

# 多发性肋骨骨折的内固定治疗的最新进展

钟彦菊, 李忠诚

青海大学附属医院胸外科, 青海 西宁

收稿日期: 2022年3月26日; 录用日期: 2022年4月21日; 发布日期: 2022年4月28日

## 摘要

肋骨骨折占胸部损伤的比例相当高, 从55%到80%不等。最常见的伤害机制包括: 交通事故、挤压和从高处坠落。多发肋骨骨折的手术治疗已被越来越多的医学专业人士所接受。随着内固定设备的发展和研究的不断深入, 手术方法已成为微创。胸腔镜SSRF为多发性肋骨骨折提供了微创、精准的个体化治疗。然而, 很少有研究证明使用3D打印技术进行术前计划, 以及高复杂肋骨骨折的具体操作技巧。因此胸腔镜SSRF被认为是未来的主要研究方向。

## 关键词

多发性肋骨骨折, 内固定治疗

# Recent Progress in Internal Fixation of Multiple Rib Fractures

Yanju Zhong, Zhongcheng Li

Department of Thoracic Surgery, Affiliated Hospital of Qinghai University, Xining Qinghai

Received: Mar. 26<sup>th</sup>, 2022; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2022; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The proportion of rib fracture in chest injury is quite high, ranging from 55% to 80%. The most common injury mechanisms include traffic accidents, crushing and falling from height. The surgical treatment of multiple rib fractures has been accepted by more and more medical professionals. With the development of internal fixation equipment and the deepening of research, surgical methods have become minimally invasive. Thoracoscopic SSRF provides minimally invasive and accurate individualized treatment for multiple rib fractures. However, few studies have demonstrated the use of 3D printing technology for preoperative planning and the specific operation

skills of highly complex rib fractures. Therefore, the main research direction of thoracoscopy is SSRF.

## Keywords

Multiple Rib Fractures, Internal Fixation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 资料与方法

2021 年创伤性肋骨骨折手术治疗中国共识中指出目前我国缺乏完善的创伤数据库, 难以获得准确的创伤数据。据保守估计, 肋骨骨折患者每年可达 1.5 至 200 万例。肋骨骨折是一种常见的胸部损伤, 在 20% 至 39% 的胸部钝性外伤患者中会遇到这种情况, 并且多处肋骨骨折和不稳定的胸壁损伤具有很高的发病率和死亡率。大部分肋骨骨折患者采用保守治疗, 但高达 50% 的患者, 尤其是连枷胸等合并伤患者, 出现慢性疼痛或胸壁畸形, 超过 30% 的患者有长期残疾, 无法保留全职工作[1]。肋骨骨折手术固定是治疗移位肋骨骨折安全有效的方法。该方法提供了骨折的最终稳定, 改善肺功能, 减少止痛药的需求, 防止畸形形成, 并导致发病率和死亡率降低。因此肋骨骨折手术固定是治疗移位肋骨骨折安全有效的方法。手术固定的预期结果是通过减少止痛药的需求并允许恢复工作和受伤前的生活质量来促进完全康复[2]。

近 100 年来, 作为治疗肋骨骨折的一种手段, 肋骨骨折手术固定(SSRF)已零星开展[3]。近二十年来, 由于材料技术的发展及 3D 打印技术在多个医疗领域已经成熟, 其中在骨折治疗方面优势突出[4]。使得肋骨骨折的手术变得简单而广泛, 取得了良好的效果。这些进步的主要表现包括改进了术前定位方法, 将 CT 扫描与三维重建技术和超声应用相结合, 精确定位骨折。骨折板专门用于肋骨固定, 髓内固定装置和特殊的 SSRF 工具使 SSRF 相对简单。3D 打印技术的应用可在体外准确再现骨折部位的解剖形态术前条件, 结合胸壁内固定, 特别是胸腔镜辅助胸壁内固定, 实现肋骨骨折的微创内固定[5]。

## 2. 内固定材料的演变

### 2.1. 肋骨的生理和解剖特点

胸廓是一个复杂的三维结构, 不同部位有不同的解剖结构。并且人体存在的 12 对肋骨中的每一对都有其独特的几何形状(曲率不同, 粗细不均), 每根肋骨每天还承受约 20,000 次呼吸练习, 使得骨折固定材料的设计适应了这一生物力学挑战[6]。除了长度和宽度等正常的解剖参数外, 每根肋骨的弯曲角度、纵向扭转角度都是不可忽视的重要参数, 而目前, 常用的板材有钛合金制成, 包括改型板、钛微板、U 型板等, 仍然难以完全符合 3D 弯曲和肋骨扭曲的正常生理和解剖特征[7]。

### 2.2. 记忆合金环抱装置的优缺点

记忆合金环抱装置[8]的优点是可以立即固定牢固, 而且价格相对便宜。缺点是不可避免地破坏肋骨的血液供应, 损伤血管和神经, 导致肋间神经卡压或内固定处紧绷感导致骨愈合不良和胸痛。此外, 由于成型产品不能准确适应肋的曲率, 无法修复特殊部位的断裂。操作不便, 易脱落, 易发生肋板应力断裂。由于肋骨的几何形状复杂, 在手术过程中可能难以准备适合肋骨轮廓的钢板。

### 2.3. 肋骨锁定接骨板的优缺点

Alexander A. Fokin 认为低剖面、预成型的肋板和特定侧面的板更好, 因为它们允许在肋板表面齐平贴合的最大并列(MatrixRib; DePuy Synthes) [2]。使用薄板也有助于防止组织刺激和植入物感觉, 尤其是在瘦小的受试者中。这对于肩胛下位置特别重要, 以使肩胛骨和植入物之间的接触引起的疼痛最小化[9]。其次肋板的长度会有所不同, 因为可以将肋板切割成所需的跨度并且必须保持内侧/外侧方向。具有可变曲率的复杂肋骨几何形状(在后肋骨段增加)需要额外的骨板轮廓以确保骨板并置[10]。在每个相应肋骨处的减少的肋骨骨折上手动塑造一个灵活的模板。然后将轮廓模板施加在预轮廓的钛合金板上, 并且在连接到肋骨之前最终将板定形以匹配所需的轮廓。由于减少了金属疲劳, 预成型板减少了弯曲尝试并保持了孔螺纹和板的完整性。

Marasco 偏爱带有螺纹孔的板, 因为它们更“容错”地放置螺钉, 尤其是在需要第二次尝试的情况下, 并且还允许使用锁定螺钉。锁定螺钉在螺钉头下方有一个单独的螺纹, 与骨板的孔螺纹相匹配, 因此可以将螺钉牢固地连接到骨板上, 而螺钉杆上的不同螺纹则提供了肋骨的固定。但是必须注意钻孔并将螺钉垂直于肋条表面。对于垂直螺钉放置, 建议使用导钻器。为了将螺钉垂直定位在难以触及的区域, 使用直角钻头和螺丝刀。首选直角电动螺丝刀和直角电动钻头(DePuy Synthes), 而不是手动的。为了确保牢固的固定, 螺钉必须锁定到板上并穿过肋骨的两个皮质层, 因为内肋骨皮质比外皮质厚[9]。

因此, 骨折板是目前使用的主流产品, 特别是 Bottlang 介绍的根据肋骨的生物力学特性设计的肋骨状内固定系统[10]。这是根据肋骨的解剖形态进行的。这些骨折板易于从顶部到第三根肋骨和从底部到第十根肋骨的肋骨骨折。优点是生物相容性好, 符合肋骨的生理曲率, 能完全贴附于肋骨表面, 固定在肋骨表面而不去除骨膜, 避免损伤下缘血管神经束肋骨, 固定足够长度的骨折端, 并配合骨折板之间的内螺纹, 使螺钉在锁定螺钉后不易脱出和移位植入物缺点是操作需要足够的操作空间。螺钉与骨折板的夹角应保持垂直, 否则螺钉可能会脱落。

### 2.4. 髓内固定装置的优缺点

聚-L-乳酸板和肋骨钉等可吸收聚合物已成功用于固定颌面、胫骨和肋骨骨折, 以及非创伤性开胸术后的肋骨闭合[11] [12] [13]。这些植入物具有足够的刚度以保持其形状直到骨折完全愈合, 并且吸收率可以将机械载荷缓慢地转移到骨骼, 最大限度地减少应力屏蔽问题, 同时避免重复手术切除的需要。这些缺点是肋骨钉的使用受限于前肋骨骨折或粉碎性骨折、肋骨狭窄、骨髓腔小的患者。另一个缺点包括肋板强度不足以及再次骨折的风险, 特别是后肋骨骨折[14]。髓内固定装置的主要优点是它造成的手术创伤相对较小, 因为它的切口相对较小, 并且避免了骨膜的剥落。同时, 骨折断端和针头本身容易移位, 操作相对复杂, 手术时间长。因此, 它在临床实践中目前很少使用, SSRF 材料种类繁多, 但每一种都有自己的优缺点。理想的材料应具有以下特点: 良好的组织相容性、无排斥反应、可塑性、能够根据肋骨的解剖形状进行塑形、足够的强度、生物力学弹性能满足胸廓本身的弹性和顺应性要求和辐射的穿透, 而不影响其他组织的检查。从长远来看, 可吸收内固定材料是未来发展的主要方向。

## 3. 3D 打印技术在肋骨骨折内固定的应用

3D 打印技术在多个医疗领域已经成熟, 其中在骨折治疗方面优势突出[4]。3D 打印技术可以快速构建准确、完整的个体骨折模型, 以便外科医生可以使用模型进行手术。由于肋骨表面的弯曲和扭曲, 每根肋骨的形状不同, 使得肋骨骨折的内固定材料难以成型。特定的肋骨骨折部位(胸骨旁骨折、前肋及肋软骨骨折、椎旁骨折、1、2、10~12 肋骨骨折)、粉碎性骨折及近两处以上骨折, 均难以成形。这是因为在手术过程中要反复调整固定装置, 延长手术时间, 损伤组织, 迫使切口扩大。肋骨未固定或肋骨与骨

折板贴合不良导致术后拆除内固定装置。骨折板和肋骨的术中强制固定导致应力增加, 是造成骨折螺钉术后移位和拔除的主要原因[5]。

因此, 周等通过回顾性分析多发肋骨骨折临床病例, 报告了使用 3D 打印技术治疗多发肋骨骨折病例的经验。术前 CT 薄层扫描根据扫描结果重建 3D 模型, 采用 3D 打印技术制备肋骨模型。术前重建肋骨正常形态并根据重建模型制作成形肋骨的锁定板。对于多发性骨折特别是肋骨形态严重变形的患者, 建议术中直接将金属骨板固定在骨折线两端的肋骨上, 以建立基础支撑架。其他各种断裂段可分别固定在锁板上。5 例患者术后胸片均显示内固定物形态良好、自然。胸廓轮廓良好, 与对侧对称。他们发现采用 3D 打印技术制作肋骨模型和预成型钛合金锁骨板[6], 大大缩短了术中固定时间并提高了准确性, 降低了手术难度、患者伤害, 完美重建了胸壁。应用 3D 打印技术制作肋骨模型和金属板预成型结合胸腔镜 MIPO 技术, 为复杂肋骨骨折提供了微创、精准的个体化治疗[15]。因此, 从长远来看, 3D 打印技术可用于对内固定材料进行详细的术前规划、预弯和剪裁, 从而制造出更加精准的个性化肋骨固定装置。

## 4. 手术方法的演变

### 4.1. 目前的手术方法的不足

在过去的 5 年里, 肋骨固定变得越来越流行, 越来越多的证据表明手术肋骨固定可以改善连枷胸或孤立肋骨骨折患者的预后。在以往的研究中已经描述了许多用于肋骨固定的手术方法, 然而, 现在这些技术中存在许多缺陷与不足。目前, 大多数手术采用损伤较大的大切口[16]。但由于需要切除部分胸壁肌肉和神经(胸背、胸长神经), 损伤切口以下部分血管, 导致切口感染率高, 术后上肢、肩部瘢痕形成, 同时诱发背部功能受限, 以及长时间的胸部麻木[17]。

### 4.2. 肋骨骨折手术固定的材料和技术方面的创新

Schots 等人提到利用计算机断层扫描图像的 3D 重建来模拟患者的胸腔, 以确定手术前钛板的长度和曲线, 以减少切口长度, 确定骨折部位的精确位置, 并使用以下方法轻松测量肋骨厚度卡尺以确定适当的螺钉长度[18]。因此, 为了确保采用微创方法, Nickerson [19]提到, 使用直角钻头和螺丝刀可以扩大用于稳定肋骨骨折的手术范围, 并且肩胛骨下的高位骨折在技术上具有挑战性无需延长手术时间即可稳定。但手术过程仍有很大的改进空间, 如缩短切口、减少寻找骨折部位的时间、设计钛板的长度和曲率、测量锁定螺钉的长度等。

因此, 在适用于肋骨骨折手术固定的材料和技术方面的创新, 特别是微创肋骨内固定工具的发明, 使微创肋骨骨折手术固定成为现实。对于胸壁内固定, 尤其应进行胸腔镜辅助内固定[17]。对于手术切口小、切口位置高、暴露不足、视野差的患者, 胸腔镜作为肋骨骨折的辅助手术, 尤其是肩胛骨深部骨折, 可以提供良好的视野, 辅助胸腔探查。基本操作方法是在骨折中心或肩胛骨下做一个 5~7 厘米的切口, 切开皮肤和皮下组织, 沿肌肉间隙和肌肉纹理解剖, 沿不同层肌纤维的方向分离, 尽可能保护肌肉组织和骨膜, 避免肌肉横断。这种方法能够减少对骨折愈合组织形成和骨折愈合的影响[5]。

### 4.3. 微创肋骨内固定的优缺点

与传统开胸手术相比, 胸腔镜肋骨骨折内固定具有以下优点: (一) 内镜下骨折定位直观准确, 扩大了骨折固定范围; (二) 内镜下肋骨骨折复位固定可避免传统开胸对肋间血管、神经、胸腔脏器的损伤, 减少并发症, 加快术后恢复; (三) 通过内侧皮质固定, 避免肩胛骨牵张, 消除骨折板与肩胛骨的接触性; (四) 对同期胸内损伤, 尤其是一些隐匿性损伤, 可进行综合探查和治疗; (五) 微创美容手术患者容易接受[20] [21]。

然而, 微创肋骨内固定在肋骨骨折手术固定中存在一些局限性。如果患者有其他心胸损伤, 可能需要进行开胸探查以检查出血情况。这种新技术不适合紧急情况, 因为 3D 打印耗时(至少 5~6 小时)。使用计算机断层扫描图像在各种肋骨骨折中生成 3D 打印模型, 甚至在胸部连枷或未对齐的肋骨骨折中[22]。Liman [23]表示, 3D 打印可能会彻底改变解剖学和外科科学, 从而在未来造福教育工作者、外科医生和患者。因此, 3D 打印技术对于肋骨固定手术可能变得更有价值。需要前瞻性的多机构研究来验证 SSRF 的 3D 打印的可行性和安全性。进一步的临床研究可能会为患者的预后提供更有价值的结果。

## 5. 结论

综上所述, 肋骨骨折手术固定的快速发展得到了越来越多的胸外科医生和外伤科医生的认可。随着它的出现, 新的内固定材料和技术不断涌现。微创手术技术和可吸收内固定材料正在成为未来医疗创新的主要途径。

## 参考文献

- [1] Kong, L.W., Huang, G.B., Yi, Y.F. and Du, D.Y. (2021) The Chinese Consensus for Surgical Treatment of Traumatic Rib Fractures 2021 (C-STTRF 2021). *Chinese Journal of Traumatology*, **24**, 311-319. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2021.07.012>
- [2] Fokin, A.A., Hus, N., Wycech, J., Rodriguez, E. and Puente, I. (2020) Surgical Stabilization of Rib Fractures: Indications, Techniques, and Pitfalls. *JBJS Essential Surgical Techniques*, **10**, e0032. <https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.19.00032>
- [3] Fraser, S.F., Tan, C., Kuppusamy, M.K., et al. (2017) The Role of a Video-Assisted Thoracic Approach for Rib Fixation. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **43**, 185-190. <https://doi.org/10.1007/s00068-016-0641-1>
- [4] Zeng, C., Xiao, J., Wu, Z. and Huang, W. (2015) Evaluation of Three-Dimensional Printing for Internal Fixation of Unstable Pelvic Fracture from Minimal Invasive Para-Rectus Abdominis Approach: A Preliminary Report. *International Journal of Clinical & Experimental Medicine*, **8**, 13039-13044.
- [5] Zhang, Q., Song, L., Ning, S., Xie, H., Li, N. and Wang, Y.B. (2019) Recent Advances in Rib Fracture Fixation. *Journal of Thoracic Disease*, **11**, S1070-S1077. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.04.99>
- [6] Zhou, X.T., Zhang, D.S., Yang, Y., Zhang, G.L., Xie, Z.X., Chen, M.H. and Liang, Z. (2019) Analysis of the Advantages of 3D Printing in the Surgical Treatment of Multiple Rib Fractures: 5 Cases Report. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **14**, Article No. 105. <https://doi.org/10.1186/s13019-019-0930-y>
- [7] Mohr, M., Abrams, E., Engel, C., et al. (2007) Geometry of Human Ribs Pertinent to Orthopedic Chest-Wall Reconstruction. *Journal of Biomechanics*, **40**, 1310-1317.
- [8] Song, J., Yan, T., Wang, T., et al. (2017) Internal Fixation of Claw-Type Rib Bone Plates on Multiple Fractured Ribs. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, **10**, 6934-6941.
- [9] Marasco, S. and Surgical, S.P. (2015) Rib Fixation—Technical Aspects. *Injury*, **46**, 929-932. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.12.021>
- [10] Bottlang, M., Waller, S., Noll, M., Honold, S., Madey, S.M., Fitzpatrick, D. and Long, W.B. (2010) Biomechanical Rationale and Evaluation of an Implant System for Rib Fracture Fixation. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **36**, 417-426. <https://doi.org/10.1007/s00068-010-0047-4>
- [11] Chai, X., Lin, Q., Ruan, Z., et al. (2013) The Clinical Application of Absorbable Intramedullary Nail and Claw Plate on Treating Multiple Rib Fractures. *Minerva Surgery*, **68**, 415-420.
- [12] Tatsumi, A., Kanemitsu, N., Nakamura, T., et al. (1999) Bioabsorbable Poly-L-Lactide Costal Coaptation Pins and Their Clinical Application in Thoracotomy. *The Annals of Thoracic Surgery*, **67**, 765-768. [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(98\)01264-8](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(98)01264-8)
- [13] Ito, T., Kudo, M. and Yozu, R. (2008) Usefulness of Osteosynthesis Device Made of Hydroxyapatite-Poly-L-Lactide Composites in Port-Access Cardiac Surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*, **86**, 1905-1908. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2008.08.059>
- [14] Marasco, S.F., Sutalo, I.D. and Bui, A.V. (2010) Mode of Failure of Rib Fixation with Absorbable Plates: A Clinical and Numerical Modeling Study. *The Journal of Trauma*, **68**, 1225-1233. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181d27cab>

- 
- [15] Zhou, X.T., Zhang, O.S., Xie, Z.X., Chen, M.H., Yang, Y., Liang, Z. and Zhang, G.L. (2019) 3D Printing and Thoracoscopy Assisted MIPO in Treatment of Long-Range Comminuted Rib Fractures: A Case Report. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **14**, Article No. 83. <https://doi.org/10.1186/s13019-019-0892-0>
- [16] Bemelman, M., van Baal, M., Yuan, J.Z. and Leenen, L. (2016) The Role of Minimally Invasive Plate Osteosynthesis in Rib Fixation: A Review. *Korean Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **49**, 1-8. <https://doi.org/10.5090/kjtc.2016.49.1.1>
- [17] Xia, H., Zhu, P., Li, J., et al. (2018) Thoracoscope Combined with Internal Support System of Chest Wall in Open Reduction and Internal Fixation for Multiple Rib Fractures. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **16**, 4650-4654. <https://doi.org/10.3892/etm.2018.6817>
- [18] Schots, J.P., Vissers, Y.L., Hulsewe, K.W., Meesters, B., Hustinx, P.A., Pijnenburg, A., et al. (2017) Addition of Video-Assisted Thoracoscopic Surgery to the Treatment of Flail Chest. *The Annals of Thoracic Surgery*, **103**, 940-944. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.09.036>
- [19] Nickerson, T.P., Kim, B.D., Zielinski, M.D., Jenkins, D. and Schiller, H.J. (2015) Use of a 90° Drill and Screwdriver for Rib Fracture Stabilization. *World Journal of Surgery*, **39**, 789-793. <https://doi.org/10.1007/s00268-014-2862-y>
- [20] Ren, M.M., Kong, F.Y., Yang, B., et al. (2014) Comparison of Video-Assisted Thoracoscopic Surgery and Traditional Thoracotomy for Treatment of Multiple Rib Fractures. *Chinese Journal of Traumatology*, **30**, 512-515.
- [21] Ren, Z.L., Ren, X.P., Zhang, Y., et al. (2018) Clinical Effect of Single Hole Thoracoscope Combined with Encircling Bone Plate for Treatment of Multiple Rib Fractures. *Chinese Journal of Thoracic Surgery (Electronic Edition)*, **5**, 180-183.
- [22] Chen, Y.Y., Lin, K.H., Huang, H.K., Chang, H., Lee, S.C. and Huang, T.W. (2018) The Beneficial Application of Preoperative 3D Printing for Surgical Stabilization of Rib Fractures. *PLoS ONE*, **13**, e0204652. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204652>
- [23] Liman, S.T., Kuzucu, A., Tastepe, A.I., et al. (2003) Chest Injury due to Blunt Trauma. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **23**, 374-378. [https://doi.org/10.1016/s1010-7940\(02\)00813-8](https://doi.org/10.1016/s1010-7940(02)00813-8)