

锁骨中段骨折手术方案的研究进展

杨 渊^{1,2} 王 涛² (通讯作者)

1.青海大学研究生院 青海 西宁 810016

2.青海大学附属医院足踝外科 青海 西宁 810012

【摘 要】：锁骨中段骨折是临床常见的上肢骨折，约占所有锁骨骨折的 80%，治疗方案的选择对患者后期关节功能的恢复至关重要。尽管部分骨折可通过保守治疗愈合，但显著移位、粉碎性骨折或伴有神经血管损伤等情况的骨折常需手术治疗。近年来，手术理念和技术飞速发展，手术方案的选择也转向精准化、微创化干预。本文旨在综述锁骨解剖及生理功能基础、流行病学特征、手术方案及未来趋势，介绍髓内固定及髓外固定等多种手术方案的优缺点及应用情况，探讨手术方案选择的影响因素，以期临床医生针对不同患者选择最佳手术方案提供参考，促进患者术后功能康复。

【关键词】：锁骨中段骨折；髓内固定；髓外固定；肩关节功能；并发症

DOI:10.12417/2982-3676.25.03.032

Research Progress in Surgical Protocols for Midshaft Clavicular Fractures

Yuan Yang^{1,2} Tao Wang²

1. Medical School of Qinghai University, Xining Qinghai, 810016

2. Department of Foot and Ankle Surgery, Qinghai University Affiliated Hospital, Xining Qinghai 810012

Abstract: Mid-clavicle (mid-clavicle 1/3) fracture is a common upper limb fracture in clinical practice, accounting for about 80% of all clavicle fractures, and the choice of treatment regimen is very important for the recovery of joint function in the later stage of patients. Although some fractures can be healed with conservative management, fractures with significant displacement, comminuted fractures, or neurovascular injury often require surgery. In recent years, with the rapid development of surgical concepts and technologies, the selection of surgical plans has also shifted to precise and minimally invasive intervention. The purpose of this article is to review the anatomical and physiological functional basis, epidemiological characteristics, surgical options and future trends of clavicle, introduce the advantages, disadvantages and applications of various surgical options such as intramedullary fixation and extramedullary fixation, and discuss the influencing factors of surgical plan selection, in order to provide a reference for clinicians to choose the best surgical plan for different patients and promote postoperative functional rehabilitation of patients.

Keywords: mid-clavicular fracture; intramedullary fixation; extramedullary fixation; shoulder function; complications

1 锁骨的解剖特点及生理功能

锁骨作为连接上肢与躯干的关键骨性结构，在肩关节生物力学系统中扮演着不可或缺的角色。从解剖结构来看，锁骨胸骨端与胸骨柄构成胸锁关节，肩峰端与肩胛骨形成肩锁关节，这两个关节共同维持着肩带系统的稳定性。并在矢状面、冠状面、水平面等三个平面内，与肩胛带协调，共同完成肩关节的复杂运动，并且锁骨的旋转运动，对超过 110°的肩关节外展运动尤为重要^[1,2]。从形态学角度看，锁骨呈独特的“S”形双弯曲结构，内侧 2/3 凸向前方，外侧 1/3 凸向后方，这种特殊构型使其兼具刚性与弹性，有效缓冲外力冲击^[3]。从横断面解剖观察，锁骨内侧 2/3 呈三棱柱状，外侧 1/3 逐渐过渡为扁平。这种形态变化与其功能需求密切相关：内侧三棱柱结构提供足的抗弯强度，而外侧扁平结构则为肌肉韧带提供广泛附着点。但在接受创伤时，锁骨这种特殊的形态学变化，其骨骼形态变化的交界部位最易成为应力集中的部位，从而更容易出现骨折。锁骨表面覆盖的肌肉系统构成动态稳定机制：上方有胸锁

乳突肌，前下方有胸大肌，后下方有斜方肌，周围肌肉、韧带等软组织覆盖保护，可在锁骨受到外力作用时起到力的传递及保护作用。但锁骨中段（中外 1/3）局部缺少肌肉和韧带的附着保护，这使得该区域在受到外力冲击时，更容易发生骨折。这也就能够更好的解释锁骨骨折多见于锁骨中段的原因^[4]。

2 锁骨骨折的流行病学特点

锁骨骨折是临床常见的上肢骨折类型，其流行病学特点呈现鲜明的年龄分层、性别差异和损伤机制相关性。锁骨骨折约占所有成人骨折的 2.6%–5%，在肩部损伤中占比高达 44%^[5]。全球年发病率约为每 10 万人中 30–60 例，其中男性发病率显著高于女性^[6]。同时有一项研究表明^[7]，锁骨骨折年龄分布呈现双峰表现，第一高峰（青年组）：30 岁以下，尤其是 13–20 岁男性，多因运动或交通事故导致，男性占比约 70%。第二高峰（老年组）：70 岁以上人群，女性比例随年龄增长反超男性（>60 岁女性占比升高），主要与骨质疏松和跌倒等因素相关^[8]。

锁骨按解剖位置分为三段，锁骨中段（中外 1/3）骨折占

比约 80%，此处位于骨骼形态变化交界区，缺乏韧带附着，作为应力集中的部位，易受剪切力影响而发生骨折^[9]；锁骨外侧（远端 1/3）骨折占比约 15%–25 常合并喙锁韧带损伤^[10]；锁骨内侧（近端 1/3）骨折占比约 3%–5%比较少见，需警惕有无胸锁关节损伤^[11]。

3 骨折分型

骨折分型对治疗方案的选择及肢体功能预后判断具有重要的意义，并且通常依据骨折断端的解剖位置对锁骨骨折进行分类。Allman 分型^[13]根据骨折的位置将锁骨骨折分为 3 型，I 型：锁骨中段 1/3 骨折；II 型：锁骨外侧 1/3 骨折；III 型：锁骨内侧 1/3 骨折。Neer 分型^[14]在 Allman 分型的基础上依据骨折线相对于喙锁韧带的附着点的位置及喙锁韧带是否受损，将 Allman 分型中的 II 型再分为 3 个亚型：I 型，无合并喙锁韧带断裂并且骨折线位于喙锁韧带远端（肩峰端）；II 型，骨折线位于喙锁韧带内侧且喙锁韧带连结断裂，常合并骨折近端的移位；III 型，骨折线进入肩锁关节内；之后，结合 Neer 对锁骨远端骨折的分型，Craig^[15]提出的改良版 Allman 分型对锁骨内、外 1/3 段骨折的亚型进行了进一步的补充和扩展。Edinburgh 分型对于锁骨近端骨折治疗方案的选择指导及预后评估则更有优势。Edinburgh 分型^[16]同样把锁骨骨折分为 3 型。I 型为锁骨近端骨折，根据骨折端有无移位分为 IA、IB 两个亚型，再根据是否合并关节内骨折分为：1 型（包括 IA1、IB1）和 2 型（包括 IA2、IB2）。II 型根据骨折端粉碎程度进一步分为：1 型为楔形骨折，2 型为粉碎性骨折或者节段型骨折。Edinburgh III 型与 I 型相似，根据骨折线是否通过关节面分为：1 型为骨折线未通过关节面，2 型为骨折线通过关节面。

4 手术治疗方案

锁骨中段骨折的手术治疗经历了从传统开放固定到微创髓内固定的演进过程。随着循证医学的发展，手术适应证也逐步明确：绝对适应证包括开放性骨折、神经血管损伤等；相对适应证则包括骨折缩短>2cm、骨折端完全分离移位(>100%重叠)、粉碎性骨折（≥3 块骨片）以及浮肩损伤等特殊类型。

切开复位钢板内固定（ORIF）长期以来被视为锁骨中段骨折的金标准术式^[17]。其手术入路多采用横行或斜行切口，沿锁骨长轴暴露骨折端，避免过度剥离骨块，强调直视下尽可能实现解剖复位，恢复锁骨长度和对线。其技术核心在于钢板选择与放置，以达刚性固定，实现术后早期无痛或可耐受微痛下行功能锻炼。术中根据骨折形态及解剖位置可选用重建钢板、锁定加压钢板（LCP）或解剖预塑型钢板。钢板放置位置包括上方固定（最常用）、前下方固定（适用于短斜形骨折）、下方固定（减少皮下突出）及采用双钢板垂直固定等方案。双钢板螺钉内固定^[21,22]，术前准备麻醉方式及手术体位选择与单钢板治疗术前准备并无明显差异，直视下完成骨折复位，并根据骨折线长度，于锁骨上方以骨折线为中心放置微型钢板，骨折线

各以 2~3 枚螺钉固定；C 型臂 X 线机透视提示骨折复位满意，微型钢板及螺钉位置、方向、长度满意；选择合适长度的重建钢板按锁骨前缘 S 形弧度预弯后，将钢板置于锁骨前下方，两侧各以 3 枚螺钉固定，钢板外侧应达锁骨远端前方，以使螺钉更长，增加固定强度。

钢板螺钉固定的优势在于直视下解剖复位和刚性固定强度，允许早期在无痛或是可耐受微痛下进行功能锻炼。但近年来研究也揭示了其局限性^[18]：切口长度通常达 10-15cm，同时有研究表明^[19]使用钢板固定后可能发生包括钢板断裂以及螺钉松动在内的内固定功能障碍问题所造成的骨质不愈合。以及拆除内固定装置后短期内再次骨折的现象发生^[20]。

髓内固定技术凭借其生物力学优势和微创特性，从最初的克氏针固定发展到现今的钛弹性髓内钉（TENS）系统，已取得显著进展^[23]。手术采用 2-3cm 小切口，在骨折端两侧建立髓内通道，插入预弯的钛合金钉。其独特优势在于负荷分担式固定，在微创前提下，提升并维持生物力学稳定。

早期时克氏针固定^[24]，操作简单、成本低，通过贯穿骨折端以提供轴向稳定性，由于克氏针不具备较强的弹性塑形能力，并且在扭转符合下极易发生移位，其所带来的骨折不愈合、畸形愈合以及移位后进入胸腔的并发症的发生率较高。因此单纯的克氏针固定，不作为主流的手术方案，目前仅作为临时固定或辅助手段来协助手术治疗。

弹性稳定髓内钉（TEN）：钛合金材质通过三点固定原理^[25]提供弹性稳定性，允许骨折端微动促进骨痂形成。通过微创切口下复位，减少对锁骨骨膜的剥离，贯通骨髓腔，作为中心性固定，其轴线与锁骨 S 型形态更加吻合，更符合生物力学原理。置入预弯金属骨针后，依靠钛合金自身较强的弹性塑形能力，加强对骨折断端的压力及推力^[26]。

5 锁骨骨折的术后康复及并发症

临近关节部位骨折的术后康复，对远期关节功能恢复具有极为重要，早期在有效止痛治疗下，指导患者无痛或在可耐受的微痛情况下循序渐进进行关节活动，避免因患肢肌肉萎缩及数去粘连而导致肩关节功能活动受限。术后第 1 月、第 2 月、第 3 月复查影像学检查，内固定装置位置无移动，并且骨折部位逐步可见骨痂形成时，以患者病程发展为时间轴，并且结合患者自身体感，指导患者在“轻度疼痛，尚可耐受”情况下逐步进行负重情况下的功能锻炼，以促进术后康复。

6 锁骨中段骨折术后并发症及其处理措施

锁骨中段骨折术后常见并发症包括术后骨的不愈合或延迟愈合、有症状的畸形愈合，术后感染的发生及移除后的再次骨折等^[27]。

在使用钢板固定的患者中，包括植入物失败、（深部）感染、植入物突起、外观不佳等内固定刺为主要并发症^[14]，可通

过预塑型解剖钢板改善;应力遮挡导致的再骨折多发生于钢板取出后 1-3 个月,多考虑是由于拆除钢板螺钉后,应力集中,骨质难以承受所致,同时亦有调查研究表明,在拆除内固定装置后,原有螺钉孔道会成为应力所集中的位置,并容易在轻微外力下发生骨折^[28]。并且在张细祥^[29]等人的研究中也提到,虽然传统解剖钢板稳定固定、抗旋转作用较高,术后可早期进行功能锻炼,但手术创伤大,使骨折端剥离较多,更大程度上影响骨折断端血运,从而影响骨质愈合。钢板取出后再发骨折概率较高。

采取髓内固定的患者,钉移位(5%-10%)和皮肤刺激(8%-12%)常见,精细的钉尾弯曲技术和足够软组织覆盖可有效预防。但在髓内固定的缺点主要是无法给予坚强内固定,由于锁骨髓腔的特殊形态,内固定易于松动和滑脱,相较于髓外钢板内固定,在断端加压能力及锁定可靠性上存在不足,力学强度及抗旋转能力相对较差,可能会导致锁骨长度及旋转控制不良^[30]。

并发症预防需要加强技术优化和围术期管理并重:术中精细化操作,保护锁骨上神经分支、抗生素预防性应用、术后分阶段康复训练(早期钟摆运动→中期肌力训练→后期功能训练),并依据锁骨形态,提前预弯髓内钉,以期达到更坚固的固定。

7 未来展望

锁骨中段骨折手术治疗领域仍面临诸多挑战,未来研究将围绕精准化、微创化和智能化三个维度展开,旨在提高治疗效果的同时降低并发症风险。3D 打印定制个体化内固定装置^[31]:基于术前三维 CT 的个体化解剖导板,使髓内钉置入精度提高,尤其适用于锁骨解剖变异患者。通过预弯标准化、通道建立改良等方案进一步优化 TENS 技术操作流程。生物材料革新生物

反馈式支具^[32],通过表面肌电监测装置自动调节训练强度,虚拟现实训练系统提高康复依从性。这些技术与微创手术结合,将构建“手术-康复一体化”解决方案,能进一步制定更加详尽的康复方案。另外,有研究表明。内固定装置中生物涂层的使用也可有效改善如术后骨折不连接、感染的并发症,如 BMP-2 涂层^[33]组骨痂体积增加 40%,万古霉素涂层^[34]使感染率降低 86%。

8 结论

锁骨中段骨折手术治疗方案已从传统开放固定发展为多元化微创技术体系。解剖研究表明,锁骨独特的“S”形结构和生物力学功能使其中段成为骨折易发区,占有锁骨骨折的 80%以上。流行病学数据显示,儿童青少年和老年人群是两大高发群体,且住院率呈上升趋势,提示骨折严重程度可能增加。

手术方案选择需遵循个体化原则:对于完全移位粉碎性骨折,钢板螺钉固定仍是金标准,提供可靠稳定性;对于简单移位骨折则首选 TENS 等髓内固定技术,兼顾微创与美观;儿童青少年骨折中,ESIN 技术实现解剖复位且不影响骨骼发育;而可吸收材料为内固定物过敏患者提供新选择。值得关注的是,虽然手术能显著提高骨愈合率、缩短康复时间,但长期功能结局与保守治疗差异逐渐缩小,提示严格掌握手术指征至关重要。

未来研究将聚焦智能植入物、数字骨科技术和精准康复等领域。智能钢板实时监测、药物缓释涂层、AI 决策系统和混合现实导航等创新技术,有望突破闭合复位质量、长期疗效数据缺乏等当前困境。同时,高质量多中心 RCT 研究和卫生经济学评估将为临床决策提供更坚实证据,最终实现“精准、微创、高效”的锁骨骨折治疗新范式。

参考文献:

- [1] INMAN V T, SAUNDERS J B, ABBOTT L C. Observations of the function of the shoulder joint. 1944[J]. Clin Orthop Relat Res, 1996, (330): 3-12.
- [2] IRSAY L, NISTOR A R, CIUBEAN A, et al. The importance of the clavicle biomechanics in the shoulder movement[J]. Health, Sports & Rehabilitation Medicine, 2020, 21(2): 93-96.
- [3] CRANE M A, KATO K M, PATEL B A, et al. Histovariability in human clavicular cortical bone microstructure and its mechanical implications[J]. Journal of Anatomy, 2019, 235(5): 873-882.
- [4] JERAY K J. Acute Midshaft Clavicular Fracture[J]. JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2007, 15(4): 239-248.
- [5] POSTACCHINI F, GUMINA S, DE SANTIS P, et al. Epidemiology of clavicle fractures[J]. Journal of shoulder and elbow surgery, 2002, 11(5): 452-456.
- [6] NOWAK J, MALLMIN H, LARSSON S. The aetiology and epidemiology of clavicular fractures: a prospective study during a two-year period in Uppsala, Sweden[J]. Injury, 2000, 31(5): 353-358.
- [7] BAKIR M S, UNTERKOFER J, HARALAMBIEV L, et al. Medial injuries of the clavicle: more prevalent than expected? A big data analysis of incidence, age, and gender distribution based on nationwide routine data[J]. European Journal of Trauma and Emergency Surgery, 2021, 47: 1175-1182.
- [8] KIHLSSTRÖM C, MÖLLER M, LÖNN K, et al. Clavicle fractures: epidemiology, classification and treatment of 2 422 fractures in the

Swedish Fracture Register;an observational study[J].BMC musculoskeletal disorders,2017,18(1):82.

[9] SABIR A B,SINGH H,MANZAR K,et al.A prospective comparative study on management of midshaft clavicle fractures:Conservative versus surgical[J].Journal of Bone and Joint Diseases,2023,38(2):166-172.

[10] SEPPEL G,LENICH A,IMHOFF A.Distal clavicle fracture[J].Operative Orthopädie und Traumatologie,2014,26:254-262.

[11] PECCI M,KREHER J B.Clavicle fractures[J].American family physician,2008,77(1):65-70.

[12] HOUSNER J A,KUHN J E,HARMON K G,et al.Clavicle fractures:individualizing treatment for fracture type[J].The Physician and Sportsmedicine,2003,31(12):30-36.

[13] WIJDICKS F-J G,VAN DER MEIJDEN O A,MILLETT P J,et al.Systematic review of the complications of plate fixation of clavicle fractures[J].Archives of orthopaedic and trauma surgery,2012,132(5):617-625.

[14] BOEHME D,CURTIS JR R,DEHAAN J,et al.The treatment of nonunion fractures of the midshaft of the clavicle with an intramedullary Hagie pin and autogenous bone graft[J].Instructional course lectures,1993,42:283-290.

[15] LEE Y-S,LIN C-C,HUANG C-R,et al.Operative treatment of midclavicular fractures in 62 elderly patients:knowles pin versus plate[J].Orthopedics,2007,30(11):959.

[16] HOOGERVORST P,VAN DAM T,VERDONSCHOT N,et al.Functional outcomes and complications of intramedullary fixation devices for Midshaft clavicle fractures:a systematic review and meta-analysis[J].BMC musculoskeletal disorders,2020,21(1):395.

[17] 熊恒恒,聂伟志.钛制弹性钉和锁定接骨板固定锁骨中段骨折的有限元分析[J].骨科,2024,15(06):524-528.

[18] MEEUWIS M A,TER GUNNE A P,VERHOFSTAD M,et al.Construct failure after open reduction and plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures[J].Injury,2017,48(3):715-719.

[19] 徐红伟,何晓君,张中伟,等.锁骨内固定术后再骨折二次手术的临床观察[J].中国骨伤,2017,30(10):940-945.

[20] 童绪军,丁文斌,金绍林.双钢板内固定治疗锁骨中段粉碎性骨折[J].临床骨科杂志,2023,26(01):65-68.

[21] 张朝阳,吴树文,张彦超,等.双钢板垂直固定治疗锁骨中段粉碎性骨折患者的临床效果[J].医疗装备,2022,35(11):96-100.

[22] PARK J S,KO S H,HONG T H,et al.Plate fixation versus titanium elastic nailing in midshaft clavicle fractures based on fracture classifications[J].Journal of Orthopaedic Surgery,2020,28(3):2309499020972204.

[23] KING P R,LAMBERTS R P.Management of clavicle shaft fractures with intramedullary devices:a narrative review[J].Expert review of medical devices,2020,17(8):807-815.

[24] 杨建平.弹性髓内钉技术的力学原理与应用原则[J].中华骨科杂志,2021,41(21):1583-1588.

[25] 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.

[26] LEROUX T,WASSERSTEIN D,HENRY P,et al.Rate of and Risk Factors for Reoperations After Open Reduction and Internal Fixation of Midshaft Clavicle Fractures:A Population-Based Study in Ontario,Canada[J].JBJS,2014,96(13):1119-1125.

[27] 沈政,余润泽,喻德富,等.锁骨中段骨折内固定取出后再骨折的风险及对策[J].中国骨与关节损伤杂志,2021,(011):036.

[28] 张细祥,郭颖彬.弹性髓内钉与锁定钢板治疗锁骨中段骨折的疗效比较[J].中国中医骨伤科杂志,2023,31(12):38-42.

[29] 于大鹏,陈玲玲.锁骨骨折微创髓内固定的研究进展[J].中国微创外科杂志,2021,(07):652-656.

[30] SONG H S,JOH Y,KIM H.Conformity of Three Pre-Contoured Clavicular Plates Compared Using Personalized 3D-Printed Models of Clavicles from Patients[J].Life,2024,14(7):888.

[31] DASH A,LAHIRI U.Design of virtual reality-enabled surface electromyogram-triggered grip exercise platform[J].IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering,2019,28(2):444-452.

[32] ZHAO J,WANG S,BAO J,et al.Trehalose maintains bioactivity and promotes sustained release of BMP-2 from lyophilized CDHA scaffolds for enhanced osteogenesis in vitro and in vivo[J].PloS one,2013,8(1):e54645.

[33] ZHANG L,YAN J,YIN Z,et al.Electrospun vancomycin-loaded coating on titanium implants for the prevention of implant-associated infections[J].International journal of nanomedicine,2014:3027-3036.