

# 下颈椎前路椎弓根螺钉内固定在三柱损伤模型中初始稳定性的生物力学研究

吴海昊, 汤涛, 庞清江, 袁欣华, 周春光  
(宁波市第二医院骨科, 浙江 宁波 315010)

**【摘要】目的:**比较下颈椎前路椎弓根螺钉内固定(ATPS)和3种传统颈椎内固定技术在下颈椎3柱损伤模型中的初始稳定性,为其临床应用提供力学依据。**方法:**采集6具人颈椎标本并测定各原始标本(原始标本组)的三维运动范围,制成三柱损伤模型,模拟钛网植骨后依次行ATPS、前路钢板固定(AP)、前路钢板+侧块螺钉固定(AP+LMS)、后路椎弓根螺钉内固定(PTPS),测量4种内固定技术下的三维运动范围,将结果标准化并进行相互比较。**结果:**ATPS组屈伸、侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值分别为(77.17±4.75)%、(82.00±2.61)%、(83.17±2.23)%,均明显小于原始标本组的100%、100%、100%( $P<0.05$ )。AP组屈伸、侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值分别为(119.67±7.42)%、(116.33±7.53)%、(112.67±5.99)%,均明显大于原始标本组( $P<0.05$ )。AP组屈伸、侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值均明显大于ATPS组( $P<0.05$ )。PTPS组屈伸、侧弯运动范围标准化数值与ATPS组相比差异均无统计学意义( $P>0.05$ );其轴向旋转运动范围标准化数值为(86.83±2.48)%,明显大于ATPS组( $P=0.009$ )。AP+LMS组屈伸运动范围标准化数值为(68.50±2.43)%,小于ATPS组( $P=0.003$ );其侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值与ATPS组相比差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。**结论:**ATPS可在下颈椎三柱损伤模型中提供足够的初始稳定性,其在生物力学性能方面优于AP、PTPS,和AP+LMS相近,适用于无需后路切开减压复位的下颈椎三柱损伤病例。

**【关键词】** 下颈椎; 前路椎弓根螺钉; 三柱损伤; 稳定性; 生物力学

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2018.01.013

**Biomechanical study of the stability of subaxial cervical anterior transpedicular screw fixation for three-column injury** WU Hai-hao, TANG Tao, PANG Qing-jiang, YUAN Xin-hua, and ZHOU Chun-guang. Department of Orthopaedics, Ningbo NO.2 Hospital, Ningbo 315010, Zhejiang, China

**ABSTRACT Objectives:** To compare the stability of subaxial cervical anterior transpedicular screw (ATPS) fixation and three traditional fixations for three-column injury. **Methods:** Six specimens of cervical spine were prepared. After measurement of the range of motion (ROM) in intact state, the specimens were made into three-column injury models. The models were reconstructed with an anterior cervical cage, and stabilized by ATPS, anterior plate (AP), anterior plate + lateral mass screw (AP+LMS) and posterior transpedicular screw (PTPS). The ROM of the models in the four states were measured, and the results of data were compared after standardization. **Results:** The normalized ROM of ATPS state in flexion-extension, lateral bending, axial rotation were (77.17±4.75)%, (82.00±2.61)%, (83.17±2.23)%, which were significant small than those in intact state ( $P<0.05$ ). The normalized ROM of AP state in flexion-extension, lateral bending, axial rotation were (119.67±7.42)%, (116.33±7.53)%, (112.67±5.99)%, which were significant larger than those in intact state ( $P<0.05$ ). The normalized ROM of AP in all directions were significant larger than those of ATPS ( $P<0.05$ ). There was no significant difference between normalized ROM of PTPS state and those of ATPS state in flexion-extension and lateral bending ( $P>0.05$ ). The normalized ROM of PTPS state in axial rotation was (86.83±2.48)% and was significant larger than that of ATPS state ( $P=0.009$ ). The normalized ROM of AP+LMS state in flexion-extension was (68.50±2.43)%, which was significant smaller than that of ATPS state ( $P=0.003$ ). There was no significant difference between the normalized ROM of AP+LMS state and those of ATPS state in lateral bending and axial rotation ( $P>0.05$ ). **Conclusion:** Subaxial cervical three-column injury model reconstruction by ATPS can provide the adequate primary stability, of which biomechanics property is superior compared to AP and PTPS, and is similar to that of AP+LMS. It can be applied to the patients with no need to decompression and reduction through posterior approach.

**KEYWORDS** Subaxial cervical spine; Anterior transpedicular screw; Three-column injury; Stability; Biomechanics

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(1): 74-78 www.zggszz.com

基金项目:浙江省医药卫生科技计划项目(编号:2013KYB235);宁波市医学科技计划项目(编号:2013A13)

Found program: Medical and Health Science and Technology Program Foundation of Zhejiang Province (No.2013KYB235)

通讯作者:汤涛 E-mail: heavenwhh@163.com

Corresponding author: TANG Tao E-mail: heavenwhh@163.com

下颈椎三柱损伤常导致严重的颈髓压迫和颈椎失稳,大多需要手术治疗。手术的目的是解除脊髓压迫、恢复颈椎正常序列、即刻的稳定并最终获得骨性融合<sup>[1]</sup>。但具体的手术方式目前仍缺乏统一标准,主要根据神经损伤情况、骨折的形态、复位的难易程度、术者的经验等因素共同决定<sup>[2]</sup>。前路手术被认为是处理下颈椎三柱损伤的首选,但是传统前路钢板强度有限,常需辅助后路固定<sup>[3]</sup>。前后路联合手术可以获得充分的减压、复位和坚强的固定,但手术的创伤和风险相对较大,同时增加了患者的经济负担。Koller 等<sup>[4]</sup>在 2008 年首先提出了下颈椎前路椎弓根螺钉 (anterior transpedicular screw, ATPS) 内固定技术,螺钉从椎体前方进入经过整个椎体进入椎弓根最后穿出侧块后方的皮质,被认为具有较强的稳固作用。ATPS 的出现为下颈椎三柱损伤的稳定性重建提供了新的选择。本研究拟将 ATPS 与 3 种传统颈椎内固定技术应用于下颈椎三柱损伤模型中,量化比较其初始稳定性,为其临床应用提供生物力学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 标本准备

采取成人新鲜冰冻颈椎标本 6 具(C<sub>3</sub>-T<sub>1</sub>)。标本由温州医科大学解剖教研室提供,其中男性 4 具,女性 2 具;年龄 63~71 岁,平均 65.2 岁。对标本行 CT 扫描,排除畸形、外伤、肿瘤等病变,并测定其骨密度,骨密度平均值为 0.846。于实验前 5 h 取出标本逐级解冻,剔除除颈长肌以外的所有肌肉组织,保留椎间盘、前后纵韧带、黄韧带、棘间韧带、棘上韧带及关节囊。将标本两端的 C<sub>3</sub> 和 T<sub>1</sub> 椎体用聚甲基丙烯酸甲酯包埋,包埋过程中不超过椎体的中央,确认两平面夹角<0.1°。

### 1.2 模型制作及内固定技术

将颈椎标本咬除 C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub> 椎体和 C<sub>4,5</sub>、C<sub>5,6</sub>、C<sub>6,7</sub> 椎间盘,依次切断颈椎 C<sub>5,6</sub> 之间的棘上韧带、棘间韧

带、双侧小关节囊、黄韧带和后纵韧带,制成相当于下颈椎椎体爆裂性骨折伴韧带损伤的三柱损伤模型。量取合适长度的钛笼,填入咬除的椎体碎骨后置于 C<sub>4</sub>、C<sub>7</sub> 椎体间以重建前方结构,然后依次行如下各种方式内固定。(1)ATPS:于钢板两端左侧行 C<sub>4</sub>、C<sub>7</sub> 传统椎体螺钉固定,右侧行 C<sub>4</sub>、C<sub>7</sub> 前路椎弓根螺钉固定,螺钉置入方法参照 Koller 等<sup>[4]</sup>的描述,螺钉长度 30 mm 以穿出后方皮质(见图 1)。(2)前路钢板固定 (anterior plate, AP):前路锁定钢板两端予螺钉固定,螺钉长度 14 mm 以避免穿出椎体后方皮质。(3)前路钢板加侧块螺钉固定 (anterior plate+lateral mass screw, AP+LMS):前路行锁定钢板螺钉固定,后路行 C<sub>4</sub>-C<sub>7</sub> 侧块钉棒固定。(4)后路椎弓根螺钉内固定 (posterior transpedicular screw, PTPS):连接棒两端即 C<sub>4</sub>、C<sub>7</sub> 行传统后路椎弓根螺钉固定,螺钉置入方法应用 Abumi 技术,螺钉长度 26 mm 以避免穿出前方皮质;C<sub>5</sub> 及 C<sub>6</sub> 由于前方椎体缺损行侧块螺钉固定,螺钉置入方法应用 Magerl 技术。以上钢板螺钉等内固定器械及置钉工具均由史赛克公司生产提供。

### 1.3 观察项目及实验方法

各标本的三维运动范围即为本实验的观察项目。实验顺序为先对未经模拟三柱损伤处理的原始标本进行生物力学测试(原始标本组)以获得各标本生理状态下的三维运动范围数据,然后按 ATPS、AP、AP+LMS、PTPS 固定后依次测试,实验过程中定期喷洒生理盐水保持颈椎标本湿润。实验工具为浙江中医药大学生物力学实验室提供的 MTS858 多功能生物力学试验机和步态分析数字动作捕捉及分析系统。实验方法参照 Koller 等<sup>[4]</sup>的描述进行。先对标本进行预加载,每次递增 1 N·m,以去除标本黏弹性的影响。加载 1 N·m 力矩后静止 30 s 以上,在第 2 次加载即加载 2 N·m 的力矩并待标本达到力学平衡时进行测量。该大小力矩可使颈椎产生正常生理活动而避免对颈椎产生破坏。通过控制加载力矩的

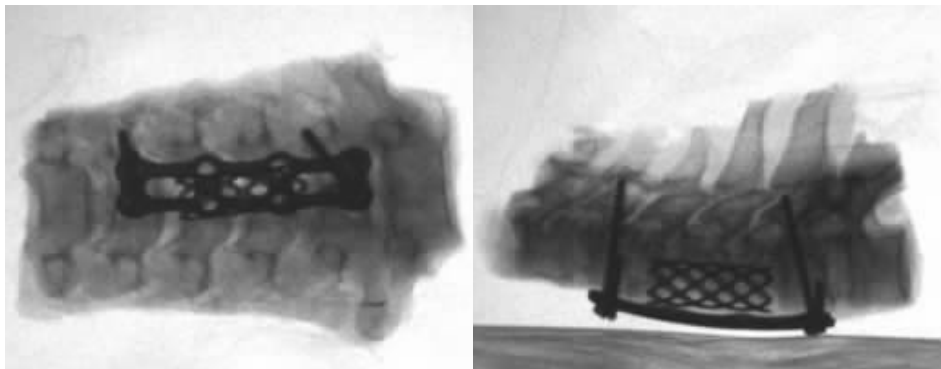


图 1 下颈椎三柱损伤模型 ATPS 重建后的正侧位 X 线片

Fig.1 AP and lateral X-rays of the subaxial cervical three-column injury model after reconstruction using ATPS

方向使标本产生前屈、后伸、左右侧弯和左右旋转 6 个方向的运动。三维运动范围的数据由步态分析数字动作捕捉及分析系统测量得到。

### 1.4 统计学处理

将所有测得的运动范围原始数据标准化,即计算各标本在不同内固定装置下的运动范围与原始标本运动范围的比值,以减少各标本间自身差异对实验结果的影响。采用 SPSS 19.0 软件进行统计学数据处理,各组内固定装置下的运动范围标准化数值采用配对 *t* 检验,以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 ATPS 组与原始标本组的三维运动范围比较

ATPS 组屈伸、侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值均明显小于原始标本组(*P*<0.05)。见表 1。

### 2.2 AP 组与原始标本组的三维运动范围比较

AP 组屈伸、侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值均明显大于原始标本组(*P*<0.05)。见表 1。

表 1 ATPS 组、AP 组与原始标本组的三维运动范围标准化数值比较( $\bar{x}\pm s, \%$ )

Tab.1 Comparison of standardized range of motion between ATPS, AP and intact specimen( $\bar{x}\pm s, \%$ )

观察项目	原始标本组	ATPS 组	AP 组
屈伸运动范围	100	77.17±4.75 <sup>a1</sup>	119.67±7.42 <sup>a2</sup>
侧弯运动范围	100	82.00±2.61 <sup>b1</sup>	116.33±7.53 <sup>b2</sup>
轴向旋转运动范围	100	83.17±2.23 <sup>c1</sup>	120.67±5.99 <sup>c2</sup>

注:与原始标本组比较,<sup>a1</sup>*t*=11.77,*P*=0.000;<sup>b1</sup>*t*=16.91,*P*=0.000;<sup>c1</sup>*t*=18.50,*P*=0.000;<sup>a2</sup>*t*=-6.492,*P*=0.001;<sup>b2</sup>*t*=-5.315,*P*=0.003;<sup>c2</sup>*t*=-8.453,*P*=0.000

Note:Compared with intact specimen,<sup>a1</sup>*t*=11.77,*P*=0.000;<sup>b1</sup>*t*=16.91,*P*=0.000;<sup>c1</sup>*t*=18.50,*P*=0.000;<sup>a2</sup>*t*=-6.492,*P*=0.001;<sup>b2</sup>*t*=-5.315,*P*=0.003;<sup>c2</sup>*t*=-8.453,*P*=0.000

### 2.3 ATPS 组与 AP 组的三维运动范围比较

AP 组屈伸、侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值均明显大于 ATPS 组(*P*<0.05)。见表 2。

### 2.4 ATPS 组与 PTPS 组的三维运动范围比较

PTPS 组屈伸、侧弯运动范围标准化数值与 ATPS 组相比差异均无统计学意义(*P*>0.05);其轴向旋转运动范围标准化数值明显大于 ATPS 组(*P*=0.009)。见表 2。

### 2.5 ATPS 组与 AP+LMS 组的三维运动范围比较

AP+LMS 组屈伸运动范围标准化数值为,小于 ATPS 组;其侧弯、轴向旋转运动范围标准化数值与 ATPS 组相比差异均无统计学意义(*P*>0.05)。见表 2。

## 3 讨论

### 3.1 下颈椎三柱损伤

下颈椎三柱损伤是下颈椎运动复合体遭受巨大暴力导致的严重损伤状态,其特点是损伤累及三柱,常表现为严重的椎体骨折及椎间盘韧带复合体(disco-ligamentous complex, DLC)的严重破坏,可伴有或不伴有颈椎脱位。三柱理论学说将脊柱骨骼连同 DLC 分成前、中、后柱 3 部分,为脊柱损伤的诊治发挥了重要的指导意义。2007 年脊柱创伤研究小组在评价骨性损伤形态的基础上结合 DLC 损伤和神经损伤状况,定量评估损伤程度,提出了下颈椎损伤分类(sub-axial injury classification, SLIC)评分系统,并建议 SLIC 评分>4 分时行手术治疗<sup>[5]</sup>。SLIC 评分系统通过量化评分来指导临床是否采取手术治疗,是目前比较权威的损伤分类评分系统<sup>[6]</sup>。下颈椎三柱损伤一般骨折移位严重,常伴有 DLC 损伤,稳定性严重丧失,中后柱的破坏可导致骨性椎管变形、椎管内脊髓或神经根常严重受损,SLIC 评分往往较高,一般需手术治疗。手术的原则是解除脊髓受压、恢复脊柱正常序列、重建脊柱稳定性,但具体的手术方式仍有争议<sup>[7]</sup>,内固定种类丰富多样,但缺乏统一的选择标准。生物力学实验为内固定的合理选择提供了科学的依据,而模型的建立是生物力学实验的前提。为比较不同内固定方式的稳定性,本研究通过椎体的切除和 DLC 的破坏制成了严重的下颈椎椎体爆裂骨折伴韧带损伤的三柱损伤模型。而且笔者进行了 2 个椎体的次全切除,希望可以扩大不同内

表 2 ATPS 组、AP 组、PTPS 组与 AP+LMS 组的三维运动范围标准化数值比较( $\bar{x}\pm s, \%$ )

Tab.2 Comparison of standardized range of motion between ATPS, AP, PTPS and AP+LMS( $\bar{x}\pm s, \%$ )

观察项目	ATPS 组	AP 组	PTPS 组	AP+LMS 组
屈伸运动范围	77.17±4.75	119.67±7.42 <sup>a3</sup>	78.33±4.93 <sup>a4</sup>	68.50±2.43 <sup>a5</sup>
侧弯运动范围	82.00±2.61	116.33±7.53 <sup>b3</sup>	82.83± 2.48 <sup>b4</sup>	81.67±3.08 <sup>b5</sup>
轴向旋转运动范围	83.17±2.23	120.67±5.99 <sup>c3</sup>	86.83±2.48 <sup>c4</sup>	83.00±2.37 <sup>c4</sup>

注:与 ATPS 组比较,<sup>a3</sup>*t*=-10.00,*P*=0.000;<sup>b3</sup>*t*=-9.140,*P*=0.000;<sup>c3</sup>*t*=-11.68,*P*=0.000;<sup>a4</sup>*t*=-1.695,*P*=0.158;<sup>b4</sup>*t*=-1.274,*P*=0.259;<sup>c4</sup>*t*=-4.158,*P*=0.009;<sup>a5</sup>*t*=5.469,*P*=0.003;<sup>b5</sup>*t*=0.542,*P*=0.611;<sup>c5</sup>*t*=0.307,*P*=0.771

Note:Compared with ATPS,<sup>a3</sup>*t*=-10.00,*P*=0.000;<sup>b3</sup>*t*=-9.140,*P*=0.000;<sup>c3</sup>*t*=-11.68,*P*=0.000;<sup>a4</sup>*t*=-1.695,*P*=0.158;<sup>b4</sup>*t*=-1.274,*P*=0.259;<sup>c4</sup>*t*=-4.158,*P*=0.009;<sup>a5</sup>*t*=5.469,*P*=0.003;<sup>b5</sup>*t*=0.542,*P*=0.611;<sup>c5</sup>*t*=0.307,*P*=0.771

固定方式稳定性的差异,为下颈椎三柱损伤内固定方式的选择提供理论依据。

### 3.2 传统内固定方式

**3.2.1 前路钢板固定** 颈椎前路手术具有入路简单、创伤小、手术时间短、脊髓前方减压彻底等特点<sup>[8]</sup>,被广泛应用于临床。但对于三柱损伤患者,传统前路钢板螺钉仅固定椎体单层皮质,强度非常有限,有内固定失败的风险。Lambiris 等<sup>[9]</sup>对 74 例下颈椎三柱损伤患者行前路减压钢板内固定手术,其中 4 例出现内固定失败需二次手术。Thomas 等<sup>[10]</sup>对 8 具人颈椎三柱损伤标本行传统前路钢板固定,生物力学实验发现其屈伸、侧弯及轴向旋转活动范围均显著大于原始标本,与本实验结果相符,提示单纯前路钢板固定无法为下颈椎三柱损伤提供足够的初始稳定性。

**3.2.2 后路椎弓根螺钉内固定** 螺钉经过椎弓根进入椎体,对颈椎进行三柱固定,体外实验结果证实其稳定性明显高于前路钢板、侧块螺钉等<sup>[11]</sup>。本研究结果显示在对抗侧弯负荷方面后路椎弓根螺钉固定甚至可以和前后路联合固定相媲美,可为三柱损伤提供较强的稳定性。但是后路手术不能对前方致压物彻底减压,而脊髓的致压因素主要来自前方<sup>[12]</sup>。后路手术也无法对脊柱前中柱进行重建,后期容易出现前柱塌陷、内固定失败的问题。后路固定需要跨越正常椎体节段,易造成较多运动单位的丢失。另外,后路切开复位可能使前方的致压物随椎体的复位而进入椎管,导致脊髓神经功能损伤加重<sup>[13]</sup>。以上这些缺点都限制了后路椎弓根螺钉在下颈椎三柱损伤病例中的临床应用。

**3.2.3 前后路联合固定** 本研究结果和既往的文献都证实了颈椎前后路联合固定是最稳定的内固定方式<sup>[2,11]</sup>。前后路联合手术克服了单纯前路或后路手术在减压、复位以及稳定性重建等方面的局限性,根据损伤的具体情况可选择前-后路、后-前路、前-后-前路和后-前-后路灵活进行,是治疗下颈椎三柱损伤最可靠的手术方式。但前后路联合手术创伤大、手术时间长、出血多,而且翻转体位时有加重颈椎损伤的风险<sup>[14]</sup>。如何通过一个切口完成脊髓的减压、骨折脱位的复位以及三柱的坚强固定是下颈椎三柱损伤治疗的努力方向。

### 3.3 ATPS

ATPS 技术最早由 Koller 等<sup>[3]</sup>在 2008 年提出,并通过解剖学研究和影像学测量证明该技术的可行性。ATPS 横贯颈椎的三柱结构,具有较长的钉道,而且螺钉穿过两层皮质并且和椎弓根部分的皮质骨紧密结合。因此,ATPS 被认为具有较强的稳固作用。

Koller 等<sup>[15]</sup>后续的研究证实,ATPS 的把持力为传统前路椎体螺钉的 2.5 倍。ATPS 凭借其显著的力学优势,相继被应用于临床并获得了满意的疗效<sup>[16]</sup>,被建议用于多节段前路减压的固定、三柱损伤的固定以及伴有严重骨质疏松的各类颈椎前路手术<sup>[3,15-16]</sup>。

为进一步了解 ATPS 的生物力学性能,学者们进行了更深入的研究。Koller 等<sup>[17]</sup>将 ATPS 与 5 种传统颈椎内固定技术应用于 2 节段椎体次全切模型中,比较各模型的稳定性,结果显示 ATPS 的稳定性能强于 AP,与侧块螺钉、后路椎弓根螺钉的稳定性基本相当,可提供足够的初始稳定性。赵刘军等<sup>[18]</sup>分别使用 ATPS 和 AP 在颈椎标本中模拟颈椎前路椎间盘切除融合术,比较两种内固定方式的生物力学性能,结果显示 ATPS 的稳定性能强于 AP。李杰等<sup>[19]</sup>利用有限元分析的方法比较 ATPS 与 AP 应用于 2 节段椎体次全切模型中的力学性能,结果显示 ATPS 的力学稳定性较强,而且应力较分散,其断钉的风险较小。

以上研究均证实了 ATPS 的力学性能较强,但是他们无一例外地把 ATPS 应用于前中柱的重建,ATPS 对三柱损伤的稳定性如何仍未给出答案。本研究将 ATPS 应用于三柱损伤模型,并和传统内固定方式进行比较,结果显示 ATPS 的初始稳定性明显强于 AP,和既往 ATPS 在前中柱重建模型中的试验结果相一致<sup>[15-16]</sup>。AP 只能提供前中柱的稳定,而 ATPS 横穿三柱,在三柱损伤中的应用具有天然的优势。既往研究结果认为 PTPS 可以为三柱损伤提供足够的稳定性<sup>[10]</sup>,本次实验也得到了相同的结果。另外,实验结果还显示 ATPS 总体力学性能优于 PTPS,分析其原因可能是因为 ATPS 可以穿透颈椎前后双层皮质可以达到真正意义上的三柱固定,而 PTPS 为防止损伤椎体前方的食管等重要结构一般行单皮质固定。曲延镇等<sup>[20]</sup>对 30 例下颈椎三柱损伤患者行后路椎弓根螺钉固定,均获得了骨性融合,并认为 PTPS 可以为下颈椎三柱损伤提供足够的初始稳定性。通过本次实验,有足够的理由相信 ATPS 可以拥有同样良好的临床表现。既往研究结果显示 PTPS 基本能达到 AP+LMS 对三柱损伤的稳定性能<sup>[10]</sup>,在比较 ATPS 和 AP+LMS 的实验结果时也得出类似的结论:ATPS 在抗旋转和抗侧弯方面均不逊色,而在抗屈伸方面稳定性比 AP+LMS 稍差,但是显著强于原始标本组,足够为三柱损伤提供初始的稳定。

本次实验仍存在许多不足,如在建立模型时剔除了除颈长肌外的所有肌肉组织,而肌肉是维持脊柱稳定性的一个重要因素,这使得实验结果和临床上可能有所出入。对同一标本进行多次内固定物植

入势必会破坏部分骨质,影响内固定物的稳定性,可导致实验产生误差,而且总体标本量较小也影响了统计结果的可信度。另外,本实验只研究了 ATPS 的初始稳定性,其极限力学性能、抗疲劳性能等方面还可以进行更深入的研究。

本研究结果证实 ATPS 的初始稳定性优于 AP 及 PTPS,和 AP+LMS 接近,可以为下颈椎的三柱损伤提供坚强的固定。据文献报道 88% 的下颈椎三柱损伤患者可以通过前路手术进行减压复位<sup>[8]</sup>。随着导航和三维打印技术在临床上的广泛应用,ATPS 的置钉准确率将不断提高,通过一个前路切口完成大部分下颈椎三柱损伤病例的减压、复位和坚强固定将逐渐成为可能。

参考文献

[1] 占蓓蕾,叶舟.下颈椎骨折脱位伴关节突交锁的手术治疗[J].中国骨伤,2009,22(8):583-584.  
ZHAN BL, YE Z. Operating treatment for fracture and dislocation of lower cervical spine with articular process interlocking[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2009, 22(8): 583-584. Chinese with abstract in English.

[2] Park JH, Roh SW, Rhim SC. A single-stage posterior approach with open reduction and pedicle screw fixation in subaxial cervical facet dislocations[J]. J Neurosurg Spine, 2015, 23(1): 35-41.

[3] Aebi M. Surgical treatment of upper, middle and lower cervical injuries and non-unions by anterior procedures[J]. Eur Spine J, 2010, 19(Suppl 1): 33-39.

[4] Koller H, Hempfing A, Acosta F, et al. Cervical anterior transpedicular screw fixation. Part I: Study on morphological feasibility, indications, and technical prerequisites[J]. Eur Spine J, 2008, 17(4): 523-538.

[5] Vaccaro AR, Hulbert RJ, Patel AA, et al. The subaxial cervical spine injury classification system: a novel approach to recognize the importance of morphology, neurology, and integrity of the disco-ligamentous complex[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32(21): 2365-2374.

[6] 于圣会,池雷霆,任永安,等.下颈椎损伤分型评分系统的可信度及可重复性研究[J].中华创伤骨科杂志,2012,14(3):193-197.  
YU SH, CHI LT, REN YA, et al. Intraobserver and interobserver reliability of the Subaxial injury classification evaluation system for sub-axial cervical spine injury[J]. Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi, 2012, 14(3): 193-197. Chinese.

[7] Jiang X Yao Y, Yu M, et al. Surgical treatment for subaxial cervical facet dislocations with incomplete or without neurological deficit: a prospective study of 52 cases[J]. Med Sci Monit, 2017, 9(23): 732-740.

[8] 郭琰,周方,田耘,等.下颈椎骨折脱位术式选择及疗效分析[J].中华创伤杂志,2015,31(3):232-235.  
GUO Y, ZHOU F, TIAN Y, et al. Methods and therapeutic effects in surgical treatment for lower cervical spine fracture and dislocation[J]. Zhonghua Chuang Shang Za Zhi, 2015, 31(3): 232-235. Chinese.

[9] Lambiris E, Kasimatis GB, Tyllianakis M, et al. Treatment of unstable lower cervical spine injuries by anterior instrumented fusion alone[J]. J Spinal Disord Tech, 2008, 21(7): 500-507.

[10] Thomas H, Bryan WC, Paul CM, et al. In vitro biomechanical evaluation of four fixation techniques for distractive-flexion injury stage 3 of the cervical spine[J]. Ups J Med Sci, 2015, 120(3): 198-206.

[11] Nakashima H, Yukawa Y, Ito K, et al. Posterior approach for cervical fracture-dislocations with traumatic disc herniation[J]. Eur Spine J, 2011, 20(3): 387-394.

[12] Aebi M. Surgical treatment of upper, middle and lower cervical injuries and non-unions by anterior procedures[J]. Eur Spine J, 2010, 19(1): 33-39.

[13] 陈飞,蒲春明,曹汝荣,等.下颈椎骨折脱位手术入路选择及治疗效果分析[J].中华创伤杂志,2013,29(4):311-315.  
CHEN F, PU CM, CAO RR, et al. Surgical approaches and their outcome in treatment of fracture and dislocation of the lower cervical spine[J]. Zhonghua Chuang Shan Za Zhi, 2013, 29(4): 311-315. Chinese.

[14] Gelb DE, Aarabi B, Dhall SS, et al. Treatment of subaxial cervical spinal injuries[J]. Neurosurgery, 2013, 72(Suppl 2): 187-194.

[15] Koller H, Acosta F, Tauber M, et al. Cervical anterior transpedicular screw fixation (ATPS)-Part II. Accuracy of manual insertion and pull-out strength of ATPS[J]. Eur Spine, 2008, 17(4): 539-555.

[16] Aramomi M, Masaki Y, Koshizuka S, et al. Anterior pedicle screw fixation for multilevel cervical corpectomy and spinal fusion[J]. Acta Neurochir (Wien), 2008, 150(6): 575-582.

[17] Koller H, Schmidt R, Mayer M, et al. The stabilizing potential of anterior, posterior and combined techniques for the reconstruction of a 2-level cervical corpectomy model: biomechanical study and first results of ATPS prototyping[J]. Eur Spine J, 2010, 19(12): 2137-2148.

[18] 赵刘军,柴波,蒋伟宇,等.下颈椎前路椎弓根螺钉配套钢板系统的生物力学性能研究[J].中华实验外科杂志,2014,31(2):385-388.  
ZHAO LJ, CHAI B, JIANG WY, et al. Biomechanical characteristics of anterior pedicle screw-plate system in the lower cervical spine[J]. Zhonghua Shi Yan Wai Ke Za Zhi, 2014, 31(2): 385-388. Chinese.

[19] 李杰,赵刘军,祁峰,等.下颈椎前路椎弓根螺钉固定系统的有限元法生物力学研究[J].中华外科杂志,2015,53(11):841-846.  
LI J, ZHAO LJ, QI F, et al. Three-dimensional finite-element study on anterior transpedicular screw fixation system of the subaxial cervical spine[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2015, 53(11): 841-846. Chinese.

[20] 曲延镇,王玉龙,郭晓东,等.单纯后路椎弓根钉内固定治疗下颈椎骨折脱位[J].中华骨科杂志,2013,33(10):990-996.  
QU YZ, WANG YL, GUO XD, et al. The posterior approach combined with pedicle screw fixation for the treatment of lower cervical fractures and dislocation[J]. Zhonghua Gu Ke Za Zhi, 2013, 33(10): 990-996. Chinese.

(收稿日期:2017-03-20 本文编辑:王宏)