



# 一种新型颈椎前路可固定式钛笼的生物力学评价

李超,葛丰,徐成

(海军总医院骨科,北京 100048)

**摘要:**目的 对一种新型颈椎前路可固定钛笼在维持颈椎前路椎体次全切除术后椎间三维运动稳定性的生物力学效果进行评价。方法 设计加工新型的颈椎前路可固定钛笼并以 6 具急性脑死亡新鲜青年男性颈椎尸体标本进行生物力学三维运动稳定性评估。每个标本顺序完成以下状态的生物力学测试:完整状态、 $C_4\sim_6$  椎体次全切除+钛笼钢板内固定、 $C_4\sim_6$  椎体次全切除+可固定钛笼固定。通过摄像测量固定节段运动范围(range of motion, ROM)并进行对照研究。结果 可固定钛笼可显著提高颈椎固定节段在三维运动的稳定性,但不及钛笼+钢板固定模式坚强,尤其在伸展活动时。结论 可固定式钛笼可提供足够有效的颈椎前路椎体次全切除术后的稳定性重建保证,虽然整体固定强度不及传统的钛笼+钢板固定模式,但可能更有利于椎间植骨颗粒的融合。

**关键词:**颈椎;固定;钛笼;生物力学

文章编号: 1008-5572(2019)02-0127-04

中图分类号: R318.01

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文献标识码: B



## Biomechanic Evaluation of a New Cervical Anterior Mesh

Li Chao, Ge Feng, Xu Cheng

(Department of Orthopedic, Navy General Hospital, Beijing 100048, China)

**Abstract: Objective** To evaluate the three-dimensional biomechanic stability of a new fixable anterior cervical mesh in a corpectomy model. **Methods** We designed and produced the novel mesh. And Six fresh male cadaver cervical specimens were used. The intact,  $C_5$  corpectomy fixed with mesh and plate,  $C_5$  corpectomy fixed with fixable mesh were tested. range of motion of the fixed segments were measured under non-contact photographic recording system. **Results**

The fixable mesh can provide enough stability, but not as stable as mesh-plate mode, especially in flexion movement. **Conclusion** The fixable mesh can provide enough stability after anterior cervical corpectomy. Although not as stable as mesh-plate, the new mode may be favor to fusion.

**Key words:** cervical; fixation; mesh; biomechanics

颈椎病是骨科常见病之一,经非手术治疗无效的颈椎病或反复发作、脊髓型颈椎病症状进行性加重者均应及时手术。由于压迫多来自脊髓的前方,前路减压融合手术是目前标准的方案<sup>[1-2]</sup>。针对多节段减压的病例,椎体次全切除术可以达到两个及两个以上椎间隙的减压,尤其针对后纵韧带骨化的情况。目前通行的减压后椎体稳定性的重建方法是采用钛笼支撑加钢板固定的模式<sup>[3]</sup>。这种模式取得了较好的临床疗效,但仍有一定比例的并发症发生率,其并发症主要包括钛笼下沉切割椎体、钢板螺钉松动、钛笼脱出、假关节形成等方面<sup>[4-6]</sup>。针对钛笼+钢板固定模式的缺陷,本课题组设计了一种新型的颈椎前路可固定式钛笼(ZL 2010 2 0588271.0),并对其进行以下三维运动稳定性的生物力学评价。

### 1 材料与方

1.1 可固定颈椎笼式融合器的设计及加工 可固定钛笼的外沿适配直径为 12 mm、钛笼整体曲度( $8^\circ, 10^\circ$ )、前缘高度(21 mm/23 mm/25 mm)、前延伸尾翼长度(4 mm)。固定方式为插片固定模式,插片可经过钛笼上下端斜行插入椎体内,插片长度(16.5 mm),插片尾部设计有防脱结构(见图 1~3)。

1.2 标本 6 具急性意外脑死亡新鲜青年男性  $C_2\sim T_1$  尸体标本,试验前 X 线检查排除畸形、显著退行性变及骨折、肿瘤、炎症等病变。实验于海军总医院骨科生物力学实验室进行。双层塑料袋密封包裹标本妥当后置  $-70^\circ\text{C}$  深低温冰箱冷冻保存,实验前 24 h 取出置室温下解冻。解冻后剔除椎旁肌肉及其筋膜组织,处理过程中注意不要损伤韧带、椎间盘及关节囊结构。头尾端椎体内植入普通螺钉以增强包埋稳定性,使用聚甲基丙烯酸甲酯(自凝型,上海新世纪齿科材

料有限公司)将 C<sub>2</sub> 椎体和 T<sub>1</sub> 椎体分别包埋于方形盒子中。然后在标本 C<sub>4</sub>、C<sub>6</sub> 椎体的前方置入直径 1.5 mm、长度约 15 cm 的螺纹克氏针,置入过程中保持 2 枚克氏针处于同一平面,用于屈伸及旋转运动分析。同法于同侧 C<sub>4</sub>、C<sub>6</sub> 横突处置

入克氏针,用于侧弯运动分析。整个实验过程中确保各标志克氏针位置固定,无遮挡、无移位及弯曲。测试过程中用生理盐水间断喷洒标本,以使标本保持湿润和良好的黏弹性。

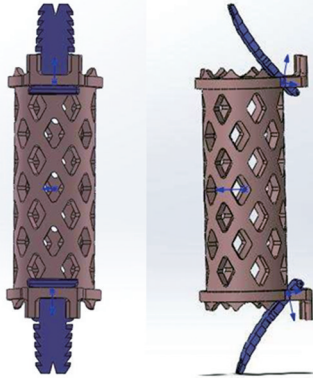


图 1 可固定颈椎钛笼模式图



图 2 可固定颈椎钛笼样品图(右侧为插片)

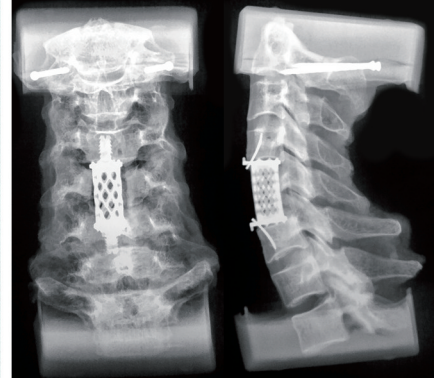


图 3 植入可固定钛笼的人体颈椎标本 X 线片

1.3 实验仪器及数据采集 利用脊柱三维运动分析系统对标本进行三维运动范围测试,测量 C<sub>4</sub>~<sub>6</sub> 节段在 2.0 Nm 的纯力矩载荷下的进行六种运动状态(前屈、后伸、左右侧弯、左右旋转)时的运动范围(range of motion, ROM)。测试前对标本进行三次加载-卸载循环,消除软组织的黏弹性对实验结果的影响。在第三次加载后,用照相机拍摄 0、0.5、1.0 及 2.0 Nm 纯力矩载荷下的标志克氏针运动图像获得椎体间的角度位移。

定制钛笼固定组。完成 B 组测试后,取出钛笼及钛板内固定,选择高度合适可固定钛笼植入椎体间至上下端尾翼贴附于椎体前表面,将上下插片锤击进入椎体内。

1.4 实验标本分组 实验标本共 6 具。按照测试的先后顺序分为 A 组:完整状态组;B 组:钛笼钢板固定组。切除 C<sub>4</sub>~<sub>5</sub>、C<sub>5</sub>~<sub>6</sub> 椎间盘,用刮匙小心刮除两侧的软骨终板,尽量保留骨性终板,再用咬骨钳咬除 C<sub>5</sub> 至椎体后缘。测量骨槽高度,修剪钛笼至合适长度,较骨槽长 2 mm,将一侧底面修剪成前高后低形状以恢复颈椎曲度。保持颈椎适当牵引下将钛笼植入椎体间,至钛笼(北京富乐)前缘平齐椎体前表面。选择合适长度钛板及螺钉(北京富乐)固定 C<sub>4</sub>~<sub>6</sub>。C 组:可固

1.5 统计学分析 采用 SPSS 13.0 统计软件进行分析,计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示,所得两组结果进行对比,采用 *t* 检验处理。显著性水平设为  $P < 0.05$ 。

## 2 结 果

在屈曲运动时,钛笼+钢板与可固定钛笼均能显著减少固定节段的运动范围( $P = 0.000$ ),但在伸展活动时,可固定钛笼虽然较正常组显著限制其活动范围( $P = 0.005$ ),但与钛笼+钛板固定组同样存在显著的差别( $P = 0.001$ )。这种趋势在侧弯及旋转运动时同样存在,但两组间差异无统计学意义。这提示可固定钛笼方式在控制局部伸展运动方面较传统的钛笼+钛板模式为弱,但在其他运动模式方面可达到较理想的稳定性(见表 1)。

表 1 钢板+钛笼固定与可固定钛笼模式下 C<sub>4</sub>~<sub>6</sub> 的三维运动范围比较( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )

组 别	屈曲	伸展	左侧弯	右侧弯	左旋转	右侧弯
正常组	13.46±4.56	9.19±2.49	7.45±2.57	7.24±2.39	9.18±2.47	10.69±2.78
钛笼钛板组	3.09±0.94	1.75±0.36	3.52±0.88	4.09±1.20	4.68±1.28	6.02±1.84
固定钛笼组	5.99±1.28	5.76±1.27	4.76±1.45	4.63±1.66	6.56±2.33	7.66±3.01

## 3 讨 论

目前在颈椎前路椎体次全切除重建使用钛笼+钢板重建稳定性的方式尚有以下几个方面的不足:a)费用昂贵。一套进口钢板+钛笼的费用约 3 万元左右,而国产的费用也近 2 万元。内固定耗材的费用占整个治疗费用的大部分,这与目前我国大力控制医疗费用增长的大环境不相适应。b)钢

板的应力遮挡效应。既往的生物力学实验显示前路钢板可分担椎体间应力负荷的 70%~80%,而真正需要应力刺激的椎间植骨部分仅接受整个椎体应力负荷的 20%~30%。同时,由于钢板固定为偏心、张力带性质的固定模式,容易出现内固定失效,包括螺钉的松动、断裂,尤其在长节段固定时。c)钛笼的切割椎体、下沉现象。目前应用钛笼固定的方式较

多观察到的现象是术后钛笼出现椎体切割并下沉的现象。钛网的下沉可使原有颈椎高度和生理曲度丢失,患者再次出现颈肩部疼痛,甚至出现后凸畸形、骨融合失败等并发症<sup>[7]</sup>。导致钛网下沉的因素很多,钛网形态的设计缺陷是造成钛网下沉的重要原因。目前大多数的钛笼均需要术中根据减压范围的长度进行临时剪裁,这样就会在两端与椎体接触部位出现多个尖刺样结构。于是椎体终板下骨与钛笼间形成多个点-面的接触,应力完全集中在这几个点上,必然会出现椎体的切割并带来下沉<sup>[8]</sup>。d)钛笼植入的偏心现象。在置入钛笼的过程中,由于无法有效控制钛笼置入的深度,临床医生往往担心打击力量过大,造成钛笼的深入进而压迫脊髓,往往至钛笼表面低于椎体前缘即可,故大部分的钛笼均位于椎间隙前2/3部位。钛笼的小直径造成植骨接触面及有效植骨量的减少,同时这种偏心性的置入导致钛笼后部与前部应力分担上的不平衡,进一步促进下沉现象的发生。e)钢板对食道的侵及。食道位于椎体前缘间隙内,植入钢板挤压、占据食道的空间,虽然食道具有优越的弹性,但仍会有刺激症状出现。近年来一些研究注意到颈椎前路减压后植入钢板对食道影响<sup>[9]</sup>。f)钛笼的直筒现象。目前颈椎钛笼均设计成直筒形状,这种直筒状的设计不能有效恢复或改善颈椎的前凸曲度<sup>[10-11]</sup>。

可固定式椎间笼式融合器(钛笼)是一种可固定于减压后上下椎体上的笼式融合器。在植入椎体间隙的时候,其头尾两端前侧延伸出来的尾翼可贴附在上下椎体的边缘达到限制深度的作用。插片尾部带有倒齿样结构,置入椎体后其尾端倒齿可防止插片退出。钛笼长度根据减压椎体的高度多少可设计成不同长度规格,钛笼本身设计成不同曲度以恢复颈椎生理曲度,达到个性化治疗。

与钢板-钛笼固定模式相比,这种可固定式钛笼具有以下优势:a)费用降低,可节省前路钢板费用,使整体内固定费用降低一半。b)低食道侵及。由于椎体前方仅有钛笼向头尾两端椎体边缘伸出数毫米长度的尾翼,故其可将食道空间的侵及减少到最小程度。c)低应力遮挡效应。由于椎间压力负荷可完全经过钛笼进行上下传递,钛笼及其间的植骨颗粒可分担最大的应力刺激,利于植骨颗粒的融合,减少将来植骨不愈合、假关节形成、内固定失效的风险。d)良好的匹配。根据国人的颈椎椎体直径设计钛笼的相应直径,保证钛笼的中心力线与椎体力线接近并可尽量获得最大的植骨空间。同时钛笼两端的尾翼,除了发挥固定钛笼的作用外,还可发挥限制深度的作用。如此可免去医生在植入钛笼时担心力量过大、钛笼沉入过深进入椎管而不能使钛笼到达最佳位置。e)减少钛笼下沉可能性。由于有上下插片的固定,

新型钛笼与椎体终板下骨的接触变成钛笼界面支撑加插片固定的立体固定模式,避免了普通钛笼多点接触的模式。尽管钛笼的应力负荷增加了,但钛笼-骨界面具有更好的稳定性,所以发生切割、下沉的可能性将减低<sup>[12]</sup>。f)简化手术步骤,减少手术时间。植骨、内固定一起完成,避免了钛笼植骨后置入钢板过程中出现的钢板过短(螺钉与钛笼边缘切割)及钢板过长(钢板边缘侵及上下椎间隙)。

从本生物力学实验可以发现,传统的钛笼+钢板的固定模式在维持颈椎三维运动稳定性方面具有最强的效果。可固定式钛笼在各个方面的稳定性均不及钛笼+钢板模式,尤其在后伸运动中,两者间的差距显著。但可固定式钛笼在维持三维运动稳定性方面较原始状态均有显著性的提高,说明其可以满足颈椎椎体次全切除后重建内固定的要求。在颈椎失稳术后稳定性重建过程中,内固定并非越坚强越好,过度坚强的内固定会造成应力遮挡,不利于植骨颗粒的愈合<sup>[13-14]</sup>。可固定式钛笼可以分担更多的应力于笼间的植骨颗粒,在维持足够稳定性的同时利于植骨颗粒的愈合,具有临床应用价值。

#### 参考文献:

- [1] Young WF. Cervical spondylotic myelopathy: a common cause of spinal cord dysfunction in older persons[J]. *Am Fam Physician*, 2000, 62(5): 1064-1070.
- [2] Karadimas SK, Erwin WM, Ely CG, et al. Pathophysiology and natural history of cervical spondylotic myelopathy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(22 Suppl 1): S21-36.
- [3] Andaluz N, Zuccarello M, Kuntz C. Long-term follow-up of cervical radiographic sagittal spinal alignment after 1- and 2-level cervical corpectomy for the treatment of spondylosis of the subaxial cervical spine causing radiculomyelopathy or myelopathy: a retrospective study[J]. *J Neurosurg Spine*, 2012, 16(1): 2-7.
- [4] Hee HT, Majd ME, Holt RT, et al. Complications of multilevel cervical corpectomies and reconstruction with titanium cages and anterior plating[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2003, 16(1): 1-8.
- [5] Nunley PD, Jawahar A, Kerr EJ 3rd, et al. Choice of plate may affect outcomes for single versus multilevel ACDF: results of a prospective randomized single-blind trial[J]. *Spine J*, 2009, 9(2): 121-127.
- [6] Schroeder GD, Kepler CK, Hollern DA, et al. The effect of dynamic versus static plating systems on fusion rates and complications in 1-level and/or 2-level anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(1): 20-26.

[7] Chen Y, Chen D, Guo Y, et al. Subsidence of titanium mesh cage; a study based on 300 cases [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2008, 21(7): 489-492.

[8] Yan D, Wang Z, Deng S, et al. Anterior corpectomy and reconstruction with titanium mesh cage and dynamic cervical plate for cervical spondylotic myelopathy in elderly osteoporosis patients [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2011, 131(10): 1369-1374.

[9] 张在恒, 厉玉杰, 王永峰, 等. 颈椎前路钢板与零切迹系统治疗多节段伴后凸畸形颈椎椎病 [J]. *实用骨科杂志*, 2017, 23(7): 600-608.

[10] Karikari IO, Jain D, Owens TR, et al. Impact of subsidence on clinical outcomes and radiographic fusion rates in anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2014, 27(1): 1-10.

[11] Luo J, Cao K, Huang S, et al. Comparison of anterior approach versus posterior approach for the treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy [J]. *Eur Spine J*, 2015, 8(24): 1621-1630.

[12] Kabir SM, Alabi J, Rezajooi K, et al. Anterior cervical corpectomy: review and comparison of results using titanium mesh cages and carbon fibre reinforced polymer cages [J]. *Br J Neurosurg*, 2010, 24(5): 542-526.

[13] 吴增志, 赖茂松, 熊浩, 等. Zero-P 椎间融合术治疗颈椎间盘突出并脊髓损伤的疗效观察 [J]. *实用骨科杂志*, 2017, 23(4): 363-365.

[14] Mackiewicz A, Banach M, Denisiewicz A, et al. Comparative studies of cervical spine anterior stabilization systems: finite element analysis [J]. *Clin Biomech*, 2016, 32(2): 72-79.

收稿日期: 2018-06-19

作者简介: 李超(1976—), 男, 副主任医师, 海军总医院骨科, 100048。

(上接第 126 页)

[10] Cummins CA, Scarborough MT, Enneking WF. Multicentric giant cell tumor of bone [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1996(322): 245-252.

[11] Sheth DS, Healey JH, Sobel M, et al. Giant cell tumor of the distal radius [J]. *J Hand Surg Am*, 1995, 20(3): 432-440.

[12] McDonald DJ, Sim FH, McLeod RA, et al. Giant-cell tumor of bone [J]. *J Bone Joint Surg (Am)*, 1986, 68(2): 235-242.

[13] McCarthy EF. Giant-cell tumor of bone: an historical perspective [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1980(153): 14-25.

[14] Labs K, Perka C, Schmidt RG. Treatment of stages 2 and 3 giant-cell tumor [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2001, 121(1-2): 83-86.

[15] Errani C, Ruggieri P, Asenzio MA, et al. Giant cell tumor of the extremity: A review of 349 cases from a single institution [J]. *Cancer Treat Rev*, 2010, 36(1): 1-7.

[16] 牛晓辉. 骨巨细胞瘤的诊断与治疗 [J]. *癌症进展*, 2005, 3(4): 316-319.

[17] Masui F, Ushigome S, Fujii K. Giant cell tumor of bone: a clinicopathologic study of prognostic factors [J]. *Pathol Int*, 1998, 48(9): 723-729.

[18] Capanna R, Fabbri N, Bettelli G. Curettage of giant cell tumor of bone. The effect of surgical technique and adjuvants on local recurrence rate [J]. *Chir Organi Mov*, 1990, 75(1 Suppl): 206.

[19] Kafchitsas K, Habermann B, Proschek D, et al. Functional results after giant cell tumor operation near knee joint and the cement radiolucent zone as indicator of recurrence [J]. *Anticancer Res*, 2010, 30(9): 3795-3799.

[20] Kivioja AH, Blomqvist C, Hietaniemi K, et al. Cement is recommended in intralesional surgery of giant cell tumors: a Scandinavian Sarcoma Group study of 294 patients followed for a median time of 5 years [J]. *Acta Orthop*, 2008, 79(1): 86-93.

[21] O'Donnell RJ, Springfield DS, Motwani HK, et al. Recurrence of giant-cell tumors of the long bones after curettage and packing with cement [J]. *J Bone Joint Surg (Am)*, 1994, 76(12): 1827-1833.

[22] Fraquet N, Faizon G, Rosset P, et al. Long bones giant cells tumors: treatment by curettage and cavity filling cementation [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2009, 95(6): 402-406.

[23] 鱼锋, 张清, 郝林, 等. 股骨近端骨巨细胞瘤的刮除治疗 [J]. *中国骨肿瘤骨病*, 2007, 6(3): 133-135.

[24] Radev BR, Kase JA, Askew MJ, et al. Potential for thermal damage to articular cartilage by PMMA reconstruction of a bone cavity following tumor excision: A finite element study [J]. *J Biomech*, 2009, 42(8): 1120-1126.

收稿日期: 2018-11-27

作者简介: 童小鹏(1992—), 男, 研究生在读, 中南大学湘雅医院骨科, 410008。