

椎体 U 型钉治疗儿童脊柱侧凸的研究进展

Advance use of vertebral body stapling in pediatric scoliosis

郑欣, 孙旭, 邱勇

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 江苏省南京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.08.15

中图分类号: R682.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2013)-08-0749-04

对处于青春期前的儿童脊柱侧凸, 由于其发病年龄早, 畸形进展迅速^[1], 外科治疗非常困难。支具治疗对于控制严重脊柱侧凸的进展无明显作用, 而且患儿依从性差, 长时间佩戴支具易引起皮肤压疮等问题。为控制畸形的进展, 手术治疗往往难以避免。传统的后路矫形融合内固定术虽然能很好地矫正畸形, 但同时也带来诸多问题, 如术后患儿躯干短小、发生“曲轴效应”以及影响肺发育导致通气功能障碍等问题^[2,3]。非融合矫形内固定技术在控制和矫正脊柱畸形的同时可以保持脊柱的继续生长能力, 近年来得到越来越多的应用^[4-9]。椎体 U 型钉利用压力对凸侧脊柱的生长进行阻滞, 通过脊柱自身的生长自行改善脊柱侧凸, 其原理基于 Hueter-Volkman 定律, 即椎体生长板的压力越大, 其生长速度越慢。笔者就椎体 U 型钉技术在治疗儿童脊柱侧凸中的相关进展综述如下。

1 动物体内实验

20 世纪 50 年代该技术应用于脊柱侧凸的模型建立及治疗中。1951 年, Nachlas 等^[10]在幼犬的腰椎单侧置入金属 U 型钉, 固定 L4~L6 之间的椎体及椎间隙, 幼犬出现继发性脊柱侧凸和椎体旋转的现象。取出 U 型钉以及对侧置入 U 型钉后, 幼犬的脊柱发育不对称得到了很好的纠正。该研究为脊柱侧凸的治疗提供了新的思路。

镍钛合金具有形状记忆功能, 因而可被制成 U 型钉, 在置入脊柱后其形状记忆的特性可持续性对椎体加压。Braun 等^[11-13]在大型哺乳类动物中进行了实验验证。首先, 他们使用弹性拴系在较短的时期内建立山羊的脊柱侧凸模型, 从而可以使羊在生长期内得到外科干预^[11]。在成功建立模型后, 再应用前路镍钛合金 U 型钉进行矫形, 在 8 周的观察期内, 山羊主弯 Cobb 角从 57° 矫正至 43°, 而作为对照的单纯移除拴系组侧凸角度从 67° 减少至 60°, 与对照组相比, U 型钉具有显著的矫形效果; 他们还对比

治疗过程中顶椎的楔形变进行了测量, 结果显示前路 U 型钉矫形组顶椎楔角从 22.5° 减小到 20.3°, 而对照组的顶椎楔角从 22.3° 进展到 25.8°, 两组的顶椎楔角变化也具有显著性差异^[12]。但在对严重脊柱侧凸动物模型的矫形实验中, U 型钉的矫形效果并不满意^[13], 其原因可能是因为侧凸角度过大, 凹凸侧椎体的高度相差也较大, 很难通过生长调节的方式来矫形。另外, 角度过大, 根据 Hueter-Volkman 定律, 凹凸两侧的生长能力相差较大, 即便使用 U 型钉限制凸侧生长, 由于凹侧本身生长能力较弱, 难以通过凹侧生长来矫形。该研究的结果与 Betz 等^[14]后来的临床研究结果基本一致, 即 Cobb 角 >50° 的患者采用 U 型钉的矫正效果不佳。

一般认为, U 型钉本身对脊柱的直接矫形能力是很弱的, 其在置入脊柱后主要通过压力下生长板的差异性生长而达到矫正侧凸的目的。张永刚等^[15]将记忆合金加压 U 型钉置入山羊胸椎, 观察其对山羊脊柱生长的影响, 结果发现, 记忆合金加压 U 型钉能够有效抑制置入侧脊椎骨的生长, 调节脊柱的生长方向, 同时加压力的大小与脊柱生长抑制的程度呈正相关。Bylski-Austrow 等^[16]将 U 型钉置入 5 只 3 月龄幼猪脊柱 T6~T12 节段 8 周后获取脊柱标本, 进行组织学观察, 发现置入 U 型钉侧的脊柱生长板肥大层高度、肥大层细胞高度和宽度及椎间盘高度均较对照椎体和对侧小。为分析 U 型钉对侧凸山羊椎体生长板生长增殖的影响, 白林等^[17]将 U 型钉置入 2~3 月龄山羊脊柱 T6~T11 节段 3 个月后, 取脊柱顶椎生长板和下关节突组织进行 HE 染色, 观察骨骺软骨细胞并计算各组软骨细胞增殖活跃度。他们认为 U 型钉通过影响山羊胸椎的远端生长板及其下关节突的骨骺软骨细胞增殖活跃度, 从而影响骨生长, 导致脊柱后凸增加。然而, 在 Shillington 等^[18]的研究中, 他们在牛的脊柱置入 U 型钉后, 将牛脊柱标本进行 MicroCT 检查发现, 置入的 U 型钉周围生长板的组织结构显著破坏, 认为 U 型钉置入对脊柱的矫形作用可能更主要来自于置入侧生长板结构的破坏, 而非置入侧压应力增加通过 Hueter-Volkman 定律的生长调节作用所导致。

当 U 型钉发生形变时可对椎间盘形成加压, 使椎间盘也发生形变, 因而 Schmid 等^[19]认为由于椎体 U 型钉长

第一作者简介: 男(1985-), 主治医师, 博士后, 研究方向: 脊柱外科

电话: (025)83106666 E-mail: thindy1980@163.com

通讯作者: 孙旭 E-mail: drsunxu@163.com

期对脊柱两侧产生不对称力学负荷,因此会干扰椎间盘代谢,可能对椎间盘发育产生不利影响,有必要对该装置进行适当改进。为研究 U 型钉固定对椎间盘组织学的影响, Hunt 等^[20]将山羊脊柱 T7~T12 节段进行 U 型钉固定,对比分析 U 型钉固定节段与未固定节段椎间盘组织学的变化,结果发现 U 型钉固定节段的椎间盘细胞密度降低,细胞凋亡较未固定节段显著,认为椎间盘在长期 U 型钉固定的影响下会发生明显退变。相反,Newton 等^[21]将 1 月龄牛脊柱前外侧进行拴系,6 个月后分析其椎间盘的组织学变化发现,在拴系的外力作用下,尽管椎间盘厚度、糖蛋白合成和胶原类型的组成均发生变化,然而椎间盘含水量并无显著变化,因而认为椎间盘的退变征象不明显。Bylski-Austrow 等^[22]将 U 型钉置入 3 月龄幼猪脊柱 8 周后产生了 11.3° 的脊柱侧凸,处死幼猪获取脊柱标本进行生物力学的测试,结果发现尽管 U 型钉置入时对椎间盘产生压应力作用,然而取出 U 型钉后,其压应力立刻恢复到正常值,因而认为 U 型钉的置入并不影响椎间盘的运动功能。但目前尚缺乏长期应用 U 型钉对椎间盘影响的研究。

2 临床应用

1949 年 Blount 等^[23]最早使用 U 型钉矫正下肢不等长畸形。1954 年,Smith 等^[24]首次将 U 型钉应用于人类脊柱侧凸的治疗,3 例获得长期随访的患儿矫形效果并不理想。作者认为其中 2 例主要是由于 U 型钉放置的时机太晚而患者生长潜能有限,另 1 例是由于在放置前未行半椎体切除。

尽管 U 型钉在人类脊柱侧凸的早期临床应用中并不成功^[24],但随着 Braun 等^[11,12,25,26]在其系列的动物实验中获得成功验证,推动了 U 型钉的临床应用。Stücker^[27]对 6 例 AIS 患者行 U 型钉固定并随访 2 年以上,结果发现,Cobb 角大于 35° 的 4 例患者均出现了侧凸的进展,而 2 例 Cobb 角小于 35° 的患者未出现侧凸进展,因而他认为 U 型钉可能更加适合 Cobb 角 35° 以下的病例,其原因可能由于其跨越活动的椎间盘进行固定,对于较大角度的脊柱侧凸,承受的应力较大,易发生松动、脱出或断裂,因而治疗效果不理想。Betz 等^[28]于 2003 年提出椎体 U 型钉矫正脊柱侧凸的指征是:(1)侧凸畸形发生于 9 岁以后;(2)骨骼尚未发育成熟(Risser 征 ≤ 2)。禁忌证包括:(1)后凸畸形超过 40°;(2)有全麻的禁忌证;(3)肺功能较差,无法耐受前路手术;(4)对镍过敏者。Betz 等^[28]使用胸腔镜技术在脊柱的凸侧放置 U 形钉,手术时患者的平均年龄为 12 岁(10~14 岁),术后平均随访 11 个月(3~36 个月),术后未出现 U 型钉的松动或移位等并发症,患者术前侧凸角度平均为 35°(28°~40°),术后为 37°(22°~55°)。Betz 等^[28]认为椎体 U 型钉侧凸矫形技术是控制青少年特发性脊柱侧凸行之有效的方法,长期随访结果支持此技术具有一定的优势。然而,在 Ohlin 等^[29]的研究中,U 型钉治疗的效果并不满意。Ohlin 等^[29]应用椎体 U 型钉治疗 9 例平均年龄为 11.3 岁的 AIS

患者,术前主弯 Cobb 角平均为 38°(32°~46°),行 U 型钉固定并随访 35 个月后,7 例患者因侧凸进展平均达 20°而再次接受后路融合矫形的手术治疗。

Lavelle 等^[30]回顾性分析 28 例采用椎体 U 型钉治疗的胸椎脊柱侧凸患者,并根据侧凸角度大小分析其治疗成功率,结果显示,<35° 病例成功率为 77.7%,<20° 的病例其成功率为 85.7%,而大于 35° 的病例效果不佳。柔韧性好的 25°~45° 的单腰弯或者<35° 的胸弯以及<20° 的侧凸效果最好。因此,作者建议对于 35°~45° 的胸弯或者柔韧性较差、Bending 位片上侧凸大于 20° 的病例,可以在椎体 U 型钉置入的同时联合应用生长棒行肋骨-脊柱的固定,以更好地控制畸形。Betz 等^[31]于 2010 年对应用椎体 U 型钉矫正脊柱侧凸患者 2 年以上随访的研究中也得出相似的结论,在柔韧性好的腰椎侧凸和 Cobb 角小于 35° 的胸椎侧凸中,U 型钉的效果较好,对于大于 35° 的胸椎侧凸,可能需要考虑其他治疗策略。

U 型钉置入脊柱后持续对置入侧产生压应力,何时移除 U 型钉,尚无明确指征。在 Betz 等^[31]治疗的病例中,有病例出现过矫正,腰弯出现反曲的现象。基于其病例随访结果,Betz 等^[31]针对其 2003 年提出的适应证^[28]做了进一步修正,认为椎体 U 型钉矫正脊柱侧凸的推荐适应证为:(1)女性年龄小于 13 岁,男性年龄小于 15 岁;(2)Risser 征 0 或 1 级,手掌正位 X 线片显示有 1 年的生长潜能;(3)胸弯和腰弯 Cobb 角小于 45°,椎体旋转较小,柔韧性较好(Bending 位片上小于 20°);(4)胸椎后凸小于 40°。若患者胸椎侧凸在 35°~45° 之间,而 Bending 位片上大于 20°,则可考虑联合应用肋骨-脊柱固定。

Gupta 等^[32]认为,鉴于单纯应用 U 型钉的效果较差,可以将生长棒或纵向可撑开型人工钛肋技术(vertical expandable prosthetic titanium rib,VEPTR)与其联合使用,起到分担凹侧应力的作用。在其研究中,对 5 例侧凸角度超过 50° 的患儿进行生长棒或 VEPTR 与 U 型钉联合应用矫正脊柱畸形,2 年的随访结果显示固定节段 Cobb 角、顶椎偏移和凹侧生长长度均较理想,术后 2 年随访时主弯 Cobb 角矫正度为 47%,凹侧脊柱生长长度达 41%。O'Leary 等^[33]对使用 U 型钉矫形的 11 例平均年龄为 6 岁 11 个月的非特发性脊柱侧凸患儿进行回顾性分析,术前主弯 Cobb 角平均为 68°,术后为 45°,随访 22 个月后,主弯 Cobb 角进展至 69°,其中半数以上的病例需要进行生长棒或 VEPTR 的治疗,作者分析其治疗效果不佳可能与入选病例角度较大及其病因为非特发性脊柱侧凸有关。

一般认为,U 型钉对脊柱的直接矫形能力是很弱的,主要为利用脊柱自身的生长实现矫形,起到的是一种内支具的作用。其优点在于微创以及早期对不平衡的脊柱生长进行干预,可以在脊柱出现严重畸形之前得到一定控制,而且保留了脊柱所固有的部分功能。然而,如果脊柱弯曲过大,意味着凹凸两侧的高度相差较大,很难通过调节的方式来矫形。同时,由于 U 型钉是对凸侧椎体进行阻滞进

而矫形的, 所以 U 型钉置入的部位必须在有楔形变的椎体。如果椎体没有楔形变, 或者楔形变不明显, 就有可能出现矫枉过正。

另外, 由于目前尚缺乏使用 U 型钉矫正脊柱侧凸的长期随访研究, 使用此技术的临床指征并不统一, 胸椎后凸过大及椎体旋转度较大为其主要禁忌证。相信随着对这项技术随访资料的增多, 该技术在脊柱侧凸的非融合治疗中的作用会更加明确。

3 参考文献

1. 邱勇. 低龄先天性脊柱侧凸伴胸廓发育不良综合征患者的外科治疗[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(3): 174-176.
2. Goldberg CJ, Gillic I, Connaughton O, et al. Respiratory function and cosmesis at maturity in infantile-onset scoliosis [J]. *Spine*, 2003, 28(20): 2397-2406.
3. Karol LA. Early definitive spinal fusion in young children: what we have learned[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469(5): 1323-1329.
4. Thompson GH, Akbarnia BA, Kostial P, et al. Comparison of single and dual growing rod techniques followed through definitive surgery: a preliminary study[J]. *Spine*, 2005, 30(18): 2039-2044.
5. Luque E, Cardoso A. Treatment of scoliosis without arthrodesis or external support: preliminary report [J]. *Orthop Trans*, 1977, 1: 37-38.
6. Mardjetko SM, Hammerberg KW, Lubicky JP, et al. The Luque trolley revisited: review of nine cases requiring revision [J]. *Spine*, 1992, 17(5): 582-589.
7. Campbell RM Jr, Smith MD, Mayes TC, et al. The effect of opening wedge thoracostomy on thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2004, 86(8): 1659-1674.
8. Campbell RM Jr, Adeox BM, Smith MD, et al. The effect of mid-thoracic VEPTR opening wedge thoracostomy on cervical tilt associated with congenital thoracic scoliosis in patients with thoracic insufficiency syndrome[J]. *Spine*, 2007, 32(20): 2171-2177.
9. 邱勇, 孙旭, 王斌, 等. 纵向可撑开型人工钛肋技术治疗早发性脊柱侧凸早期疗效[J]. 中华外科杂志, 2012, 50(10): 883-888.
10. Nachlas IW, Borden JN. The cure of experimental scoliosis by directed growth control[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1951, 33(1): 24-34.
11. Braun JT, Hoffman M, Akyuz E, et al. Mechanical modulation of vertebral growth in the fusionless treatment of progressive scoliosis in an experimental model[J]. *Spine*, 2006, 31(12): 1314-1320.
12. Braun JT, Ogilvie JW, Akyuz E, et al. Fusionless scoliosis correction using a shape memory alloy staple in the anterior thoracic spine of the immature goat[J]. *Spine*, 2004, 29(18): 1980-1989.
13. Braun JT, Akyuz E, Udall H, et al. Three-dimensional analysis of 2 fusionless scoliosis treatments: a flexible ligament tether versus a rigid-shape memory alloy staple [J]. *Spine*, 2006, 31(3): 262-268.
14. Betz RR, D'Andrea LP, Mulcahey MJ, et al. Vertebral body stapling procedure for the treatment of scoliosis in the growing child[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2005, 434: 55-60.
15. 张永刚, 张巍, 郑国权, 等. 记忆合金加压钉抑制山羊半侧脊柱生长的实验研究[J]. 中华外科杂志, 2007, 45(8): 537-539.
16. Bylski-Austrow DI, Wall EJ, Glos DL, et al. Spinal hemiepiphysiodesis decreases the size of vertebral growth plate hypertrophic zone and cells[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2009, 91(3): 584-593.
17. 白林, 张巍, 郑国权, 等. 镍钛记忆合金加压钉对山羊胸椎骨骺生长的影响观察[J]. 中国修复重建外科杂志, 2011, 25(4): 456-461.
18. Shillington MP, Labrom RD, Askin GN, et al. A biomechanical investigation of vertebral staples for fusionless scoliosis correction[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2011, 26(5): 445-451.
19. Schmid EC, Aubin CE, Moreau A, et al. A novel fusionless vertebral physal device inducing spinal growth modulation for the correction of spinal deformities[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(10): 1329-1335.
20. Hunt KJ, Braun JT, Christensen BA. The effect of two clinically relevant fusionless scoliosis implant strategies on the health of the intervertebral disc: analysis in an immature goat model[J]. *Spine*, 2010, 35(4): 371-377.
21. Newton PO, Farnsworth CL, Faro FD, et al. Spinal growth modulation with an anterolateral flexible tether in an immature bovine model: disc health and motion preservation [J]. *Spine*, 2008, 33(7): 724-733.
22. Bylski-Austrow DI, Glos DL, Boehm LA, et al. Coronal plane displacement gradient precedes vertebral growth modification using titanium spinal hemiepiphysal staples [C]. Presented at the 4th International Congress on Early Onset Scoliosis and Growing Spine. Toronto, Canada: 2010.
23. Blount WP, Clarke GR. Control of bone growth by epiphysal stapling: a preliminary report[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1949, 31(3): 464-478.
24. Smith AD, Von Lackum WH, Wylie R. An operation for stapling vertebral bodies in congenital scoliosis [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1954, 36(A2): 342-348.
25. Braun JT, Akyuz E, Ogilvie JW. The use of animal models in fusionless scoliosis investigations[J]. *Spine*, 2005, 30(17 Suppl): 35-45.
26. Braun JT, Ogilvie JW, Akyuz E, et al. Creation of an experimental idiopathic-type scoliosis in an immature goat model using a flexible posterior asymmetric tether[J]. *Spine*, 2006,

综述

触发肌电图监测技术及其在脊柱矫形内固定术中应用的研究进展

Research progress of application of triggered EMG monitoring in spine correction

杨军林, 邓耀龙, 黄紫房

(中山大学附属第一医院脊柱侧弯中心 510080 广州市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.08.16

中图分类号: R687.3, R741.044 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2013)-08-0752-04

目前, 椎弓根螺钉内固定技术已被广泛应用于各种脊柱手术中, 椎弓根置钉不良会导致神经损伤和内固定失败等^[1,2], 据报道, 因椎弓根螺钉置入不当引起的并发症发生率在 1%~11%^[3]。由 Calancie 等^[4,5] 提出的触发肌电图 (triggered electromyograph, t-EMG) 监测技术被认为是可以评估椎弓根螺钉置入准确性客观、有效的方法。脊柱侧凸畸形常伴有椎弓根变异、椎体旋转、主动脉位置变异、凹侧椎弓根贴近脊髓等特点, 螺钉置入不当极易造成大动脉损伤、硬膜撕裂、神经根损伤, 甚至损伤脊髓等^[6-8], 对椎弓根螺钉置入准确性的要求更高, 此项技术在脊柱畸形矫正术中的应用意义更大。笔者就触发肌电图监测技术的原理、方法、临床应用及其研究进展综述如下。

1 基本原理

t-EMG 监测的原理是利用恒压电源或恒流电源刺激

置入椎弓根内的螺钉, 对应节段的神经在受到电刺激后, 其支配肌肉的所有纤维被同步激活, 产生复合肌肉动作电位 (compound muscle action potentials, CMAPs)。当置入的椎弓根螺钉完全在骨性结构中, 需很强的电刺激才能引起肌肉收缩, 电刺激引起肌肉反应的阈值会升高; 反之, 当椎弓根螺钉突破椎体骨性结构, 直接或通过软组织接触到周围神经组织, 阈值会降低。

2 监测技术

2.1 刺激方法

临床上, t-EMG 监测技术常规用恒流电源刺激, 鳄鱼夹电极夹于椎弓根螺钉作为阴极, 针电极置于对应的椎旁肌肉作为阳极, 两极间的电流形成回路, 刺激脊髓、骨性结构、脊神经及周围组织。操作时, 一般采用频率 1Hz, 脉宽 0.1~0.5ms 的电流持续刺激, 刺激电量从 0mA 逐渐增大, 直到触发出 CMAPs 信号或最大刺激量为止。该刺激电流值被称为刺激阈值。

在早期, 有文献报道过用电压刺激的触发肌电图技

第一作者简介: 男 (1964-), 主任医师, 教授, 研究方向: 脊柱畸形
电话: (020)87755766-8236 E-mail: yjunlin@126.com

31(13): 1410-1414.

27. Stucker R. Results of treatment of progressive scoliosis with SMA staples[J]. Orthopade, 2009, 38(2): 176-180.
28. Betz RR, Kim J, D'Andrea LP, et al. An innovative technique of vertebral body stapling for the treatment of patients with adolescent idiopathic scoliosis: a feasibility, safety, and utility study[J]. Spine, 2003, 28(20): S255-265.
29. Ohlin A, Montgomery A, Abul-Kasim K. Vertebral body stapling in the treatment of thoracic adolescent idiopathic scoliosis in immature patients[C]. Presented at the 5th International Congress on Early Onset Scoliosis and Growing Spine. Orlando, Florida: 2011.
30. Lavelle WF, Samdani AF, Cahill PJ, et al. Clinical outcomes of nitinol staples for preventing curve progression in idiopathic scoliosis[J]. J Pediatr Orthop, 2011, 31(1 Suppl):

107-113.

31. Betz RR, Ranade A, Samdani AF, et al. Vertebral body stapling: a fusionless treatment option for a growing child with moderate idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2010, 35(2): 169-176.
32. Gupta P, Hassani S, Hammerberg K. Growing rods as a salvage procedure after convex staple epiphyseodesis to control curve progression in young patients[C]. Presented at the 2nd International Congress on Early Onset Scoliosis and Growing Spine. Montreal, Canada: 2009.
33. O'Leary PT, Sturm PF, Hammerberg KW, et al. Convex hemiepiphysodesis: the limits of vertebral stapling[J]. Spine, 2011, 36(19): 1579-1583.

(收稿日期: 2013-04-28 修回日期: 2013-06-15)

(本文编辑 卢庆霞)