

3D打印技术及其对锁骨骨折手术治疗效果的临床研究

杨家营¹, 方 军^{2*}

¹右江民族医学院研究生院, 广西 百色

²右江民族医学院附属河池市人民医院骨科, 广西 河池

收稿日期: 2024年9月9日; 录用日期: 2024年10月2日; 发布日期: 2024年10月10日

摘 要

目的: 对3D打印技术及其对锁骨骨折手术治疗效果的临床研究进行综述总结, 为未来锁骨骨折患者的治疗方法提供参考, 也为3D打印技术的治疗效果进行推广。方法: 广泛查阅中国知网、维普、万方以及Web of Science和PubMed等英文数据库, 以3D打印技术(3D printing technology)、锁骨骨折(clavicular fracture)等为检索词进行检索, 及近年来应用3D打印技术作用于锁骨骨折的临床研究应用的文献, 总结该技术的临床疗效。结果: 既往的临床应用显示, 3D打印技术相对于传统的治疗方法, 明显取得了良好的治疗效果。3D打印技术与其他治疗方式的联合应用也取得了理想的术后效果, 为不同的锁骨骨折提供了更多的治疗选择。结论: 由于锁骨的独特解剖结构, 传统的手术治疗难以达到理想的恢复效果。与传统的骨折复位手术相比, 3D打印技术能直观地接触患者的骨折实体模型, 并利用模型来模拟术前骨折处的复位操作, 能在术前更好地调整内固定对于骨折端的贴合程度, 简化手术步骤、优化术中塑形, 并且减少术中C臂次数, 对于降低手术时间及患者创伤具有显著意义, 值得在临床实践中推广应用。

关键词

3D打印技术, 锁骨骨折, 钢板内固定, 综述

Clinical Study of 3D Printing Technology and Its Effect on the Surgical Treatment of Clavicle Fracture

Jiaying Yang¹, Jun Fang^{2*}

¹Graduate School of Youjiang Medical University for Nationalities, Baise Guangxi

²Department of Orthopedics, Hechi People's Hospital Affiliated to Youjiang Medical University for Nationalities, Hechi Guangxi

*通讯作者。

Abstract

Objective: To summarize the clinical research of 3D printing technology and its effect on the surgical treatment of clavicle fracture, so as to provide a reference for the treatment method of clavicle fracture patients in the future and promote the therapeutic effect of 3D printing technology. **Methods:** The CNKI, VIP, Wanfang and English databases such as Web of Science and PubMed were extensively reviewed, and 3D printing technology and clavicular fracture were used as search terms, and the literature of the clinical research and application of 3D printing technology in clavicle fracture in recent years to summarize the clinical efficacy of this technology. **Results:** Previous clinical applications showed that 3D printing technology achieved good therapeutic effects compared with traditional treatment methods. The combination of 3D printing technology and other treatment methods has also achieved ideal postoperative results, providing more treatment options for different clavicle fractures. **Conclusion:** Due to the unique anatomical structure of the clavicle, the traditional surgical treatment is difficult to achieve the ideal recovery effect. Compared with traditional fracture reduction surgery, 3D printing technology can intuitively contact the patient's fracture solid model and use the model to simulate the reduction operation at the preoperative fracture site. It can better adjust the degree of internal fixation to the fracture end before operation, simplify the operation steps, optimize the intraoperative shaping, and reduce the number of intraoperative C-arms. It is of great significance to reduce the operation time and patient trauma and is worthy of popularization and application in clinical practice.

Keywords

3D Printing Technology, Clavicle Fracture, Steel Plate Internal Fixation, Review

Copyright © 2024 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. 研究背景

1.1. 锁骨骨折

锁骨骨折是临床上常见的肩部骨折之一, 约占肩部骨折的 50%。随着社会经济的发展, 出行交通方式的多元化加剧了锁骨骨折的发生率[1]。交通伤、高空坠落等情况日益增多, 并常伴随锁骨骨折的发生[2]。重者常伴随粉碎性骨折、骨折断端移位伴软组织卡压等并发症, 加重了治疗的难度。由于锁骨特殊的部位与复杂的解剖结构, 既往多建议采用非手术治疗, 但恢复效果不理想且并发症较多, 因此越来越多的学者鼓励手术治疗锁骨骨折, 恢复锁骨的正常解剖形态, 以便于患者早期肩关节功能的锻炼, 避免畸形愈合, 有利于功能的恢复[3] [4]。

1.2. 锁骨骨折的常规内固定治疗

临床上最常见的治疗锁骨骨折的方法为传统的钢板内固定[5], 包括重建钢板和锁定钢板两种内固定方法[6]。重建钢板主要应用于骨折断端切口复位内固定。医师根据锁骨的生理走向来做手术切口。该方法主要依据锁骨的不同形态来对钢板进行塑形, 使其能够紧贴于锁骨骨面, 来适应不同患者的锁骨形状

及断端轮廓。但由于该手术需要充分剥离骨折断端以及骨膜, 导致手术切口大, 易引发切口局部损伤延迟骨折愈合[7]。“S”形锁定钢板依据 AO 内固定原理, 钢板无需与骨面直接贴合, 无需剥离骨膜, 不会影响断端血运。此外, 无需对钢板进行塑形, 钢板强度不受影响[8]。有研究显示, 锁定钢板负荷应变值、位移值、挠度值都明显小于重建钢板[9], 总体看来, 符合生物力学固定特点的“S”型锁定钢板具有更好的临床使用价值。虽然内固定治疗比保守非手术治疗更有优势, 但术后创口周围皮肤麻木、炎症、损伤等问题逐渐备受关注, 其主要原因是常规开放性切口对锁骨上神经的医源性损伤所导致[10]。同时, 螺钉内固定术会广泛剥离暴露骨折断端, 破坏周围组织, 影响供血情况[11]。除此之外, 传统的治疗方法往往需要消耗大量时间于术中进行接骨板预弯和塑形, 增加了手术时间与创面感染率。因此, 寻求一种更合适的治疗方法是临床所需要的。

1.3. 3D 打印技术

3D 打印技术依托计算机控制、辅助设计和断层扫描等数字化技术资料, 采取精确堆叠和逐层制造的方法, 构建出与原型基本一致的模型。3D 打印技术的发展源自于 1984 年, Hull 首次报道了立体平版印刷技术, 同年衍生为三维实体模型, 标志着 3D 打印技术的诞生[12]。近年来, 3D 打印技术在骨折领域中的应用愈加广泛[13]。医师可以通过 X 线及 CT 影像来评估诊断患者骨折的情况, 进而构建立体影像, 结合 3D 打印技术能够进一步建造出患者骨折处的实体模型[14]。应用 3D 打印技术, 医师可以直接在骨折模型上进行骨折的复位操作模拟, 相比较于传统的手绘骨折复位可更大强度地使骨折断端创口更加贴合, 同时可缩短手术时间、减少手术创伤, 得以在术前预判骨折复位及内固定的难点[15]-[17]。近年来, 其常用于制定手术计划、制作解剖模型等, 如图 1 所示。

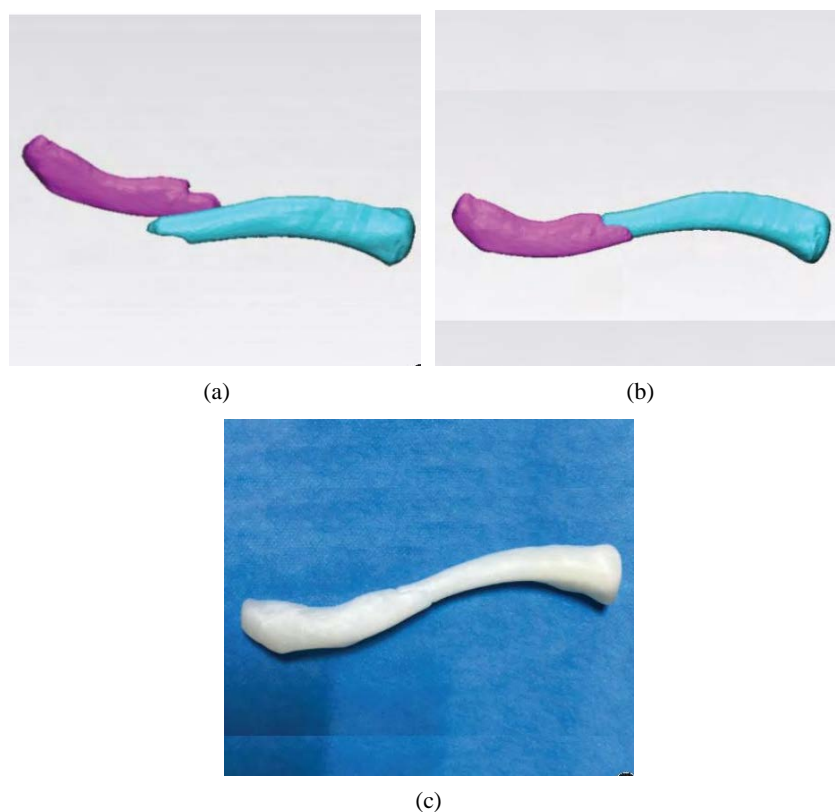


Figure 1. (a) Fracture modeling; (b) Virtual reset; (c) Preoperative model printing
图 1. (a) 骨折建模; (b) 虚拟复位; (c) 术前模型打印

2. 3D 打印技术的临床应用

2.1. 3D 打印技术治疗锁骨骨折

3D 打印技术在医疗领域的应用越发广泛, 特别是在锁骨骨折损伤修复手术中。赵政[15]应用 3D 打印技术治疗锁骨近端骨折 1 例, 他认为 3D 打印技术能够构建真实锁骨的仿真模型, 便于医师在模型上进行螺钉植入测量、钢板预弯等操作, 极大地降低了手术的风险、缩短了手术时间。唐康等人[13]将 3D 打印技术应用于 21 例锁骨骨折的患者, 并将术后 10 天与术前的肩关节 VAS 评分与肩关节功能评分的差异性作为评判标准, 结果显示, 术后 10 天患者的肩关节疼痛 VAS 评分与肩关节功能评分显著优于术前 ($P < 0.05$), 所有患者骨折均愈合、无切口发生感染及不良并发症。他们认为这是由于 3D 打印技术的优势性, 术前精细模拟内固定等相关操作减少了术中反复调整内固定的次数, 骨膜、血运无显著破坏, 组织损伤减少, 手术满意度提高。国外学者 Menor Fusaro 等人[18]运用 3D 打印技术治疗锁骨中外骨折后畸形愈合患者 1 例, 他们结合镜像技术确认了患侧创伤前的骨形态, 而后使用 3D 软件处理生成 3D 模型, 设计了截骨螺钉导向器精准固定骨头, 成功将钢板固定在锁骨内侧。在术后 6 个月未发现并发症, X 线显示骨折愈合良好。张爱国等人[19]研究了 3D 打印模型对钢板进行预塑形对锁骨骨折手术的优势, 将 30 例患者分为 3D 打印技术组与传统治疗组, 他们发现, 手术过程中, 3D 打印技术组的出血量及螺钉的更换次数都显著少于传统组, 而术后并发症的发生率也低于传统治疗组, 证明了 3D 打印技术的优势性。尤炯鸣等人[20]认为, 3D 打印技术可以有效解决术中的难点, 其手术效果更优于传统的切开复位内固定, 切口更美观、术后相关并发症更少, 更有利于患者的骨折愈合及功能康复。

2.2. 3D 打印技术与其他方法联合应用治疗锁骨骨折

近年来, 3D 打印技术发展迅速, 并逐渐被应用于骨科的治疗中。其通过术前重建、打印三维模型来模拟骨折处的损伤情况并制定最合适的治疗方案[21]。随着技术的发展, 若能将 3D 打印技术合并其他治疗手段, 以期能获得更加理想的疗效。随着 3D 打印技术的改良, 其镜像技术能够根据健侧直观地反映患侧锁骨伤前的立体结构, 术前将螺钉固定及骨板塑形等进行模拟, 结合微创经皮钢板内固定技术治疗, 使得治疗锁骨骨折的成功率大大提升。此外, 微创技术进一步发展, 微创经皮钢板内固定技术由于手术操作不暴露骨折断端、保护骨膜的优势, 能有效增强手术效果, 提高愈合率。穆胜凯等人[22]采用 3D 镜像打印技术结合微创技术治疗锁骨骨折, 采用微创经皮锁定钢板内固定, 术中出血量少、骨膜剥离少、组织创伤小, 并且减少了手术时间; 术后所有患者无并发症出现, 术后肩关节功能评分显著优于术前 ($P < 0.05$); 他们认为, 3D 打印技术结合微创技术, 不会破坏骨折断端的微环境, 在骨折愈合中起着重要的作用。在锁骨骨折中, 锁骨近端骨折的发生率约有 2%~10% [23]。由于锁骨近端复杂的解剖结构, 术中常会出现血管神经及脏器损伤等风险, 为避免此风险, 冯伟楼等人[24]在治疗锁骨近端骨折的患者时采用了 3D 打印技术辅助锁骨远端解剖锁定接骨板内固定术, 术前利用 3D 打印技术为治疗锁骨近端骨折提供了合适的固定和复位方案, 结合锁骨远端解剖锁定接骨板, 获得了完全贴合的锁骨近端解剖锁定接骨板, 降低了手术的风险, 取得了满意的疗效。王梦晗等人[25]将目前临床使用的患者锁骨骨折模型、计算机模拟骨折复位后模型、健侧镜像锁骨模型这三种打印技术结合虚拟复位技术治疗中段锁骨骨折患者, 并与传统的切开复位接骨板内固定进行对比, 结果显示, 手术时间、骨板折弯系数、术后并发症及骨折愈合时间均小于传统手术方法组 ($P < 0.05$), 术后患者获得更快的骨折愈合率及更少的并发症发生。张平等人[26]在 3D 打印技术的基础上采用了锁扣带袢钛板治疗锁骨骨折, 锁扣带袢钛板能够确定最佳的进针点、进针方向及深度, 能够设计个性化的手术方案。结果显示, 手术切口均在二期愈合, 未发生神经血管的损伤及其他医源性并发症。他们认为, 锁扣带袢钛板治疗具有固定更稳定、对肩锁关节干扰小、操作简

单避免二次手术等优势, 患者功能恢复良好, 值得临床推广应用。

3. 3D 打印技术存在的问题

3D 打印技术虽然在临床锁骨骨折中为患者选择个性化治疗方案提供了便利, 也为医师制定手术方案提供了更多的选择, 但该技术仍存在需要完善的地方: 1) 骨折创伤处的损伤常伴随骨骼、肌肉、血管神经等多种解剖结构, 但目前 3D 打印技术的模型主要集中在骨骼模型, 缺乏多种结构的模拟, 可能会为实际手术操作带来不便。2) 3D 打印模型质地较为坚固, 与新鲜骨组织的质地和硬度不完全匹配, 所以在模拟手术操作时器械和手感的力度与实际有一定的差异。3) 3D 打印耗时较长, 费用较高[27] [28]。

4. 总结与展望

锁骨骨折手术是创伤性骨折中最常见的手术之一[29], 早期由于技术的不完善, 常采用保守非手术治疗[30], 但近年来研究发现, 非手术治疗更容易形成愈合畸形等并发症[31]。接骨板内固定是目前最常用的方法, 但由于锁骨的独特解剖结构, 使得该区域的角度矫正特别困难。钢板内固定术是临床治疗锁骨骨折的经典术式。然而, 由于不同患者的个体差异性[32] [33], 术中常会发生锁骨断端与内固定的贴合不稳, 需多次反复重塑、延长手术切口、大范围剥离骨膜、增加断端暴露面积等操作, 可能造成手术时间延长、组织创伤增大、出血量增加等情况, 进而引起创伤处炎症的发生、骨折愈合延迟、瘢痕明显等并发症[34]。但新技术的利用使外科医生能够通过更简单、更快速的方法获得可重复的结果。近年来, 锁骨骨折手术的治疗方法逐渐多元化, 微创经皮内固定技术、3D 打印辅助微创经皮内固定等新颖的治疗方法成为锁骨骨折治疗新的里程碑[35] [36]。3D 打印技术在医学治疗领域得到了逐渐广泛的应用[37], 该技术可以将骨折部位打印出三维模型, 医师得以利用模型进行术前操作练习, 制定适宜的手术方案, 减少了手术时间和提高了手术成功率, 达到了更好的恢复效果[38]。另外, 3D 打印技术结合微创技术等新技术可以使手术成功率进一步提升, 新技术联合治疗的前景也值得进一步探索。综上所述, 3D 打印技术能够将患者的骨折断端打印出实体模型, 使手术医师在术前选择合适的内固定钢板及其塑形, 同时也能进行手术模拟操作, 极大程度地减少了手术时间。此外, 该技术的应用还显著减少了术中 C 臂的使用、出血量和组织损伤, 进而降低了术后并发症的发生率, 在锁骨骨折损伤修复手术中展现出了巨大的应用潜力。但是, 3D 打印技术本身也存在其他相关问题, 比如打印费用偏高、打印时间过长等情况。不过随着科技的发展和生活水平的提升, 相信这些问题在未来都会得到解决。

参考文献

- [1] 陈阳, 马剑雄, 马信龙. 锁骨骨折的研究进展[J]. 中国骨与关节外科, 2011, 4(5): 411-416.
- [2] Burnham, J.M., Kim, D.C. and Kamineni, S. (2016) Midshaft Clavicle Fractures: A Critical Review. *Orthopedics*, **39**, e814-e821. <https://doi.org/10.3928/01477447-20160517-06>
- [3] Canadian Orthopaedic Trauma Society (2007) Nonoperative Treatment Compared with Plate Fixation of Displaced Midshaft Clavicular Fractures. A Multicenter, Randomized Clinical Trial. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **89**, 1-10. <https://doi.org/10.2106/jbjs.f.00020>
- [4] Ropars, M., Thomazeau, H. and Hutten, D. (2017) Clavicle Fractures. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **103**, S53-S59. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.11.007>
- [5] 王满宜. 锁骨骨折的治疗现状[J]. 中国骨伤, 2008(7): 487-489.
- [6] 姜春乾, 李永全. 钢板内固定治疗锁骨骨折的研究进展[J]. 山西医药杂志, 2022, 51(9): 1007-1009.
- [7] 卢显威, 蒋守念, 方钢, 等. 重建钢板联合可吸收线治疗粉碎性锁骨骨折的疗效分析[J]. 中国临床新医学, 2015(6): 560-562.
- [8] 杨志强, 陈言智, 柏林刚, 等. 解剖型锁定钢板与重建钢板治疗 Robinson IIB 型锁骨骨折的临床效果比较[J]. 中国当代医药, 2020, 27(28): 13-16.

- [9] 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.
- [10] Christensen, T.J., Horwitz, D.S. and Kubiak, E.N. (2014) Natural History of Anterior Chest Wall Numbness after Plating of Clavicle Fractures: Educating Patients. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **28**, 642-647. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000095>
- [11] 刘亚波. 锁骨骨折的治疗[J]. 中国骨伤, 2012, 25(4): 267-270.
- [12] Khajavi, S.H., Partanen, J. and Holmström, J. (2014) Additive Manufacturing in the Spare Parts Supply Chain. *Computers in Industry*, **65**, 50-63. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.07.008>
- [13] 唐康, 华兴一, 周剑. 3D 打印辅助治疗成人锁骨骨折的临床疗效[J]. 安徽医学, 2019, 40(5): 532-534.
- [14] 郝申申, 刘志斌, 王飞, 等. 3D 打印技术在成人锁骨中段移位骨折治疗中的应用价值[J]. 中国综合临床, 2017, 33(10): 873-877.
- [15] 赵政. 应用三维重建结合快速成型技术治疗锁骨近端骨折[J]. 浙江创伤外科, 2015, 20(2): 321-322.
- [16] 陈国仙, 李国山, 林宗锦, 等. 3D 打印截骨模块在全膝关节置换中的应用价值[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(16): 3920-3922.
- [17] 林钢, 李鹏, 彭国瑞, 等. 数字化结合 3D 打印技术辅助复杂骨盆骨折的手术设计[J]. 中国临床解剖学杂志, 2016, 34(3): 293-297.
- [18] Menor Fusaro, F., Di Felice Ardeno, P., Pérez Abad, M. and Yanguas Muns, C. (2021) Three-Dimensional Imaging, Modeling, and Printing in the Correction of a Complex Clavicle Malunion. *JSES International*, **5**, 729-733. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2021.04.008>
- [19] 张爱国, 李甲岳, 马洪, 等. 3D 打印辅助锁骨骨折微创内固定治疗[J]. 外科研究与新技术, 2021, 10(2): 84-87.
- [20] 尤炯鸣, 吴银生, 王勇. 基于 3D 打印的锁骨中段移位骨折微创手术与传统切开复位内固定术的病例对照研究[J]. 中国骨伤, 2019, 32(1): 5-10.
- [21] 纪振中, 张奕, 李焱, 等. 3D 打印结合微创钢板内固定术治疗胫骨远端骨折患者的疗效及对碱性磷酸酶、肿瘤坏死因子 α 水平的影响[J]. 广西医学, 2022, 44(2): 154-158.
- [22] 穆胜凯, 郝连升, 刘君, 等. 3D 镜像打印结合微创技术治疗成人锁骨中段骨折[J]. 中国骨伤, 2022, 35(8): 775-778.
- [23] Robinson, C.M. (1998) Fractures of the Clavicle in the Adult: Epidemiology and Classification. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, **80**, 476-484. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.80b3.8079>
- [24] 冯伟楼, 张堃, 朱养均, 等. 3D 打印技术辅助锁骨远端接骨板内固定治疗锁骨近端骨折[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35(7): 745-747.
- [25] 王梦晗, 齐涵, 张元, 等. 3 种 3D 打印模型辅助治疗 Robinson II B2 型锁骨骨折[J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(9): 1403-1408.
- [26] 张平, 钱增杰, 陈庚, 等. 3D 打印结合锁扣带袢钛板治疗锁骨远端骨折[J]. 临床骨科杂志, 2022, 25(1): 72-75.
- [27] Lim, P.K., Stephenson, G.S., Keown, T.W., Byrne, C., Lin, C.C., Marecek, G.S., et al. (2018) Use of 3D Printed Models in Resident Education for the Classification of Acetabulum Fractures. *Journal of Surgical Education*, **75**, 1679-1684. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.04.019>
- [28] 蒙德鹏, 陈宇, 林浩东, 等. 3D 打印技术在复杂关节周围骨折临床带教中的应用[J]. 医学信息, 2018, 31(23): 26-28.
- [29] King, P.R., Eken, M.M. and Lamberts, R.P. (2022) Epidemiology of Clavicle Shaft Fractures in a Public Hospital in South Africa: Differences between Developing and Developed Countries. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **48**, 4935-4941. <https://doi.org/10.1007/s00068-022-02029-3>
- [30] Neer, C.S. (1960) Nonunion of the Clavicle. *Journal of the American Medical Association*, **172**, 1006-1011. <https://doi.org/10.1001/jama.1960.03020100014003>
- [31] Liu, Z., Zhang, M., Zhou, Z., Zhang, L. and Zheng, L. (2023) Comparative Study of Three Different Fixation Techniques for the Treatment of Neer Type IIb Distal Clavicle Fractures: A Retrospective Cohort Study. *Frontiers in Surgery*, **10**, Article 1100720. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1100720>
- [32] 刘建, 朱光琼, 孔毅, 等. 锁骨的解剖学测量及其临床应用[J]. 局解手术学杂志, 2018, 27(9): 617-620.
- [33] 王玉娇, 李孝林. 锁骨的数字三维可视化重建及解剖学测量[J]. 解剖学杂志, 2011, 34(5): 661-663.
- [34] Verborgt, O., Pittoors, K., Van Glabbeek, F., et al. (2005) Plate Fixation of Middle-Third Fractures of the Clavicle in the Semi-Professional Athlete. *Acta Orthopaedica Belgica*, **71**, 17-21.
- [35] Zhang, T., Chen, W., Sun, J., Zhang, Q. and Zhang, Y. (2017) Minimally Invasive Plate Osteosynthesis Technique for Displaced Midshaft Clavicular Fracture Using the Clavicle Reductor. *International Orthopaedics*, **41**, 1679-1683. <https://doi.org/10.1007/s00264-016-3392-z>

- [36] Vlachopoulos, L., Schweizer, A., Meyer, D.C., Gerber, C. and Frnstahl, P. (2017) Computer-Assisted Planning and Patient-Specific Guides for the Treatment of Midshaft Clavicle Malunions. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **26**, 1367-1373. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.02.011>
- [37] Shon, H.C., Bang, J., Lee, Y., Koh, K.H. and Kim, J.W. (2020) Optimal Plate Position in Minimally Invasive Plate Osteosynthesis for Mid-Shaft Clavicle Fractures: Simulation Using 3D-Printed Models of Actual Clinical Cases. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **47**, 1411-1416. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01330-3>
- [38] Chae, M.P., Rozen, W.M., McMenamin, P.G., Findlay, M.W., Spychal, R.T. and Hunter-Smith, D.J. (2015) Emerging Applications of Bedside 3D Printing in Plastic Surgery. *Frontiers in Surgery*, **2**, Article 25. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2015.00025>