

# 球囊扩张可注射硫酸钙骨水泥填充治疗胫骨平台塌陷骨折的稳定性

https://doi.org/10.12307/2022.068

陈金民<sup>1</sup>, 陈穗生<sup>1</sup>, 丁晶<sup>2</sup>, 夏暴权<sup>1</sup>, 罗晓嘉<sup>1</sup>, 卢成海<sup>1</sup>

投稿日期: 2020-12-29

送审日期: 2020-12-31

采用日期: 2021-03-04

在线日期: 2021-06-21

中图分类号:

R459.9; R318; R687

文章编号:

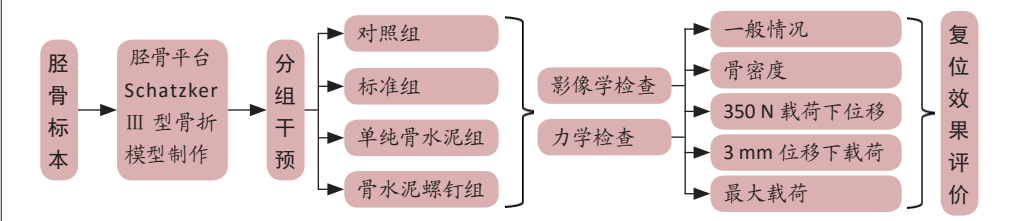
2095-4344(2022)03-00414-05

文献标识码: A

## 文章快速阅读:

### 文章亮点一

△胫骨平台塌陷骨折是膝关节常见损伤之一, 维持复位后的关节面是手术成功的关键因素; 通过建立胫骨平台塌陷骨折模型并采用不同方法进行干预, 发现骨水泥螺钉组较其他3组在对抗外力载荷方面更具优势。  
△该研究主要优势在于: ①首次证实球囊扩张骨水泥可应用于胫骨平台塌陷骨折; ②可以避免单纯骨水泥和单纯自体骨螺钉固定带来的骨折端位移的并发症; ③球囊扩张骨水泥可用作胫骨平台塌陷骨折的临床治疗方案之一。



## 文题释义:

**胫骨平台塌陷骨折:** 高处坠落伤时力的传导由足沿胫骨向上, 躯干重力向下传导, 共同作用于膝部, 合并侧方扭转负荷, 会导致胫骨内侧或外侧平台塌陷骨折。塌陷超过一定范围(2.0~3.0 mm)会导致关节面出现严重不匹配, 在日常活动中会加速软骨磨损, 产生创伤性关节炎, 严重影响患者生活。

**微创内固定:** 胫骨平台塌陷骨折是基于微创外科的原则采取的复位固定方式, 传统方法为关节镜监视下开窗撬拨复位自体骨移植松质骨拉力螺钉内固定。此次研究中提到的球囊扩张复位硫酸钙骨水泥填充联合松质骨拉力螺钉内固定是治疗胫骨平台塌陷骨折一种较为新颖的微创内固定方式。

## 摘要

**背景:** 胫骨平台骨折塌陷骨折复位后会出现一个干骺端空隙, 有效填充该空隙并保持良好的支撑性能是急需解决的问题。

**目的:** 对比不同微创方式治疗Schatzker III型胫骨平台骨折的稳定性。

**方法:** 收集32个冰冻胫骨上段标本, 随机分为4组, 对照组保持完好, 其余3组统一制作新鲜胫骨平台Schatzker III型骨折的尸体模型。标准组采用传统开窗撬拨复位自体骨移植松质骨拉力螺钉内固定, 单纯骨水泥组采用球囊扩张复位硫酸钙骨水泥填充治疗, 骨水泥螺钉组采用球囊扩张复位硫酸钙骨水泥填充联合松质骨拉力螺钉内固定。比较固定骨折块350 N载荷下的位移与刚度, 3 mm位移时的载荷与刚度, 以及最大载荷下的位移; 观察骨折、骨水泥以及螺钉的位置情况。

**结果与结论:** ①350 N载荷下, 各组间位移比较: 对照组<骨水泥螺钉组<单纯骨水泥组<标准组, 差异有显著性意义( $P < 0.05$ ); 各组间刚度比较: 对照组>骨水泥螺钉组>单纯骨水泥组>标准组, 差异有显著性意义( $P < 0.05$ ); ②位移3 mm时, 各组间载荷比较: 骨水泥螺钉组>对照组>单纯骨水泥组>标准组, 差异有显著性意义( $P < 0.05$ ); ③提示硫酸钙骨水泥注射治疗胫骨平台塌陷骨折具有良好的填充能力, 联合螺钉固定能够提供比传统复位内固定更好的支撑力及更高的稳定性, 说明球囊扩张复位可注射硫酸钙骨水泥填充治疗胫骨平台塌陷骨折具有良好的临床应用价值。

**关键词:** 胫骨平台骨折; 塌陷; 自体骨移植; 拉力螺钉; 球囊扩张; 硫酸钙; 生物力学

**缩略语:** 硫酸钙骨水泥: calcium sulfate cement, CSC

## Stability of balloon dilation with injectable calcium sulfate cement for tibial plateau fractures

Chen Jinmin<sup>1</sup>, Chen Suisheng<sup>1</sup>, Ding Jing<sup>2</sup>, Xia Baoquan<sup>1</sup>, Luo Xiaojia<sup>1</sup>, Lu Chenghai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopedics, Guangzhou Baiyun First People's Hospital (Baiyun District Maternal and Child Health Hospital), Guangzhou 510410, Guangdong Province, China; <sup>2</sup>Department of Orthopedics, Kunming General Hospital of PLA, Kunming 650032, Yunnan Province, China  
Chen Jinmin, Master, Associate chief physician, Department of Orthopedics, Guangzhou Baiyun First People's Hospital (Baiyun District Maternal and Child Health Hospital), Guangzhou 510410, Guangdong Province, China

**Corresponding author:** Chen Suisheng, Chief physician, Department of Orthopedics, Guangzhou Baiyun First People's Hospital (Baiyun District Maternal and Child Health Hospital), Guangzhou 510410, Guangdong Province, China

<sup>1</sup>广州市白云区第一人民医院(白云区妇幼保健院)骨科, 广东省广州市 510410; <sup>2</sup>解放军昆明总医院骨科, 云南省昆明市 650032

**第一作者:** 陈金民, 男, 1983年生, 山东省沂水县人, 汉族, 2010年昆明医科大学毕业, 硕士, 副主任医师, 主要从事关节方面的研究。

**通讯作者:** 陈穗生, 主任医师, 广州市白云区第一人民医院(白云区妇幼保健院)骨科, 广东省广州市 510410

https://orcid.org/0000-0002-5779-6842 (陈金民)

**基金资助:** 广东省医学科学技术研究基金项目(A2018100), 项目名称: 球囊扩张复位可注射硫酸钙填充治疗胫骨平台塌陷骨折的可行性及力学研究, 项目负责人: 陈穗生

**引用本文:** 陈金民, 陈穗生, 丁晶, 夏暴权, 罗晓嘉, 卢成海. 球囊扩张可注射硫酸钙骨水泥填充治疗胫骨平台塌陷骨折的稳定性 [J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(3):414-418.



## Abstract

**BACKGROUND:** A metaphyseal cavity will be left after reduction of the tibial plateau collapse fractures. It is an urgent problem to stuff the cavity effectively and maintain satisfied support.

**OBJECTIVE:** To compare the stability of different minimally invasive treatment of Schatzker type III tibial plateau fracture.

**METHODS:** Totally 32 proximal tibia specimens were harvested and were randomly divided into four groups. Specimens were left intact as control group. The remaining three groups uniformly made fresh cadaver models of Schatzker type III tibial plateau fractures. Standard group received conventional distension and strengthened by injectable calcium sulfate cement. Bone cement screw group was reduced with percutaneous balloon distension and strengthened with injectable calcium sulfate cement and two cancellous screws. Stiffness and displacement with 350 N loading, stiffness and loading with 3 mm displacement, and displacement with maximum loading were compared. The position of fractures, bone cement and screws were observed.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) Under 350 N, the displacement comparison among the groups: control group < bone cement screw group < bone cement group < standard group, the difference was significant ( $P < 0.05$ ). Comparison of stiffness among groups: control group > bone cement screw group > bone cement group > standard group, the difference was significant ( $P < 0.05$ ). (2) With 3 mm displacement, load comparison among groups: bone cement screw group > control group > bone cement group > standard group, the difference was significant ( $P < 0.05$ ). Comparison of stiffness among groups: bone cement screw group > control group > bone cement group > standard group, the difference was significant ( $P < 0.05$ ). (3) It is concluded that calcium sulfate cement could provide good filling capacity in tibial plateau fractures. Combined with cancellous screws, its support and stability could be improved. There is clinical value for percutaneous balloon distension with calcium sulfate cement in minimally invasive treatment of depressed tibial plateau fracture.

**Key words:** tibial plateau fracture; collapse; autogenous bone transplantation; lag screw; balloon dilatation; calcium sulfate; biomechanics

**Funding:** Medical Science and Technology Research Fund Project of Guangdong Province, No. A2018100 (to CSS)

**How to cite this article:** CHEN JM, CHEN SS, DING J, XIA BQ, LUO XJ, LU CH. Stability of balloon dilation with injectable calcium sulfate cement for tibial plateau fractures. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2022;26(3):414-418.

## 0 引言 Introduction

胫骨平台骨折存在不同程度的关节面塌陷与骨折块移位, 若不能解剖复位, 单位面积上所承受的压力不均, 磨损软骨, 再生修复代偿不完善时, 即产生创伤性骨关节炎<sup>[1]</sup>, 其治疗目标和其他关节内骨折的治疗一样, 达到稳定、无痛、运动和功能恢复, 而微创复位和固定已成为主要发展趋势<sup>[2]</sup>。

胫骨平台压缩性骨折需要将压缩骨折块复位, 通常采用关节镜技术辅助下在骨折下方干骺端开窗复位, 缺损采用植骨填充<sup>[3]</sup>。由于胫骨平台负重的力学特殊性, 植骨材料要求有一定的抗压力学强度, 骨移植的支撑强度对于防止随后的关节凹陷至关重要<sup>[4]</sup>, 自体松质骨移植仍然是金标准, 但它确实有一些局限性, 包括供区发病率和填充不足<sup>[5]</sup>。目前有很多骨移植替代材料, 它们的生物相容性、机械强度较好, 但各有其缺点, 限制了在临床的应用。硫酸钙是一种较早的骨移植材料, 其降解吸收率接近于新骨形成率<sup>[6]</sup>, 吸收的同时, 有大量骨小梁和骨髓形成, 并相互连接成类似正常骨组织的结构, 剩余硫酸钙继续发挥骨传导支架作用<sup>[7]</sup>, 残留或渗出关节间隙及软组织中的硫酸钙将在大概 15 d 内被吸收<sup>[8]</sup>。可注射式硫酸钙骨水泥 (calcium sulfate cement, CSC) 即刻自固性好, 早期支撑作用强, 并且可塑形、可注射用于微创, 较其他植骨材料更有优势<sup>[9]</sup>。

球囊扩张技术也是一种微创技术, 已应用于临床的多个领域, 它是由血管成形术中气囊导管技术发展起来的一种创新性技术, 在椎体后凸成形术中与骨水泥配合能够微创操作下改善运动功能, 减少随后的再发骨折、高度减少、脊柱后凸的进展和慢性背痛的发生<sup>[10]</sup>。

此次研究以胫骨平台塌陷骨折的微创治疗为基础, 将关节镜技术、球囊扩张技术、可注射 CSC 等微创手段应用于胫骨平台的塌陷骨折的复位固定。作者业已使用新鲜人体标本建立 Schatzker III 胫骨平台骨折模型, 并分组将微创手段应用于骨折模型的复位固定, 论证了球囊扩张复位可注射 CSC 填充治疗胫骨平台塌陷骨折的可能性<sup>[11]</sup>。此文以业已完成的模型为基础, 就不同微创内固定方法的生物力学进行测试, 评估球囊扩张复位可注射 CSC 填充并结合经皮螺钉固定在胫

骨平台塌陷骨折人体标本模型上应用的效果以及强度。

## 1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 标本随机分组造模, 单因素方差分析。

1.2 时间及地点 于 2015 年 8 月至 2020 年 10 月在广州市白云区第一人民医院 (白云区妇幼保健院) 完成。

1.3 材料

1.3.1 实验材料 32 个冰冻胫骨上段标本, 均为创伤手术截肢后的弃用组织, 由解放军昆明总医院全军骨科中心提供, 实验方案得到广州市白云区第一人民医院 (白云区妇幼保健院) 的伦理批准。

自凝牙托粉 (甲基丙烯酸甲酯共聚粉, 过氧化苯甲酰, 上海医疗器械股份有限公司); 自凝牙托水 (甲基丙烯酸甲酯, 上海二医张江生物材料有限公司); 扩张球囊及工具包 (上海凯利泰医疗科技有限公司, 20/15 mm); CSC 及器械包 (美国 Wright 医疗器械公司, M IIG 系列); 半螺纹松质骨螺钉 (美国 Stryker, 6.5 mm)。

1.3.2 实验器械 电子万能试验机 (长春, CSS-44110, 100 KN), 力学试验机压头 (自制, 15.0 mm), 标本固定钢托 (自制), 数码相机 (日本 Nikon, 1 500 万像素), 数字 X 射线机 (美国 GE, Definium 8000), 双能 X 射线骨密度仪 (法国 ME-DILINK, OSTEOCORE-3), 低温冰箱 (沈阳市医疗设备厂, DW-200 型,  $-25^{\circ}\text{C}$ ), 游标卡尺 (上海 Tricle, 0.02 mm)。

1.4 方法 32 个胫骨上段标本按简单随机法分为 4 组 ( $n=8$ )。

**对照组:** 8 个冰冻胫骨上段标本, 保留完好, 见图 1。其余 3 组建立胫骨平台塌陷 Schatzker III 型骨折模型<sup>[9]</sup>: 使用 4 mm 宽骨刀对标本外侧胫骨平台中央塌陷部分直径约 15 mm 范围行间断截骨, 用直径 15 mm 的不锈钢圆柱压头置于骨折塌陷处冲击, 塌陷 7-9 mm。



图 1 | 新鲜胫骨上段标本  
Figure 1 | Fresh specimens of upper tibia

**标准组：**开窗撬拨复位自体松质骨移植拉力螺钉内固定，在塌陷平台下方 3 cm 左右，经骨窗对塌陷骨折块进行打压，边打压边植入松质骨颗粒，将压缩的关节面抬高到适当高度，将松质骨螺钉置入塌陷骨折块下方。

**单纯骨水泥组：**球囊扩张复位 CSC 填充，在胫骨平台下 1.5 cm 左右与骨折塌陷部位的前后正中交接处置入导针，C 臂透视使导针位于压缩骨折位置中央，建立隧道，扩张套管外鞘沿导针旋入骨折前部平台；扩张复位，复位满意后回抽对比剂，取出球囊，球囊外鞘注入 CSC。

**骨水泥螺钉组：**松质骨拉力螺钉内固定联合球囊扩张复位 CSC 填充，将 CSC 通过球囊外鞘注入胫骨平台，将松质骨螺钉通过硫酸钙置入塌陷骨折块下方，固定胫骨近端。

1.5 主要观察指标

1.5.1 影像学检查 所有标本行正侧位 X 射线片检查以及双能 X 射线骨密度仪扫描，见图 2, 3。以胫骨平台两侧髁间棘中点为界，分干骺端为内外侧，选定外侧平台干骺端感兴趣区，自动测算感兴趣区骨密度。



图 2 | 标本放射学检查  
Figure 2 | Radiological examination of the specimen



图 3 | 干骺端分区检测骨密度  
Figure 3 | Detection of bone mineral density in metaphysis

1.5.2 力学测试 自制力学试验机压头接于电子万能试验机，钢托固定后的模型置于试验机加载盘中，压头垂直放置于模型骨折部位的中央或正常标本相对模型的骨折部位中央，见图 4。以 100 N 载荷预压缩后，电子万能试验机调整位移速度为 0.5 mm/min，位移 12 mm，对标本进行力学测试。记录压力、位移数据，绘制压力-位移曲线，曲线中间的线型部分用来反映骨折部位的刚度。频率为 15 Hz，记录 350 N 载荷下的位移，并计算其刚度；记录位移 3 mm 时的载荷并计算其刚度；记录 12 mm 位移内的最大载荷以及最大载荷对应的位移。



图 4 | 力学测试示意图  
Figure 4 | Mechanical test

1.6 统计学分析 数据采用 SPSS 19.0 统计软件包进行统计学处理与分析。对数据进行正态性检验和方差齐性检验，在两组数据比较中，若符合正态分布且方差齐，采用单因素方差分析；在单因素方差分析中若组间有差异，则进一步行多个样本均数的两两比较，采用 LSD-t 检验；若方差不齐，采用 Dunnett-t 检验；若不符合正态分布，采用非参数秩和检验。计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示，所有检验中， $P < 0.05$  认为差异有显

著性意义。

2 结果 Results

2.1 一般情况 32 例标本通过自凝牙托粉与牙托水混合反应后的产物牢固的固定于自制钢托中，生物力学测试前后无松动。

4 组标本的压力-位移曲线见图 5。

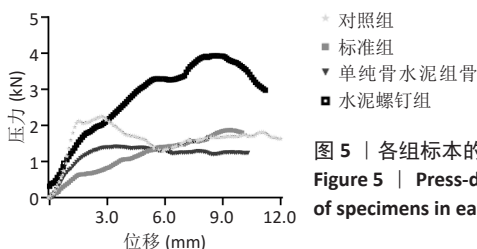


图 5 | 各组标本的压力-位移曲线  
Figure 5 | Press-displacement curves of specimens in each group

标准组与骨水泥螺钉组在力学测试中，随着压头的移动，拉力螺钉近端出现向远端移位，见图 6，相应的皮质骨骨折，螺钉远端无明显位移。

标准组可见部分松质骨由开窗部位溢出。单纯骨水泥组与骨水泥螺钉组力学实验后可见硫酸钙破坏，残留于骨折面，见图 7；影像学检查可见螺钉移位，CSC 破坏，见图 8。

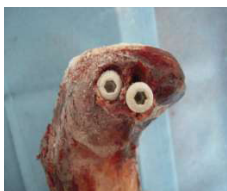


图 6 | 拉力螺钉近端出现向远端移位  
Figure 6 | Lag screws moved from proximal end to distal end



图 7 | 硫酸钙骨水泥破坏  
Figure 7 | Calcium phosphate destroyed cement destruction

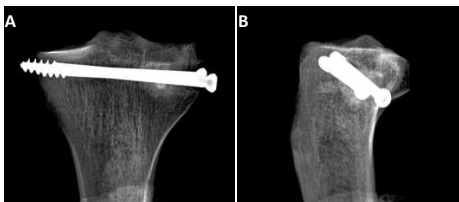


图 8 | 力学测试后的 X 射线片检查  
Figure 8 | X-ray examination undergoing mechanical test

图注：图 A 为 X 射线正位片，可见螺钉移位；B 为 X 射线侧位片，可见骨质破坏

2.2 标本骨密度 4 组标本的胫骨外侧平台干骺端骨密度相比，差异无显著性意义 ( $P > 0.05$ )，见表 1。

表 1 | 各组标本的胫骨外侧平台干骺端骨密度比较 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=8$ ,  $g/cm^2$ )  
Table 1 | Comparison of the bone mineral density of the metaphysis of the lateral tibial plateau of specimens of each group

组别	骨密度
对照组	1.087±0.295
标准组	1.076±0.273
单纯骨水泥组	1.106±0.256
骨水泥螺钉组	1.091±0.302

2.3 在 350 N 载荷下的位移 350 N 载荷下，各组间位移比较：对照组 < 骨水泥螺钉组 < 单纯骨水泥组 < 标准组，差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ )；各组间刚度比较：对照组 > 骨水泥螺钉组 > 单纯骨水泥组 > 标准组，差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ )，见表 2。

表 2 | 各组标本在 350 N 载荷下的位移和刚度比较 ( $\bar{x} \pm s, n=8$ )

Table 2 | Comparison of displacement and stiffness of specimens in each group under 350 N

组别	位移 (mm)	刚度 (N/mm)
对照组	0.101±0.011	3 621±386
标准组	0.769±0.085	534±56
单纯骨水泥组	0.389±0.047	1 053±115
骨水泥螺钉组	0.230±0.049	1 492±374
P 值	< 0.05	< 0.05

2.4 在 3 mm 位移下的载荷 位移 3 mm 时, 各组间载荷比较: 骨水泥螺钉组 > 对照组 > 单纯骨水泥组 > 标准组, 差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ ); 各组间刚度比较: 对照组 > 骨水泥螺钉组 > 单纯骨水泥组 > 标准组, 差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 3。

表 3 | 各组标本在 3 mm 位移时的载荷与刚度比较 ( $\bar{x} \pm s, n=8$ )

Table 3 | Comparison of load and stiffness of specimens in each group at 3 mm displacement

组别	载荷 (N)	刚度 (N/mm)
对照组	2 110±191	3 387±264
标准组	1 001±131	436±44
单纯骨水泥组	1 310±169	837±56
骨水泥螺钉组	2 378±213	1 293±71
P 值	< 0.05	< 0.05

2.5 最大载荷 12 mm 位移内, 各组间最大载荷比较: 骨水泥螺钉组 > 对照组 > 标准组 > 单纯骨水泥组, 差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ ); 各组间位移比较: 骨水泥螺钉组 > 标准组 > 单纯骨水泥组 > 对照组, 其中对照组与单纯骨水泥组比较差异无显著性意义 ( $P=0.301$ ); 标准组与骨水泥螺钉组比较差异无显著性意义 ( $P=0.374$ ); 其余各组间比较差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 4。

表 4 | 各组标本在 12 mm 位移内的最大载荷与位移比较 ( $\bar{x} \pm s, n=8$ )

Table 4 | Comparison of maximum load and displacement of specimens in each group within 12 mm displacement

组别	最大载荷 (N)	位移 (mm)
对照组	2 302±175	2.611±0.102
标准组	1 839±293	9.395±0.763
单纯骨水泥组	1 363±165	3.145±0.708
骨水泥螺钉组	3 707±145	10.191±0.934
P 值	< 0.05	< 0.05

### 3 讨论 Discussion

随着现代骨科的发展, 骨折的治疗概念不断更新。解剖复位、坚强内固定为主的治疗方式逐步发展和延续为生物学固定概念, 微创技术即是生物学固定概念的核心部分<sup>[12]</sup>。胫骨平台常见的塌陷骨折多为 Schatzker II 型与 Schatzker III 型胫骨平台骨折, 属于关节内骨折, 其治疗方式仍需达到关节面解剖复位及关节内骨折块的坚强固定, 通过植骨或支撑获得干骺端重建<sup>[13-14]</sup>。

目前已有一些研究显示关节镜辅助下球囊成形术对胫骨平台骨折患者的早期功能恢复效果良好<sup>[15]</sup>。作者使用新鲜人体标本将球囊扩张技术应用于胫骨平台塌陷骨折的复位, 评估球囊扩张复位胫骨平台塌陷骨折的可能性及其优劣, 同时

联合可注射式 CSC 填充固定复位骨折块, 对不同微创内固定方法的生物力学进行测试。

BERIS 等<sup>[16]</sup>发现 20 kg/cm<sup>2</sup> 已是正常步态下膝关节的最大负荷, 此次课题应用 15 mm 直径压头作用于骨折内固定术后的胫骨平台, 以 20 kg/cm<sup>2</sup> 负荷标准计算采用 350 N 载荷下的骨折位移。BROWN 等<sup>[17]</sup>在劈裂骨折的实验模型中发现, 当关节面出现 1.5 mm 台阶时, 关节内接触部位压力明显改变, 当台阶大于 3 mm 以上时, 压力明显增高。BENNETT 等<sup>[18]</sup>认为当关节面塌陷或移位超过 5 mm 或轴向对线不良超过 5° 就有手术指征; 有动物实验也表明当关节面错位超过关节软骨的厚度 (2-5 mm) 就会发生继发骨关节炎<sup>[19-20]</sup>。HOKONEN<sup>[21]</sup>通过对 131 例胫骨平台骨折平均 7.6 年随访总结出胫骨平台骨折的手术指征, 关节面塌陷 > 3 mm 为其手术指征之一。随着现代外科技术的发展以及人们对生活质量要求的提高, 对骨折复位的要求也越来越高, 因此作者选取 3 mm 作为固定失败的临界值。

此次研究, 观察对照组 8 例新鲜上段胫骨标本外侧平台中央的受力特点, 其刚度明显高于其余骨折复位固定术后的标本。各实验组在 350 N 载荷作用下, 位移均低于 1.5 mm, 但标准组位移明显高于单纯骨水泥组和骨水泥螺钉组, 表明对于术后的承重, 骨水泥填充以及骨水泥联合螺钉固定的效果优于传统自体松质骨植骨螺钉内固定; 350 N 作用下固定的刚度骨水泥联合螺钉最高, 单纯骨水泥组亦高于标准组; 而压力下骨折移位越小, 在临床病例中越能加速骨折愈合<sup>[22]</sup>。

对照组新鲜胫骨上段标本最大载荷在 2.6 mm 位移左右, 其后其抗压缩能力明显下降, 说明胫骨平台其支撑力主要来自软骨下骨, 达到一定位移后软骨下骨骨折, 主要由松质骨承重, 抗压缩能力下降。单纯骨水泥组最大载荷出现在 3.1 mm 位移左右, 与对照组相比差异无显著性意义, 但从压力-位移曲线上分析, 在最大载荷后对照组抗压缩能力下降快于单纯骨水泥组, 表明固化后的 CSC 或 CSC 与松质骨结合的抗压缩能力高于自体松质骨植骨。既往研究中认为, 固化后的 CSC 强度与松质骨相当, 并具有一定成骨能力。通过撬拨复位后, 骨折块下形成不规则的缺损区, 松质骨颗粒填充很难填充到每个角落, 造成骨折块下填充不均匀, 再次塌陷的概率增大, 这也是异体骨移植以及其他类型预先成型的骨替代材料具有的不足。可注射骨水泥可以弥补自体或异体骨移植等预成型材料这方面的不足, 不仅能在干骺端均匀弥散填充空隙, 而且能更加均匀地支撑骨折块, 有利于抗压和骨折的愈合<sup>[23-24]</sup>。

CSC 的可注射性使其更适用于包壳完整的骨缺损。在球囊扩张复位的两组中, 骨水泥通过 3 mm 孔道注入复位后的软骨下空腔, 且孔道平行于胫骨平台, 不受其剪切力影响<sup>[23]</sup>。开窗撬拨复位螺钉内固定组采用开窗复位植骨, 植骨成斜行方向, 轴向压力在开窗部位对松质骨形成剪切力, 导致松质骨由薄弱的开窗部位溢出, 引起抗压能力进一步下降<sup>[25]</sup>; 而在以往力学研究中, 其中一种失败就是松质骨或骨水泥材料由侧方所开窗口中溢出。VENDEUVRE 等<sup>[26]</sup>比较了微创球囊技术与植骨术的生物力学特点, 认为前者对骨储备负面影响

较少,使得骨折后的结构强度更好,临床报道也显示其具有优势。此次实验结果中,在 350 N 作用力下单纯骨水泥组骨折块的位移以及刚度都优于开窗撬拨复位螺钉内固定组,在 3 mm 位移下单纯骨水泥组骨折块的抗压能力以及刚度均优于标准组,也表明单纯骨水泥组即刻的固定效果优于开窗撬拨复位螺钉内固定组。

Schatzker II 型与 III 型胫骨平台骨折多发生于老年人, KRAUSE 等<sup>[27]</sup>通过 pQCT 研究发现老年骨质疏松患者的胫骨平台骨微结构恶化具有区域特异性,对于老年人特别是微创非钢板方式处理的胫骨平台骨折,仍需给予加强<sup>[28]</sup>。因此,此次实验其中一组为 CSC 填充联合螺钉固定,一方面以期为存在骨质疏松的胫骨塌陷骨折提供坚强的内固定,另一方面以实现在硫酸钙被吸收过程中强度可能下降情况下,继续依靠螺钉为骨折块提供支撑。使用螺钉的 2 个固定方式组在压力下位移过程中,通过螺钉可作用于原空腔外的松质骨以及两侧皮质骨,表现出更好的抗压效果,这也是引起螺钉松动下沉的原因。在螺钉开始移位下沉附近,压力-位移曲线斜率变小,提示抗压能力发生变化。生物力学实验中,骨水泥螺钉组的最大载荷及其位移明显优于植骨螺钉组,这可能因为骨水泥螺钉组通过螺钉与骨水泥团块的结合起双重抗压作用,比单纯螺钉具有更好的抗压效果;力学实验中,骨水泥螺钉组在人体正常步态负荷的 350 N 载荷下,其骨折块位移最小刚度最大;在骨折块 3 mm 位移时,其抗压能力接近正常胫骨平台,明显高于其他实验组,这表明骨水泥螺钉组能够提供比其他复位内固定更好的支撑力及更高的稳定性,具有临床意义;而螺钉组达到最大载荷时,位移在 10 mm 左右,其最大载荷在统计学上有意义,但已无临床意义。

综上所述,经皮球囊扩张复位胫骨平台塌陷骨折具有可行性, CSC 治疗胫骨平台塌陷骨折具有良好的填充能力,其联合螺钉固定的方式能够提供比其他复位内固定更好的支撑力及更高的稳定性。球囊扩张复位可注射 CSC 填充治疗胫骨平台塌陷骨折具有良好的临床应用价值。

致谢:感谢我的导师丁晶老师,永远怀念!

作者贡献:陈金民、陈穗生负责试验设计,陈金民、夏暴权、罗晓嘉、卢成海负责试验实施,陈穗生负责评估,陈金民成文。

经费支持:该文章接受了“广东省医学科学技术研究基金项目(A2018100)”的基金资助。所有作者声明,经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突:文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程,不存在利益冲突。

机构伦理问题:实验过程遵循了本地及国家法规,实验方案得到广州市白云区第一人民医院(白云区妇幼保健院)的伦理批准。

写作指南:该研究遵守国际医学期刊编辑委员会《学术研究实验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。

文章查重:文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审:文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明:文章统计学方法已经昆明医科大学学校生物统计学专家审核。

文章版权:文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明:这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容进行编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

## 4 参考文献 References

- [1] RUTH JT. Fractures of the tibial plateau. *Am J Knee Surg.* 2001;14(2):125-128.
- [2] WEIGEL DP, MARSH JL. High-energy fractures of the tibial plateau Knee function after longer follow-up. *Boneurg Am.* 2002;84:1541-1551.
- [3] 程永刚,蔡执中,黄伟,等. 胫骨平台骨折术后关节面塌陷的相关因素分析 [J]. *浙江创伤外科*,2020,25(1):14-16.
- [4] SIMPSON D, KEATING JF. Outcome of tibial plateau fractures managed with calcium phosphate cement. *Injury.* 2004;35(9):913-918.
- [5] YOUNGER EM, CHAPMAN MW. Morbidity at bone graft donor sites. *J Orthop Trauma.* 1989;3(3):192-195.
- [6] PELTIER LF. The use of plaster of Paris to fill large defects in bone: a preliminary report. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;382:3-5.
- [7] TURNER TM, URBAN RM, GITELIS S, et al. Resorption evaluation of a large bolus of calcium sulfate in a canine medullary defect. *Orthopedics.* 2003; 26(5 Suppl):s577-s579.
- [8] WATSON JT. The use of an injectable bone graft substitute in tibial metaphyseal fractures. *Orthopedics.* 2004;27(1 Suppl):s103-s107.
- [9] 王栋,潘子翔,姜文学. 胫骨平台球囊成形术的临床研究进展 [J]. *实用骨科杂志*,2020,26(8):716-720.
- [10] LIEBERMAN IH, DUDENEY S, REINHARDT MK, et al. Initial outcome and efficacy of “kyphoplasty” in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine.* 2001;26:1631-1638.
- [11] 陈金民,陈穗生,丁晶,等. 球囊扩张可注射硫酸钙骨水泥填充治疗胫骨平台塌陷骨折的可行性 [J]. *中国组织工程研究*,2018,22(18):2795-2799.
- [12] 张勇,杨林. 关节镜辅助下经前外侧入路内固定治疗胫骨平台后外侧塌陷骨折 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*,2021,36(2):189-191.
- [13] KFURI M, SCHATZKER J. Revisiting the Schatzker classification of tibial plateau fractures. *Injury.* 2018;49(12):2252-2263.
- [14] MILLAR SC, ARNOLD JB, THEWLIS D, et al. A systematic literature review of tibial plateau fractures: What classifications are used and how reliable and useful are they? *Injury.* 2018;49(3):473-490.
- [15] 单贤贞,周友龙,王银海,等. 关节镜辅助下球囊成形术在胫骨平台骨折患者中的应用效果及对肢体功能的影响研究 [J]. *中国内镜杂志*,2018, 24(5):58-62.
- [16] BERIS AE, SOUCACOS PN, GLISSON RR, et al. Load tolerance of tibial plateau depressions reinforced with a cluster of K-wires. *Bull Hosp Jt Dis.* 1996;55:12-15.
- [17] BROWN TD, ANDERSON DD, NEPOLA JV, et al. Contact stress aberrations following imprecise reduction of simple tibial plateau fractures. *J Orthop Res.* 1988;6(6):851-862.
- [18] BENNETT WF, BROWNER B. Tibial plateau fractures: a study of associated soft tissue injuries. *J Orthop Trauma.* 1994;8(3):183-188.
- [19] LLINAS A, MCKELLOP HA, MARSHALL GJ, et al. Healing and remodeling of articular incongruities in a rabbit fracture model. *J Bone Joint Surg Am.* 1993; 75(10):1508-1523.
- [20] LEFKOE TP, TRAFTON PG, EHRLICH MG, et al. An experimental model of femoral condylar defect leading to osteoarthritis. *J Orthop Trauma.* 1993;7(5):458-467.
- [21] HONKONEN SE. Indications for surgical treatment of tibial condyle fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;302:199-205.
- [22] LACHIEWICZ PF, FUNCIK T. Factors influencing the results of open reduction and internal fixation of tibial plateau fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1990; 259:210-215.
- [23] YEO QY, KEE KE. Use of a biphasic cement bone substitute in the management of metaphyseal fractures. *J Clin Orthop Trauma.* 2019;10(4):789-791.
- [24] LIANG J, ZHANG Q, LIU P, et al. Arthroscopic-assisted inflatable bone tamp reduction for treatment of posterolateral tibial plateau fractures. *Injury.* 2018; 49(11):2061-2067.
- [25] WANG JQ, JIANG BJ, GUO WJ, et al. Arthroscopic-assisted balloon tibioplasty versus open reduction internal fixation (ORIF) for treatment of Schatzker II-IV tibial plateau fractures: study protocol of a randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2018;8(8):e21667.
- [26] VENDEUVRE T, GRUNBERG M, GERMANEAU A, et al. Contribution of minimally invasive bone augmentation to primary stabilization of the osteosynthesis of Schatzker type II tibial plateau fractures: Balloon vs bone tamp. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2018;59:27-33.
- [27] KRAUSE M, HUBERT J, DEYMANN S, et al. Bone microarchitecture of the tibial plateau in skeletal health and osteoporosis. *Knee.* 2018;25(4):559-567.
- [28] HE QF, SUN H, SHU LY, et al. Tibial plateau fractures in elderly people: an institutional retrospective study. *J Orthop Surg Res.* 2018;13(1):276.

(责任编辑: GD, ZN, ZH)