

纽扣钢板弹性固定法重建桡尺远侧关节的生物力学实验

刘洪亮¹ 林晓东² 刘健² 汪鑫² 孙培栋³ 许树柴^{1△}

[摘要] **目的:**通过在尸体上模拟纽扣钢板悬吊固定治疗桡尺远侧关节脱位,观察使用钢板重建后关节的稳定性及抗疲劳性,探讨纽扣钢板重建桡尺远侧关节术式的可行性。**方法:**随机选取 8 具健康成年人完整的前臂标本,包括 6 个新鲜冰冻标本和 2 个防腐标本(用于预实验),选择合适的弹性固定材料,标本制备完成后进行生物性能动态分析,同组前后比较用配对 t 检验。**结果:**实验全过程无内固定断裂、骨折等发生,在同一状态下(旋前 45° 和旋后 45°),发现各标本在疲劳实验前后各个节点所需扭矩的动态变化差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**使用纽扣跨跨钢板固定治疗桡尺远侧关节脱位,其生物力学性能可达到桡尺远侧关节暂时稳定性重建术式要求,为新术式进一步临床研究提供了生物力学实验数据支持。

[关键词] 纽扣跨跨钢板;弹性悬吊固定;桡尺远侧关节脱位;生物力学

[中图分类号] R318.01 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2019)12-0001-04

Biomechanical Study on Elastic Suspension Fixation in the Reconstruction of the Distal Radioulnar Joint with Button Plates

LIU Hongliang¹ LIN Xiaodong² LIU Jian² WANG Xin² SUN Peidong³ XU Shuchai^{1△}

¹ Guangdong Province Hospital of Traditional Chinese Medicine Affiliated to Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510105, China;

² Second Clinical Medical College of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510405, China;

³ Guangdong Provincial Key Laboratory of Medical Biomechanics, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China.

Abstract Objective: To observe the stability and fatigue resistance of the distal radial joint after reconstruction using this plate by simulating button plate suspension fixation on the cadaver. To investigate the feasibility of reconstruction of radial distal joint with button plate. **Methods:** Eight forearm samples of healthy adults including six fresh frozen samples and two embalmed samples were randomly selected to accept the fixation of suitable hanging materials. Biological performance was dynamically analyzed after the preparation of samples, paired t test was used to compared. **Results:** No internal fixation failure or fracture occurred during the whole experiment. In the same state(both in 45° before and 45° after spinning), there was no significant statistical difference in the dynamic change of torque required by each specimen at all time points before and after fatigue experiment($P>0.05$). **Conclusion:** This experiment confirmed that the elastic suspension fixation in the reconstruction of the distal radioulnar joint with button plates may reached the request of the reconstruction of the distal radioulnar joint dislocation temporarily, providing a biomechanical experiment data support for further clinical research of this procedure.

Keywords: button plates; elastic suspension fixation; dislocation of distal radioulnar joint; biomechanics

基金项目:2015 广东省中医院院内专项课题(yn2015ms13)

2016 年广东省科学技术研究基金项目
(2016110215812132)

¹ 广州中医药大学附属广东省中医院(广州,510105)

² 广州中医药大学第二临床医学院

³ 南方医科大学广东省医学生物力学重点实验室

[△]通信作者 E-mail:1328870363@qq.com

桡尺远侧关节(DRUJ)为连接尺骨与桡骨的主要关节,并且是稳定前臂旋转功能最主要的解剖结构^[1], DRUJ 的脱位不可避免地导致腕关节与前臂功能异常。桡骨远端骨折是导致其脱位的最主要原因,据统计约 10%~19% 的此类骨折可并发 DRUJ 脱位^[2]。也有部分与先天性解剖异常有关,治疗时机或治疗方

式不当可出现腕关节疼痛、功能障碍等并发症。目前对于急性 DRUJ 脱位治疗方法较简单,以治疗原发伤为主要目标。虽然慢性 DRUJ 脱位治疗方法很多,但存在诸多弊端。例如保守治疗(夹板固定或克氏针固定)后脱位复发率较高,并且大部分患者容易出现关节僵硬等并发症。但手术治疗例如 Adam-Berger 术式(软组织重建),则无法恢复 DRUJ 解剖生物力学特点,并且容易导致医源性骨折^[3]。虽然 Sauve-Kapandji 术式(骨性重建)治疗后稳定性较好,但牺牲此关节部分活动功能,且增加前臂不稳风险。DRUJ 置换术则容易出现假体感染甚至松动等并发症^[4]。鉴于上述术式的缺点,本研究采用纽扣钢板弹性悬吊法重建 DRUJ 的稳定,验证该术式重建 DRUJ 的有效性和安全性,为临床研究提供实验数据支持,现报告如下。

1 材料与方法

1.1 实验标本与器材

实验标本(2 具新鲜标本及 6 具防腐标本)由南方医科大学提供。实验前臂标本均为健康成年人标本,由南方医科大学前臂标本库中随机选择。性别和年龄均不详,新鲜标本,左右前臂各 1 个,左前臂均为防腐标本。实验标本的完整性(前臂及腕关节无韧带、软组织的缺失)由实验员亲自检查并使用 X 线排除骨折、畸形及其他骨病。位于肘关节处将前臂分离,显露鹰嘴至冠状突,并用牙托脂(牙科铸造包埋材料)进行包埋固定,保留桡骨且不包埋,处理后用塑料薄膜包装后放置于 -20℃ 冰箱进行保存。实验开始提前 6 h 取出,恒温下解冻后使用。

实验使用的固定材料为钢板(直径为 6 mm,见图 1)及直径为 1.2 mm 的有孔穿线克氏针。固定材料由天津市金兴达实业有限公司生产,钢板材料为钛合金。悬吊固定线为 Ultrabraid 缝线(2 号,施乐辉公司)。材料动态性能测试系统型号 3510(Bose 公司,美国)。

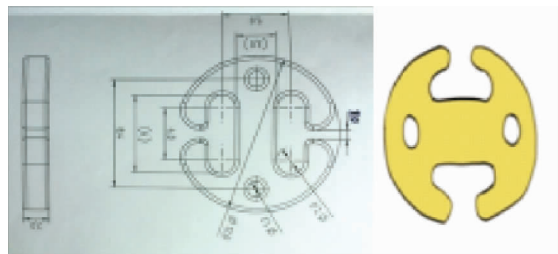


图 1 纽扣钢板(直径 6 mm,厚 1.2 mm,接近于圆形,共 4 孔,2 孔闭,另 2 孔稍大,保持开式)

1.2 实验方法

1.2.1 标本制作与准备 实验前将室内温度控制为 25℃,湿度控制为 <55%,解冻实验标本。取自腕关节上端约 10 cm 处,腕关节下端约掌骨颈处的手臂范围为实验范围。去除该范围内的软组织,保留腕关节

囊、三角纤维软骨复合体(TFCC)、远端骨间膜以及该范围外的软组织。实验中使用生理盐水保持组织湿润。

1.2.2 形成 DRUJ 脱位状态 根据既往研究^[5-10],形成 DRUJ 脱位状态。TFCC 是维持 DRUJ 稳定性的最主要结构,其稳定结构中,桡尺背侧及掌侧韧带是限制桡骨向掌侧及背侧移位的主要原因,其次为远端骨间膜,尤其是远端骨间膜的远侧斜束。因此,剥离关节囊,以及切断 TFCC 结构中的下尺桡掌侧和背侧韧带、尺桡远端斜束骨间膜,同时予 20 N 的推力垂直于桡骨远端,可造成桡骨远端向背侧/掌侧相对 1/3 尺骨的位移距离。通过查体,若“琴键征”及“尺骨凹”试验阳性,且前臂旋转时 DRUJ 关节出现不稳定,此时可视为 DRUJ 脱位模型制备完成。

1.2.3 手术重建 脱位损伤模型由纽扣钢板悬吊固定重建其稳定性。X 线透视下确定骨隧道位置并作标记,因 DRUJ 关节解剖类型分为 4 种(见图 2),其中 C 型最为稳定。维持前臂中立位,1.2 mm 带孔克氏针从桡骨(厚度中点)打入,尺骨(厚度中点)穿出。两条 Ultrabraid 缝线穿过克氏针孔并由克氏针带入骨髓道中,缝线穿过双侧纽扣钢板并将钢板分别拉至桡骨及尺骨骨面,打结固定一侧,另一侧收紧桡尺远侧关节,使其复位后打结,操作原理见图 3。固定后若“琴键征”及“尺骨凹”试验阴性,则 DRUJ 脱位复位成功且稳定性可。

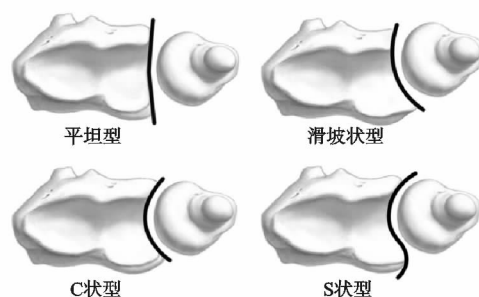


图 2 桡尺远侧关节的解剖分型

1.2.4 生物力学测试 使用 6 个新鲜前臂标本进行实验,分别使用 2-0 爱惜邦缝合线和 Ultrabraid 缝线进行悬吊固定,然后进行旋前 45°至旋后 45°范围内的疲劳运动,悬吊均为双线固定,实验过程中发现爱惜邦缝合线很容易断裂导致固定失败,而 Ultrabraid 缝线则稳定牢固,因此后续实验使用 Ultrabraid 缝线进行悬吊固定。

首先将标本连接在动态性能测试仪上(见图 4),模拟前臂旋转的生物力学特点,从前臂中立位开始进行旋前旋后 45°范围^[8]内疲劳试验 1 000 次,频率为 5 Hz,期间观察是否出现内固定失效(如内固定断裂)、骨折等情

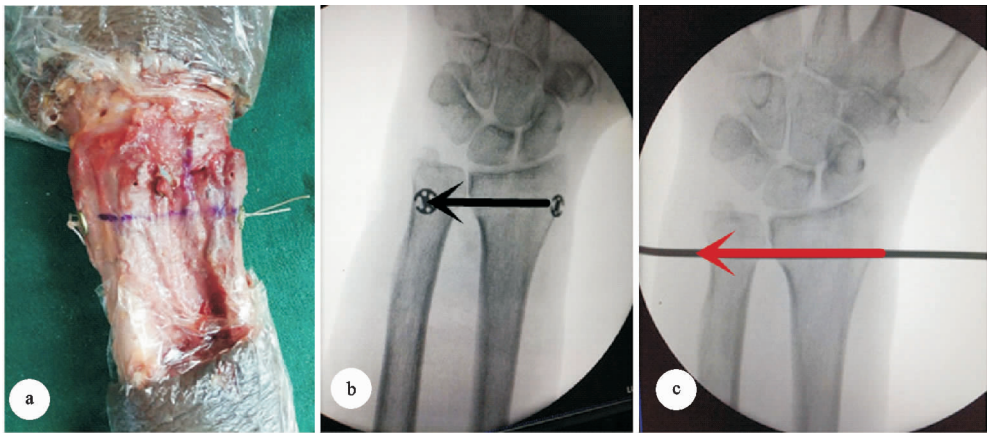


图 3 操作原理(a 图中 6 mm 纽扣钢板置于桡尺骨骨面,缝线打结固定钢板,骨隧道长 2 mm;
b,c 图中箭头为隧道位置,位于桡尺远侧关节近端下约 3 mm)

况的发生并如实记录。同时在疲劳前后记录静态下扭矩的变化,并进行对比。为了消除软组织蠕变等对结果的影响^[5],在实验前先进行 5 次静态下旋前旋后 45° 内的预处理。

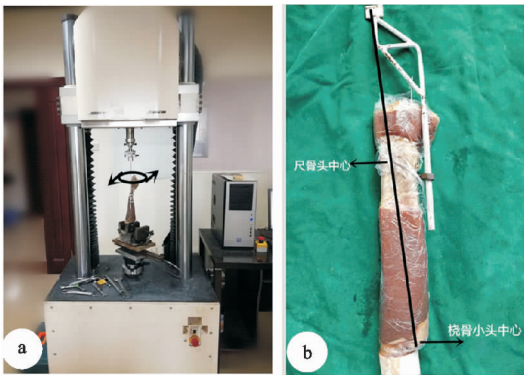


图 4 前臂以尺骨为旋转轴,桡骨围绕尺骨做旋转运动

1.3 统计学方法

实验所得数据采用 SPSS 20.0 软件进行分析。同组实验前后对比采用配对 t 检验, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

所有标本进行疲劳实验后发现均无内固定松动、骨隧道扩大、X 线下骨折、固定缝线松动的情况发生。在前臂旋前、旋后 45° 范围内,扭矩随角度增大而逐渐增大(见图 5)。疲劳前后扭矩的数据统计后发现差异无统计学意义($P > 0.05$,见表 1)。旋前 45° 范围内疲劳前后扭矩对比和旋后 45° 范围内疲劳前后扭矩对比均采用组内前后对比,差异无统计学意义(见表 1)。

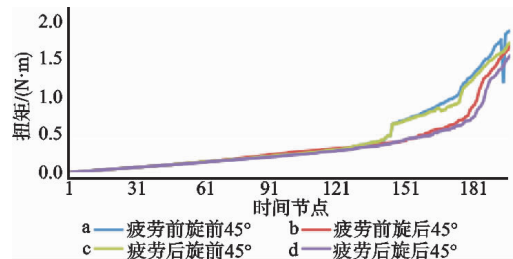


图 5 前臂标本 1 疲劳前后扭矩变化动态曲线

表 1 疲劳试验(旋前与旋后)前后扭矩配对 t 检验

标本编号	前后	t	P (双侧)
1	旋前	0.524	0.001
	旋后	9.034	0.001
2	旋前	7.777	0.001
	旋后	1.160	0.007
3	旋前	8.374	0.001
	旋后	9.627	0.001
4	旋前	6.637	0.001
	旋后	12.772	0.001
5	旋前	10.441	0.001
	旋后	10.661	0.001

3 讨论

桡尺远侧关节不稳的悬吊固定 Drake^[6] 和 Kam 等^[7] 使用 Suture-button 技术,恢复骨间膜中间束的功能使近端尺桡关节维持稳定;De Vries 等^[8] 运用 Suture-button 技术,重建骨间膜远侧束来维持尺桡远端的稳定。并且在其生物力学实验中,验证了悬吊固定重建尺桡稳定的可行性,但存在隧道直径偏大、加大医源性骨折的风险。

本研究小组^[9] 曾经使用微型钢板改制成的一种 Mini-plate-button,成功治疗腱鞘巨细胞瘤切除术后 DRUJ 脱位。此固定方法所需隧道较 De Vries 等使用的隧道(2.5 mm)更短小,且操作简单及创伤小。这不仅有利于术后的早期康复,且隧道短小(1.2 mm),显著降低医源性骨折的风险。

TFCC 是保持 DRUJ 稳定性的重要结构^[10],其主要组成结构为三角纤维软骨盘(TFC)及下尺桡掌侧及背侧韧带等。其中,DRUJ 的骨性结构仅提供 20% 左右的稳定性^[11],下尺桡韧带则是维持桡尺远端稳定的关键^[12],因此将骨隧道置于能够起到类似于下尺桡韧带作用的位置。但必须提醒的是,手术骨隧道的位置必须注意以下几点:第一,骨隧道过于接近远端关节面容易因切割效应而导致术后内固定的失败。第二,骨隧道过于远离关节面,则固定效果较差而导致术后固

定不牢固。第三,骨隧道不应通过关节面。因此选择靠近桡尺远侧关节约 2~3 mm(见图 3)处进行悬吊固定,既可以靠近尺桡远侧联合部来完成悬吊固定,又可以避免因尺桡远侧联合部的挤压切割效应,导致缝线磨损失效。然而,不同隧道位置的切割效应,还需要更多实验研究。参考既往相关生物力学研究^[8],旋转范围较大造成内固定扭矩过大最终容易造成内固定失效。正常的前臂生理最大活动范围为旋前 90°~旋后 90°,正常活动度为 150°~180°,而在本试验中,当旋前/旋后活动度达到 45°时,所测得的内固定扭矩过大(见表 1),使隧道内的强力线张力过大而断裂。故本实验中设定活动度为旋前 45°~旋后 45°,扭矩及强力线张力适中,能够在术后 6~8 周内维持内固定的强度,同时考虑内固定强度和活动度,能够满足术后康复锻炼的需要。

DRUJ 脱位后在牢固的固定下软组织修复的时间大约为 6~8 周,假设期间患者每日所需的旋转功能锻炼为 20 次,那么在确保内固定有效的情况下,实验过程中所需的旋转次数(疲劳次数)至少为 960 次。根据本研究小组多年的临床经验及已发表的文章^[13],将实验次数定为 1 000 次。

无论桡尺远侧关节是否损伤,在旋转运动中均存在滑移。有研究对比桡尺远侧关节损伤重建前后矢状方向上桡骨相对于尺骨移动的距离来评估手术效果^[8],取得了较好的结果,但只是单一状态下的静态研究,存在一定的片面性。而本实验研究则对桡尺远侧关节稳定性重建前后旋前旋后 45°范围内对应力学变化进行动态分析,是整体趋势的分析,因此滑移并不能对实验结果造成决定性的影响。

本实验证明:使用纽扣钢板悬吊固定重建桡尺远侧关节,其生物力学性能满足桡尺远侧关节稳定性重建术式的要求,这一结论为该术式进一步临床研究提供了一定的生物力学数据支持。另外,该手术方式的优点在于允许患者早期进行功能锻炼,能有效预防软组织粘连。同时,骨隧道直径较小,明显降低医源性骨折的风险。然而仍需大样本生物力学及临床研究以证实其稳定性。

参考文献

- [1] HUANG J I, HANEL D P. Anatomy and biomechanics of the distal radioulnar joint[J]. *Hand Clinics*, 2012, 28(2): 157-163.
- [2] WIJFFELS M M E, BRINK P R G, SCHIPPER I B. Clinical and non-clinical aspects of distal radioulnar joint instability[J]. *Open Orthopaedics Journal*, 2012, 6: 204-210.
- [3] 刘健, 夏威夷, 许树柴, 等. 桡尺远侧关节脱位的治疗进展[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2017, 19(10): 915-920.
- [4] OZER K. Management of complications of distal radioulnar joint[J]. *Hand Clinics*, 2015, 31(2): 235-242.
- [5] 冯嘉威, 何伟东, 王磊, 等. 下胫腓联合韧带不同程度损伤的稳定性研究[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2015, 17(7): 609-615.
- [6] DRAKE M L, FARBER G L, WHITE K L, et al. Restoration of longitudinal forearm stability using a suture button construct[J]. *J Hand Surg Am*, 2010, 35(2): 1981-1985.
- [7] KAM C C, JONES C M, FENNEMA J L, et al. Suture-button construct for interosseous ligament reconstruction in longitudinal radioulnar dissociations: a biomechanical study[J]. *J Hand Surg Am*, 2010, 35(10): 1626-1633.
- [8] DE VRIES E N, WALENKAMP M M, MULDER M A, et al. Minimally invasive stabilization of the distal radioulnar joint: a cadaveric study[J]. *J Hand Surg: Eur Vol*, 2017, 42(4): 363-369.
- [9] SONG L, LIU H, LIU J, et al. A case report of distal radioulnar joint dislocation fixed by using a mini-plate-button[J]. *Int J Surg Case Rep*, 2017, 34: 69-73.
- [10] BICKEL K D. Exposures of the wrist and distal radioulnar joint[J]. *Hand Clinics*, 2014, 30(4): 435-444.
- [11] STUART P R, BERGER R A, LINSCHIED R L, et al. The dorsopalmar stability of the distal radioulnar joint[J]. *Journal of Hand Surgery*, 2000, 25(4): 689-699.
- [12] SCHUIND F, AN K N, BERGLUND L, et al. The distal radioulnar ligaments: a biomechanical study[J]. *Journal of Hand Surgery*, 1991, 16(6): 1106-1114.
- [13] 郑沐欣, 林晓东, 许树柴, 等. 尺骨截骨并弹性悬吊固定术治疗尺骨撞击综合征[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2018, 8(8): 1-4.

(收稿日期: 2019-06-30)