

椎弓根螺钉的不同结构特点对螺钉电阻的影响

王洪伟¹, 廖新华², 马显光², 李长青¹, 韩建达³, 周 跃¹

(1 第三军医大学新桥医院骨科 400037 重庆市; 2 第三军医大学生物医学工程与医学影像学院物理学教研室 400038 重庆市; 3 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室 110016 沈阳市)

【摘要】目的:研究椎弓根螺钉的不同结构特点(实心与空心螺钉、直径)对螺钉电阻的影响,进而探讨其对刺激肌电监测椎弓根螺钉置入准确性的可能影响。**方法:**选择临床常用的两个厂家(强生和美敦力公司)的 12 枚椎弓根螺钉,每个厂家各 6 枚,强生公司实心与空心螺钉的直径均为 5.0mm、6.0mm 和 7.0mm;美敦力公司实心与空心螺钉的直径均为 4.5mm、5.5mm 和 6.5mm。用万用电表测量通过椎弓根螺钉的电流,用电位差计测量螺钉杆上间隔 20mm 节段的电位差,通过欧姆定律计算椎弓根螺钉的电阻值。**结果:**美敦力公司的 4.5mm 实心与空心椎弓根螺钉电阻分别为 $(0.142 \pm 0.003)\Omega$ 和 $(0.398 \pm 0.002)\Omega$, 5.5mm 实心与空心椎弓根螺钉电阻分别为 $(0.110 \pm 0.007)\Omega$ 和 $(0.347 \pm 0.003)\Omega$, 6.5mm 实心与空心椎弓根螺钉电阻分别为 $(0.086 \pm 0.002)\Omega$ 和 $(0.290 \pm 0.003)\Omega$ 。强生公司的 5.0mm 实心与空心椎弓根螺钉电阻分别为 $(0.149 \pm 0.001)\Omega$ 和 $(0.291 \pm 0.001)\Omega$, 6.0mm 实心与空心椎弓根螺钉电阻分别为 $(0.123 \pm 0.004)\Omega$ 和 $(0.237 \pm 0.001)\Omega$, 7.0mm 实心与空心椎弓根螺钉电阻分别为 $(0.095 \pm 0.001)\Omega$ 和 $(0.148 \pm 0.001)\Omega$ 。相同直径的空心椎弓根螺钉较实心椎弓根螺钉具有较大的电阻,差异有统计学意义($P < 0.05$)。无论实心椎弓根螺钉或空心椎弓根螺钉,随着直径的增大,椎弓根螺钉的电阻值逐渐减小,差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**长度与直径相同的空心椎弓根螺钉较实心螺钉具有较大的电阻,长度相同的实心或空心小直径椎弓根螺钉具有较大的电阻,应用刺激肌电监测椎弓根螺钉置入时要注意其带来的影响。

【关键词】椎弓根螺钉;电阻;脊柱;直径;空心;实心

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.03.13

中图分类号:R318.08 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2013)-03-0263-04

Experimental study of the influence of different intrinsic properties of pedicle screws on the electrical resistance/WANG Hongwei, LIAO Xinhua, MA Xianguang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2013, 23(3): 263-266

【Abstract】Objectives: To study the influence of pedicle screw structural features(solid and cannulated pedicle screws, diameters) on the electrical resistance of pedicle screws and to discuss its possible effect on the accuracy of pedicle screw insertion monitored by stimulus-evoked electromyography. **Methods:** Electrical resistance measurements were obtained from 12 pedicle screw varieties(6 screws of each manufacturer: solid or cannulated pedicle screws with diameter of 5.0mm, 6.0mm, 7.0mm in Johnson company and solid or cannulated pedicle screws with diameter of 4.5mm, 5.5mm, 6.5mm in Medtronic company) across the screw shank with an interval of 20mm based on measured constant current and voltage using potentiometer and multimeter according to Ohm's law. **Results:** Electrical resistance of pedicle screws with 4.5mm, 5.5mm, 6.5mm in diameter was $(0.142 \pm 0.003)\Omega$, $(0.110 \pm 0.007)\Omega$, $(0.086 \pm 0.002)\Omega$ in solid pedicle screws respectively and $(0.398 \pm 0.002)\Omega$, $(0.347 \pm 0.003)\Omega$, $(0.290 \pm 0.003)\Omega$ in cannulated pedicle screws respectively from Johnson company. Electrical resistance of pedicle screws with 5.0mm, 6.0mm, 7.0mm in diameter was $(0.149 \pm 0.001)\Omega$, $(0.123 \pm 0.004)\Omega$, $(0.095 \pm 0.001)\Omega$ in solid pedicle screws and $(0.291 \pm 0.001)\Omega$, $(0.237 \pm 0.001)\Omega$, $(0.148 \pm 0.001)\Omega$ in

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAI14B02);军队临床高新技术重大项目(2010gxjs072);机器人学国家重点实验室开放课题(2010-001)

第一作者简介:男(1984-),医师,博士研究生,研究方向:脊柱外科临床与基础研究

电话:(023)68755608 E-mail:cplawhw@163.com

通讯作者:周跃 E-mail:happyzhou@vip.163.com

cannulated pedicle screws got from Medtronic company, and the electrical resistance of cannulated screws was much higher than that of solid screws in the same diameter group ($P<0.05$). The screw with largest diameter had lower electrical resistance than the screws with shorter diameters, whether solid screws or cannulated screws ($P<0.05$). **Conclusions:** Cannulated pedicle screws have higher electrical resistance compared to the solid pedicle screws with the same length and diameter, smaller diameter pedicle screws have higher electrical resistance compared to the larger diameter pedicle screws, we should pay much attention to its influence when stimulus-evoked electromyographic test was used in placing pedicle screw.

[Key words] Pedicle screw; Electrical resistance; Spine; Diameter; Solid; Cannulated

[Author's address] Department of Orthopedics, Xinqiao Hospital, the Third Military Medical University, Chongqing, 400037, China

椎弓根螺钉固定技术在脊柱外科应用以来,因其安全性、有效性而在临床广泛应用,但该项技术仍然存在螺钉误置率,尸体实验和临床研究发现椎弓根螺钉的误置率在 5%~40%,从而导致内固定失败、血管及神经损伤等^[1-3]。近年来,术中肌电监测技术应运而生,其在指导椎弓根螺钉置入和提高手术安全性方面发挥重要作用^[4-11]。然而在术中肌电监测指导下进行椎弓根螺钉置入手术操作过程中,如何设定刺激电流的阈值,文献报道有很大差异,刺激电流阈值设定范围为 5~10mA^[4-7]。既往文献^[12,13]报道椎弓根螺钉的结构特点会对螺钉电阻产生影响,椎弓根螺钉的直径越大,电阻值越小。但关于空心与实心椎弓根螺钉对螺钉电阻影响的研究未见报道。本研究旨在探讨椎弓根螺钉的结构特点(实心与空心螺钉、直径)对螺钉电阻的影响,进而探讨其对刺激肌电监测椎弓根螺钉置入准确性的可能影响。

1 材料与方法

1.1 椎弓根螺钉与实验器材

椎弓根螺钉分别来自强生公司和美敦力公司,每个公司各 6 枚钛合金螺钉(Ti-6Al-4V),强生公司螺钉的直径分别为 5.0mm、6.0mm 和 7.0mm,美敦力公司螺钉直径分别为 4.5mm、5.5mm 和 6.5mm。每个直径的螺钉分为实心螺钉和空心螺钉。

1.2 实验过程及数据计算方法

参考文献^[13]的方法,将 HY1791-5S 直流稳定电源、可调节电阻箱、UNI-T UT60A-CN 数字万用表相连,再通过电阻极低的铝夹夹持椎弓根螺钉螺钉杆,两铝夹间距为 20mm,由此构成电流环路。通过 UJ31 型直流低电势电位差计测量两铝夹夹持节段的电位差 (U),UNI-T UT60A-CN 数

字万用表测量电流环路中的电流(I),通过欧姆定律公式计算螺钉电阻值(R): $R=U/I$ 。每个螺钉的电位差和电流测量 5 次,计算出的电阻值取均值。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 15.0 统计软件分析,同一厂家不同直径的椎弓根螺钉的电阻采用单因素方差分析(one-way ANOVA),同一厂家相同直径的实心与空心椎弓根螺钉的电阻采用独立样本 t 检验, $P<0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

不同厂家、直径、实心与空心椎弓根螺钉的电阻值见表 1。无论强生公司或是美敦力公司的椎

表 1 不同厂家、直径、实心与空心椎弓根螺钉的电阻值
($\bar{x}\pm s$, $n=5$)

Table 1 Calculated screw resistance values according to different manufacturers, screw diameter, solid and cannulated pedicle screws

螺钉厂家 Manufacturers	螺钉直径 (mm) Screw diameter	实心螺钉(Ω) Solid pedicle screws	空心螺钉(Ω) Cannulated pedicle screws
强生公司	5.0	0.149 $\pm$ 0.001	0.291 $\pm$ 0.001 ^①
Johnson	6.0	0.123 $\pm$ 0.004 ^②	0.237 $\pm$ 0.001 ^{①②}
company	7.0	0.095 $\pm$ 0.001 ^{②③}	0.148 $\pm$ 0.001 ^{①②③}
美敦力公司	4.5	0.142 $\pm$ 0.003	0.398 $\pm$ 0.002 ^①
Medtronic	5.5	0.110 $\pm$ 0.007 ^②	0.347 $\pm$ 0.003 ^{①②}
company	6.5	0.086 $\pm$ 0.002 ^{②③}	0.290 $\pm$ 0.003 ^{①②③}

注:①与相同直径实心螺钉比较 $P<0.05$;②与 5.0mm 或 4.5mm 螺钉比较 $P<0.05$;③与 6.0mm 或 5.5mm 螺钉比较 $P<0.05$

Note: ① Compared with the values of solid pedicle screws with the same diameter, $P<0.05$; ② Compared with the values of pedicle screws with 5.0mm or 4.5mm diameter, $P<0.05$; ③ Compared with the values of pedicle screws with 6.0mm or 5.5mm diameter, $P<0.05$

弓根螺钉, 相同直径的空心椎弓根螺钉较实心椎弓根螺钉具有较大的电阻, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。无论实心或空心椎弓根螺钉, 随着直径的增大, 椎弓根螺钉的电阻值逐渐减小, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。

3 讨论

脊柱椎弓根螺钉置入是脊柱外科最常见的手术操作, 为了避免椎弓根螺钉置入过程中神经的损伤, 很多学者探讨如何使螺钉准确位于椎弓根内, 近年来术中神经电生理监测应运而生。1991 年, Calancie 等^[14]介绍了在猪的模型上应用术中肌电监测, 并且提出了应用刺激肌电监测的技术来评估螺钉的位置情况。该项技术的要点为通过电刺激椎弓根螺钉, 然后记录相应肌肉的肌电信号, 刺激肌电的阈值电流能够帮助判断螺钉是否向内穿破椎弓根。但文献报道阈值电流设定差异较大, 阈值范围设定为 5~10mA^[4-7]。我们推测椎弓根螺钉的导电性是影响阈值电流设定的一个重要因素。Anderson 等^[12]通过实验研究指出, 万向螺钉的钉帽与钉杆之间具有较高的电阻, 因此会影响肌电监测判断椎弓根螺钉穿破椎弓根的准确性。Limthongkul 等^[13]应用精确度更加高的仪器通过实验指出刺激电极放置的不同位置(螺钉帽内侧、外侧或螺钉杆)不会影响测量螺钉的电阻。上述研究都指出椎弓根螺钉的直径越大, 电阻值越小^[12, 13]。Wang 等^[10]的研究指出术中肌电监测在螺钉置入操作中具有较高假阳性和假阴性的原因是直接通过丝攻而非螺钉进行阈值电流的判断导致术中肌电监测的不可靠性, 同时由于丝攻的直径要比螺钉的直径小, 这可能也与假阴性有关。另一个可能原因为金属导电性的差异, 螺钉的不同设计对螺钉的导电性也有较大影响。螺钉的不同材质以及是否进行阳极氧化涂层处理等都对神经电生理监测具有较大影响^[10]。我们的研究同样证实了椎弓根螺钉的直径越大电阻值越小的结论, 同时我们更加细致地分析了实心椎弓根螺钉与空心椎弓根螺钉在螺钉电阻上的差异, 这样的研究有利于我们分析肌电监测在判断螺钉置入过程中的误差。与开放脊柱内固定术经常应用实心螺钉不同, 微创椎弓根螺钉内固定术更多地采用中空万向螺钉, 这样可以预先用导针确定进钉点及进钉轨迹, 然后沿着导针的轨迹置入中空椎弓根螺钉, 所以

我们的研究在应用肌电监测指导椎弓根螺钉置入过程中分析误差可能来源时具有重要意义。当用较大直径的椎弓根螺钉或实心椎弓根螺钉时诱发肌电信号的阈值电流就会较低, 就会更容易刺激神经根。因此, 当术中设定较高的阈值电流时, 就会出现较高的假阴性率。

本研究存在的主要缺点为本研究重点主要集中在椎弓根螺钉的不同结构特点对螺钉电阻的影响, 没有在体研究螺钉的不同结构对肌电监测的影响, 其他因素(比如椎弓根皮质的厚度, 神经的传导性, 肌肉组织的导电性和皮下脂肪的厚度等)对肌电监测准确性影响未作研究。不准确的电极放置和与靶肌肉接触不良等也会影响阈值电流的设定^[15]。近年来有很多研究在微创经皮螺钉置入过程中应用肌电监测。Ozgur 等^[8]指出肌电监测时通过丝攻给予刺激电流会使肌电监测的阈值电流升高, 可能原因为丝攻对椎弓根内骨质的挤压, 导致骨密度增高, 椎弓根壁更加绝缘。Limbrick 等^[16]指出慢性受压的神经根较正常的神经根需要更强的电刺激才会诱发肌肉收缩。本研究为临床应用神经电生理监测椎弓根螺钉的准确置入中, 椎弓根螺钉的不同结构特点对螺钉电阻的影响进而对肌电监测的可能误差进行研究探讨, 使手术医生了解螺钉本身的结构特点对术中肌电监测的准确性会产生影响, 为临床应用肌电监测指导螺钉准确置入提供了误差来源的可能原因, 为提高术中肌电监测的准确性提供研究方向。

4 参考文献

1. Gautschi OP, Schatlo B, Schaller K, et al. Clinically relevant complications related to pedicle screw placement in thoracolumbar surgery and their management: a literature review of 35,630 pedicle screws[J]. Neurosurg Focus, 2011, 31(4): E8.
2. Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques[J]. Eur Spine J, 2012, 21(2): 247-255.
3. Parker SL, McGirt MJ, Farber SH, et al. Accuracy of free-hand pedicle screws in the thoracic and lumbar spine: analysis of 6816 consecutive screws[J]. Neurosurgery, 2011, 68(1): 170-178.
4. Raynor BL, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Correlation between low triggered electromyographic thresholds and lumbar pedicle screw malposition[J]. Spine, 2007, 32(24): 2673-2678.
5. Rodriguez-Olaverri JC, Zimick NC, Merola A, et al. Using triggered electromyographic threshold in the intercostal mus-

- cles to evaluate the accuracy of upper thoracic pedicle screw placement(T3-T6) [J]. Spine, 2008, 33(7): E194-197.
6. Duffy MF, Phillips JH, Knapp DR, et al. Usefulness of electromyography compared to computed tomography scans in pedicle screw placement[J]. Spine, 2010, 35(2): E43-48.
7. Parker SL, Amin AG, Farber SH, et al. Ability of electromyographic monitoring to determine the presence of malpositioned pedicle screws in the lumbosacral spine: analysis of 2450 consecutively placed screws[J]. J Neurosurg Spine, 2011, 15(2): 130-135.
8. Ozgur BM, Berta S, Khatani V, et al. Automated intraoperative EMG testing during percutaneous pedicle screw placement[J]. Spine J, 2006, 6(6): 708-713.
9. Bindal RK, Ghosh S. Intraoperative electromyography monitoring in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2007, 6(2): 126-132.
10. Wang MY, Pineiro G, Mummaneni PV. Stimulus-evoked electromyography testing of percutaneous pedicle screws for the detection of pedicle breaches: a clinical study of 409 screws in 93 patients[J]. J Neurosurg Spine, 2010, 13(5): 600-605.
11. Wood MJ, Mannion RJ. Improving accuracy and reducing radiation exposure in minimally invasive lumbar interbody fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2010, 12(5): 533-539.
12. Anderson DG, Wierzbowski LR, Schwartz DM, et al. Pedicle screws with high electrical resistance: a potential source of error with stimulus-evoked EMG[J]. Spine, 2002, 27(14): 1577-1581.
13. Limthongkul W, Savage J, Nenonen EK, et al. Evaluation of the intrinsic properties of pedicle screws: do diameter, manufacturing and screw design affect resistance and/or resistivity[J]. Bosn J Basic Med Sci, 2009, 9(Suppl 1): 77-82.
14. Calancie B, Lebowitz N, Madsen P, et al. Intraoperative evoked EMG monitoring in an animal model[J]. Spine, 1992, 17(10): 1229-1235.
15. Bosnjak R, Dolenc VV. Electrical thresholds for biomechanical response in the ankle to direct stimulation of spinal roots L4, L5, and S1: implications for intraoperative pedicle screw testing[J]. Spine, 2000, 25(6): 703-708.
16. Limbrick DD Jr, Wright NM. Verification of nerve root decompression during minimally-invasive lumbar microdissection: a practical application of surgeon-driven evoked EMG [J]. Minim Invasive Neurosurg, 2005, 48(5): 273-277.
- (收稿日期:2012-10-04 修回日期:2012-12-28)
(英文编审 蒋欣/贾丹彤)
(本文编辑 李伟霞)

消息

第一届中国显微颈椎微创外科论坛 暨第十七届国际显微颈椎微创外科操作学习班通知

为进一步提高脊柱微创水平、推广显微颈椎微创外科技术,由同济大学附属第十人民医院、上海交通大学附属瑞金医院、德国 Orthopedic Clinic Munich-Harlaching、中国康复医学会脊柱脊髓损伤专业委员会微创脊柱外科学组、上海市康复医学会脊柱脊髓损伤专业委员会、上海市医学会骨科分会微创学组联合主办,蔡司光学仪器(上海)国际贸易有限公司协办的第一届中国显微颈椎微创外科论坛暨第十七届国际显微颈椎微创外科操作学习班将于 2013 年 7 月 4~6 日在上海举行。

显微脊柱微创操作培训班最初由德国的 Orthopedic Clinic Munich-Harlaching 和卡尔蔡司公司发起,已经在德国举办了 15 期,从去年开始在其他国家和地区举办,第 16 期在香港举办,至今已经培训了世界各地近千名的脊柱外科医生,受到世界各地脊柱外科医生的欢迎。本次会议分为论坛和操作培训班两部分组成,论坛由国内外知名的脊柱外科专家讲述当前最先进的颈椎外科理论、显微外科技术及微创外科理念。

为了保证学习质量,操作培训班招收学员 20 名,德国蔡司公司专门调来 6 台先进的脊柱外科专用手术显微镜用于尸体手术操作,操作分 6 个手术台,其中 1 个手术台为示教台,另外 5 个为学员操作台,4 人一组,在老师指导下进行显微镜辅助下的颈椎前路椎间隙减压、椎体切除重建、颈椎后路微创减压等操作,操作培训班学员收取学费 3000 元/人。论坛参加者人数不限,不参加操作,可以在会场通过视频转播观看,不收取费用,请尽量事先报名联系。本次操作培训班非国家级继续教育项目,不授予学分。

学员报名联系方式:请在 5 月 31 日前通过电话或者 E-mail 进行报名。联系人:何浩(13570049003)、沈毅文(13501707961)、顾昕(13764131302);电话:021-66307330;E-mail:hss7418@sohu.com。

有关论坛及培训班的更多详细情况请访问同济大学附属第十人民医院脊柱外科/脊柱微创中心网站:www.tongjispine.com。