通过计算机检索万方医学网、中国知网(CNKI)、PubMed、Embase、Web of Science中2010至2020年发表的相关文献,通过主题检索、篇名检索、关键词检索等进行检索,中文检索词为“锁骨骨折,固定方式,生物力学,保守治疗”,英文检索词为“clavicle, fixation, biomechanics”,文献类型包括综述、研究原著、病例报告、荟萃分析等。手工检索《骨与关节损伤》。

1.2 入选标准 ①通过计算机及手工检索锁骨骨折保守治疗及内固定、外固定治疗生物力学分析的相关文献;②所有文献均已公开发表,排除研究主题为摘要、信函、案例报告、案例系列、指导方针或不相关的文献研究。

1.3 文献质量评估 共检索到相关文献2 682篇,排除重复文献、理论依据缺乏文献、年代久远文献以及与此次研究无密切关系的文献,最终纳入相关文献38篇进行归纳总结,见图1。

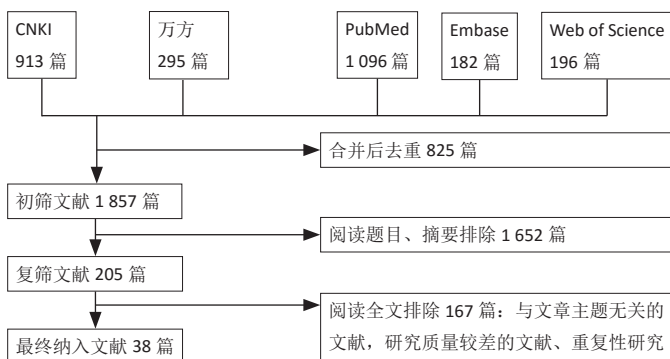


图1 | 文献检索流程图

1.4 数据提取 最终纳入38篇文献,其中文献[1-2]与锁骨的解剖与受伤机制有关,文献[3-5]与锁骨本身的生物力学

性质有关,文献[6-11]与保守治疗的生物力学分析相关,文献[12-21]与克氏针及髓内钉固定的生物力学分析相关,文献[22-29]与切开复位钢板内固定治疗锁骨骨折的生物力学分析相关,文献[30-31]与体外钢板微创治疗的生物力学分析相关,文献[32-35]与钉棒外固定系统的生物力学分析相关,文献[36-38]与外固定支架治疗的生物力学分析相关。

2 结果 Results

2.1 锁骨的解剖与受伤机制 锁骨由膜内成骨方式骨化,连接着上臂与肩部,是人体最早发生骨化的部位,于妊娠的第5周发生骨化^[2],但完全骨化时间较晚,在18–22岁锁骨才与骨干完全融合,锁骨内外侧各有一次级骨化中心,内侧的骨化中心约占锁骨纵向生长的80%。锁骨近似s型,外侧凸向后方,内侧凸向前方,为了适应肌肉的附着和牵拉,锁骨外1/3呈扁平状;中1/3呈管状以抵抗轴向的压力与拉力;内1/3呈菱形。锁骨外端与肩峰形成肩锁关节,由肩锁韧带、喙锁韧带以及三角肌、斜方肌来维持其位置;内端则是胸骨柄与胸骨端的锁骨切迹相关节,有胸锁乳突肌和胸大肌附着。前后缘分别构成锁骨下动脉的前后界。

锁骨血供主要来自于滋养动脉、骨膜动脉、肩胛上动脉及胸肩峰动脉;锁骨主要被胸前神经及锁骨上神经所支配,手术时要避开锁骨的血管及神经,以免发生二次创伤。

锁骨骨折常由摔伤导致,当摔倒时手掌着地,外部暴力经前臂、肩部再传至锁骨,间接外力与剪切应力共同作用而引起骨折。

2.2 锁骨骨折的分型 ALLMAN将骨折分为锁骨外1/3骨折、锁骨中1/3骨折及锁骨内1/3骨折。CRAIG又将锁骨外1/3骨折分为微小移位、喙锁韧带内骨折、肩锁关节面骨折、儿童移位骨折及粉碎性骨折5个亚型,将锁骨内1/3骨折分为微小移位、移位伴韧带损伤、胸锁关节面骨折、骨骺分离及粉碎性骨折5个亚型。

2.3 锁骨骨折的生物力学分析 锁骨是诸多肌肉的附着点,三角肌和斜方肌附着于外侧,胸大肌锁骨头附着于内侧,胸锁乳突肌锁骨头附着于后缘,它们是锁骨产生动力的必要条件。喙锁韧带附着于锁骨中外1/3来制约肌肉所产生的动力,当垂直向下的力作用于弯曲的锁骨时,会形成剪切应力,造成中段骨折;向下的力作用于锁骨远端就会导致锁骨远端骨折;锁骨近端骨折则由锁骨外侧受到间接外力而导致内侧骨折。

HARNROONGROJ等^[3]为了证实锁骨骨折的机制及受力分析,将12具锁骨模型沿锁骨轴面进行加压负重,结果发现锁骨骨折平均负荷为1 526.19 N,且集中分布于锁骨中1/3。杨晓霞等^[4]通过有限元分析锁骨骨折以及骨裂的多发

部位,结果显示,锁骨上表面中1/3靠近远端处以及锁骨下表面中1/3靠近近端处应力最大,容易出现骨裂及骨折。桂斌婕等^[5]利用有限元分析构建锁骨模型,发现锁骨在遭受垂直向下的力时,应力分布于锁骨的中1/3,且锁骨后上方存在最高应力,前下方存在高应变,从而得出结论:锁骨中1/3最易发生骨折。

当锁骨及其周围的组织、骨连接维持正常位置时,诸多力相互制约,维持着动态平衡,而当动态平衡被破坏时,力的正常关系同时也被破坏,就会造成锁骨骨折。因此治疗锁骨骨折的关键就在于能否恢复锁骨的正常生物力学关系。

2.4 锁骨骨折固定方式的生物力学分析

2.4.1 保守治疗 目前锁骨骨折的保守治疗主要是针对无移位或者有轻微移位的骨折,在手法复位以后,通过绷带8字固定或者三角巾悬吊、锁骨带来维持位置,固定骨折断端,防止再移位。徐招跃等^[6]对146例患者分别使用了保守治疗与手术治疗进行对照试验,发现相对于手术治疗,虽然保守治疗发生创伤性关节炎的概率较高,但是保守治疗的操作简单、费用较低,愈合快且不会留下瘢痕,容易被医患所接受,且手术治疗会损伤锁骨的血管,导致骨折延迟愈合,因此对不产生移位或者移位不明显、锁骨力学关系良好的骨折,大多数学者仍然建议采用保守治疗的方式来治疗^[7]。刘维统等^[8]通过斜向8字绷带固定治疗了35例患者,在进行合理术后康复后,肩部关节功能整体评价优良率为82.8%。孙可^[9]通过改良锁骨带治疗了98例患者,发现相对于传统的8字绷带固定,改良锁骨带有着更高的有效率,值得应用于临床。在手术治疗出现之前,保守治疗是治疗锁骨骨折最有效的方法,但是随着手术治疗的普及以及各种内固定方法的不断探索与创新,保守治疗的一些弊端逐渐显现出来,如易发生创伤性关节炎、畸形愈合及肩关节活动障碍等。NOWAK等^[10]通过长时间观察患者,发现保守治疗的不愈合率高达7%,只有54%的患者能够通过保守治疗恢复正常的锁骨生理功能,而46%的患者会留下后遗症,如锁骨的疼痛和局部隆起。因此,对于有移位的锁骨中段骨折,目前越来越多的学者认为手术是最佳的治疗选择^[11]。

2.4.2 手术治疗 针对移位明显、合并有神经血管及韧带损伤、开放损伤及合并有肩部损伤的患者,需采用手术治疗的方式。手术治疗锁骨骨折的方法及固定方式较多,内固定包括克氏针、髓内钉固定、钢板内固定、体外钢板微创治疗等,外固定包括钉棒外固定和外固定支架等。

(1)克氏针与髓内钉固定治疗的生物力学分析:克氏针内固定相对于传统的钢板内固定来说创伤小、手术时间短、骨折愈合周期短、功能恢复好、二次骨折风险低^[12],且克氏针与锁骨之间的微小摩擦及轴向牵拉力有助于刺激骨折愈合。但是克氏针由于材质等原因,易发生术后的并发症,如退针、弯针、断针、针尾反应等,生物力学稳定性不足。1.5 mm的克氏针仅仅达到锁骨生理载荷的30%,2 mm的克氏针才能承受锁骨骨折产生的剪切应力^[13]。锁骨的解剖形状

呈s型,中1/3骨折受到较大的剪切力影响,当上肢活动时,会带动锁骨沿人体长轴旋转,导致克氏针脱落,因此需限制肩关节的活动;但是长时间的固定会导致肩关节僵硬及活动障碍,且尚没有有效的方法来预防这些并发症^[14]。更有临床报道过克氏针自肩锁关节断裂进入胸腔的案例^[15]。相对于克氏针来说,螺纹克氏针不仅具有克氏针的优点,而且刚度及稳定性都要优于克氏针,不易滑动导致克氏针脱落,没有感染、退钉等手术并发症^[16],手术简单,价格低廉,因此易被患者所接受^[17]。谢扬等^[18]将锁骨横断骨折模型分别用直径2 mm的普通克氏针与螺纹克氏针固定,再施加相同的压力,在测量其扭转强度和拉伸强度后,通过处理得出,螺纹克氏针上的螺纹能够增加轴向摩擦力,从而显著加强锁骨固定后的稳定程度。在髓内钉固定方面,空心髓内钉以及弹性髓内钉的应用比较普遍。孙军战等^[19]通过轴向挤压负荷实验和三点弯曲载荷实验对空心螺钉与钢板固定的生物力学特性进行比较,实验得出:直径6.5 mm的空心螺钉相较于目前使用的锁骨钢板来说,在抗轴向负荷及三点弯曲负荷上均更具优势;但是由于锁骨的直径平均只有6.7 mm,且髓内钉多在锁骨胸骨端腹侧及肩峰端背侧进入髓腔,此处锁骨的皮质最为薄弱,风险较高,因此在使用髓内钉固定时,需选取合适直径的髓内钉进行固定。陈奕等^[20]则建立了锁骨拉伸试验、弯曲试验和扭转试验3种锁骨力学模型,来比较钛制弹性髓内钉和传统的锁骨重建板、克氏针的优劣,实验证明,基于钛制弹性髓内钉生物及结构的特性,尽管弯曲强度与扭转强度比重建钢板低,但是远远高于克氏针,而应力遮挡率则比重建钢板小,接近于克氏针固定。由于弹性髓内钉能够可靠的固定锁骨,并且增大摩擦力、抗弯、抗扭转、抗拉伸、抗压缩的能力,因此已经被越来越多地应用于临床治疗。李晏乐等^[21]通过Meta分析结果证明,髓内钉相比于钢板内固定来说,无论是在手术时间、切口长度还是愈合时间都更具有优势。

(2)钢板内固定治疗的生物力学分析:钢板内固定作为应用广泛的操作之一,通过对骨折的加压固定来恢复锁骨的生物力学关系并维持其稳定性,无论是稳定性、强度还是抗压缩、抗扭转及抗弯曲能力都比克氏针、髓内钉更加可靠,被认为是治疗锁骨移位骨折的“金标准”^[22]。目前使用最多的钢板内固定有重建型钢板和解剖型钢板,在治疗锁骨中段骨折时,重建型钢板一般选择放置在前置位或上置位。汤凌^[23]通过三点弯曲试验来测试前置与上置的生物力学性质,发现相对于上置钢板来说,前置钢板的强度、弯曲刚度和扭转刚度等更加稳定。CALISAL等^[24]用有限元分析的方法分析钢板前置与上置的差别,得出结论:钢板上置相对于前置来说,能够有效地抗扭转和抗弯曲,具有生物力学优势,前置中的钢板、螺钉及韧带应力都比较低,但在抗压缩能力下,二者没有明显的区别,对抵抗断端产生的应力也没有区别。而刘川^[25]在比较前置位与上置位顺时针抗扭转及抗弯曲能力时,发现前置位钢板的最大应力显著大于上置位,因而得出前置

位钢板更可靠的结论。有研究通过对锁骨模型进行生物力学测试得出:前置位与上置位的抗弯曲及抗扭转强度大致相同,但抗拉伸强度及抗拔强度都要优于上置位钢板。尽管诸多学者对前置位究竟哪一力学特性优于上置位有争议,但对钢板前置位优于上置位的结果持统一意见。

传统的重建型接骨板不仅会破坏锁骨的运,而且术后早期难以功能锻炼,损伤较大^[26]。解剖型锁定板相对于重建型接骨板来说,更加符合锁骨的s型解剖形态,并且能够重新塑型,从而有效贴合锁骨形态,不易松弛脱落^[27]。彭远来等^[28]根据解剖型接骨板的形态对重建型接骨板分别进行了多次弯制,并通过静态压缩实验测试比较了各组模型的生物力学差异性,在用统计学软件对数据进行处理后,得出结论:相对于普通未塑性的锁骨板,解剖型锁定板能够贴合锁骨,固定刚度和强度更佳。窦庆寅等^[29]通过轴向压缩实验、三点弯曲实验、扭转实验比较传统重建板与解剖型钢板的生物学特性,结果证明,锁定钢板组轴向刚度值、应力遮挡率均显著优于重建钢板。

尽管切开复位钢板内固定无论是稳定性还是刚度等生物学特性都优于其他固定方式,但切开复位的创伤较大,需二次手术取出,术后易留下瘢痕,且锁骨周围有锁骨上神经与多条血管纵横交错,由于锁骨骨折多采用横型或斜形切口,一旦手术不当,就会导致神经与血管的损伤,从而导致上肢感觉障碍。

(3) 体外钢板固定的生物力学分析:1990年国外学者首先在临床上提出了微创接骨板技术,作为一种新型的锁骨骨折治疗技术,体外钢板手术损伤小,不需要较大的手术切口,不会对骨膜、锁骨周围软组织、血管、神经造成伤害,有效解决了传统钢板内固定手术损害较大的缺点。王诗波等^[30]比较了体外钢板、克氏针及重建钢板的生物力学特性,结果显示,钢板微创治疗的最大拉伸载荷为1 048 N,是克氏针固定的2倍;而重建板的载荷为1 126 N,与体外钢板没有显著差异。无论是强度、刚度还是稳定性上体外钢板与重建型钢板都大致相同,明显高于克氏针固定,而应力遮挡率则优于其他两种固定方式。李东等^[31]通过对82例临床患者分别采用体外钢板与传统钢板内固定治疗,发现体外钢板固定存在可扭转的特性,能够贴合锁骨s状的解剖形状,且不良反应发生率仅为7.3%,是一种较为理想的治疗方式。但是体外钢板微创治疗作为一种新型的手术方式,目前国内临床应用仍较为局限,技术不太成熟,且由于无法暴露骨折断端的位置,需要术者具有较为系统的解剖学知识,若临床经验不足,贸然进行手术可能会造成重要的神经血管损伤。

(4) 钉棒固定治疗的生物力学分析:钉棒外固定是临床治疗锁骨中段骨折的新方法,不需要切开固定,能最大程度保持骨膜的完整性。刘亚云等^[32]通过锁骨标本建立力学模型,并把标本分为钉棒外固定组和钢板内固定组,分别进行压缩、扭转和三点弯曲实验;实验证明,两种固定方式的抗压缩、抗扭转、抗弯曲能力并没有太大区别,但是钉棒外固定相较

于钢板内固定来说,切口小、手术时间短、出血量少、固定物取出简单,它既有钢板内固定的可靠性,又有克氏针固定的简便性,能够自由选择固定位置,为锁骨骨折手术治疗提供了一种新方法。桥接组合式钉棒外固定能够保证螺钉位于锁骨髓腔里面,从而避免螺钉位置的偏离,降低手术失败的概率,且能够为骨痂提供足够的生长空间,不仅能够降低内固定高应力压迫下导致的骨质疏松,而且能够加快骨折愈合的速度^[33]。有学者利用有限元分析将桥接组合式内固定在不同载荷下进行压缩弯曲,发现桥接组合式内固定的生物力学特性均强于钢板内固定。尽管桥接组合式内固定优点多,但通过陶金国等^[34]的试验发现,并不适用于Neer III型及合并肩锁关节损伤、尤其合并锁骨头粉碎性的II型骨折患者。因此在治疗时,要针对骨折的类型及特点,选择最安全有效的固定方式。

(5) 外固定架治疗的生物力学分析:外固定架常用来治疗锁骨开放性骨折。开放性骨折相对于其他骨折来说,内部与外界环境相通,常合并伤口污染以及软组织损伤。任俊涛等^[35]用外固定支架治疗了78例骨折患者,发现对于全身多处软组织损伤以及合并有伤口污染的患者,使用外固定架能够稳定断端,从而提高手术的成功率。冯锡光等^[36]通过测验微型外固定支架的生物力学特性,发现微型外固定支架的生物力学稳定性良好,能够保证肩关节的灵活性,其非平行的固定针能够相互制约,拥有良好的抗旋转特性,而骨折断端的加压及动力化支架则符合BO原则,有效降低骨不连的概率,拆除方便,在术后8-12周即可拆掉外固定支架,避免了二次手术,降低患者痛苦。但是外固定支架并不适用于锁骨外1/3骨折^[37],这是由于外1/3骨折的位置难以保持合适的外固定间距并固定螺纹针,会导致手术风险的增加。

3 总结与展望 Summary and prospects

针对锁骨骨折,目前常用的是保守治疗和手术治疗,但是究竟哪一种固定方式的生物力学性能最可靠,国内外学者都没有统一的答案。根据目前国内及外文的临床报道及文献来看,对于青少年青枝骨折、未发生移位或者轻度移位的患者,可以在手法复位以后通过保守治疗,如8字绷带固定、三角巾悬吊或锁骨带固定限制患肢活动4-6周,以维持正确的生物力学关系并保持稳定,即可在不发生二次骨折的前提下保证锁骨在愈合后恢复正常的生理功能。但是保守治疗不能保证断端的稳定性,容易发生畸形愈合,导致局部隆起、创伤性关节炎等后遗症。手术治疗能够最大程度地恢复锁骨解剖形态、正常生理功能及其生物力学关系,有效避免并发症及畸形愈合、局部隆起等后遗症。克氏针内固定操作简单、创伤小、愈合快、不需二次手术、功能恢复好,是锁骨骨折固定最常用的方法;但克氏针稳定性及固定能力较差,易发生断针及退针、针道感染等风险。螺纹克氏针固定在克氏针的基础上,增加了轴向摩擦力,并且提高了抗弯曲、抗扭转、抗拉伸、抗压缩的能力,但是相对于钢板固定来说,依然有

断裂的风险。髓内钉无论是刚度、稳定性还是极限载荷等生物力学性能都与钢板类似，但综合性能略差于钢板，且髓内钉直径较大，而锁骨髓腔较小，因此在髓内钉的直径、长短及生物力学性能选择上仍需继续观察与探讨。钢板内固定强度、稳定性、抗扭转及抗弯曲能力都高于其他手术方式，但是钢板的价格昂贵，并且有可能产生排异，对局部组织产生刺激，且有二次手术、断裂、瘢痕等弊端^[38]。体外钢板微创治疗作为近30年来新兴的固定方式，无论在生物力学性能还是手术创伤小等方面上都是较为可靠的选择，但是其操作难度大，因此需要术者有较为扎实的基本功及过硬的技术能力。钉棒外固定及外固定支架治疗尽管在刚度、稳定性等生物力学性质上与钢板类似，但是有其手术局限性：桥接组合式钉棒外固定不适用于Neer III型及合并肩锁关节损伤、尤其合并锁骨头粉碎性的II型骨折患者；外固定支架治疗则不适用于锁骨外1/3骨折。因此在固定物的选择上，要对患者年龄、骨折性质、骨折程度以及骨折位置、术后锻炼情况进行评估，选择合适的固定方法，不仅要恢复锁骨正常的生物力学关系与解剖关系，还要做到美观以及保持固定的稳定性。

作者贡献：孙义彤负责设计、收集资料、成文，聂伟志负责审核。

经费支持：该文章没有接受任何经费支持。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程，不存在利益冲突。

写作指南：该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。

文章查重：文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审：文章经小同行外审专家双盲外审，同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

文章版权：文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

[1] FARAUD A, BONNEVILLE N, ALLAVENA C, et al. Outcomes from surgical treatment of middle-third clavicle fractures non-union in adults: a series of 21 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(2):171-176.

[2] GARDNER E. The embryology of the clavicle. *Clin Orthop Relat Res.* 1968;(58):9-16.

[3] HARNROONGROJ T, TANTIKUL C, KEATKOR S. The clavicular fracture: a biomechanical study of the mechanism of clavicular fracture and modes of the fracture. *J Med Assoc Thai.* 2000;83(6):663-667.

[4] 杨晓霞, 许金泉, 张二虎. 锁骨三维有限元应力分析 [J]. *力学季刊*, 2012,33(4):584-589.

[5] 桂斌婕, 刘德宝. 锁骨三维模型构建和力学分析 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2009,13(30):5827-5830.

[6] 徐招跃, 袁临益, 杨巧燕. 锁骨骨折保守治疗与手术治疗的比较研究 [J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2014,22(6):37-40.

[7] 查晔军. 绝大多数锁骨中段骨折建议保守治疗 [J]. *中国肩肘外科电子杂志*, 2017,5(4):241-244.

[8] 刘维统, 董伟. “斜向8字绷带固定法”治疗锁骨骨折35例 [J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2019,27(8):60-62.

[9] 孙可. 改良锁骨带外固定治疗锁骨骨折的临床近期效果观察 [J]. *中华中医药学刊*, 2016,34(4):897-899.

[10] NOWAK J, HOLGERSSON M, LARSSON S. Can we predict long-term sequelae after fractures of the clavicle based on initial findings? A prospective study with nine to ten years of follow-up. *Shoulder Elbow Surg.* 2004;13(5):479-486.

[11] 林岐, 杨卫国, 徐毅明. 肺保护性通气策略在严重烧伤并发急性呼吸窘迫综合征患者救治中的运用 [J]. *中国血液流变学杂志*, 2015, 25(4):469-471.

[12] ZHU Y, TIAN Y, DONG T, et al. Management of the mid-shaft clavicle fractures using plate fixation versus intramedullary fixation: an updated meta-analysis. *Int Orthop.* 2015;39(2):319-328.

[13] 龙剑池, 吴仲华, 卢进. 应用带螺纹克氏针内固定治疗锁骨骨折 [J]. *临床骨科杂志*, 1999,2(4):291.

[14] 何晓宇, 王朝强, 李惠梅, 等. 锁骨骨折微创治疗体会 [J]. *中国医药科学*, 2019,9(24):27-31.

[15] 陈大伟, 姜新华, 敖荣广, 等. 锁骨骨折术后克氏针移位到胸腔一例报告 [J]. *中国肩肘外科电子杂志*, 2016,4(1):54-55.

[16] 杨卫斌, 雷方亮. 带螺纹克氏针治疗锁骨骨折 [J]. *医药保健*, 2014, 22(2):59.

[17] 李登学. 针尖带螺纹克氏针内固定治疗锁骨骨折 [J]. *局解手术学杂志*, 2009,18(4):286.

[18] 谢扬, 蔡桂嘉, 崔华中, 等. 螺纹克氏针固定锁骨骨折的生物力学实验研究 [J]. *汕头大医学院学报*, 2010,23(3):163-163.

[19] 孙军战, 王光辉, 吴成如, 等. 空心螺钉治疗锁骨骨折的生物力学研究 [J]. *东南国防医药*, 2014,16(5):482-484.

[20] 陈奕, 吕建元, 陈吉, 等. 钛制弹性髓内钉微创治疗锁骨中段骨折的生物力学研究 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2011,19(20):1723-1725.

[21] 李晏乐, 岳肖华, 王佩, 等. 髓内钉与钢板内固定治疗成人移位型锁骨中段骨折的Meta分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2021,25(3):471-476.

[22] 王满宜. 锁骨骨折的治疗现状 [J]. *中国骨伤*, 2008,21(7):487-489.

[23] 汤凌. 前置与上置钢板内固定治疗锁骨中段骨折的生物力学对比分析 [J]. *创伤外科杂志*, 2016,18(6):334-337.

[24] CALISAL E, UGUR L. Evaluation of the plate location used in clavicle fractures during shoulder abduction and flexion movements: a finite element analysis. *Acta Bioeng Biomech.* 2018;20(4):41-46.

[25] 刘川. 锁骨中段骨折修复: 重建钢板前置与上置的生物力学差异 [J]. *中国组织工程研究*, 2014,18(53):8646-8650.

[26] 李剑. 锁定接骨板内固定治疗锁骨骨折的效果分析 [J]. *中国医药指导*, 2020,18(7):117.

[27] 吴明明, 张仁良. 解剖型锁定钢板内固定治疗锁骨骨折患者的效果 [J]. *医疗装备*, 2020,33(20):60-61.

[28] 彭远来, 马新硕, 危紫翼, 等. 锁骨接骨板预弯塑形的生物力学研究 [J]. *医用生物力学*, 2018,33(1):1-5.

[29] 窦庆寅, 仰明莉. 锁定板固定锁骨骨折生物力学测试 [J]. *中国医药导报*, 2016,13(18):89-92.

[30] 王诗波, 骆宇春, 季航宇, 等. 体外钢板固定治疗锁骨骨折的对比性生物力学研究 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2011,19(6):488-491.

[31] 李东, 姜立义, 高宗伯. 体外钢板固定治疗锁骨骨折82例临床疗效分析 [J]. *中国实用医药*, 2012,7(16):137-138.

[32] 刘亚云, 汤晓正, 李经堂, 等. 钉棒外固定治疗锁骨中段骨折的生物力学研究及其临床应用 [J]. *实用临床医学 (江西)*, 2017,18(8):39-41.

[33] 牛峰, 马勇, 田涛, 周建中. 桥接系统治疗成人锁骨中段骨折 [J]. *中国骨伤*, 2019,32(1):38-42.

[34] 陶金国, 杨俊宇, 段洪, 等. 桥接组合式钉棒系统与锁骨钩钢板固定治疗锁骨远端骨折的近期临床疗效观察 [J]. *生物骨科材料与临床研究*, 2019,16(5):75-79.

[35] 任俊涛, 胡勇, 付红军, 等. 前臂吊带结合外固定架治疗锁骨中段骨折78例 [J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2016,24(10):58-59.

[36] 冯锡光, 肖翠梅, 唐俊, 等. 微型外固定架与内固定治疗锁骨骨折的疗效比较 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2016,31(5):533-534.

[37] 姜峰, 王尧, 张明辉, 等. 组合外固定架治疗成人锁骨中1/3不稳定骨折 [J]. *中国骨伤*, 2013,26(12):1033-1036.

[38] WIJDIKS FJ, VAN DER MEIJDEN OA, MILLETT PJ, et al. Systematic review of the complications of plate fixation of clavicle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132:617-625.

(责任编辑: GD, ZN, ZH)