

3D 打印结合内固定模型库辅助复杂胫骨平台骨折 精确化内固定手术

黄华军¹, 曾参军¹, 张雁儒^{2*}

(1.南方医科大学第三附属医院 骨科, 广东 广州 510630; 2.宁波大学 医学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 本研究旨在通过应用 3D 打印导航模板辅助复杂胫骨平台骨折内固定植入手术, 提高内固定手术的精确性。采用 5 例正常膝关节尸体标本进行 Schatzker V 型骨折造模, 骨折模型进行 CT 扫描三维重建, 结合钢板模型库进行虚拟个性化内固定手术。根据虚拟的优化内固定手术方案设计并 3D 打印个性化导航模板, 引导现实的骨折标本内固定手术。通过虚拟术前规划(术前)和标本实验(术后)的螺钉长度、进钉点位置以及方向的对比分析来评估内固定效果, 结果提示本实验获得了优化、精确的内固定效果。螺钉长度差异为 (0.89 ± 2.94) mm, $p > 0.05$; x , y 和 z 轴进钉点差异分别为 (1.19 ± 1.31) , (1.73 ± 1.31) 和 (1.22 ± 0.88) mm, $p > 0.05$; 冠状面(x - y)和横断面(x - z)的投影角差异分别为 $(2.99 \pm 2.98)^\circ$ 和 $(1.57 \pm 5.13)^\circ$, $p > 0.05$ 。以螺钉长度、进钉点位置和钉道投影角进行评估术前和术后的钉道差异, 结果提示二者无明显差异。在钢板模型库和个性化导航模板的辅助下可以获得理想和精确的内固定植入方案, 提高个性化内固定手术的精确性和有效性。

关键词: 胫骨平台骨折; 内固定; 3D 打印; 计算机辅助; 术前规划

中图分类号: R683.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 06-0023-07

复杂胫骨平台骨折属于关节内骨折, 需要精确的复位胫骨平台来恢复正常的关节解剖结构与肢体力线关系^[1-3]。疼痛、对线不良、关节不稳和创伤性关节炎是常见的术后并发症。复杂胫骨平台骨折最普遍的治疗方式是内固定手术, 但由于骨折形态的复杂性, 胫骨平台内固定手术术前规划存在一定的困难^[1,4-7], 而且, 无论是外科医生还是患者, 对外科手术效果的期望值都在不断升高, 高效、精确化的手术越来越受到重视, “个性化”的手术逐渐成为未来外科手术的发展趋势。当前, 复杂胫骨平台骨折的内固定手术效果参差不齐, 远远不能达到优化手术以及个性化手术的要求。

内固定效果很大程度上取决于合适的内固定物^[8-11]。锁定加压钢板是胫骨平台骨折手术最常用的内固定物, 但是不同厂家的钢板设计以及外形不尽相同, 因此, 骨折与钢板形态不匹配以及钢板

上锁定钉道不合适情况时有发生。从临床手术效果而言, 个性化的外形匹配的钢板和钉道无疑能获得更好的内固定效果^[9,12]。但是个性化设计的内植物仍然处于研究阶段, 尚不能广泛应用于骨科临床手术。当前也没有类似于工业模具标准件库的钢板库供传统的内固定手术术前挑选。

传统的术前计划通常是根据个人经验依照二维信息, 如 X 光、CT 和 MRI 进行的, 这种方式很难确定适合具体病例的最优化的手术方案, 也很难预测手术当中所遇到的问题。近年来, 计算机辅助技术得到快速的发展, 有研究报道在计算机技术辅助下能够准确地制定骨科术前规划以及精确地引导现实手术的实施。例如立体定向的图像导向系统引导骨盆拉力螺钉的精确植入^[13], 3D 导航系统引导髌臼骨折中钢板的精确植入^[14], 术中实时透视系统引导骨肿瘤的精确截骨手术^[15]。尽管

收稿日期: 2019-05-13.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 广东省医学科学技术研究基金(A2016521); 广东省科技计划(2017B090912002); 天河区科技计划(医疗卫生专项)重点项目(2018YZ011); 南方医科大学临床研究启动计划(LC2016PY045)。

第一作者: 黄华军(1983-), 男, 广东湛江人, 博士/主治医师, 主要研究方向: 创伤骨科。E-mail: tianjixuanying@163.com

*通信作者: 张雁儒(1970-), 男, 河南西华人, 教授, 主要研究方向: 创伤骨科。E-mail: zhangyanru@nbu.edu.cn

这些技术被报道能够提高手术的精确性,但是设备昂贵、操作复杂、手术时间长等因素限制了其在临床上的应用。近年来,3D打印导航模板^[16-18]因其设计简单、操作简易、价格低廉等特点,已被广泛应用于骨科手术和整形外科手术,为个性化、精确化手术奠定了一定的基础。但是,在胫骨平台骨折手术当中,钢板的外形匹配和钉道的理想设计常常被忽视,也没有在胫骨平台骨折内固定手术中得到重视。

本研究旨在探讨基于个性化导航模板和钢板模型库辅助下的个性化胫骨平台骨折内固定手术的可行性,以及对比于优化的虚拟内固定手术方案,评价该方法的准确性及临床意义。

1 材料与方法

本研究实施了复杂胫骨平台骨折的三维重建,基于钢板模型库的虚拟内固定手术方案设计,基于尸体标本的3D打印导航模板辅助下的内固定手术以及3D打印导航模板的精确性评价。

1.1 尸体标本以及骨折造模

收集5例福尔马林浸泡的膝关节尸体标本,包括3例男性,2例女性,尸体来源于南方医科大学解剖教研室。本研究以模拟真实胫骨平台骨折手术为目的,包括手术入路以及内固定手术过程,因此标本纳入标准为排除任何骨性疾病,而且表皮完整。所有膝关节标本均经过胫骨平台Schatzker classification V型造模,形成内外侧平台双髁骨折,并且CT扫描,以DICOM形式保存数据。

1.2 钢板模型库的建立

收集临床常用的锁定钢板并且进行CT扫描以及三维重建,建立全规格的胫骨平台钢板模型库(图1),包括辛迪斯、捷迈、华森、威高、大博、史塞克6个厂家,合计226块钢板。所有钢板三维模型在模型库中按照不同厂家、不同类型分类保存,并且每个模型都可随意挑选以及输出供虚拟手术使用。

1.3 内固定手术的虚拟术前规划

利用Mimics医学影像处理软件导入骨折CT图像,重建胫骨平台骨折的三维几何模型。所获得的骨折模型在Mimics软件当中按照骨科手术原则进行骨折虚拟复位,复位要求为恢复肢体长度与

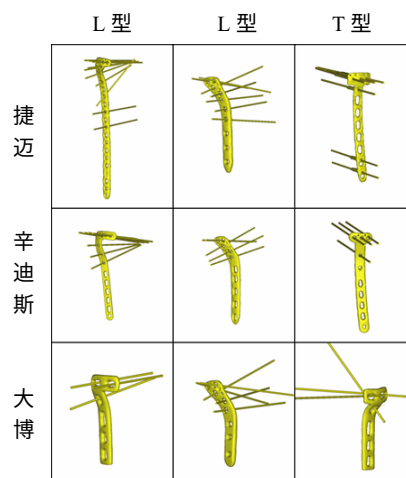


图1 胫骨平台钢板三维模型库中带锁定钉的锁定钢板力线,关节面与主要骨折块解剖复位。虚拟内固定手术遵照AO内固定原则^[19],从钢板模型库中挑选钢板进行比对,钢板的挑选原则为钢板外脸型轮廓必须与骨面外形轮廓良好匹配,锁定钢板的锁定钉道能良好地固定主要骨折块(图2)。将选取的钢板导入Mimics软件中进行虚拟内固定,获得最理想的钢板类型、钢板植入位置及钉道,从而获得最优化的内固定方案。

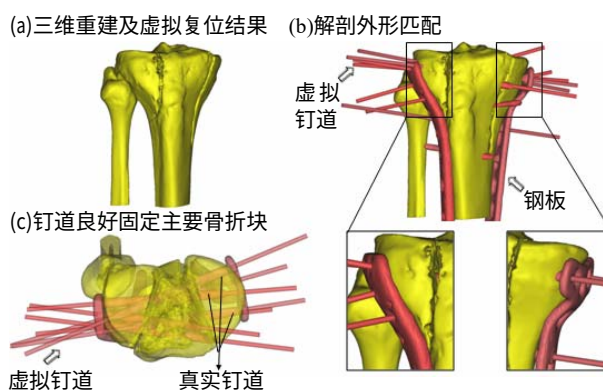


图2 虚拟内固定手术

1.4 个性化导航模板的设计与3D打印

由于锁定钢板与锁定钉是一体的,因此锁定钢板的植入位置可以通过决定锁定钉的植入位置来确定。利用这个原理,可以通过额外的辅助设备来引导锁定螺钉的植入,通过确定锁定螺钉植入位置、方向这两个主要因素来引导钢板的植入。导航模板的作用就在于引导锁定螺钉的植入,包括进钉点以及方向。

导航模板由Mimics软件进行设计,其组成结构包括稳定元件与导向元件两部分(图3)。稳定元

件的设计原理是与骨面贴附进行卡位, 因此, 它与骨面接触的一面相当于骨面的拉伸, 模板的稳定面与骨面形成了一个锁与钥匙的关系. 另外, 稳定元件的卡位位置一般选择比较突出的骨性标志物, 例如胫骨结节, 利用这一关系使导板与骨面的特定位置完美卡位, 这样就能够达到精确定位的目的. 利用 Mimics 软件的 MedCAD 功能, 可以很方便地在骨面任意位置绘制多个圆柱体, 可以根据需要任意地组合设计直到获得良好的卡位功能. 导向元件的作用是通过与锁定钉方向一致的导航隧道来引导螺钉的植入. 导向隧道的设计是以锁定钉道为蓝本, 稳定元件再通过布尔运算减去虚拟的锁定钉道就形成了导向元件的导航隧道. 经此处理就可以获得个性化的导航模板来引导锁定钢板的植入, 再利用 3D 打印技术(打印精度为 0.1 mm)打印出导航模板的实体模型(图 3).

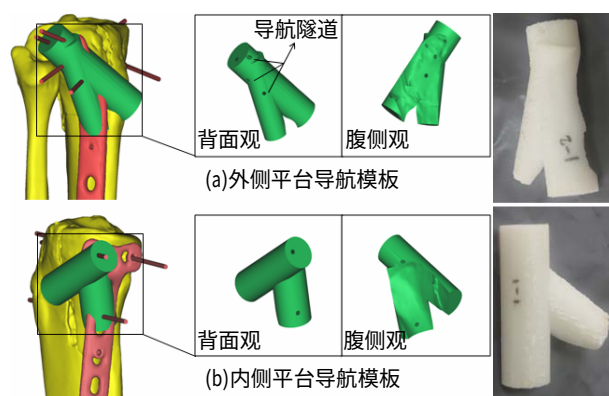


图3 个性化的导航模板设计

1.5 导航模板辅助内固定手术

本文采用标准的前内侧与前外侧双侧入路进行胫骨平台内外侧平台的双钢板固定方案^[20]. 将对应的 3D 打印导航模板在骨面上进行卡位. 导板准确卡位后, 沿着导板上的导向隧道打入 2.0 mm 的克氏针. 克氏针的进针点与方向就是锁定钉道的进钉点与钉道方向, 由此来引导锁定钉道的植入. 当锁定螺钉的植入位置以及方向确定后, 那么钢板的植入位置也就确定下来了. 当所有的导向隧道都植入克氏针后, 取下导航模板, 按照克氏针所确定的锁定钉道位置套上虚拟内固定手术术前设计所挑选的钢板, 进行钢板螺钉植入(图 4). 术后的骨折复位内固定模型进行 CT 扫描及三维重建(图 4).

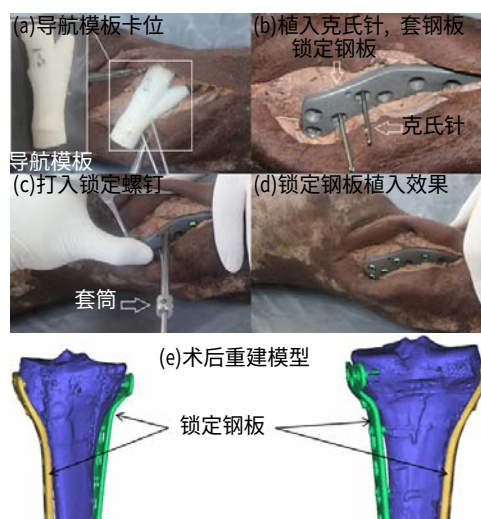


图4 3D 打印导航模板辅助下的内固定植入手术

1.6 导航模板辅助下的内固定植入手术精确度评价

本研究主要评估在 3D 打印导航模板辅助下进行的真实钢板植入手术能不能达到术前虚拟手术方案的优化效果和准确性. 评价指标包括虚拟方案与现实手术的螺钉长度差异、螺钉进钉点的差异以及螺钉方向的差异.

为了提高实验的可行性与结果的准确性, 有必要把虚拟手术与现实手术重建后的内固定效果统一到同一个坐标系, 减少分析误差. 本文采用逆向工程软件 Geomagic Studio 2012 (Geomagic, USA) 建立坐标系. 坐标系的定义(图 5): 原点为膝关节中心; x 轴为在冠状面上平行于股骨外科上髁轴且经过原点的轴线, 胫骨外侧平台方向定义为正方向; y 轴为经过胫骨髓腔中心线且垂直于 x 轴的轴线, 踝关节方向定义为正方向; z 轴垂直于 x 轴与 y 轴, 膝关节前方定义为正方向. 术前(虚拟手术)与术后(标本手术)三维模型导入新的坐标系当中进行配准, 比较术前与术后的钉道差异, 包括钉道长

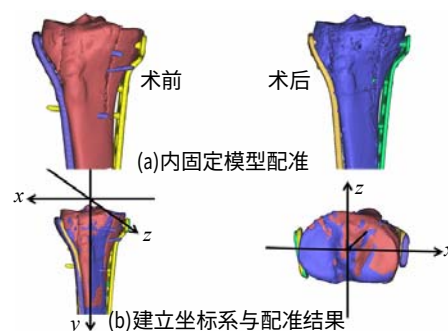


图5 建立统一坐标系与模型配准

度、进钉点位置在 x , y 和 z 轴的差异(Δx , Δy 和 Δz), 钉道方向则通过钉道在冠状面($x-y$)和横断面($x-z$)的投影角(图 6)进行比较, 以此来评价术前与术后内固定精确度的差异.

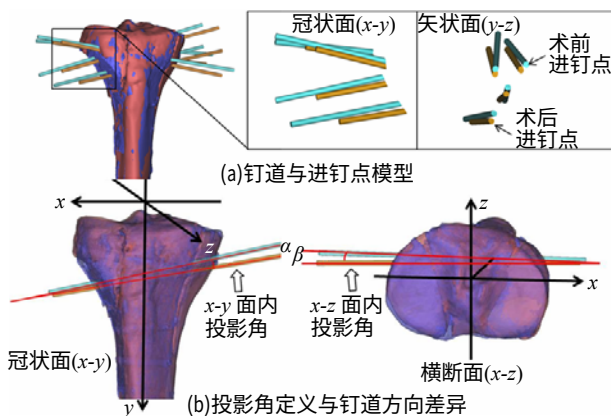


图 6 进钉点与钉道投影角的测量

1.7 统计分析

统计分析包括螺钉长度、进钉点坐标值与投影角度. 所有数据取平均值以及配对 t 检验进行两两比较分析, $p < 0.05$ 表明有明显差异. 数据记录形式为平均值 $\pm$ 标准误差. 所有数据采用 SPSS 18 (IBM SPSS, USA)软件进行分析.

2 结果

本研究共计实施了 10 例内固定手术(5 例尸体标本的内外侧平台进行双钢板固定), 所有手术均由同一骨科医生(中级医师)实施. 共计植入 10 块钢板以及 34 枚螺钉. 图 7 显示了术前术后钉道之间的差异比较.

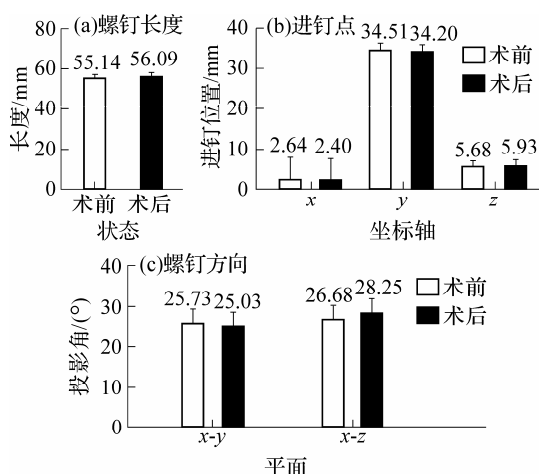


图 7 术前术后钉道的比较

注: 术前术后螺钉长度、进钉点和投影角均无显著差异($p > 0.05$).

2.1 螺钉长度比较

螺钉长度定义为穿透骨折模型双层骨皮质的虚拟钉道的长度. 表 1 显示术前术后螺钉长度差值的均值为(0.89 ± 2.94) mm, 最大差值小于 10 mm. 术前(理想)与术后(真实)的螺钉长度无明显差异($p > 0.05$).

表 1 术前术后螺钉长度的差异

项目	螺钉长度差值/mm
均值	0.89 ± 2.94 ($p = 0.063$)
最小值	1.10
最大值	9.01

2.2 进钉点比较

螺钉的进钉点指的是植入螺钉时在骨面的钉孔位置. 2 个进钉点之间的位置差异指的是 2 个三维模型上的进钉点在三维坐标轴上的坐标值差异. 因此, 进钉点的差异定义为在 x , y 和 z 轴上的坐标值差异, 取代了 2 个点之间的线性距离差异. 表 2 显示进钉点在 x , y 和 z 轴上的坐标值差异的均值分别为(1.19 ± 1.31), (1.73 ± 1.31)和(1.22 ± 0.88) mm, 最大差值小于 7 mm. 术前(理想)和术后(真实)的进钉点差值无明显差异($p > 0.05$).

表 2 术前术后进钉点的差异

差异项	均值/mm	范围/mm	p 值
$ \Delta x $	1.19 ± 1.31	0.12~6.88	0.43
$ \Delta y $	1.73 ± 1.31	0.23~6.53	0.57
$ \Delta z $	1.22 ± 0.88	0.07~3.86	0.30

2.3 螺钉方向比较

2 条钉道之间方向差异的比较相当于确定三维空间中 2 条直线之间的夹角, 但是这样的夹角不能用平面上两条直线相交的夹角来解释. 因此, 本研究把空间中钉道之间的夹角分解为在冠状面($x-y$), 横断面($x-z$)和矢状面($y-z$) 3 个平面上的投影角. 此外, 讨论螺钉方向之间的差异时, 人们通常关注的是横断面($x-z$)和矢状面($y-z$)上的方向差异. 因此, 本研究在术前(理想)与术后(真实)螺钉钉道方向差异方面重点关注横断面($x-z$)和矢状面($y-z$)上的投影角. 表 3 显示横断面($x-z$)和矢状面($y-z$)上的投影角分别为(2.99 ± 2.98)°和(1.57 ± 5.13)°, 最大值小于 14°. 术前(理想)与术后(真实)螺钉钉道的方向无明显差异($p > 0.05$).

表3 术前与术后投影角的差异

差异项	均值/(°)	范围/(°)	<i>p</i> 值
$ \Delta(x-y) $	2.99±2.98	0.04~11.23	0.362
$ \Delta(x-z) $	1.57±5.13	0.02~13.08	0.084

3 讨论

开放复位与内固定手术一直以来都是复杂胫骨平台骨折的基本治疗方式。但是由于胫骨平台骨折手术存在着一些复杂情况以及不确定因素, 例如胫骨平台骨折复杂的解剖结构, 严重的软组织损伤和术中透视的限制, 导致复杂胫骨平台骨折的手术治疗也存在着一些挑战。严格和精确的术前规划被公认为是胫骨平台骨折手术成功的重要保障^[21], 尤其在个性化手术中显得更为重要。对于胫骨平台骨折术前规划而言, 合适的内固定方式和术前选择适合具体病人的内固定植入物非常关键。毫无疑问, 钢板与患者骨面的几何外形具有完美的匹配性以及理想的螺钉钉道能够获得更好的内固定效果。然而, 在临床手术当中术前规划常常被忽视。外科医生多数停留在凭经验以及术前二维图像上的简单规划来指导手术的实施, 经验与手术技巧决定了手术的成败, 这也是当前国内胫骨平台骨折手术效果参差不齐的重要原因。这样的状况显然不能满足现代医疗发展的要求。

解剖复位和合适的内固定方式是复杂胫骨平台骨折内固定手术取得成功的决定性因素。胫骨平台不规则的解剖外形使得术前很难选择适合具体病人的内固定植入物, 从而使得内固定方案难以抉择。就复杂胫骨平台骨折而言, 多数研究关注的是单钢板或者是双钢板固定^[4-5,8], 往往忽视了所使用的钢板是否与患者骨面相匹配。另外, 并不是所有市面上的钢板都能与患者的骨面相匹配。而且当今的钢板无论在外形还是规格型号设计上不同厂家之间有很大的差别, 甚至是比较流行的解剖型钢板也不能适用于每一例患者。即使钢板外形与患者骨面有很好的贴附性, 但是其钉道的分布不一定理想, 尤其是锁定钢板, 其锁定钉道有时候不一定能很好地固定住主要的骨折块, 进而影响到固定效果。因此, 临床上常常出现钢板与患者骨面不匹配而迫使医生对钢板进行预弯, 或者勉强植入, 这样显然对钢板的固定效果以及生物力

学效应会有影响。因此, 术前选择合适的钢板必须引起骨科医生的重视。本研究针对该问题, 建立起国内临床常用的不同厂家、不同型号、不同规格的胫骨平台钢板的三维模型库, 作为参考以供术前挑选。该模型库中的每一块锁定板都带有与真实锁定板锁定钉方向一致的虚拟钉道, 而且钢板与钉道之间可分可合的特点非常便于对虚拟手术的设计。在钢板模型库的辅助下, 术前很容易挑选出最适合患者以及带有最优化钉道的钢板。钢板外形轮廓的匹配和理想的钉道无疑能提供更好的内固定效果和生物力学效应。因此, 钢板三维模型库不仅对胫骨平台骨折有很大的意义, 也对其他骨折类型以及个性化手术的实施有着巨大的意义, 同时还潜藏着一定的经济效益。

优化的术前规划制定后, 接下来就是如何按照优化的内固定方案精确地指导真实手术的实施。换句话说, 问题在于如何在真实的手术当中按照虚拟的方案实施精确的钢板与螺钉的植入手术。3D 导航模板近年来广泛使用, 据报道, 3D 打印导航模板具有经济、实用性高的特点, 是解决上述问题的良好选择。在本研究当中, 导板模板应用思路在于通过确定锁定钢板的锁定钉的植入位置以及方向, 以此来确定锁定钢板的植入位置, 导板的作用在于引导锁定钢板的螺钉的精确植入。导板模板的准确性很大程度上取决于模板与骨面之间的“锁-钥匙”机械关系的稳定性与准确性。解决这一问题的关键在于导板模板与骨接触面要选择有突出骨性标志物的区域, 而且在不影响切口的前提下尽量增加接触面的面积。本研究选取胫骨结节或者“鹅足”作为接触面, 获得了良好的卡位效果。另外组合式导航模板的设计有别于以往的导航模板设计, 组合式的设计能够很灵活地设计和调整导航模板, 不仅可以很容易地贴附在突出骨性标志物的区域, 同时还可以任意调整不影响手术切口的设计, 甚至可以缩小手术切口, 减少术中软组织的损伤。

本研究进行了虚拟手术的理想钉道和术后实际钉道的螺钉长度、进钉点位置、钉道方向的差异性分析, 以此来评价 3D 导航模板的精确性。为了精确而清晰地比较二者的差异, 建立了统一坐标系进行术前术后模型配准。上述因素的差异转化

为 x, y, z 轴或者 $x-z, y-z$ 平面上的坐标值差异, 更为直观地描述出了二者的差异. 结果显示术前(理想)与术后(真实)手术效果(螺钉长度、进钉点、螺钉方向)无明显差异. 进钉点与螺钉方向的最大差异分别小于 7 mm 和 14° , 这一程度的差异在临床复杂胫骨平台骨折内固定手术中是可以接受的.

严格地说, 本研究存在一些局限性, 也存在一些问题需要在未来的研究中解决. 首先, 为了避免复位效果影响 3D 打印导航模板的精确性, 在骨折造模时并没有使骨折块移位, 目的在于便于解剖复位来消除真实手术当中复位效果不理性的影响. 然而, 临床病例当中, 骨折情况更为复杂, 其复位效果很难达到虚拟手术的效果. 因此, 这项技术的临床适用前提为术中必须达到高水平的骨折复位. 另外, 导航模板与骨面接触区域的软组织必须清理干净以确保模板卡位的精确性, 这对骨折的愈合有着一定的影响, 也使相关操作更为繁琐.

4 结论

内固定植入物三维模型库为临床骨折内固定手术的术前规划提供了非常便利以及实用的参考依据, 在模型库的辅助下, 术者在术前很方便地挑选出最适合患者的钢板, 避免了术中无合适钢板可用的情况. 个性化的 3D 打印导航模板提高了手术的精确性, 一定程度上实现了个性化手术. 这项技术对个性化手术以及最优化手术具有重要意义, 为其临床应用奠定了基础.

参考文献:

- [1] Guo Y D, Wang C. Challenges in management of complex tibial plateau fracture[J]. China Journal of Orthopaedics and Traumatology, 2017, 30(10):881-884.
- [2] Ramponi D R, McSwigan T. Tibial plateau fractures[J]. Advanced Emergency Nursing Journal, 2018, 40(3):155-161.
- [3] Zhao R, Lin Z, Long H, et al. Diagnosis and treatment of hyperextension bicondylar tibial plateau fractures[J]. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2019, 14(1):191.
- [4] Chen H, Wu L. Surgical options for posterior tibial plateau fracture[J]. International Journal of Clinical and Experimental Medicine, 2015, 8(11):21421-21427.
- [5] Krause M, Muller G, Frosch K H. Surgical approaches to tibial plateau fractures[J]. Der Unfallchirurg, 2018, 121(7):569-582.
- [6] Zhang Y, Wang Q, He X F, et al. Surgical methods and curative effect of tibial plateau fracture with medial large block split[J]. China Journal of Orthopaedics and Traumatology, 2018, 31(9):853-857.
- [7] Zhao G, He Q, Duan H, et al. Treatment of posterolateral tibial plateau fractures through fibular osteotomy approach[J]. Acta Orthopaedica Belgica, 2019, 85(1):114-121.
- [8] Citak C, Kayali C, Ozan F, et al. Lateral locked plating or dual plating: A comparison of two methods in simple bicondylar tibial plateau fractures[J]. Clinics in Orthopedic Surgery, 2019, 11(2):151-158.
- [9] 任威. 双切口双钢板内固定治疗复杂胫骨平台骨折的效果的相关研究[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(45):19-20.
- [10] Ye X, Huang D, Perriman D M, et al. Influence of screw to joint distance on articular subsidence in tibial-plateau fractures[J]. ANZ Journal of Surgery, 2019, 89(4):320-324.
- [11] Jian Z, Ao R, Zhou J, et al. A new anatomic locking plate for the treatment of posterolateral tibial plateau fractures [J]. BMC Musculoskeletal Disorders, 2018, 19(1):319.
- [12] Wang Z, Tang Z, Liu C, et al. Comparison of outcome of ARIF and ORIF in the treatment of tibial plateau fractures[J]. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2017, 25(2):578-583.
- [13] Uehara M, Takahashi J, Hirabayashi H, et al. Computer-assisted C1-C2 transarticular screw fixation "Magerl technique" for atlantoaxial instability[J]. Asian Spine Journal, 2012, 6(3):168-177.
- [14] Hu Y, Li H, Qiao G, et al. Computer-assisted virtual surgical procedure for acetabular fractures based on real CT data[J]. Injury, 2011, 42(10):1121-1124.
- [15] Fornaro J, Keel M, Harders M, et al. An interactive surgical planning tool for acetabular fractures: Initial results[J]. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2010, 5:50.
- [16] Kwon S Y, Kim Y, Ahn H W, et al. Computer-aided designing and manufacturing of lingual fixed orthodontic appliance using 2D/3D registration software and rapid prototyping[J/OL]. International Journal of Dentistry, 2014, 2014:164164 [2018-09-12]. <http://10.1155/2014/164164>.
- [17] Merc M, Drstvensek I, Vogrin M, et al. Error rate of multi-level rapid prototyping trajectories for pedicle

- screw placement in lumbar and sacral spine[J]. Chinese Journal of Traumatology, 2014, 17(5):261-266.
- [18] Yin Q, Liu W, Wang S. Application of customized augments fabricated by rapid prototyping for severe bone defects of the knee[J]. Chinese Medical Journal, 2014, 127(15):2870-2871.
- [19] Cornell C N, Levine D, Pagnani M J. Internal fixation of proximal humerus fractures using the screw-tension band technique[J]. Journal of Orthopaedic Trauma, 1994, 8(1): 23-27.
- [20] Babb J D, Parr G V, O'Neill M J, Jr. Predicting aortic valve prosthesis size. A step toward better matching of patient and prosthesis[J]. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 1981, 81(3):451-454.
- [21] Vibert B, Pailhe R, Morin V, et al. Navigation for lower limb alignment during internal fixation of complex tibial-plateau fractures[J]. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, 2018, 104(4):491-496.

Precision surgery of complicated tibial plateau fracture assisted by 3D implant library and 3D-printed navigational template

HUANG Huajun¹, ZENG Canjun¹, ZHANG Yanru^{2*}

(1.Department of Orthopedics, The Third Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510630, China;

2.Medical School, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: This study is aimed to improve the precision of 3D-printed navigational template for plating and screwing procedures during surgery for complicated tibial plateau fracture. Five normal cadaveric knee specimens were scanned using computed tomography (CT) and reconstructed into volume models. Virtual Schatzker classification of V tibial plateau fractures were modeled based on the 3D models. The classifications were used to perform personalized preoperative planning of plating and screwing procedures assisted by the library of implant models. According to the optimal planning, patient-specific navigational templates were used to produce a 3D print in order to guide the real cadaveric surgical implantation. The analysis of fixation efficacy in terms of the deviations of screw placement between preoperative and postoperative screw trajectories were measured and compared. Furthermore, the screw lengths, entry point locations and screw directions can be precisely determined. With preoperative planning, optimized and precise fixation results were achieved in real cadaveric surgeries and clinical surgeries. In the cadaveric study, the deviations of screw length were (0.89 ± 2.94) mm, $p>0.05$. The displacements of entry point in the x -, y -, and z -axis were (1.19 ± 1.31) , (1.73 ± 1.31) and (1.22 ± 0.88) mm, respectively, $p>0.05$. The deviations of projection angle in the coronal (x - y) and transverse (x - z) planes were $(2.99\pm 2.98)^\circ$ and $(1.57\pm 5.13)^\circ$, respectively, $p>0.05$. The precision of screw placement with respected to deviations of screw length, entry point and projection angle between the ideal and actual screw trajectories revealed no significant difference. The ideal and precise preoperative planning of plating and screwing can be achieved in the real surgery assisted by the 3D models library of implants and the patient-specific navigational template. This technology improves the precision and efficiency of personalized internal fixation surgery.

Key words: tibial plateau fracture; internal fixation; 3D printing; computer-assisted; preoperative planning

(责任编辑 韩 超)