

# 仿生空心螺钉与传统空心螺钉固定股骨颈骨折的生物力学对比研究

杨延江<sup>1,2,3</sup> 程晓东<sup>1,2,3</sup> 王忠正<sup>1,2,3</sup> 李泳龙<sup>1,2,3</sup> 丁凯<sup>1,2,3</sup> 崔蕴威<sup>1,2,3,4</sup>

**【摘要】** 目的 比较仿生空心螺钉与传统空心螺钉固定股骨颈骨折的生物力学性能。方法 取10具新鲜冷冻成人股骨标本,随机分为实验组(仿生空心螺钉固定)和对照组(传统空心螺钉固定),每组5具。建立完整股骨固定模型测试后,于同一标本制备Pauwels III型股骨颈骨折模型。于600 N轴向载荷下测量整体位移、股骨颈区域平均应变及骨折线周围分区应变。结果 完整股骨固定模型下,实验组前、后侧整体位移均大于对照组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),两组股骨颈区域平均应变差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。骨折模型下,两组整体位移、平均应变及分区应变差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。结论 仿生空心螺钉固定Pauwels III型股骨颈骨折可提供初始稳定性,为后期骨整合提供有利的力学环境。

**【关键词】** 股骨颈骨折; 仿生空心螺钉; 空心螺钉; 生物力学; 初始稳定性

**A comparative biomechanical study of bionic cannulated screws versus conventional cannulated screws for femoral neck fracture fixation** Yang Yanjiang<sup>1,2,3</sup>, Cheng Xiaodong<sup>1,2,3</sup>, Wang Zhongzheng<sup>1,2,3</sup>, Li Yonglong<sup>1,2,3</sup>, Ding Kai<sup>1,2,3</sup>, Cui Yunwei<sup>1,2,3,4</sup> Third Hospital of Hebei Medical University, <sup>2</sup>Orthopaedic Research Institute of Hebei Province, <sup>3</sup>Key Laboratory of Biomechanics of Hebei Province, <sup>4</sup>Science and Technology Achievement Transformation Center of the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China

Corresponding Author: Cui Yunwei, Email: m18830168862@163.com

**【Abstract】** **Objective** To compare the biomechanical properties of bionic cannulated screws and conventional cannulated screws for the fixation of femoral neck fractures. **Methods** Ten fresh-frozen adult femoral specimens were randomly assigned into an experimental group and a control group, with 5 specimens in each group. The experimental group was fixed with bionic cannulated screws, and the control group with conventional cannulated screws. An intact femur fixation model was first established, followed by a Pauwels type III femoral neck fracture model in the same specimen. Under an axial load of 600 N, overall displacement, mean strain in the femoral neck region, and regional strain around the fracture line were measured. **Results** In the intact femur fixation model, the overall displacement on both the anterior and posterior sides was significantly greater in the experimental group than in the control group ( $P < 0.05$ ), whereas no significant difference was found in the mean strain of the femoral neck region between the two groups ( $P > 0.05$ ). In the fracture model, no significant differences were observed between the two groups in overall displacement, mean strain, or regional strain ( $P > 0.05$ ). **Conclusions** Bionic cannulated screws fixation for Pauwels type III femoral neck fractures can provide initial stability and create a favorable mechanical environment for subsequent osseointegration.

**【Key words】** Femoral neck fracture; Bionic cannulated screw; Cannulated screw; Biomechanics; Initial stability

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-0263.2026.02.006

基金项目:河北省重点研发计划项目卫生健康创新专项(22377770D)

作者单位:050051 石家庄,河北医科大学第三医院创伤急救中心<sup>1</sup>,河北省骨科研究所<sup>2</sup>,河北省骨科生物力学重点实验室<sup>3</sup>,河北医科大学第三医院科技成果转化中心<sup>4</sup>

通信作者:崔蕴威,Email:m18830168862@163.com

股骨颈骨折术后股骨头缺血性坏死率和骨折不愈合率分别可达40%和20%，严重影响患者生活质量<sup>[1-3]</sup>。股骨颈内部骨小梁呈压力与张力系统分布，是承载和传导负荷的重要结构<sup>[4-6]</sup>。在骨质疏松状态下，骨小梁结构稀疏造成抗剪切力下降，增加了股骨颈骨折风险，同时内固定失败风险升高<sup>[7]</sup>。

股骨颈骨折的治疗方式主要包括内固定和髋关节置换。年轻患者多以保髋治疗为主，即空心螺钉固定<sup>[8-9]</sup>。然而，传统空心螺钉虽可提供初始稳定性，但后期仍存在退钉、断钉及骨折不愈合等风险，临床疗效仍有待提高<sup>[10]</sup>。尤其在骨质疏松或不稳定型骨折中，传统空心螺钉难以适应骨折愈合过程中的动态力学变化需求<sup>[11-13]</sup>。

传统空心螺钉术后并发症常和骨金属界面微动及应力遮挡密切相关<sup>[14-15]</sup>。骨折愈合早期阶段，一般由内植物承载主要载荷，金属周围骨质异常吸收和重塑。随着愈合进展，骨与金属间的微动则易导致固定失效并增加再骨折风险<sup>[16]</sup>。因此，在保证初始固定强度的基础上，改善骨与金属界面力学环境加速骨整合，已成为股骨颈骨折内固定优化的热点。

仿生空心螺钉是在传统空心螺钉基础上引入仿生结构和骨整合理念的新型内固定装置。仿生孔结构降低了金属等效模量，使其更接近骨组织，从而增强骨传导和骨长入能力。骨与金属界面由机械固定向生物固定转变，从而改善内植物稳定性及应力分布<sup>[17]</sup>。既往研究显示仿生孔结构有助于降低界面微动、提高应力分散效率<sup>[18]</sup>。但仿生孔结构也可能对螺钉刚度和疲劳性能产生不利影响，仍需进一步研究验证<sup>[19]</sup>。

本研究建立Pauwels III型股骨颈骨折模型，对比仿生空心螺钉与传统空心螺钉固定后的生物力学差异，为内植物设计及临床应用提供实验依据。

## 材料与方法

### 一、一般资料

本研究方案经河北医科大学第三医院伦理委员会批准(伦理批准号:W2024-034-1)。选取10具新鲜冷冻成人股骨标本，术前经影像学检查排除骨肿瘤、明显骨质疏松、骨畸形及既往骨折等影响因素。所有标本均于-20℃保存，试验前24h置于4℃恒温箱中解冻，并以生理盐水浸润纱布包裹保持湿润。

对照组采用传统空心螺钉(直径6.5 mm，螺距

3.5 mm，材质Ti-6Al-4V ELI)，实验组采用仿生空心螺钉(直径6.5 mm，螺距3.5 mm，仿生孔孔径2 mm×2 mm)(图1)。应用ElectroForce® 3520-AT生物力学试验机(美国BOSE公司)及全场三维应变测量系统(德国GOM公司)进行生物力学分析。

### 二、分组与模型建立

将10具股骨标本按随机数字表法分为实验组和对照组，每组5具。首先于完整股骨标本分别植入仿生空心螺钉或传统空心螺钉，建立完整股骨固定模型(图2A、B)；完成首次力学测试后，于同一标本采用摆锯制备Pauwels III型股骨颈骨折模型(图2C、D)，骨折线与水平面夹角>70°，所有标本均采用3枚平行空心螺钉正三角构型固定，末端距股骨头软骨下骨约5 mm，所有置钉操作均由同一名高年资骨科医师完成。测试前对标本表面进行打磨、脱脂并喷涂散斑，以满足应变测量要求。将股骨远端按7°内倾角固定于夹具中央凹槽内，采用自凝牙托材料包埋固定，并安装于生物力学试验平台。于股骨头与加载端之间建立匹配支撑结构，以模拟髋部受力状态并保证测试稳定性。

### 三、生物力学测试

加载前先施加200 N预载荷并维持2 min，以消除装置间隙及残余弹性形变，随后以5 N/s速率加载至600 N并维持2 min(模拟站立时部分体重载荷)。加载过程中采用全场三维应变测量系统同步记录标本整体位移及局部应变变化。

### 四、观察指标

在600 N载荷下记录标本整体位移及股骨颈区域应变分布。完整股骨固定模型于股骨颈设定测量区域，记录平均应变值(图2E)；骨折模型在此基础上，于骨折线近、远侧分别划定4个局部区域(Part-1~4)，记录各区域平均应变值(图2F)。

### 五、统计学方法

采用GraphPad Prism 8统计软件(Graphpad公



图1 传统空心螺钉和新型仿生空心螺钉对比

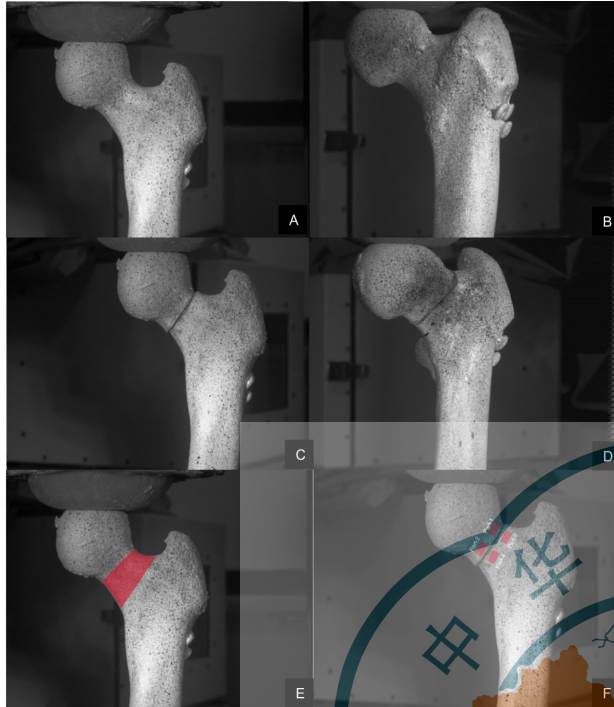


图2 (A)传统空心螺钉固定模拟愈合期;(B)仿生空心螺钉固定模拟愈合期;(C)Pauwels III型股骨颈骨折期传统空心螺钉固定模拟;(D)Pauwels III型股骨颈骨折期仿生空心螺钉固定模拟。(E)骨折愈合期应变测量区域。(F)骨折期应变测量区域(Part-1至Part-4)

司,美国)进行分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。采用 Shapiro-Wilk 检验评估正态性, Levene 检验评估方差齐性。组间比较采用独立样本  $t$  检验, 组内不同状态比较采用配对  $t$  检验。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结果

### 一、垂直压缩试验中两组股骨近端整体位移比较

表1示两组在完整股骨固定模型与骨折模型下的整体位移比较结果。

在完整股骨固定模型下, 仿生空心螺钉组前侧面和后侧面平均位移分别为  $(0.96 \pm 0.32)$  mm 和

$(0.77 \pm 0.32)$  mm, 传统空心螺钉组分别为  $(0.57 \pm 0.21)$  mm 和  $(0.40 \pm 0.17)$  mm, 差异均有统计学意义(前侧面:  $P = 0.030$ ; 后侧面:  $P = 0.031$ )。位移云图显示, 传统空心螺钉组最大位移主要集中于股骨头区域(图3A、3B), 仿生空心螺钉组高位移区域分布于股骨头及股骨近端, 范围相对更广(图3C、3D)。

在骨折模型下, 传统空心螺钉组前侧面和后侧面平均位移分别为  $(0.98 \pm 0.41)$  mm 和  $(0.91 \pm 0.39)$  mm, 仿生空心螺钉组分别为  $(1.14 \pm 0.54)$  mm 和  $(1.16 \pm 0.61)$  mm, 组间差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。位移云图显示, 两组高位移区域均主要集中于股骨头区域, 分布范围相近(图4)。

### 二、垂直压缩试验中两组股骨颈区域应变比较

两组在完整股骨固定模型下股骨颈区域应变比较结果(表2)。传统空心螺钉组前侧面和后侧面应变分别为  $(759.45 \pm 312.52) \mu\text{m}/\text{m}$  和  $(732.43 \pm 364.55) \mu\text{m}/\text{m}$ , 仿生空心螺钉组分别为  $(833.43 \pm 389.45) \mu\text{m}/\text{m}$  和  $(809.08 \pm 386.31) \mu\text{m}/\text{m}$ , 组间差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。应变云图显示, 两组股骨颈区域应变分布总体较均匀, 高应变区主要位于股骨颈及股骨头区域, 低应变区主要位于股骨干区域(图5)。在骨折模型下, 传统空心螺钉组前侧面和后侧面应变分别为  $(1\ 006.35 \pm 475.34) \mu\text{m}/\text{m}$  和  $(943.44 \pm 369.49) \mu\text{m}/\text{m}$ , 仿生空心螺钉组分别为  $(1\ 025.37 \pm 436.66) \mu\text{m}/\text{m}$  和  $(990.26 \pm 394.33) \mu\text{m}/\text{m}$ , 组间差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。应变云图显示, 两组高应变区均主要位于骨折线邻近区域, 尤其集中于骨折线股骨头侧(图6)。

### 三、骨折模型下股骨颈分区应变比较

表3示两组在骨折模型下股骨颈分区应变比较结果。前侧面中, 传统空心螺钉组区域1和区域2应变分别为  $(1\ 272.90 \pm 644.87) \mu\text{m}/\text{m}$  和  $(1\ 336.95 \pm 602.43) \mu\text{m}/\text{m}$ , 均高于区域3和区域4的  $(486.72 \pm 253.66) \mu\text{m}/\text{m}$  和  $(233.50 \pm 116.55) \mu\text{m}/\text{m}$ ; 仿生空心螺钉组亦呈相同趋势, 区域1和区域2应变分别为  $(1$

表1 传统与仿生空心螺钉在愈合及骨折状态下不同侧面整体位移的生物力学比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	愈合状态		骨折状态	
		前侧面(mm)	后侧面(mm)	前侧面(mm)	后侧面(mm)
传统空心螺钉组	5	0.57±0.21	0.40±0.17	0.98±0.41	0.91±0.39
仿生空心螺钉组	5	0.96±0.32	0.77±0.32	1.14±0.54	1.16±0.61
$t$ 值		2.527	2.508	0.560	0.158
$P$ 值		0.030	0.031	0.588	0.878

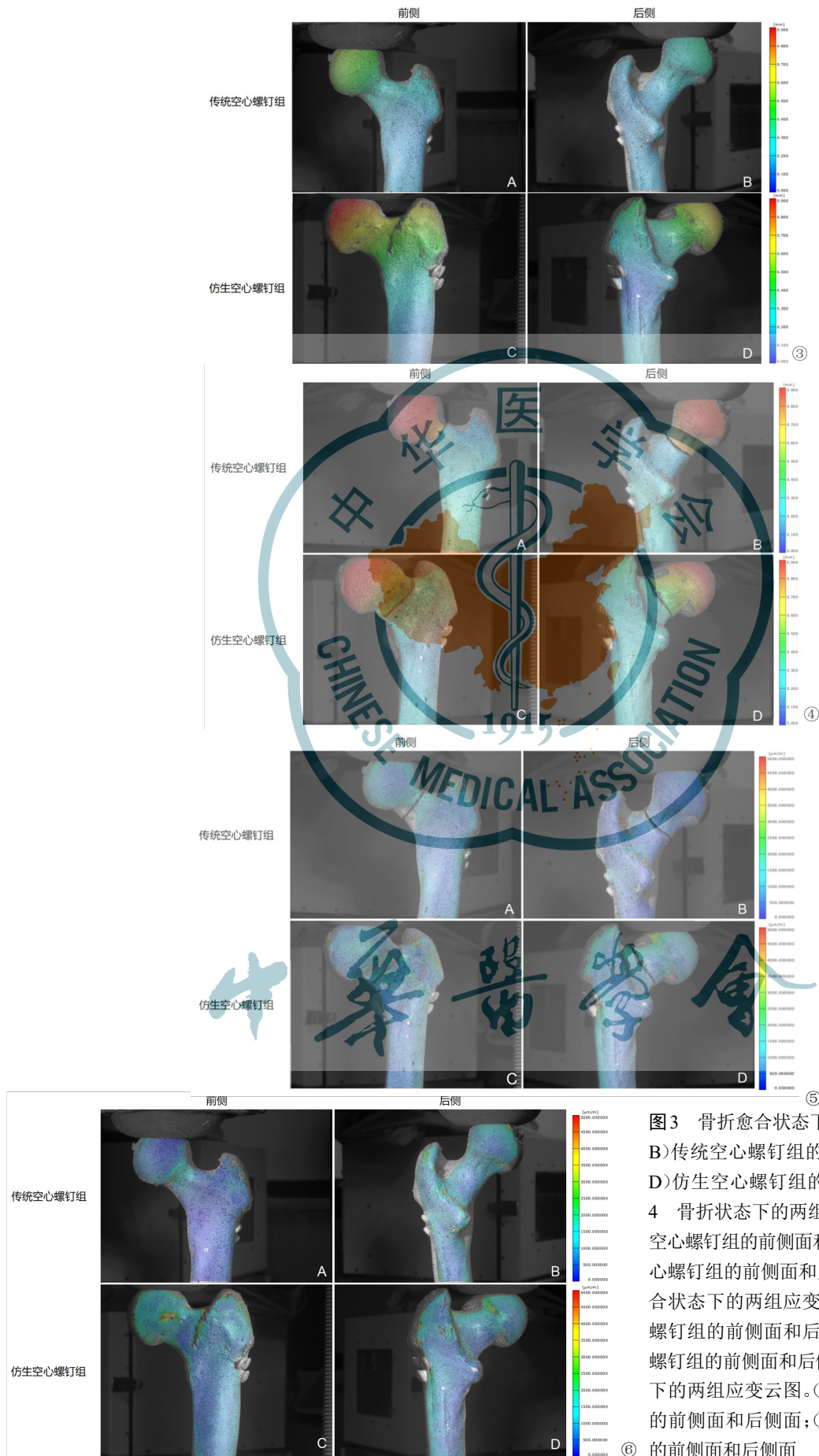


图3 骨折愈合状态下的两组位移云图。(A, B)传统空心螺钉组的前侧面和后侧面;(C, D)仿生空心螺钉组的前侧面和后侧面 图4 骨折状态下的两组位移云图。(A, B)传统空心螺钉组的前侧面和后侧面;(C, D)仿生空心螺钉组的前侧面和后侧面 图5 骨折愈合状态下的两组应变云图。(A, B)传统空心螺钉组的前侧面和后侧面;(C, D)仿生空心螺钉组的前侧面和后侧面 图6 骨折状态下的两组应变云图。(A, B)传统空心螺钉组的前侧面和后侧面;(C, D)仿生空心螺钉组的前侧面和后侧面

表2 传统与仿生空心螺钉在愈合及骨折状态下不同侧面股骨颈区域应变的生物力学比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	愈合状态( $\mu\text{m}/\text{m}$ )		骨折状态( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	
		前侧面	后侧面	前侧面	后侧面
传统空心螺钉组	5	759.45 $\pm$ 312.52	732.43 $\pm$ 364.55	1 006.35 $\pm$ 475.34	943.44 $\pm$ 369.49
仿生空心螺钉组	5	833.43 $\pm$ 389.45	809.08 $\pm$ 386.31	1 025.37 $\pm$ 436.66	990.26 $\pm$ 394.33
<i>t</i> 值		0.363	0.354	0.074	1.356
<i>P</i> 值		0.724	0.731	0.943	0.212

表3 传统空心螺钉与仿生空心螺钉在骨折状态下股骨颈不同区域前后侧面应变的定量比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	前侧面( $\mu\text{m}/\text{m}$ )			
		区域1	区域2	区域3	区域4
传统空心螺钉组	5	1272.90 $\pm$ 644.87	1336.95 $\pm$ 602.43	486.72 $\pm$ 253.66	233.50 $\pm$ 116.55
仿生空心螺钉组	5	1317.23 $\pm$ 671.63	1407.51 $\pm$ 528.85	690.71 $\pm$ 355.98	372.84 $\pm$ 184.01
<i>t</i> 值		0.117	0.216	1.143	1.567
<i>P</i> 值		0.909	0.834	0.280	0.148

组别	例数	后侧面( $\mu\text{m}/\text{m}$ )			
		区域1	区域2	区域3	区域4
传统空心螺钉组	5	612.03 $\pm$ 339.25	505.06 $\pm$ 260.24	471.82 $\pm$ 218.52	285.43 $\pm$ 134.77
仿生空心螺钉组	5	726.67 $\pm$ 328.34	573.34 $\pm$ 282.84	437.20 $\pm$ 202.39	200.46 $\pm$ 100.61
<i>t</i> 值		0.595	0.435	0.285	1.238
<i>P</i> 值		0.565	0.673	0.782	0.244

317.23 $\pm$ 671.63) $\mu\text{m}/\text{m}$ 和(1 407.51 $\pm$ 528.85) $\mu\text{m}/\text{m}$ , 高于区域3和区域4的(690.71 $\pm$ 355.98) $\mu\text{m}/\text{m}$ 和(372.84 $\pm$ 184.01) $\mu\text{m}/\text{m}$ 。后侧面两组应变整体低于前侧面,且同样表现为股骨头侧区域(区域1、2)高于股骨粗隆侧区域(区域3、4)。尽管仿生空心螺钉组部分区域应变数值高于传统空心螺钉组,但对应区域间比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。

## 讨论

### 一、主要研究结果

本研究显示,在完整股骨固定模型下,仿生空心螺钉组整体位移高于传统空心螺钉组,而股骨颈区域平均应变差异无统计学意义。在骨折模型下,两组整体位移、总体应变及分区应变差异均无统计学意义。仿生孔的减材操作,一定程度上降低了螺钉整体刚度,但并未明显削弱螺钉固定骨折的初始稳定性。本研究中仿生孔在未获得骨长入加成的条件下,仍可维持与传统空心螺钉相近的支撑力,为其进一步骨整合提供基础<sup>[20-22]</sup>。

### 二、传统刚性强化策略与仿生设计理念的差异

既往针对固定 Pauwels III型股骨颈骨折的内固定装置的改进多体现在提高构型刚度和抗剪切能上。Cha等<sup>[21]</sup>的研究比较了不同固定方式的优劣得出结论,植入物选择与构型对固定不稳定骨折具有决定性影响。Stoffel等<sup>[22]</sup>研究进一步证实,股骨颈动力交叉钉系统(femoral neck system, FNS)在治疗 Pauwels III型股骨颈骨折中的稳定性优于传统空心螺钉。Jiang等<sup>[23]</sup>有限元研究显示,增加抗旋螺钉或内侧支撑板可显著降低内固定失效风险。本研究中仿生空心螺钉并没有通过提高螺钉整体刚度来维持骨折断端稳定性,而是通过仿生孔结构改善金属与骨接触面的力学微环境,为骨折愈合后期骨长入与骨整合提供有力条件。

### 三、仿生空心螺钉的潜在优势

传统空心螺钉主要依赖头部螺纹与骨组织形成机械锁合进行固定。而仿生空心螺钉的优势在于通过仿生孔减材减少占位效应,且降低了螺钉整体弹性模量,使其与骨组织间力学微环境得到优化,为后期骨长入提供基础。实现由单纯机械固位向机械固位与生物固定协同参与的转变。Liverani等<sup>[24]</sup>的研究表明,较高孔隙率的金属晶格结构可改善金属与

骨界面的局部应变梯度,从而使载荷传递更加平缓。有研究显示,钛合金多孔设计和表面改性是促进骨与植入物界面反应和成骨整合的基础<sup>[25]</sup>。Ma等<sup>[26]</sup>在羊股骨颈骨折模型中发现,多孔碳化硅钽涂层螺钉牺牲早期静态压缩性能,但为骨折愈合的中远期阶段提供更有利的成骨和骨整合条件。本研究通过离体股骨标本的轴向静态载荷实验证明仿生空心螺钉力学表现虽不优于传统空心螺钉,但其在骨折模型中维持了相近的初始稳定性,提示仿生孔结构并未以牺牲基本固定能力为代价。换言之,仿生空心螺钉的潜在优势不在于更硬,而在于在足够稳定的前提下更有利于后期的骨整合。

#### 四、本研究局限性及展望

本研究存在一定局限性。一,样本量较小,可能影响组间差异检出的统计效能。二,Pauwels III型股骨颈骨折固定失效与高剪切载荷相关<sup>[24,27]</sup>,本实验采用单一轴向静态加载,未能进行剪切、扭转及循环疲劳实验。三,未进行动物实验,无法评价仿生孔结构的骨长入能力。后续应结合循环、抗旋转性能测试及动物实验,对仿生空心螺钉在骨长入及远期固定效果方面进行系统评价。

#### 五、结论

仿生空心螺钉在完整股骨固定模型中表现出较高的结构顺应性,而在Pauwels III型股骨颈骨折模型中与传统空心螺钉具有相近的初始固定稳定性。其优势并不在于单纯提高刚度,而在于在不明显降低初始力学支撑能力的前提下,为改善骨与植入物界面环境及促进后期骨整合提供了可能。这一结果为仿生空心螺钉的进一步结构优化及临床转化提供了实验依据。

#### 参 考 文 献

- 1 Xia W, Zhang A, Qiu B, et al. Femoral neck fracture after femoral head necrosis: a case report and review of the literature [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2023, 24(1): 853.
- 2 张于,程亮亮,王峰,等. 2枚与3枚空心钉治疗无移位股骨颈骨折的疗效对比[J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2024, 10(05): 281-286.
- 3 单良,刘怡,于涛,等. 老年股骨颈骨折术后患者心理弹性现状及影响因素分析[J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2024, 10(05): 294-300.
- 4 Ding K, Zhu Y, Li J, et al. Age-related Changes with the Trabecular Bone of Ward's Triangle and Neck-shaft Angle in the Proximal Femur: A Radiographic Study [J]. Orthop Surg, 2023, 15(12): 3279-3287.
- 5 Yang Y, Tong Y, Cheng X, et al. Comparative study of a novel proximal femoral bionic nail and three conventional cephalomedullary

- nails for reverse obliquity intertrochanteric fractures: a finite element analysis [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2024, 12: 1393154.
- 6 Osawa Y, An Y, Nishita Y, et al. Longitudinal association between muscle and bone loss: Results of US and Japanese cohort studies [J]. J Cachexia Sarcopenia Muscle, 2024, 15(2): 746-755.
- 7 权元元,丁凯,王海程,等. 骨小梁的形态结构和生物力学性能研究进展 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2024, 10(02): 123-128.
- 8 Fu CW, Chen JY, Liu YC, et al. Dynamic Hip Screw with Trochanter-Stabilizing Plate Compared with Proximal Femoral Nail Antirotation as a Treatment for Unstable AO/OTA 31-A2 and 31-A3 Intertrochanteric Fractures [J]. Biomed Res Int, 2020, 2020: 1896935.
- 9 Alessio-Mazzola M, Traverso G, Coccarello F, et al. Dynamic hip screw versus intramedullary nailing for the treatment of A1 intertrochanteric fractures: A retrospective, comparative study and cost analysis [J]. Jt Dis Relat Surg, 2022, 33(2): 314-322.
- 10 Li K, Liu JS, Wu M, et al. Robot-assisted versus conventional free-hand hollow-screw fixation for the management of femoral neck fractures: A meta-analysis [J]. Asian J Surg, 2024, 47(11): 4878-4880.
- 11 Ang JJM, Onggo JR, Stokes CM, et al. Comparing direct anterior approach versus posterior approach or lateral approach in total hip arthroplasty: a systematic review and meta-analysis [J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2023, 33(7): 2773-2792.
- 12 Xie X, Bi S, Song Q, et al. Biomechanical evaluation of percutaneous compression plate and femoral neck system in Pauwels type III femoral neck fractures [J]. J Orthop Traumatol, 2024, 25(1): 61.
- 13 Jung CH, Cha Y, Yoon HS, et al. Mechanical effects of surgical variations in the femoral neck system on Pauwels type III femoral neck fracture : a finite element analysis [J]. Bone Joint Res, 2022, 11(2): 102-111.
- 14 Lin PP, Kang HG, Kim YI, et al. Minimally invasive surgery for femoral neck fractures using bone cement infusible hollow-perforated screw in high-risk patients with advanced cancer [J]. Surg Oncol, 2015, 24(3): 226-231.
- 15 Pei F, Zhao R, Li F, et al. Osteonecrosis of femoral head in young patients with femoral neck fracture: a retrospective study of 250 patients followed for average of 7.5 years [J]. J Orthop Surg Res, 2020, 15(1): 238.
- 16 Hegde V, Harris AB, Springer BD, et al. Cemented Stem Design in Total Hip Arthroplasty: Fixation Philosophies, Biomechanics, and an Updated Classification System [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2024, 32(12): 525-534.
- 17 Shrivastava NV, Tiwari AK, Kumar R, et al. Physiological Loading-Induced Interstitial Fluid Dynamics in Osteon of Osteogenesis Imperfecta Bone [J]. J Biomech Eng, 2021, 143(8): 081011.
- 18 Cui Y, Ding K, Lv H, et al. Biomechanical optimization of the magnesium alloy bionic cannulated screw for stabilizing femoral neck fractures: a finite element analysis [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2024, 12: 1448527.
- 19 Yao MX, Zheng JC, Wang HC, et al. Application of biphasic mineralized collagen/polycaprolactone scaffolds in the repair of large load-bearing bone defects: A study in a sheep model [J]. J Orthop Translat, 2025, 52: 138-149.
- 20 Slobogean GP, Sprague SA, Scott T, et al. Complications following young femoral neck fractures [J]. Injury, 2015, 46(3): 484-491.
- 21 Cha YH, Yoo JI, Hwang SY, et al. Biomechanical Evaluation of Internal Fixation of Pauwels Type III Femoral Neck Fractures: A Systematic Review of Various Fixation Methods [J]. Clin Orthop Surg,

- 2019, 11(1): 1-14.
- 22 Stoffel K, Zderic I, Gras F, et al. Biomechanical Evaluation of the Femoral Neck System in Unstable Pauwels III Femoral Neck Fractures: A Comparison with the Dynamic Hip Screw and Cannulated Screws [J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(3): 131-137.
- 23 Jiang X, Liang K, Du G, et al. Biomechanical evaluation of different internal fixation methods based on finite element analysis for Pauwels type III femoral neck fracture [J]. Injury, 2022, 53(10): 3115-3123.
- 24 Liverani E, Rogati G, Pagani S, et al. Mechanical interaction between additive-manufactured metal lattice structures and bone in compression: implications for stress shielding of orthopaedic implants [J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2021, 121: 104608.
- 25 Wang R, Ni S, Ma L, et al. Porous construction and surface modification of titanium-based materials for osteogenesis: A review [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2022, 10: 973297.
- 26 Ma Z, Liu R, Cao F, et al. Bone screws of porous silicon carbide coated with tantalum improve osseointegration and osteogenesis in goat femoral neck fractures [J]. Biomedical Materials, 2021, 16(5): 055013.
- 27 Wang K, Ni M, Liao P, et al. Fracture morphology and biomechanical characteristics of Pauwels III femoral neck fractures in young adults [J]. Injury, 2021, 52(11): 3227-3238.
- (收稿日期:2026-04-01)  
(本文编辑:吕红芝)

杨延江,程晓东,王忠正,等.仿生空心螺钉与传统空心螺钉固定股骨颈骨折的生物力学对比研究[J/CD].中华老年骨科与康复电子杂志,2026,12(2):99-105.

四十年积淀,卓越高效——张英泽院士骨科微创手术学习班持续招生中  
尊敬的骨科同仁们:

我们诚挚地邀请您参加由张英泽院士亲自手术示教的骨科微创手术学习班。张院士以其四十年的深厚积淀与不懈探索,原创性地提出了“骨折顺势双反牵引复位固定技术”,该技术以简洁、直接的复位操作、卓越的疗效为骨折治疗开辟了全新的微创路径。

一、张英泽院士骨折闭合复位微创固定理论与技术创新

张英泽院士一直致力于复杂骨折闭合复位微创固定技术和器械的创新与推广,原创提出了骨折顺势复位固定理论、骨折仿生固定理论、内加压固定理论、骨动态形变定律等十几项创新理论,率先发现并总结胫骨平台Hoffa骨折等新骨折类型,研发了顺势双反牵引复位器、跟骨内加压固定系统、下胫腓联合弹性仿生固定装置等系列骨折微创复位固定技术、器械和内固定物。其中,双反牵引复位器(第1代)自1978年在临床应用以来,不断完善,迄今已经发展至第9代,能够用于胫骨平台骨折、股骨远端骨折、股骨转子间骨折、肱骨近端骨折等四肢复杂骨折。

二、技术亮点

1. 技术创新:该技术利用沿着下肢轴线牵引产生的软组织挤压、牵拉实现胫骨平台骨折闭合复位,通过骨隧道顶压复位骨折块,隧道植骨、横向加压骨栓加压固定,不但能够确保增宽的骨平台恢复正常径线,而且增加了骨折块固定的牢固程度和稳定性。这一技术以双反牵引微创复位技术体系为基础,针对胫骨平台骨折、肱骨外科颈骨折、跟骨骨折、股骨转子间骨折等一系列复杂骨折进行微创治疗,开创了关节内骨折的革命性术式。

2. 微创高效:该原创技术为不切开关节囊的非直视下复位,结合微创复位工具与关节镜技术,手术全程仅需30~60 min,切口仅为传统手术的十分之一,可最大限度地减少软组织损伤,缩短手术时间与出血量,降低患者负担。

3. 卓越成效:已成功治疗关节内骨折患者逾2000例,术后感染率为零,关节功能障碍、下肢力线不理想等并发症发生率仅为0.3%。患者术后恢复迅速,生活质量显著提升。

三、已成功举办193届骨科微创手术学习班

20年来,张英泽院士带领团队已成功举办193届骨科微创手术学习班,包括跟骨骨折、髌骨骨折、髌臼骨折、骨盆骨折和胫骨平台骨折等各部位专题培训班,培养了来自全国1000余家医院(包括北京积水潭医院、上海市第六人民医院、新疆医科大学第一附属医院等)的4000余名微创骨折医生,以及德国、俄罗斯、印度、巴基斯坦、泰国等十几个国家的50余名骨科医生,受到了一致好评和广泛共鸣。部分学员持续追踪院士微创新技术,多次参加学习班。

四、学习班特色

1. 权威领衔:张英泽院士亲自授课并演示手术,分享其四十年的研究成果与临床经验。

2. 实战观摩:学员将有机会进入手术室,近距离观摩张院士的手术演示,直观感受微创技术的魅力。

3. 全面覆盖:课程涵盖胫骨平台、股骨髁上、转子间、跟骨及踝关节等各部位复杂骨折的微创治疗,满足不同层次的学习需求。

4. 影响广泛:作为河北省卫健委重点推广项目,河北130多个县市骨科医生均已通过参加学习班掌握该技术,真正实现了逐医者之卓越,造患者之福音。

五、学习班详情

学习班常年招生,每周固定时间开班。具体事项如下:

1. 时间及安排:每周一、周二两天。周一:全天报道,19:00-21:00进行骨关节解剖学、影像学和微创技术教学。周二:上午8:00-11:00手术室现场观摩张英泽院士手术,下午离会。

2. 地点:河北医科大学第三医院(河北省石家庄市桥西区自强路139号)。

3. 学员要求:骨科医师,每期限15名学员,报名时请说明参加培训时间。

4. 费用说明:免培训费及学习期间住宿费,交通费用自理;外籍学员(含1名陪同)5日内中国境内交通及食宿费用全免。

5. 报名电话:18533112570(闫老师),18533112055(李老师),18533112567(吕老师)。

我们期待与您携手并肩,共同探索骨科微创技术的无限可能,为患者带来更加安全、高效的治疗方案!