

髌臼四方区解剖型自锁定钢板的数字技术设计

李明¹, 张雁儒^{2,3}, 肖靖炜³, 张启平⁴, 徐丁¹, 汪帅伊¹

(1.宁波市第六医院 创伤骨科, 浙江 宁波 315042; 2.河南理工大学 骨科研究所, 河南 焦作 454001;
3.宁波大学 医学院, 浙江 宁波 315211; 4.中国科学院 宁波材料技术与工程研究所, 浙江 宁波 315201)

摘要: 为探讨使用数字技术设计新型髌臼四方区自锁定解剖型钢板, 采集宁波市第六医院影像科 2020 年 1 月至 2020 年 12 月, 25~50 岁正常男女骨盆 CT 数据, 选择中位数的骨盆 CT 作为模型。将 CT 数据依次导入 Mimics 软件和 Unigraphics NX 软件, 生成三维骨盆模型。用 CAD 软件画出钢板螺钉 dwg 格式二维图像后导入 Unigraphics NX 软件, 建立 stl 格式钢板螺钉三维模型, 设计钢板厚 2.0~3.0 mm, 实心皮质骨螺钉 $\Phi 3.5/5.5$ mm。在三维空间视图中, 将钢板螺钉装配到骨盆模型, 重点观察三维透视图、钉道纵轴切面图、螺钉与钢板的锁定角度, 校对功能固定区、定位孔、阻挡孔、固定孔、应力桥、滑动槽等指标, 优化钢板形态和螺钉钉道, 一块钢板同时固定髌臼四方区、白顶负重区、前后柱、前后壁。stl 格式数据输出至打印机, 3D 打印钢板, 装配到骨盆模型, 校对钢板与骨盆的匹配度, 确定最优化的图像数据。根据患者骨盆 CT 导出的数据, 用 Unigraphics NX 软件建立三维骨盆模型, 可灵活设计钢板螺钉, 精度达到 0.2 mm, 即刻修改钢板螺钉形态数据, 虚拟内固定。数字技术设计不再需要手工标本测量和 CT 图像测量, 可提高新型内固定装置的设计效率, 为个性化骨科内植物设计、精准固定手术提供了新路径。

关键词: 髌臼骨折; 髌臼四方区; 骨折固定; 钢板; 内固定

中图分类号: R608

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2022) 01-0018-08

髌臼四方区(Quadrilateral Plate/Quadrilateral Surface/Quadrilateral Area)亦称四边形、方形区, 指髌关节内侧临近盆腔的四边形区域, 髌臼内侧与前后柱融为一体, 即前柱和后柱交会之处, 呈四边形, 是组成真性骨盆小骨盆的重要结构^[1], 其上下前后边界分别是弓状线、坐骨棘、闭孔后缘、坐骨大切迹。该区域被腹壁肌肉、盆腔脏器和臀部肌肉包裹, 位置深, 解剖结构复杂。前方毗邻腹壁下动静脉、髂外动静脉、股动静脉、股神经、闭孔动静脉、闭孔神经; 后方毗邻坐骨神经、臀上动静脉、臀上神经、臀下动静脉等重要结构; 内侧有膀胱、子宫、卵巢、输尿管、肠管等盆腔脏器。手术显露范围和可操作空间狭小, 造成复位和固定困难, 易误伤神经血管和盆腔内脏^[2-4]。在发生高能量损伤

时, 股骨头撞击四方区造成粉碎性骨折, 伴有股骨头中心性脱位, 甚至股骨头嵌顿, 游离的骨折碎片可能刺伤盆腔脏器或毗邻的重要血管^[5-6]。常合并髌臼顶负重区、前后柱、前后壁和髌骨粉碎性骨折, 其复位和固定技术一直是创伤骨科的难题。

以往骨科内固定的钢板设计大多是基于尸体干燥标本和 CT 二维平面影像设计, 过程繁琐而且耗时^[7]。国内外学者设计了记忆合金钢板^[8]、四方区组合钢板^[9]、四方区解剖型钢板^[10]、骨盆内壁斜形组合板^[9,11-12]、蝴蝶翼状钢板^[13-15]、万向锁定钢板^[16]以及协和髌臼解剖板^[17]。上述设计较重建钢板固定有明显进步, 但是都无法实现一块钢板同时固定髌臼内侧四方区、髌臼顶负重区、前柱、前壁、后柱以及后壁。内固定装置亟待创新才能实现

收稿日期: 2021-10-27.

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

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目(2018PY059); 宁波市鄞州区科技计划项目(2017YZQ102)。

第一作者: 李明(1971-), 男, 山东潍坊人, 主任医师, 主要研究方向: 骨盆髌臼损伤的微创治疗、新型骨科手术器械研发等。

E-mail: angells6@163.com

微创手术。

本研究通过数字技术设计髌臼四方区解剖型自锁定钢板, 旨在为探索高效、简单、经济的新型骨科内植物设计方法提供新思路。本研究设计的钢板已获中国和美国发明专利^[18-19]。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

纳入标准: (1)宁波市第六医院影像科2020年1月至2020年12月骨盆髌臼CT存储库中数据; (2)CT机(SOMATOM Definition AS128, Siemens AG, 德国), 扫描条件为120 kV、250 mA、层距0.6 mm、螺距0.55 mm, 扫描图像以DICOM格式保存; (3)CT扫描范围为L4至股骨小转子; (4)患者年龄为25~50岁; (5)经过医院医学伦理委员会批准, 已获患者知情同意使用其骨盆数据的签字; (6)测量人员为同一人; (7)采用的数字技术软件有交互式医学图像控制系统Mimics 21.0、建筑绘图软件CAD 2020以及工业模具软件Unigraphics NX 8.0; (8)3D打印机(3DSL-600S), 由上海数造机电科技股份有限公司生产。

排除标准: (1)合并骨与软组织肿瘤; (2)骨骼发育畸形; (3)新鲜骨盆髌臼骨折; (4)陈旧性骨盆髌臼骨折; (5)脊柱侧凸; (6)骨盆外径<250 mm。

1.2 研究方法

在Mimics软件中, 用mcs格式的骨盆入口位图像测量两侧髌嵴结节外缘连线骨盆外径, 为减少误差, 固定同一人进行测量, 以降低测量偏倚。按照纳入和排除标准, 共筛选出101个骨盆外径数据, 数据范围250.0~297.1 mm。根据四分位距(Interquartile Range, IQR)原则, 将数值由小到大排列, 并分成4等份, 选择中位数一位男性45岁的骨

盆CT作为骨盆模型。骨盆入口位视图的测量指标有: 骨盆外径、弓状线弧度、髌臼前壁中部宽度、耻骨上支最狭窄部位宽度; 右侧骨盆内侧四方区正位视图的测量指标有: 四方区的上下前后四边长度(图1)。

1.2.1 骨盆三维模型重建

将骨盆CT的数字医学影像传输协定(Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM)数据输入到Mimics软件中, 以重建stl格式的骨盆表面三维模型。再将文件导入Unigraphics NX软件, 建立stl格式的三维骨盆模型。

1.2.2 钢板绘图及其结构特点

在纸上手绘钢板形态结构, 初步确定钢板的尺寸数据。绘图师根据该手绘图形在CAD软件中绘出dwg格式的二维图形, 导入Unigraphics NX软件, 建立钢板螺钉stl格式的三维图形。围绕髌臼关节面, 将钢板结构分为10个功能区, 依次为: (1)区髌臼后柱固定区; (2)区髌臼后壁固定区; (3)区髌臼前壁固定区; (4)区髌臼前柱闭孔沟固定区; (5)区耻骨上支固定区; (6)区髌臼后柱复位孔区; (7)区髌臼前柱复位孔区; (8)区坐骨大切和迹髌臼后缘固定区; (9)区髌臼前柱前缘固定区; (10)区髌臼下缘区固定区。钢板的10个功能区用应力桥(Stress-ribbon Bridge)和滑动槽连接^[20]。钢板的孔状结构包括定位孔、阻挡孔、固定孔3个精准指标, 每个孔道均具有特定的倾斜角度和方向(图2)。

结构形态特点: (1)多孔结构类似蜂巢, 形成稳定的三维空间结构, 匹配髌臼生理解剖结构和骨骼内部生物力学结构骨小梁, 保障固定后良好的稳定性, 降低对骨骼表面的遮挡, 有助于损伤部位重建血液循环, 以最有利于骨折愈合的形态帮助

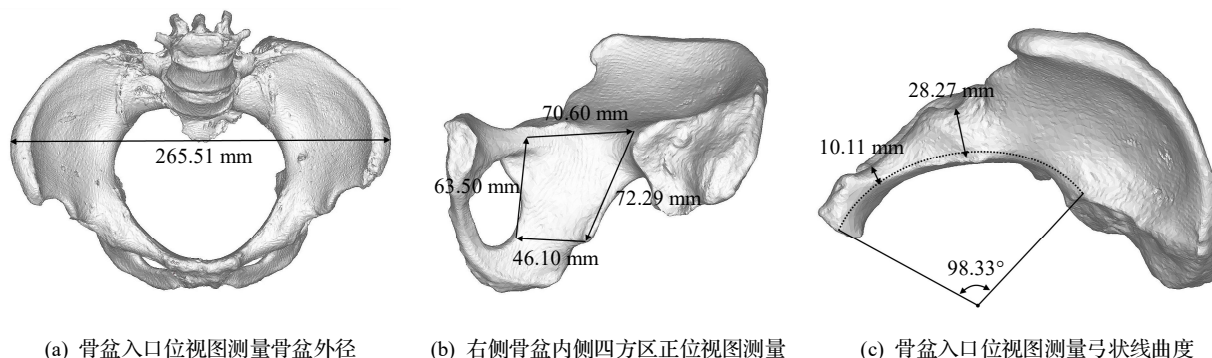


图1 用Mimics软件进行骨盆测量

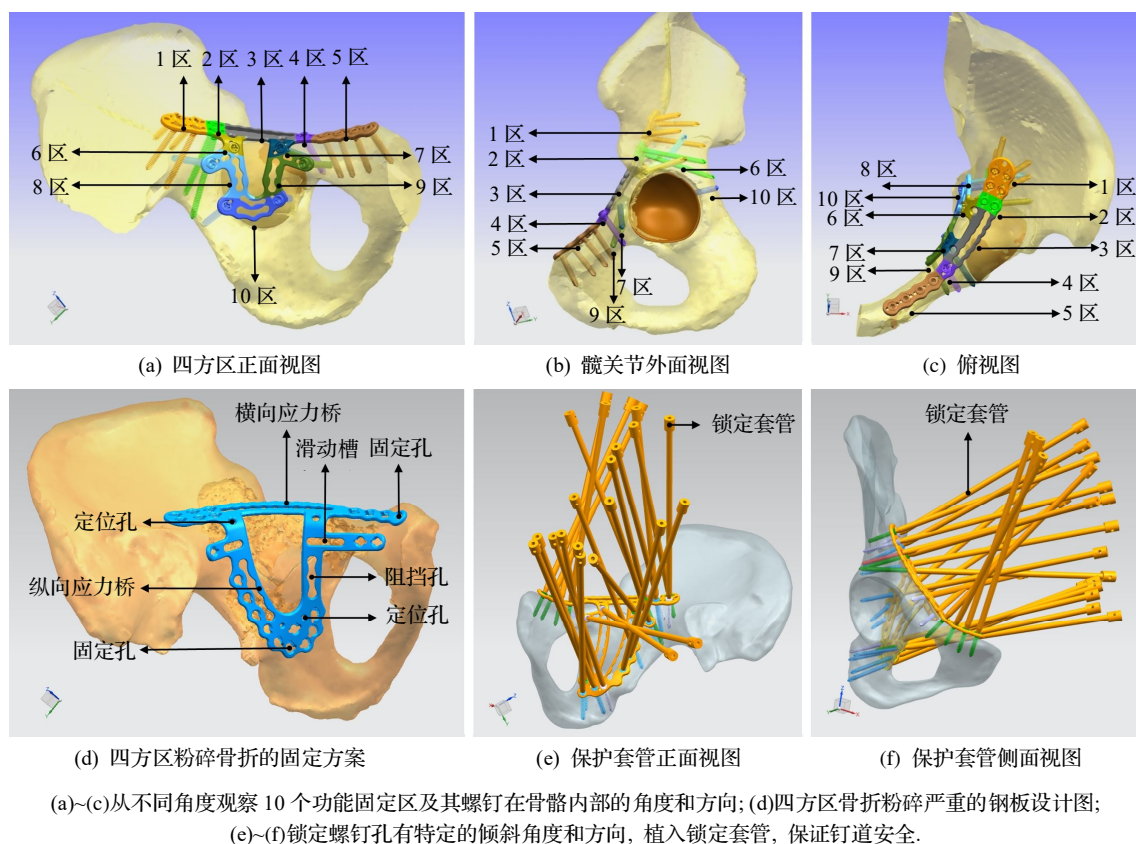


图2 Unigraphics NX 三维立体透视图

骨骼生长。(2)螺钉在骨骼内部的分布位置、角度和方向以及钢板的应力桥和滑动槽等结构, 均遵循骨盆髋臼骨骼的生物力学要求和内固定生物力学原则, 均匀分布在压力骨小梁和张力骨小梁的行走路线上, 有效传递并分散压应力和张应力, 便于骨骼内部压应力和张应力的平缓过渡, 防止应力在某一局部过于集中, 引起钢板螺钉的松动、移位、滑脱、断裂等内置物失败的灾难性并发症。

1.2.3 钢板螺钉植入

在Unigraphics NX软件三维空间视图中, 钢板装配到骨盆模型, 髋臼坐骨支区(髋臼下缘区)厚度2.0 mm, 其他部位厚度3.0 mm, 校对钢板与骨骼的匹配度, 不匹配的位置予以修改, 直至钢板匹配良好。钢板在三维空间内弯曲和扭转, 与骨盆髋臼骨骼表面形态贴服。实心皮质骨螺钉 $\Phi 5.5$ mm 植入髋臼后柱, $\Phi 3.5$ mm 植入其余固定孔。螺钉植入要求: (1)从髋臼前方入路固定髋臼内侧四方区、髋臼顶负重区、前柱、前壁、后柱、后壁, 实现从单一前方切口固定髋臼360°范围的技术(图3)。(2)所有螺钉的位置、方向、角度都是避开髋臼关节面, 且

不会相互碰撞引起断钉, 防止螺钉侵入关节内引起灾难性并发症, 保证螺钉置入后的安全性(图3), 锁定螺钉孔具有特定的倾斜角度和方向。(3)置入骨量丰厚的部位, 骨量丰厚部位的螺钉把持力牢固; 坐骨大切迹至坐骨棘区域骨量最丰厚, 该部位植入 $\Phi 5.5$ mm 螺钉固定髋臼后柱; 耻骨上支螺钉的置入方向是沿着耻骨上支最宽径置入, 螺钉螺纹可以抓持更多的骨质, 保证固定的稳定性; 髋臼关节面边缘区域的螺钉, 适当倾斜避让关节, 螺纹能抓持较多骨质。(4)螺钉入口和出口避让重要的血管神经而倾斜; 坐骨大切迹固定区避让臀上动脉、臀上静脉、臀上神经; 耻骨上支区避让闭孔动脉、闭孔静脉、闭孔神经; 修正螺钉的植入角度数据, 确定最优化的钢板螺钉图形文件, 完成设计。

1.3 主要观察指标

本研究默认左右侧的骨盆髋臼是镜像结构, 未考虑左右侧的细微差异。在骨盆模型上装配钢板至设计者满意的位置, 之后植入符合上述布置要求的螺钉。通过对虚拟内固定后的模型进行旋转、平移、剖割、透明视图、局部提取放大测量等

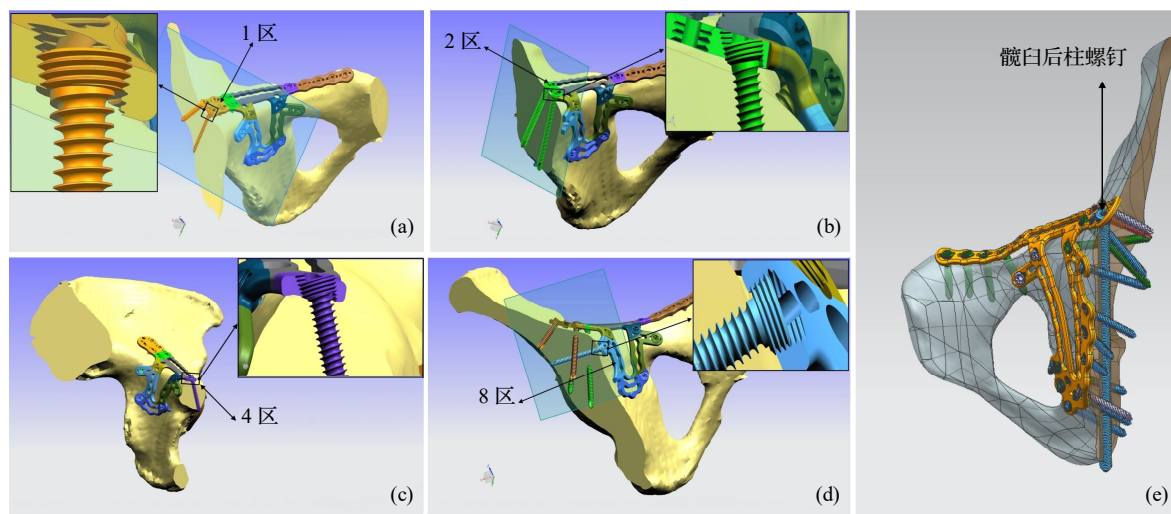


图3 1区、2区、4区、8区自锁定螺钉局部放大

操作, 从任意角度、任意方向和任意平面观察钢板螺钉与髌臼的匹配关系; 观察钢板螺钉的形态、位置, 测量螺钉方向、长度, 了解内固定安全性及准确性。主要观察指标: 三维立体透视图、螺钉纵轴切面图、螺钉与钢板的锁定角度、螺钉距离髌臼软骨终板的最短距离 $>5.0\text{ mm}$ 、任意2枚相邻螺钉距离 $>3.0\text{ mm}$ 、螺钉尖传出骨皮质2个螺纹、螺钉在骨量相对丰厚的位置、螺钉入口出口均避让毗邻 10.0 mm 范围内的重要血管神经结构。

1.4 3D打印钢板验证

stl 格式的钢板文件导入快速成形打印机, 利用光敏树脂材料通过激光照射逐层固化的光固化成型法制作钢板, 安装在骨盆模型上, 检查与骨盆的匹配度。螺钉孔植入克氏针, 验证螺钉钉道的位置方向、角度是否符合观察指标(图4)。

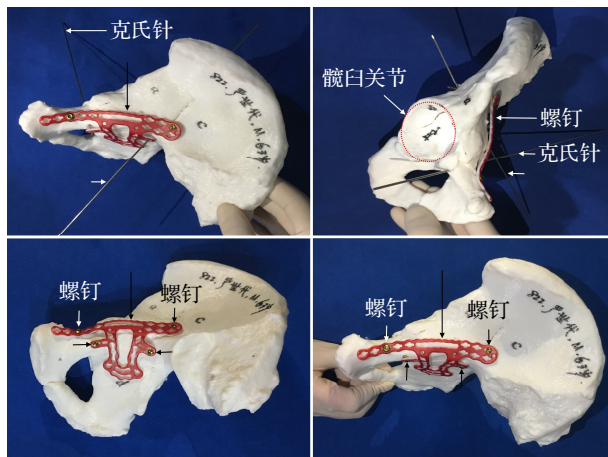


图4 骨盆上模型安装3D打印钢板

从图4可以看到, 在第8和第9功能固定区螺钉孔植入克氏针、螺钉, 入口和出口均安全, 未侵入髌臼关节, 证明螺钉钉道完全在骨内安全区。

2 结果

2.1 受试者数量

检索出男59例、女42例, 合计101例正常骨盆CT数据, 中途无退出, 无脱失值。

2.2 相关参数的测量结果

在Mimics软件中, 骨盆入口位视图测量指标: 骨盆外径 265.51 mm 、弓状线曲度 98.33° 、耻骨上支最狭窄部位宽度 10.11 mm 、髌臼前壁中部宽度 28.27 mm ; 右侧骨盆内侧四方区正位视图测量指标(髌臼内侧四方区的四边长度): 顶边长度 70.60 mm 、底边长度 46.10 mm 、前边长度 63.50 mm 、后边长度 72.29 mm (图1)。

2.3 钢板螺钉视图及虚拟内固定

在Unigraphics NX软件视图中, 输入钢板厚度、长度、弧度、扭转角度等数据(误差 0.2 mm), 灵活修改钢板外观形态。植入的螺钉包括 $\Phi 5.5\text{ mm}$ 髌臼后柱螺钉 $60\sim 90\text{ mm}$, $\Phi 3.5\text{ mm}$ 实心皮质骨螺钉 $18\sim 50\text{ mm}$ 。通过旋转、拖动、平移方式调整置入螺钉的最佳位置, 完成钢板螺钉对骨折模型的虚拟固定(图2)。所有钢板、螺钉均保存为stl格式文件。三维立体透视图可以清晰观察髌关节周围螺钉分布位置、方向, 是否侵入关节, 距离关节软骨终板的距离等关键数据。

3 讨论

3.1 既往该领域研究的贡献和存在的问题

Letournel-Judet 分类^[21]和 OTA/AO 分类^[22-23]以髌臼柱和壁的损伤为标志,未考虑四方区骨折。有多位学者^[24-27]建议根据四方区骨折线形态,加入 Letournel-Judet 髌臼骨折分类中,但这个创新性分类尚未被骨科医生普遍接受。四方区位于盆腔,部位很深,显露困难,虽然有 Stoppa、Ilioinguinal、Iliofemoral 以及 Hesselbach Triangle 等多种显露方式^[28-34],但术中无法直视髌臼关节面,在固定过程中,螺钉易误入关节内或损伤附近重要血管神经及脏器组织等,引起灾难性并发症,术中反复透视会增加手术时间和患者出血量。涉及方形区的髌臼骨折,多伴有骨折块向盆腔内移位,如果不能恢复髌关节的头臼匹配关系,将遗留髌关节中心性半脱位、创伤性关节炎等,影响临床疗效^[35]。髌臼骨折内固定目的是重建髌臼和股骨头的同心圆匹配结构、加强固定,实现术后早期功能活动,复位的精确程度和有效的固定是恢复功能的重要因素。现有文献报道的内固定方式主要有:前路沿弓状线通过前柱钢板螺钉固定方形区^[36]、前路通过后柱 buttress 支持钢板固定四方区^[37]、髌臼方形区阻挡螺钉^[38-41]、钛网结合重建钢板^[42]、重建钢板十字交叉固定^[43]、弓状线下缘支持板^[44]、耻骨下 buttress 支持钢板^[45-46]以及跟骨钢板^[47]。虽然内固定方式繁多,但手术切口大、创伤大问题仍未根本性解决,骨折粉碎严重的患者需要植入多块钢板。内固定松动或断裂的高危因素包括:骨折重度粉碎、严重骨质疏松、单独应用拉力螺钉固定、钢板没有充分预弯及早期无保护下负重等。重建钢板易于塑形折弯,灵活性好,是目前最常用方式。其弊端是术中需根据每位患者的髌臼形态特点手工塑形,无法保证塑形的钢板与骨骼服帖,术中置钉依靠手术医生的个人经验,螺钉易误入关节内。钢板反复塑形折弯,会在钢板表面留下刻痕,使钢板内应力集中点增多,疲劳断裂的危险增加。术中钢板塑形,导致手术时间延长、切口暴露时间延长、麻醉用药量增加、出血增多、发生心血管意外和伤口感染的风险增大。根据每位患者骨骼形态个体化差异,选用设计合适的钢板可以增加骨折内固定手术的成

功率、降低手术风险、提高手术效率。低暴力导致的老年髌臼四方区骨折发病率逐年增加,老龄病人骨质疏松,合并有复杂的内科疾病,手术耐受性低,手术风险大^[48],要求用尽可能少的手术时间和更小的手术创伤,在狭小的手术空间内快速、安全、有效地复位并固定骨折,保障早期安全的功能锻炼,减少卧床时间,减少内植物失效并发症,实现快速康复外科,达到更好的临床疗效。3D 打印技术(快速成形技术)可以根据不同骨骼形态特点,制造个体化的内固定钢板,但是该技术需要事先在软件中绘制钢板的三维图^[49-50]。

3.2 本研究的重要意义

根据患者骨盆 CT 导出的数据,在 Unigraphics NX 软件中建立三维骨盆模型,可以灵活设计多种规格、形态的钢板螺钉,即刻修改钢板螺钉形态数据,精度达到 0.2 mm。数字设计不再需要手工测量尸体标本和 CT 图像测量,明显提高了新型内固定装置设计的效率,并进行虚拟内固定操作。本研究为个性化骨科内植物治疗、精准固定手术提供了新的应用技术路径。

3.3 本研究与已有研究的区别

传统游标卡尺手工测量骨骼需要较多的尸体标本数量,而且干燥骨骼的测量数据并不准确。CT 冠状面、矢状面、横断面二维测量的准确性受患者扫描时体位偏移的影响也不准确。有学者^[6,51-52]应用 Mimcs、Geomagic Studio 图像软件对骨盆 CT 数据进行三维重建,在重建图像上测量髌关节在四方区投影的边界距离闭孔、弓状线的长度,分析置钉角度、安全区等数据,这些需要大量的测量和统计工作。在 Unigraphics NX 软件中,避免繁琐的数据测量,在患者骨盆 CT 数据转化的数字三维模型上快捷设计与骨骼相匹配的钢板。根据手术需要,任意修改钢板的形状、弧度、扭转角度、厚度、宽度、螺钉孔的安全方向和角度等数据指标,实现动态仿真研究,灵活快捷寻找置钉的安全区域、安全角度和方向,有效固定长度,确定最佳的钢板形态和置钉位置,避免螺钉侵入关节内以及螺钉无效固定。虚拟内固定操作流畅,一旦确定满意的钢板形态和螺钉布置位置,软件中直接提取钢板螺钉数据,3D 打印钢板,为现实个性化精准内固定手术提供了临床技术路径。

本研究设计的髌臼四方区解剖型自锁定钢板有别于其他文献, 主要体现在以下几个方面: (1)具有应力桥、滑动槽、定位孔、阻挡孔、固定孔等特殊结构; (2)通过前路一个切口一块钢板固定髌臼四方区、臼顶负重区、前后柱、前后壁骨折; (3)钢板螺钉形态结构与骨盆髌臼骨小梁的力学传导路线匹配; (4)遵循人体工程学原理, 在有限的切口暴露空间内避免医源性损害附近的血管神经等, 可实现安全、方便、高效的手术操作目的。

3.4 本研究的局限性

本研究钢板一体化设计实现最大稳定性, 一块钢板代替三块重建钢板的固定范围, 但植入钢板仍需要有较大的手术切口, 改良方法为组合式装配结构。由于盆腔脏器、血管神经、肌肉组织的遮挡, 实际钢板螺钉植入困难, 需要设计配套的万向钻头保护套管、万向螺钉植入套管, 避让并保护置钉操作空间内的重要软组织。本研究采纳 101 例正常成年人的中位数骨盆 CT 数据作为模型, 代表 70% 的男性骨盆数据, 未考虑性别、左右侧、身高、体形胖瘦等因素影响, 因此对于女性骨盆髌臼不一定完全匹配。目前的 CT 影像工作站只能测量直线距离, 无法测量骨盆三维重建后的弓状线曲度, 在 Mimics 和 Unigraphics NX 软件中只能近似测量弓状线曲度。

参考文献:

- [1] Tile M. Acute pelvic fractures: I. Causation and classification[J]. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1996, 4(3):143-151.
- [2] 尚冉冉, 宋成璟, 吴海洋, 等. 前路动力化方形区钛板螺钉系统钢板轨迹长度测量的解剖学研究[J]. 中华解剖与临床杂志, 2020, 25(1):31-36.
- [3] 杨晓东, 刘涵, 谷城, 等. 髌臼钢板经腹直肌外侧入路治疗涉及方形区的髌臼骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(20):1836-1840.
- [4] 李明, 庞清江, 郑琦. 髌臼四方区骨折内固定的研究进展[J]. 中华创伤杂志, 2017, 33(5):470-474.
- [5] Zhang S, Su W H, Luo Q, et al. Measurement of the “safe zone” and the “dangerous zone” for the screw placement on the quadrilateral surface in the treatment of pelvic and acetabular fractures with Stoppa approach by computational 3D technology[J]. BioMed Research International, 2014, 2014:386950.
- [6] Ji X X, Bi C, Wang F, et al. Digital anatomical measurements of safe screw placement at superior border of the arcuate line for acetabular fractures[J]. BMC Musculoskeletal Disorders, 2015, 16:55.
- [7] He L, Sun Y, Hou Z Y, et al. The “safe zone” for infrapectineal plate-screw fixation of quadrilateral plate fractures[J]. Medicine, 2019, 98(19):e15357.
- [8] Zhang Y T, Zhao X, Tang Y, et al. Comparative study of comminuted posterior acetabular wall fracture treated with the Acetabular Tridimensional Memory Fixation System[J]. Injury, 2014, 45(4):725-731.
- [9] Zha G C, Tulumuhan D M, Wang T, et al. A new internal fixation technique for acetabular fractures involving the quadrilateral plate[J]. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, 2020, 106(5):855-861.
- [10] Zhang R P, Yin Y C, Li S L, et al. Fixation of displaced acetabular fractures with an anatomic quadrilateral surface plate through the stoppa approach[J]. Orthopedics, 2019, 42(2):e180-e186.
- [11] Veliceasa B, Filip A, Perteu M, et al. Omega plate for the treatment of acetabular fractures involving the quadrilateral plate[J]. Experimental and Therapeutic Medicine, 2021, 22(4):1064.
- [12] Rommens P M, Herteleer M, Handrich K, et al. Medial buttressing of the quadrilateral surface in acetabular and periprosthetic acetabular fractures[J]. PLoS One, 2020, 15(12):e0243592.
- [13] Sen R K, Saini G, Kadam S, et al. Anatomical quadrilateral plate for acetabulum fractures involving quadrilateral surface: A review[J]. Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma, 2020, 11(6):1072-1081.
- [14] Egli R J, Keel M J B, Cullmann J L, et al. Secure screw placement in management of acetabular fractures using the suprapectineal quadrilateral buttress plate[J]. BioMed Research International, 2017, 2017:8231301.
- [15] Zha G C, Sun J Y, Dong S J, et al. A novel fixation system for acetabular quadrilateral plate fracture: A comparative biomechanical study[J]. BioMed Research International, 2015, 2015:391032.
- [16] 刘涵, 汪灿彬, 陈家辉, 等. 经腹直肌外侧入路髌臼翼形全万向锁定钢板固定治疗老年髌臼骨折[J]. 中华骨科杂志, 2019(10):596-603.
- [17] Chen K F, Yang F, Yao S, et al. Biomechanical comparison of different fixation techniques for typical acetabular fractures in the elderly: The role of special quadrilateral surface buttress plates[J]. The Journal of Bone and Joint Surgery American Volume, 2020, 102(14):e81.

- [18] 李明. 一种通用髌臼内侧解剖型锁定接骨板及其配套器械: CN105342681A9[P]. 2017-12-22.
- [19] Li M. General anatomic self-locking plate for medial acetabulum and auxiliary apparatus thereof: US10758282 [P]. 2020-09-01.
- [20] 郭卫民, 于晓飞. 应力带桥的设计[J]. 东北公路, 2000(4):62-66.
- [21] Judet R, Judet J, Letournel E. Fractures of the acetabulum: Classification and surgical approaches for open reduction [J]. The Journal of Bone and Joint Surgery, 1964, 46: 1615-1646.
- [22] Marsh J L, Slongo T F, Agel J, et al. Fracture and dislocation classification compendium-2007[J]. Journal of Orthopaedic Trauma, 2007, 21(S):S1-S6.
- [23] Meinberg E G, Agel J, Roberts C S, et al. Fracture and dislocation classification compendium-2018[J]. Journal of Orthopaedic Trauma, 2018, 32:S1-S170.
- [24] Prasarthitha T, Chaivanichsiri P. The study of broken quadrilateral surface in fractures of the acetabulum[J]. International Orthopaedics, 2013, 37(6):1127-1134.
- [25] Yang Y, Zou C, Fang Y. A study on fracture lines of the quadrilateral plate based on fracture mapping[J]. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2019, 14(1):310.
- [26] Yang Y, Yi M, Zou C, et al. Mapping of 238 quadrilateral plate fractures with three-dimensional computed tomography [J]. Injury, 2018, 49(7):1307-1312.
- [27] ElNahal W A, Abdel Karim M, Khaled S A, et al. Quadrilateral plate fractures of the acetabulum: Proposition for a novel classification system[J]. Injury, 2018, 49(2):296-301.
- [28] Trulsson A, Küper M A, Trulsson I M, et al. Endoscopic approach to the quadrilateral plate (EAQUAL): A new endoscopic approach for plate osteosynthesis of the pelvic ring and acetabulum - A cadaver study[J]. Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie, 2019, 157(1):22-28.
- [29] Lee B H. Biaxial reduction technique for the medially displaced quadrilateral surface in acetabular fracture through the modified iliofemoral approach: An observational study[J]. Medicine, 2017, 96(51):e9238.
- [30] 张潇, 熊然, 李涛, 等. 经腹直肌外侧切口入路治疗髌臼骨折的解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2015, 33(1):17-20.
- [31] Verbeek D O, Ponsen K J, van Heijl M, et al. Modified Stoppa approach for operative treatment of acetabular fractures: 10-year experience and mid-term follow-up[J]. Injury, 2018, 49(6):1137-1140.
- [32] 刘家国, 尚锋, 罗斌, 等. 腹直肌外侧入路钢板结合后柱拉力螺钉固定治疗涉及后柱的髌臼骨折[J]. 中华创伤骨科杂志, 2019, 21(6):490-497.
- [33] 邹如意, 吴敏, 官建中, 等. 经腹直肌旁手术入路治疗髌臼骨折的研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(4):332-335.
- [34] Nadeem U, Qadir I, Mazari J, et al. Outcomes of direct infrapectineal buttress plate for quadrilateral surface fractures of acetabulum using an anterior intrapelvic approach[J]. Hip & Pelvis, 2021, 33(1):33.
- [35] 蔡贤华, 刘曦明, 汪国栋, 等. 涉及髌臼方形区骨折髌腹股沟入路显露与开放复位策略分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23(16):1443-1447.
- [36] Kistler B J, Smithson I R, Cooper S A, et al. Are quadrilateral surface buttress plates comparable to traditional forms of transverse acetabular fracture fixation? [J]. Clinical Orthopaedics and Related Research, 2014, 472(11):3353-3361.
- [37] 崔昊旻, 周东生, 李连欣, 等. 钛网结合重建钢板治疗累及四方区粉碎的复杂髌臼骨折[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志, 2015, 7(6):326-332.
- [38] Wu H Y, Shang R R, Liu X M, et al. A novel anatomically pre-contoured side-specific titanium plate versus the reconstruction plate for quadrilateral plate fractures of the acetabulum: A propensity-matched cohort study[J]. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2020, 15(1):172.
- [39] Zhao B, Sun Z Y, Zhang W, et al. Digital anatomical study and clinical application of screw placement for quadrilateral plate fractures in the danger zone[J]. BMC Musculoskeletal Disorders, 2020, 21(1):222.
- [40] Wu H Y, Shang R R, Cai X H, et al. Single ilioinguinal approach to treat complex acetabular fractures with quadrilateral plate involvement: Outcomes using a novel dynamic anterior plate-screw system[J]. Orthopaedic Surgery, 2020, 12(2):488-497.
- [41] Karim M A, Abdelazeem A H, Youness M, et al. Fixation of quadrilateral plate fractures of the acetabulum using the buttress screw: A novel technique[J]. Injury, 2017, 48(8):1813-1818.
- [42] Tosounidis T H, Gudipati S, Panteli M, et al. The use of buttress plates in the management of acetabular fractures with quadrilateral plate involvement: Is it still a valid option?[J]. International Orthopaedics, 2015, 39(11): 2219-2226.
- [43] Panella A, Solarino G, Vicenti G, et al. Internal fixation of acetabular quadrilateral plate fractures in elderly patients: Could the fracture reduction quality affect their functional

- recovery?[J]. Aging Clinical and Experimental Research, 2021, 33(6):1627-1633.
- [44] May C, Egloff M, Butscher A, et al. Comparison of fixation techniques for acetabular fractures involving the anterior column with disruption of the quadrilateral plate: A biomechanical study[J]. The Journal of Bone and Joint Surgery, 2018, 100(12):1047-1054.
- [45] Giannoudis P V, Grotz M R W, Papakostidis C, et al. Operative treatment of displaced fractures of the acetabulum: A meta-analysis[J]. The Journal of Bone and Joint Surgery British Volume, 2005, 87(1):2-9.
- [46] Gillispie G J, Babcock S N, McNamara K P, et al. Biomechanical comparison of intrapelvic and extrapelvic fixation for acetabular fractures involving the quadrilateral plate[J]. Journal of Orthopaedic Trauma, 2017, 31(11): 570-576.
- [47] Boni G, Pires R E, Sanchez G T, et al. Use of a stainless steel locking calcaneal plate for quadrilateral plate buttress in the treatment of acetabular fractures[J]. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology, 2019, 29(5):1141-1145.
- [48] Buller L T, Lawrie C M, Vilella F E. A growing problem: Acetabular fractures in the elderly and the combined hip procedure[J]. The Orthopedic Clinics of North America, 2015, 46(2):215-225.
- [49] Maini L, Sharma A, Jha S, et al. Three-dimensional printing and patient-specific pre-contoured plate: Future of acetabulum fracture fixation?[J]. European Journal of Trauma and Emergency Surgery, 2018, 44(2):215-224.
- [50] 黄迪超, 张雁儒, 李海洋, 等. 3D 打印技术在严重骨盆髌臼骨折内固定手术中的应用[J]. 宁波大学学报(理工版), 2019, 32(6):11-15.
- [51] 史黎晗, 高仕长, 周华, 等. 髌臼四边区上界置钉安全区域的影像解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2016, 34(2):138-144.
- [52] 王正坤, 蔡贤华, 兰生辉, 等. 髌臼方形区安全置钉的数字化测量研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(8): 739-744.

Digital design of general anatomic self-locking plate for medial acetabulum

LI Ming¹, ZHANG Yanru^{2,3}, XIAO Jingwei³, ZHANG Qiping⁴, XU Ding¹, WANG Shuaiyi¹

(1.Department of Traumatic Orthopedics, Ningbo No.6 Hospital, Ningbo 315042, China; 2.Institute of Orthopedics, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454001, China; 3.School of Medicine, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 4.Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering, CAS, Ningbo 315201, China)

Abstract: This study investigated the design of a new acetabular quadrilateral self-locking anatomical plate using digital technology. The pelvic CT data of normal men and women aged 25–50 years were collected in the Department of Imaging of Ningbo No.6 Hospital from January 2020 to December 2020. According to the Interquartile Range (IQR) principle, median pelvic CT was selected as the model. CT data were imported into Unigraphics NX software to generate 3D pelvic model. The 2D drawings of the plate and screw were first created in CAD and then imported into Unigraphics NX to establish their corresponding 3D models. In a three-dimensional view, plate and screws were assembled into the pelvic model. In the three-dimensional perspective view, the longitudinal trajectory of the screw, and the locking angle between the screw and plate were observed. The accuracy indexes of “functional fixed region, positioning hole, buttress hole, fixed hole, stress bridge, sliding groove” were optimized. One single plate simultaneously fixed the medial region, weight-bearing dome, anterior and posterior regions of the acetabular joint. Based on this approach, the 3D pelvic model can be established with data derived from the patient’s pelvic CT by Unigraphics NX. The plate and screws can be flexibly designed with the accuracy up to 0.2 mm. The shape data of the device can be immediately modified and the virtual internal fixation can be achieved. This digital design method does not require manual cadaver specimen measurement and CT image measurement, hence it improves the design efficiency of new internal fixation devices, and provides a new application technology path for personalized implant design and precise fixation surgery.

Key words: acetabular fractures; quadrilateral area; fracture fixation; plate; internal fixation

(责任编辑 史小丽)