

· 临床研究 ·

下颈椎前路椎弓根螺钉固定系统与普通前路椎体螺钉固定系统的静力学比较

赵刘军¹, 李杰^{1,2}, 蒋伟宇¹, 徐荣明¹, 马维虎¹, 祁峰³, 于亮¹, 张明³, 王以进⁴

(1. 宁波市第六医院脊柱外科, 浙江 宁波 315040; 2. 宁波大学医学院, 浙江 宁波 315211; 3. 宁波市医疗中心李惠利医院骨科, 浙江 宁波 315040; 4. 上海大学生物力学工程研究所, 上海 201800)

【摘要】 目的: 比较下颈椎前路椎弓根螺钉(ATPS)锁定固定系统和普通前路椎体螺钉(VBS)锁定固定系统的静力学特性。方法: 采集新鲜颈椎标本 16 具, 分解为 C_{3,4}, C_{4,5}, C_{5,6}, C_{6,7} 共 32 个运动节段(functional spinal unit, FSU), 其中 C_{3,4}, C_{4,5}, C_{5,6}, C_{6,7} 各 8 个。将其按照不同节段随机分成 A、B 两组, 对所获标本椎间盘切除后模拟植骨, 分别植入自行设计生产的下颈椎前路椎弓根螺钉配套钢板系统和普通颈椎前路椎体螺钉钢板系统。在生物力学试验机上行钢板的垂直拔出强度试验。结果: 下颈椎前路椎弓根螺钉的最大轴向拔出力为(604.68±48.76) N, 椎体螺钉为(488.24±32.42) N, 两者比较差异有统计学意义($t=2.147, P<0.05$), 前路椎弓根螺钉固定系统与椎体螺钉固定系统在各 FSU 间差异无统计学意义(A 组和 B 组的 F 值分别为 2.27、2.05, $P>0.05$)。结论: 下颈椎前路椎弓根螺钉钢板系统的拔出力量明显优于普通前路椎体螺钉钢板系统, 从生物力学角度上来看具有应用可行性。

【关键词】 颈椎; 前路椎弓根螺钉锁定钢板系统; 拔出强度

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2014.02.007

Comparison of statics characteristics between anterior transpedicular screws system and vertebral body screws system in lower cervical spine ZHAO Liu-jun, LI Jie, JIANG Wei-yu, XU Rong-ming*, MA Wei-hu, QI Feng, YU Liang, ZHANG Ming, and WANG Yi-jin. *Department of Spinal Surgery, Ningbo 6th Hospital, Ningbo 315040, Zhejiang, China

ABSTRACT Objective: To compare statics characteristics between anterior transpedicular screws (ATPS) system and vertebral body screws (VBS) system in lower cervical spine. **Methods:** Sixteen fresh cervical specimens were collected and dissected into 32 different units (functional spinal unit, FSU), 8 units in C_{3,4}, C_{4,5}, C_{5,6} and C_{6,7} each. The subjects were randomly divided into group A and B. The anterior transpedicular screw-plate system and anterior vertebral body screw-plate system were implanted separately in group A and B. Then, the maximum axial pull out strength was tested and compared between two fixation system. **Results:** Maximum pull out strength was (604.68±48.76) N in group A and (488.24±32.42) N in group B, and there was significant difference between two groups ($t=2.147, P<0.05$). There was no statistically significant difference in all FSU between anterior transpedicular screws system and vertebral body screws system ($F_A=2.27, F_B=2.05, P>0.05$). **Conclusion:** The pull out strength of anterior transpedicular screws system is better than vertebral body screws system, and the anterior transpedicular screws has the biomechanical feasibility in clinic.

KEYWORDS Cervical vertebrae; Anterior cervical pedicle screw-plate system; Pull out strength

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2014, 27(2): 118-122 www.zggszz.com

下颈椎前路椎弓根螺钉 (anterior transpedicular screws, ATPS) 技术作为一种的新的固定方法, 在国内外正在逐步得到应用^[1-3]。为了通过一次前路手术, 解决椎管前方压迫的问题, 并达到坚强固定的目的, ATPS 采用了与前路椎体螺钉 (vertebral body screws, VBS) 和后路椎弓根螺钉固定不同的进钉方式。笔者在系列 ATPS 解剖和临床研究的基础上, 发现由于下颈椎前路椎弓根螺钉进钉角度较大, 目前

的内固定系统很难满足 ATPS 的置钉要求^[4-5]。另外, 临床上虽然有学者尝试使用普通接骨板配合单侧的椎弓根螺钉固定, 但这些固定装置均没有锁定装置, 若是发生“钉-骨”界面塌陷, 即使螺钉固定坚固, 仍然会发生内固定失败。为此, 笔者设计了一套新型下颈椎前路椎弓根螺钉锁定钢板系统 (专利号: ZL 201120445914.0), 委托上海三友医疗公司生产 (图 1)。该螺钉钢板系统设有锁定装置, 可以在一侧植入前路椎弓根螺钉, 另一侧植入椎体螺钉。根据需要配有系列长度的钢板, 并相应增加前路椎弓根螺钉孔及椎体螺钉。本研通过比较下颈椎前路椎弓根螺钉

通讯作者: 徐荣明 E-mail: Xu_rj@21cn.com

Corresponding author: XU Rong-ming E-mail: Xu_rj@21cn.com

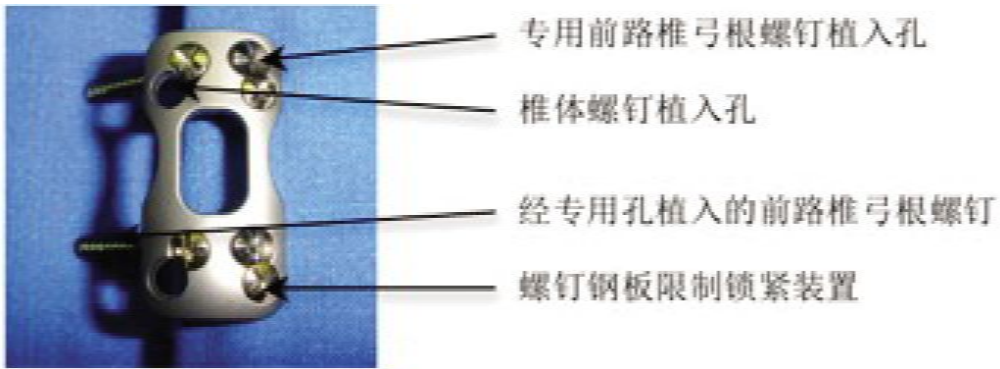


图 1 自行设计的下颈椎前路椎弓根螺钉钢板系统
Fig.1 Self-designed anterior transpedicular screws system



图 2 下颈椎前路椎弓根螺钉配套钢板系统固定 FSU 测试实例图 图 3 普通下颈椎前路椎体螺钉钢板系统固定 FSU 测试实例图
Fig.2 The instance diagram of FSU test anterior transpedicular screw-plate system Fig.3 The instance diagram of FSU test anterior vertebral body screw-plate system

(ATPS)锁定固定系统和普通前路椎体螺钉(VBS)锁定固定系统的垂直应力特性,为临床应用提供基础理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象 16 具新鲜人体颈椎标本 (C₃-C₇), 男 6 例,女 4 例;年龄 56~75 岁,平均(65±5.5)岁;均由苏州大学医学院解剖教研室提供。

1.2 标本制备和置钉 在-30℃冰柜中保存,试验方法逐级解冻。使用多层螺旋 CT 扫描机(Siemens Soma tom Volume Zoom, 德国, 120 KV, 250 mAs)对标本进行扫描,采用层厚 2 mm,排除任何骨折、畸形等结构异常,并测定其骨密度,骨密度平均值为 0.688。随后将标本逐个仔细剔除所附肌肉等软组织,保留主要韧带及关节突。对 16 具颈椎标本分割获得运动单元 (FSU),获得 C_{3,4}, C_{4,5}, C_{5,6}, C_{6,7} 各 8 个 FSU,共 32 个 FSU。

1.3 分组 将所有 FSU 标本行椎间盘切除后植入三面皮质骨(取自分割运动单元后剩余脊椎骨),模拟植入下颈椎前路椎弓根螺钉配套钢板系统(上海三友医疗公司生产)(A 组,图 2)和普通颈椎前路椎体螺钉钢板系统(枢法模公司 Orion 颈椎前路钢板)

(B 组,图 3)。置入下颈椎前路椎弓根螺钉时采用赵刘军等^[6]关于最佳进钉点及进钉方向的描述进钉置钉,置入下颈椎前路椎弓根螺钉配套钢板系统后横断面示意图见图 4。植入钢板螺钉系统后行 X 线片和 CT 横扫进一步证实螺钉钢板位置正确(图 5)。

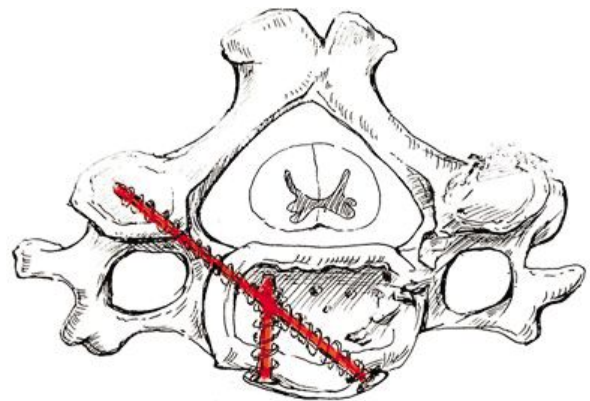


图 4 自行设计的 ATPS 钢板系统固定示意图
Fig.4 The fixed diagram of self-designed ATPS plate system

1.4 生物力学测试 颈椎标本后部用骨水泥包裹固定在特制的固定器械上,调整标本的放置角度,让

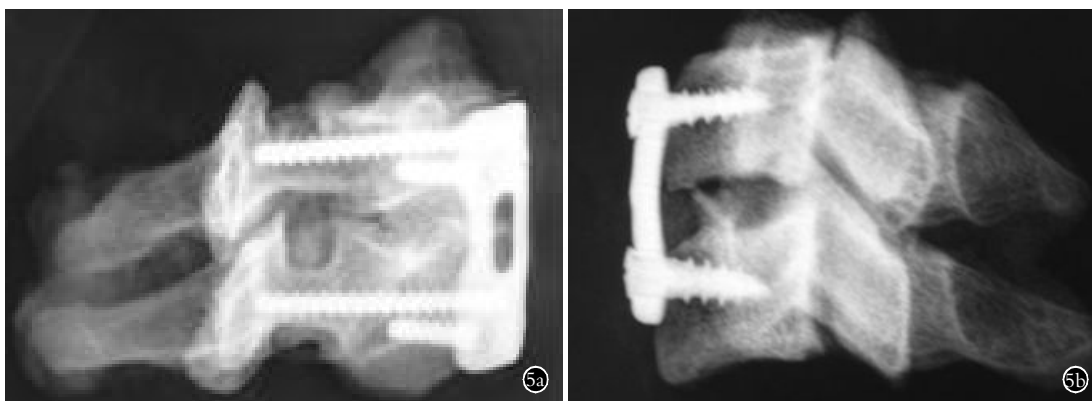


图 5 植入螺钉钢板后 X 线片 5a. 下颈椎前路椎弓根螺钉配套钢板系统固定 FSU 的 X 线片 5b. 普通颈椎前路椎体螺钉钢板系统固定 FSU 的 X 线片

Fig.5 X-rays after implanting screw and nickelclad 5a. X-ray showed that FSU was fixed by anterior transpedicular screw-plate system 5b. X-ray showed that FSU was fixed by anterior vertebral body screw-plate system

钢板的长轴与试验机的拉伸方向保持一致。安装好力-位移传感器,应变片接入 YT-14 数字应变仪上(上海大学上海生物力学工程研究所),沿螺钉长轴以 2 mm/min 的速率,分别对 A 组和 B 组进行钢板垂直的抗拔出试验,出现拔出破坏后停止(判断出现拔出破坏的标准即载荷-变形曲线出现最高点,随后钢板的轴向拔出力出现下降。试验机的载荷信号由计算机数据采集系统自动记录,计算出最大轴向拔出力)。试验数据由计算机数据采集系统自动记录,以测量最大轴向拔出力。试验中所有钢板和螺钉的置入均由 1 位在尸体标本有着丰富置钉经验并且熟悉颈椎前路两种根螺钉固定方式的外科医生完成,以减少或避免技术上的误差。

1.5 观察项目与方法 记录两组所用的内固定系统的套数以及螺钉长度,获得平均钉道长度,观察 A 组和 B 组的平均钉道的差异。通过生物力学测试仪自动记录的数据观察 A 组和 B 组的平均静力学拔出强度,以及同一水平 A 组和 B 组间各 FSU 的拔出强度,比较同一组内各不同 FSU 间的拔出力差异。

1.6 统计学分析 应用 SPSS 19.0 软件(美国,IBM 公司)进行统计学分析,数据以均数±标本差($\bar{x} \pm s$)表示,两种不同固定系统的成组资料组间比较采用 *t* 检验,组内下颈椎各固定节段间采用单因素方差分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

A 组和 B 组使用的内固定钢板系统的套数均为

16 套,A 组的平均钉道长度明显大于 B 组($P < 0.01$); A 组的拔出强度明显高于 B 组($P < 0.05$)。见表 1。各 FSU 间稍有差异,但无统计学意义($P > 0.05$,表 2)。

表 1 下颈椎 ATPS 和 VBS 系统拔出强度测试结果($\bar{x} \pm s$)
Tab.1 The test results of pull out strength in lower cervical ATPS system and VBS system($\bar{x} \pm s$)

组别	内固定系统数(套)	最大拔出力(N)	钉道长度(mm)
A 组	16	604.68±48.76 ^a	32.00±2.00 ^b
B 组	16	488.24±32.42	14.00±2.00

注:与 B 组比较,^a*t*=2.147, $P < 0.05$; ^b*t*=11.59, $P < 0.01$
Note: Compared with group B, ^a*t*=2.147, $P < 0.05$; ^b*t*=11.59, $P < 0.01$

3 讨论

3.1 下颈椎 ATPS 锁定钢板的研究背景 颈椎疾病和创伤治疗的主要目的是对神经根和脊髓进行减压,然后重建其稳定性。颈前路椎间盘切除减压融合术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)能针对来自椎管前方的致压物直接进行减压,是治疗各种原因的颈椎疾病的有效方法。ACDF 多采用单皮质椎体螺钉固定,对于单节段手术患者固定的强度较好,但对于老年性骨质疏松患者、颈椎多节段减压后、下颈椎严重“三柱”损伤的患者,运用单皮质椎体螺钉不足以重建多节段椎体切除后的稳定性,术后容易发生内固定的松动失败^[7-9]。文献报道,多节段 ACDF 内固定松动失败的概率高达 20%~50%,而

表 2 下颈椎 ATPS 和 VBS 系统在不同运动单元拔出强度测试结果($\bar{x} \pm s, N$)

Tab.2 The test results of pull out strength in different motion units of lower cervical ATPS system and VBS system($\bar{x} \pm s, N$)

组别	内固定系统数(套)	C _{3,4}	C _{4,5}	C _{5,6}	C _{6,7}	F 值	P 值
A 组	16	600.18±45.36	603.68±48.54	604.68±45.46	602.78±46.96	2.27	>0.05
B 组	16	482.04±30.40	479.24±31.52	480.24±30.52	487.24±31.32	2.05	>0.05

由于内固定失败需要翻修手术的比例为 10%~20%^[7,10-11]。

自 1994 年有学者首次报道采用颈椎后路椎弓根螺钉固定技术治疗中、下颈椎创伤不稳,其已被公认为是生物力学稳定性最强的内固定方法并在临床上广泛应用^[12]。该方法使螺钉穿过了颈椎最坚固部分,是一种即刻、安全、有效的内固定方法。单纯后路手术虽然具有较好的稳定性,但对于来自椎管前方的压迫从后路很难达到彻底的减压效果。另外,ACDF 后补充后路椎弓根螺钉固定的二次手术,增加了手术风险和并发症的发生。在这些情况下颈椎前路椎弓根螺钉可以作为一种新的前路固定方法使用。但临床目前没有专门用于前路椎弓根螺钉置钉的内固定系统,虽然有学者尝试使用普通接骨板配合单侧的椎弓根螺钉固定,但这些固定装置均没有锁定装置,即使螺钉固定坚固,若是发生“钉-骨”界面塌陷,无锁定装置仍然会发生内固定失败^[13]。笔者在系列 ATPS 解剖学和临床研究的基础上,提出了下颈椎 ATPS 锁定钢板固定的概念,并开发了一套前路锁定钢板配合 ATPS 置钉。

3.2 下颈椎 ATPS 系统与 VBS 固定系统生物力学上的区别 研究表明,下颈椎 ATPS 钢板系统的拔出强度明显高于 VBS 钢板固定系统,但在不同 FSU 间差异无统计学意义。这可能是因为两种固定系统中采用了两种不同的螺钉固定的原因,螺钉的拔出力增强后整个固定系统的抗拔出强度将相应增加。而两种螺钉固定的生物力学拔出强度的不同可能可以通过螺钉经过了颈椎的“力核”部分-椎弓根,和 ATPS 具有更长的钉道来解释^[14]。

VBS 钉道只穿过了部分椎体,螺钉握持椎体的松质骨。而 ATPS 钉道穿过了整个椎体,到达后面的椎弓根,甚至可以透过侧块,突破 2 层皮质骨,形成了经过椎弓根的双皮质固定,长度可达 (32.00 ± 2.00) mm,比 VBS (14.00 ± 2.00) mm 明显要长。而根据 Heller 等^[15]的研究显示,螺钉的生物力学拔出强度与钉道的长度成正比。所以综合两种不同的钉道握持的骨质和钉道长度不同这两个因素,ATPS 比 VBS 具有更强的拔出力。ATPS 也许可以提供一种比 VBS 更牢靠的颈椎前路固定方法,从而增加固定的稳定性。

本研究结果与之前的生物力学研究也相吻合。Koller 等^[16]直接对比 ATPS 和前路 VBS 的拔出强度 (pullout strength),这是对下颈椎 ATPS 进行的第一生物力学试验。该研究使用了 6 具 C₃-T₁ 尸体标本,分别在每具标本椎体上两侧随机交替置入颈椎 ATPS 和前路 VBS 进行固定,然后对螺钉进行轴向

拔出试验。在每个水平,与前路 VBS 相比 ATPS 都显示出更大的拔出强度,其中 ATPS 的平均拔出强度为 467.8 N,而 VBS 为 181.6 N,前者是后者的 2.5 倍,这可能是因为 ATPS 通过椎弓根达到了坚强的固定效果,而 VBS 仅为单皮质固定。与 Koller 等^[16]的试验结果相比,本研究中测试的 ATPS 系统和 VBS 系统的拔出力要大。这可能与笔者是就整个钢板螺钉系统进行拔出力试验,而他们是单纯针对螺钉进行拔出强度测试有关。这也充分说明了,增加锁定装置后,将 ATPS 和锁定钢板系统配合起来使用,能进一步增加螺钉钢板的抗拔出强度。

3.3 下颈椎 ATPS 锁定钢板系统的优点和不足

ATPS 除了有超长的钉道和椎弓根的坚强固定所带来的更好的静力学拔出强度外,与 VBS 不同的是,ATPS 可以在螺钉-钢板系统中作为锚钉使用,也可以单独 ATPS 螺钉固定。单独 ATPS 固定虽然也具有较好的固定强度,但目前由于固定系统所限制,所用的钉板系统并没有锁定装置,若发生了植骨界面塌陷,尽管螺钉坚强,还是会出现内固定松动的。而下颈椎 ATPS 锁定钢板系统,能增强螺钉的拔出力,这在笔者的试验结果中也得到了体现。另外,它还能提高整个系统的稳定性,使固定更加坚强。Koller 等^[16]的生物力学试验证明了对于多节段椎体次/全切除后的颈椎重建术,前路椎弓根螺钉配合钢板固定与前后路联合入路重建同样具有良好的生物力学稳定性。这或许会为那些需要进行前后路联合入路重建的患者提供一种新的固定方法,这样不仅可以省去后路固定钉棒的费用,还可以减少损伤^[17]。

ATPS 的钉道较为特殊,进钉点位于椎体前正中线的两侧,进钉点与上终板的距离为 3.4~7.5 mm,横断面进钉角度为 45.7°~52.1°,矢状面上进钉角度约为 93.4°~112.1°^[2]。ATPS 钉道贯穿整个椎体,向外下方进入椎弓根,进钉区间较后路椎弓根螺钉更大^[18]。

但与 VBS 和后路椎弓根螺钉相比,ATPS 的置钉具有很高的技术要求。因为,ATPS 需从颈椎椎体前面,以一定的外倾角和头或尾倾角穿过椎体后缘进入椎弓根,而下颈椎椎弓根的解剖特点是内径小、外壁薄、变异大,其周围有椎动脉、神经根等重要组织,可以推测 ATPS 有着比传统椎弓根螺钉更高的置钉风险。本试验中所有螺钉的植入均是在暴露椎弓根后在直视下完成的。若是在活体上应用 ATPS 钢板固定,可能存在一定的困难。首先是由于前面椎体的阻挡,术中无法暴露或探查椎弓根。另外,术前虽可以通过各种解剖学参数的测量来制定置钉方案,但现实中可能由于手术视野有限,而无法按照测量的数据进行置钉。然而,随着影像技术的发展和导

航技术在临床的应用, 这或许可以确保该项技术的安全。此外, 本试验仅反映了两种螺钉固定的静力学差别, 需进一步对本标本进行屈伸往复试验测量各个运动单元的三维生理运动范围, 分析整个 ATPS 钢板系统的稳定性, 将有利于了解下颈椎前路椎弓根螺钉锁定钢板固定系统的力学特性。相信, 随着 ATPS 系统研究的深入, ATPS 可以像 VBS 一样在颈前路手术中应用, 其可以作为 ACDF 的一种补充手术方法。

参考文献

- [1] Yukawa Y, Kato F, Ito K, et al. Anterior cervical pedicle screw and plate fixation using fluoroscope-assisted pedicle axis view imaging: a preliminary report of a new cervical reconstruction technique[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(6): 911-916.
- [2] 徐荣明, 赵刘军, 马维虎, 等. 下颈椎前路椎弓根螺钉内固定解剖学测量及临床应用[J]. *中华骨科杂志*, 2011, 31(12): 1337-1343.
Xu RM, Zhao LJ, Ma WH, et al. The study of anterior cervical pedicle screw channel in the lower cervical spine[J]. *Zhonghua Gu Ke Za Zhi*, 2011, 31(12): 1337-1343. Chinese.
- [3] 王远政, 刘洋, 陈富, 等. 下颈椎前路椎弓根螺钉内固定的初步临床运用[J]. *中华创伤杂志*, 2012, 28(8): 697-701.
Wang YZ, Liu Y, Chen F, et al. Preliminary clinical application of anterior pedicle screw fixation of lower cervical spine[J]. *Zhonghua Chuang Shang Za Zhi*, 2012, 28(8): 697-701. Chinese.
- [4] Zhao LJ, Xu RM, Jiang WY, et al. A new technique for anterior cervical pedicle screw implantation[J]. *Orthop Surg*, 2011, 3(3): 193-198.
- [5] 赵刘军, 徐荣明, 马维虎, 等. 下颈椎损伤前路椎弓根螺钉固定的初步临床运用[J]. *中华创伤杂志*, 2012, 28(9): 780-784.
Zhao LJ, Xu RM, Ma WH, et al. Preliminary clinical study of anterior pedicle screw fixation for lower cervical spine injuries[J]. *Zhonghua Chuang Shang Za Zhi*, 2012, 28(9): 780-784. Chinese.
- [6] 赵刘军, 徐荣明, 华群, 等. 下颈椎前路椎弓根螺钉最佳进钉点和进钉方向的影像学研究及其临床运用[J]. *中国骨伤*, 2012, 25(12): 1030-1035.
Zhao LJ, Xu RM, Hua Q, et al. Radiological studies on the best entry point and trajectory of anterior cervical pedicle screw in the lower cervical spine[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2012, 25(12): 1030-1035. Chinese with abstract in English.
- [7] 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.
- [8] Prasarn ML, Baria D, Milne E, et al. Adjacent-level biomechanics after single versus multilevel cervical spine fusion[J]. *J Neurosurgery Spine*, 2012, 16(2): 172-177.
- [9] Song KJ, Lee KB, Song JH. Efficacy of multilevel anterior cervical discectomy and fusion versus corpectomy and fusion for multilevel cervical spondylotic myelopathy: a minimum 5-year follow-up study[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(8): 1551-1557.
- [10] Greiner-Perth R, Allam Y, El-Saghir H, et al. Analysis of reoperations after surgical treatment of degenerative cervical spine disorders: a report on 900 cases[J]. *Cent Eur Neurosurg*, 2009, 70(1): 3-8.
- [11] Brazenor GA. Comparison of multisegment anterior cervical fixation using bone strut graft versus a titanium rod and buttress prosthesis: analysis of outcome with long-term follow-up and interview by independent physician[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(1): 63-71.
- [12] 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 J*, 2008, 17(4): 539-555.
- [13] Koller H, Hempfing A, Ferraris L, et al. 4- and 5-level anterior fusions of the cervical spine: review of literature and clinical results[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16: 2055-2071.
- [14] 刘景堂, 唐天驹, 王东来, 等. 颈椎椎弓根螺钉内固定系统的临床应用[J]. *中华骨科杂志*, 2003, 23(10): 590-594.
Liu JT, Tang TS, Wang DL, et al. The evaluation of clinical application of cervical pedicle screw system[J]. *Zhonghua Gu Ke Za Zhi*, 2003, 23(10): 590-594. Chinese.
- [15] Heller JG, Estes BT, Zaoali M. Biomechanical study of screws in the lateral masses: variables affecting pull-out resistance[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1996, 78(9): 1315-1321.
- [16] 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.
- [17] 刘观焱, 徐荣明, 马维虎, 等. 两种下颈椎经关节固定技术的静力学比较[J]. *中华医学杂志*, 2007, 23(7): 1599-1602.
Liu GY, Xu RM, Ma WH, et al. A static mechanical comparison between two transarticular internal fixation techniques in the lower cervical spine[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2007, 23(7): 1599-1602. Chinese.
- [18] Koller H, Hitzl W, Acosta F, et al. In vitro study of accuracy of cervical pedicle screw insertion using an electronic conductivity device (ATPS part III)[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(9): 1300-1313.

(收稿日期: 2013-10-17 本文编辑: 王宏)