



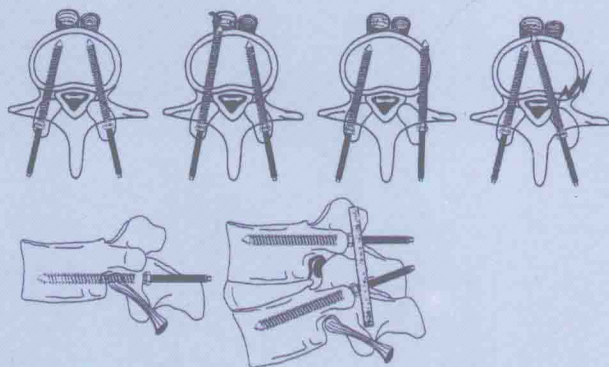
全国高校教材学术著作出版审定委员会审定

脊柱外科 椎弓根固定技术

JIZHU WAIKE

ZHUIGONG GEN GUDING JISHU

主编 徐宏光



 军事医学科学出版社

全国高校教材学术著作出版审定委员会审定

脊柱外科椎弓根固定技术

主 编	徐宏光		
编 委	徐宏光	王以朋	赵卫东
	吴小涛	杨惠林	王 弘
	刘 平	陈学武	张 珺
	杨晓明		

军事医学科学出版社
• 北 京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

脊柱外科椎弓根固定技术/徐宏光主编. —北京:

军事医学科学出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-80245-804-8

I. ①脊… II. ②徐… III. ①脊柱—骨折固定术 IV. ①R678.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 173459 号

出 版: 军事医学科学出版社

地 址: 北京市海淀区太平路 27 号

邮 编: 100850

联系电话: 发行部: (010) 66931051, 66931049, 81858195

编辑部: (010) 66931127, 66931039, 66931038,

86702759, 86703183

传 真: (010) 63801284

网 址: <http://www.mmsp.cn>

印 装: 北京长阳汇文印刷厂

发 行: 新华书店

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 17.75

字 数: 350 千字

版 次: 2011 年 12 月第 1 版

印 次: 2011 年 12 月第 1 次

定 价: 38.00 元

本社图书凡缺、损、倒、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

椎弓根固定技术自从 20 世纪 80 年代进入我国应用，目前已得到广泛开展，部分基层医院也能熟练应用这项技术，但面对不断变化的治疗理念和种类繁多的新内置物的出现，如何正确选择和使用这些理论与技术就显得越来越重要。每一项新技术的开展均需严格选择手术适应证，认真掌握其设计原理和操作规程，实事求是地评价其疗效，只有这样才能不断推动脊柱外科的发展，更好地造福于广大患者。

本书旨在向大家提供有关椎弓根固定技术的概念、应用解剖、生物力学、操作注意事项以及手术并发症的防治等。本书根据脊柱各部分的解剖特点详细介绍了不同节段椎弓根固定的详细操作技术，同时对椎弓根固定与脊柱非融合技术、椎弓根固定的术后评价、导航技术在椎弓根固定中的应用和椎弓根固定对邻近节段的影响均进行了较详细的介绍。本书内容为作者近几年工作、研究的总结，与大家共享，意在抛砖引玉，希望本书能为进一步加深理解椎弓根固定在脊柱外科中的应用，对椎弓根固定技术能起到一定的推动作用。

本书邀请了目前我国脊柱外科领域的知名专家王以朋、杨惠林、赵卫东、吴小涛等，既有年长的专家教授，也有杰出的中青年学者。他们在完成自己繁重的医、教、研任务的同时，广泛阅读了国内外最新的文献和专著，将目前国内关于脊柱椎弓根固定的最新诊治技术充分地展现在读者面前。他们均来自临床第一线，有着丰富的实践经验，对所编写的章节有自己独到的见解，把自己多年来在临床工作中的切身体会毫无保留地倾注书中，在此向这些专家和本书的各位作者表示衷心的感谢！同时感谢军事医学科学出版社的出版发行人员，特别是全国高校教材学术著作出版审定委员会在筹备和出版过程中所给予的大力支持和帮助。

主编 徐宏光
2011 年 7 月

目 录

第一章 经椎弓根螺钉内固定技术	1
一、椎弓根的解剖	1
二、经椎弓根螺钉内固定的历史	2
三、椎弓根螺钉植入方法	3
四、经椎弓根螺钉内固定的应用优势	8
五、经椎弓根螺钉内固定的并发症	9
参考文献	10
第二章 椎弓根的应用解剖	11
第一节 脊椎骨的正常解剖	11
一、典型椎骨的构造	11
二、不同部位的椎骨形态特点	12
第二节 椎弓根的正常解剖特点	19
一、颈椎椎弓根的应用解剖	19
二、胸椎椎弓根的应用解剖	23
三、腰椎椎弓根的应用解剖	26
四、骶椎在椎弓根内固定中的应用解剖	28
参考文献	29
第三章 椎弓根固定的生物力学	31
第一节 椎弓根内固定技术的历史演变	31
一、椎弓根螺钉的几何外形对固定的影响	32
二、椎弓根螺钉固定装置对固定的影响	32
三、椎弓根螺钉的轴向拔出力对内固定的影响	33
四、椎弓根螺钉前内侧成角对固定的影响	34
第二节 椎弓根螺钉内固定存在的主要问题、原因及解决方案	34
一、脊柱退行性变与融合后的生物力学改变	35
二、非融合技术的生物力学机制	37
第三节 脊柱内固定的生物力学评价方法	40

一、强度和疲劳试验	40
二、稳定性试验	41
第四节 椎弓根植入物类型及生物学特征	42
一、椎弓根钉棒系统	42
二、椎弓根钉板系统	42
参考文献	43
第四章 不同部位椎弓根内固定技术的定位方法及应用要点	45
第一节 颈椎椎弓根的术中定位及置钉技术	45
第二节 胸椎椎弓根的术中定位及置钉技术	49
第三节 腰椎椎弓根的术中定位及置钉技术	52
第四节 骶椎椎弓根螺钉置入技术	55
参考文献	58
第五章 颈椎椎弓根螺钉技术的临床应用	63
第一节 颈椎椎弓根的解剖学特点	63
一、上颈椎 (C1~C2)	63
二、测量指标	64
三、主要观察指标	64
四、寰枢椎椎弓根螺钉技术的操作要点	65
五、下颈椎 (C3~C7 或 T1)	65
第二节 颈椎椎弓根的生物力学	67
第三节 颈椎椎弓根螺钉技术的临床应用	67
一、适应证	67
二、手术方法	68
三、寰枢椎置钉技术的要点	68
四、手术显露及复位时的注意事项	69
五、手术安全操作注意点	70
六、手术并发症	71
七、计算机导航技术的应用	71
第四节 儿童寰枢椎椎弓根螺钉固定的可行性	72
一、寰枢椎椎弓根螺钉的置入	72
二、枢椎椎弓根螺钉置入	72
三、连接固定钉棒及植骨	72
第五节 经典病例	73
参考文献	74

第六章 胸椎内固定的临床应用	76
第一节 胸椎解剖特点	76
第二节 胸椎椎弓根螺钉置入的生物力学	78
一、胸椎椎弓根螺钉的进钉方向、椎弓根螺钉长度、 直径和生物力学的关系	78
二、孔道准备及孔道失败后的补救措施	79
三、螺钉螺纹对生物力学的影响	79
四、螺钉的几何形态、材料	79
第三节 胸椎椎弓根螺钉置入技术	80
第四节 胸椎运动学	81
第五节 胸椎椎弓根钉固定的临床应用	82
一、适应证及禁忌证	82
二、技术要领	82
三、T4~T12 椎弓根螺钉置入技术	84
参考文献	89
第七章 椎弓根螺钉固定系统在腰椎疾患中的应用	91
第一节 椎弓根螺钉固定系统的历史及应用目的	91
第二节 椎弓根螺钉固定系统在退变性腰椎疾患中的应用	93
第三节 椎弓根螺钉固定系统在腰椎骨折中的应用	96
第四节 椎弓根螺钉固定系统在腰椎肿瘤中的应用	100
参考文献	102
第八章 腰骶椎椎弓根内固定技术	106
第一节 腰骶椎解剖学特点	106
一、腰椎的应用解剖	106
二、骶骨的应用解剖	107
三、经椎弓根固定的相关解剖	108
第二节 经椎弓根器械固定系统的生物力学因素	112
第三节 手术入路	116
一、术中定位	116
二、患者体位	116
三、切口	117
第四节 经椎弓根内固定系统的发展	118
第五节 适应证与禁忌证	121
第六节 手术方法	122

一、术前计划	122
二、手术技巧与相关因素	122
三、术后处理	125
四、注意事项	126
第七节 并发症	126
参考文献	130
第九章 椎弓根内固定后对脊柱相邻运动节段的影响	132
参考文献	139
第十章 椎弓根内固定对脊柱植骨融合的影响	141
第一节 脊柱融合动物实验的手术方法	147
第二节 脊柱融合的移植物的选择	147
一、天然骨	148
二、人工骨	148
第三节 脊柱融合的现状	160
参考文献	162
第十一章 椎弓根内固定技术的并发症及预防	163
第一节 早期并发症及预防	164
一、螺钉位置不良	164
二、椎弓根爆裂、骨折	170
三、定位错误	171
四、血管、内脏损伤	171
五、硬膜、神经损伤	172
六、术后早期感染	174
第二节 晚期并发症	175
一、腰背痛	175
二、椎弓根内固定钉、棒断裂	176
三、螺钉棒连接松动、术后拔出	178
四、植骨不融合、假关节形成	179
五、矫形丢失	180
六、邻近椎体节段应力变化	181
七、异物排斥反应	182
八、迟发性感染	182
九、迟发性椎体压缩	183
十、椎弓根应力性骨折	184

十一、迟发性神经损伤·····	184
参考文献·····	185
第十二章 椎弓根内固定系统的术后评价技术·····	188
第一节 椎弓根螺钉位置的评价·····	188
第二节 脊柱植骨融合的影像学评价·····	199
第三节 椎弓根内固定术后功能评价·····	203
一、疼痛的评估·····	203
二、以临床症状体征为主的评价系统·····	205
三、患者自我功能状态主观评估·····	205
参考文献·····	208
第十三章 椎弓根内固定与脊柱非融合技术在脊柱外科的应用·····	210
一、颈椎·····	210
二、胸椎·····	213
三、腰椎·····	213
参考文献·····	221
第十四章 微创椎弓根内固定技术·····	224
第一节 微创椎弓根内固定技术的基础·····	224
第二节 微创椎弓根螺钉内固定技术在胸腰椎骨折中的应用·····	226
第三节 微创椎弓根螺钉内固定技术在腰椎滑脱中的应用·····	231
参考文献·····	234
第十五章 脊髓监护在椎弓根内固定中的应用·····	236
第一节 概论·····	236
一、什么是术中神经监测·····	236
二、术中神经监测的发展过程·····	236
三、术中神经监测的目的·····	237
四、术中神经监测的基本技术方法·····	237
五、哪些手术受益于神经监测·····	238
第二节 脊柱手术中常用的神经监测方法·····	238
一、躯体感觉诱发电位·····	238
二、运动诱发电位监测技术·····	247
三、自由描记肌电图和激发性肌电图监测技术·····	250
第三节 神经监测技术在椎弓根内固定手术中的应用·····	255
一、颈椎手术术中神经监测·····	255
二、胸腰椎手术术中神经监测·····	257

三、脊柱矫形手术术中神经监测·····	259
参考文献·····	260
第十六章 导航技术在椎弓根内固定中的应用·····	263
第一节 CASNS 技术在颈椎中的应用 ·····	263
第二节 导航的方法和意义·····	264
一、骨科导航 C 形臂 ·····	266
二、导航引导下脊柱骨折手术·····	266
第三节 计算机辅助导航系统简介·····	267
一、计算机辅助导航系统的分类·····	267
二、计算机辅助导航系统工作步骤·····	269
第四节 计算机导航技术在颈椎手术中的应用·····	269
一、脊柱外科数字手术学·····	270
二、CAOS 在临床应用中存在的主要问题·····	271
参考文献·····	272

呈椭圆型或肾型，皮质骨较上胸椎厚。椎弓根是脊柱最坚固的结构，被认为是椎体的“力量核心”，是前柱和后方结构的连接部，经椎板关节突传达到椎体的力均通过椎弓根，可经受侧弯应力、旋转应力和伸屈应力。

（二）椎弓根的解剖毗邻

各椎弓根的基底接近椎体部，其内侧、上部及下部有椎管内静脉丛紧紧相贴，静脉丛迂曲、充血，其间有少量疏松结缔组织、硬膜囊和神经根位于椎管静脉丛的浅面。椎弓根内侧骨皮质的内侧，在 L1~L2 与硬膜囊和神经根近端相邻，在 L3~L4 与神经根 1/2~2/3 相邻，而 L5 椎弓根内侧相邻为 L5 神经根及神经节，在椎间孔内，椎弓下皮质与神经根距离较椎弓根上皮质至神经根距离近，各椎弓根四周间隙有疏松结缔组织充填。在各椎弓根外侧骨皮质处有部分腰大肌起始纤维和上位序数的神经相邻，相邻间距自上而下逐渐增大。脊神经神经前根直径 1~2 mm，后根 5~10 mm，前根均位于后根的前下方，椎弓根内侧骨皮质既与前根相邻，又与后根相贴，在下方骨皮质处，椎弓根与神经后根相邻，前根由于转向腹侧而和椎间盘后缘相邻^[2]。椎弓根内侧相邻为 L5 神经根及神经节，在椎间孔内，椎弓根内侧毗邻脊髓硬脊膜囊，二者借脊髓被膜及脑脊液相隔，其间距为 0.2~0.3 cm。神经根紧靠椎弓根下切迹，螺钉钻入椎弓根时要防止损伤该危险区。Louis 指出腰神经根只占椎间孔的前上 1/3，椎弓根的上方和外侧区是安全区。故椎弓根螺钉的植入应遵循“靠上不靠下，靠外不靠内”的原则，勿伤及神经根及硬脊膜。

二、经椎弓根螺钉内固定的历史

1949 年，Michele 首先描述了椎弓根的解剖形态，并且从后路经椎弓根进入椎体，取得活检标本。1959 年 Boucher 首先应用椎弓根固定技术将椎弓根螺钉穿过关节进行固定，获得了良好的效果。20 世纪 60 年代，Roy - Camille 首创了椎弓根螺钉的植入方法。1970 年，Cotrel 等相继报道了临床成功的病例，进一步把椎弓根螺钉用于临床。1986 年，Steffee 富有创造性地运用了该技术，发明了可滑动槽式钢板，引入了经椎弓根脊柱器械固定系统，使得椎弓根螺钉的置入点可根据患者椎弓根的解剖位置灵活调整。我国于 1986 年开始引进椎弓根内固定技术。1993 年和 1996 年北美脊柱学会正式认可了椎弓根螺钉在临床上的使用，以椎弓根螺钉为基础的脊柱固定系统不断应用于临床，目前最为广泛应用的有：①“钢板与螺钉”系统如 Steffee 系统、Roy - Camille 系统等；②“杆与螺钉”系统如 RF 系统、CD 系统、Dick 系统等。经过 60 余年的技术发展和这些内固定方法广泛的应用，椎弓根螺钉内固定术适应证已从最初的脊柱骨折扩展到包括退变性脊柱滑脱、峡部裂性腰椎滑脱、退变性椎间盘病变、腰椎管狭窄、退变性脊柱侧凸、脊柱侧凸和后凸畸形、创伤或退变性

脊柱不稳、脊柱肿瘤等在内的多种脊柱疾患^[3]，并取得了良好的效果，极大地推动了脊柱外科的发展。

由于颈椎椎弓根细小、变异较大，且周围均为重要结构，椎弓根螺钉的使用受到了很大限制，直到 1994 年才有 Abumi 报道，他使用的是经过改良的 Steffee 钢板。但是由于颈椎椎弓根的解剖不同于腰椎，因此置钉方法也不尽相同。Abumi 报道入钉点为关节突背面中线外缘与上关节面下缘交点处，用磨钻钻至可直视椎弓根，使用神经牵开器探到椎弓根的内壁，术中透视证实，依术前 CT 测量内倾 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 、平行椎体上终板将螺钉置入椎体 $2/3$ 处，术中不用钻头，以防损伤周围结构。Jeanneret 报道入钉点在上关节面下缘 3 mm 的中点处，内倾 45° 、瞄向椎体上 $1/3$ 进钉。尽管采用了很多方法，体外实验发现椎弓根的穿透率仍较高。Jeanneret 在尸体颈椎上置入 33 枚螺钉，其中 10 枚对椎弓根有轻微损伤。Jones 在直视下操作颈椎椎弓根螺钉，发现其穿透率为 13%。作者认为以 3.5 mm 或 2.7 mm 皮质骨螺钉为宜，4.0 mm 螺钉太粗。Miller 用实验评价 Jeanneret 法和直视法，发现 Jeanneret 法的穿透率为 47.37%，直视法为 25.00%，因此颈椎椎弓根螺钉不宜常规应用，只用于颈椎严重骨性创伤或毁损及其他内固定无法使用时。颈椎椎弓根螺钉适应证为颈椎创伤包括三柱损伤，以及退变性颈椎疾病、肿瘤、感染等需行广泛颈椎切除减压者，但当椎弓根和椎体损伤时则无法使用。

三、椎弓根螺钉植入方法

（一）经椎弓根内固定系统简介

椎弓根螺钉内固定被公认为理想的脊柱后路固定方法，是近年来后路脊柱内固定方法的发展成果之一，已获得广泛的临床应用。椎弓根是椎体的最坚强部分，被认为是椎体的“力量核心”。经椎弓根内固定技术最早由 Boucher 于 1959 年将其用于后路腰椎融合手术，法国的 Roy - Camille 于 20 世纪 60 年代最早在临床应用经椎弓根内固定系统——Roy - Camille 钉板系统。1986 年 Steffee 在 Roy - Camille 钉板系统的基础上改良出 Steffee 椎弓根内固定系统。Dick 内固定系统的应用是脊柱外科发展史上一个新的起点，该系统属于短节段经椎弓根内固定系统，具有三维矫正畸形的先进性。此后经椎弓根内固定技术得到迅猛发展。建立在椎弓根螺钉技术上的内固定系统可以分为：①钉板系统，如 Steffee、Roy - Camille、AO、Louis 等；②钉棒系统，如 Dick 内固定系统、CD、TSRH、RF 等。椎弓根系统能提供不同的力量，包括加压、冠状面和矢状面的移位和旋转。^[4]

1. Roy - Camille 钉板系统

其钢板的固定原理在于螺钉、钢板与骨组织之间紧密结合，而钢板本身与

螺钉间无紧密结合。内固定器由钢板和螺钉构成,钢板的设计是根据脊柱解剖特点,上、下两个相邻椎弓根平均间距为 2.6 cm,因而钢板孔间距为 13 mm,每个孔都有凸起的领圈加固,使钢板的自身强度增加。钢板的宽度为 10 mm,厚度 4 mm,长度 49~190 mm,有 4~21 个孔。胸腰段钢板被制成一定的生理弧度,能弯成所需要的形状。

2. Steffee 椎弓根内固定系统

Steffee 钢板与螺钉间亦为半强直连接。钢板由螺孔式改为开槽式,使螺钉能够根据椎弓根的位点植入。为消除钢板与脊柱间的松动,螺钉采用双螺帽将钢板与脊柱固定。其生物力学性能优于 Roy - Camille 系统,固定作用也较好。Steffee 较之其他内固定方法有很多优点:能前后三柱短节段固定脊椎,既固定牢靠,有利于融合,又不失较多脊椎功能;切口小,操作简单,不需特殊设备;既不存在哈氏棒脱钩之虞,又无 Luque 棒须在椎管内反复操作有损伤脊髓之险;更为重要的是 Steffee 手术复位效果好,尤其对严重前后脱位者更显其长处^[5]。

3. Dick 内固定系统

是 Dick 在脊柱骨外固定系统的基础上改良而成的一种经椎弓根的 AO 脊柱,具有万向关节结构,能进行三维空间的调整,在力学性能上明显优于钢板系统。唐天驷等鉴于螺钉进入越深,造成螺钉各方向松动的负荷都明显增加,结合国人的脊柱解剖特点把原器械的螺钉改为短螺钉,复位时只需在螺钉尾部连接复位杆,力臂增加,同样发挥撑开和压缩作用,既可保证椎弓根椎体的螺钉的“握紧”(grip)作用,保持一定的抗拉出强度,又可避免穿出椎体皮质的危险^[6]。

4. RF 椎弓根内固定系统

由角度螺钉、螺帽、螺棍及横向连接杆主要部件组成。用简单结实的角度螺钉,取代了万向关节结构,使内植物在具备复位、固定功能的同时具有结构简单、有效、操作方便的优点。

(二) 椎弓根螺钉植入技术基本步骤

经椎弓根内固定手术成败的关键是能否准确地将螺钉经椎弓根植入椎体,因此从后路正确地寻找椎弓根标志,确定螺钉的入点、方向和深度尤为重要。故椎弓根螺钉植入技术有三个基本步骤,即进钉点定位、进钉方向以及植入深度的选择。

1. 进钉点定位

进钉的定位相当重要,要求植入的椎弓根螺钉尽量位于椎弓根内,但是椎弓根中心轴与椎后解剖标志具有节段性和个体性差异,采用相对较固定的进钉点势必导致螺钉在某些节段植入效果较好,而在另一节段植入效果相对较差,

因此应重视螺钉植入的节段性差异和个体差异。

胸椎椎弓根进钉点定位：我国学者乔栓杰提出将胸椎椎弓根定位点分为4组：T1~T2的椎弓根进钉点在下关节突下线外1/3的垂线与横突背面横突嵴相交处；T3~T8在下关节突下缘中间垂直线与横突嵴的水平线相交处，其下关节突下缘至横突嵴之间为进钉点；T9~T10在下关节突下缘外1/3垂直线与横突嵴水平线交点处；T11~T12在下关节突外缘垂直线与横突嵴的相交点或副突处。进钉角度向内倾斜15度，在矢状面上向下倾斜约10度。

(1) 腰椎进钉点定位

主要有以下几种：①Weinstein法：Weinstein推荐的进钉点为上关节突的顶点；②Roy-Camille法：以关节突关节的延长线为垂线，以横突中轴线为水平线，两线的交点即为进钉点；③Magerl法：以横突的中轴线为水平线，以沿固定椎体上关节突外缘的连线为垂线，两线交点为进钉点；④AO推荐的进钉点为上关节突外缘的切线与横突中轴线的交点，该点位于上关节突与横突之间的交角处；⑤唐天驷法：进钉点在腰椎为自上关节突外侧缘作一垂线与横突中轴水平线的交点。上述定位方法大同小异，大多数是利用棘突、横突或关节突定位，但在横突、棘突骨折，存在变异增生或脊柱发生三维畸形时，临床置钉将有一定的盲从性，易引起并发症。

腰椎后部“人字嵴”定位法现在为较理想的定位方法。腰椎峡部有一隆起的纵嵴，在上关节突根部的后外侧，也有一隆起的纵嵴，称副突嵴。该嵴斜行并与峡部嵴汇合，形成了形似“人”字的嵴，故称为“人字嵴”。根据实验研究结果：人字嵴恒定存在，变异少，其出现率94.8%，只有少数人字嵴在干燥标本上较浅和不明显，但在活体中即使人字嵴较浅在，仍能易于辨认并找出人字嵴顶点作为定位点。临床应用表明：显露人字嵴只需将腰背肌剥离至关节突关节外缘部位，不需过多显露横突，也不需切开发节突关节的关节囊显露关节突关节面，对关节突关节影响较小，易于显露，手术操作较容易。峡部嵴由于无肌肉附着，不易发生退变，且它不受关节突关节增生等退变因素的影响，且其顶点位于或接近椎弓根中心，为理想定位处。人字嵴存在恒定，变异少，很少受骨质增生或退变的影响，因此利用人字嵴顶点定位具有位置恒定、手术中不用显露横突、创伤少、置钉准确性高的优点，不失为一种理想的定位方法。

(2) 骶骨椎弓根进钉点

位于两条线的交点上，垂线为上关节突外缘的切线，水平线系该上关节突下缘的切线，螺钉向中线倾斜，并瞄向骶骨岬的前角。

2. 进钉方向

C2椎弓根螺钉进钉点的定位为枢椎椎板上缘水平线下5 mm与椎管内侧缘外7 mm的交点处，也可选择枢椎棘突正中垂线外侧26 mm与枢椎下关节

突最下缘上方 9 mm 的交点处, 椎弓根螺钉进钉角度为内倾 30° , 上倾 20° 。C3~C6 椎弓根螺钉的进钉点为侧块背面的中上 $1/4$ 水平线与中外 $1/4$ 垂直线的交点。C7 椎弓根螺钉的进钉点为侧块垂直线中线与 $1/4$ 水平线交点偏上方。椎弓根螺钉进钉角度为与矢状面成 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$, 水平面与上下终板平行。C7 为与矢状面成 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$, 水平面也与上下终板平行。

Roy - Camille 首先报告其胸腰椎螺钉进钉点定位方法为以横突中部水平线与关节突关节纵向中心线的交点下 1 mm 为进钉点, 螺钉与椎体上下终板平行, 不向内侧成角, 与矢状面平行。Weinstein 等认为椎弓根螺钉固定应避免损伤关节突关节而影响非固定节段的运动, 进钉点位于上关节突的外下角, 向内成角 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。Magerl 采用向内或前内进钉法, 以上关节突外缘的纵垂线与横突中轴线的交点为进钉点, 进钉方向与椎体终板平行, 与矢状面向内成角约 15° 。Krag 采用向上方向法, 进钉点更靠外, 其水平线为横突的上 $2/3$ 与下 $1/3$ 之交线, 进钉方向朝上, 以不穿破上终板为度。唐天驷采用的进钉点在胸椎为自小关节的下缘和小关节中心交点的外侧处划一垂线与自横突基底上方 $1/3$ 处划一水平线的交点, 在腰椎为自上关节突外侧缘作一垂线与横突中轴水平线的交点, 进钉方向为向前内倾斜与矢状面成 15° 。叶启彬通过研究发现腰椎横突的副突和椎板峡部嵴形成的“ $\wedge$ ”嵴的顶点更接近椎弓根的中心点, 而且极少有变异。以此点为进钉点, 钉尾向外倾斜与矢状面成 5° 角, 与上下终板平行植入螺钉, 成功率高。从 T1 到 T12 椎弓根内倾角度递减。上胸椎椎弓根螺钉应与矢状面成 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 的内倾夹角, 中下段胸椎的椎弓根钉应与矢状面成 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的内倾夹角。Ebraheim 提出 T1、T2 椎弓根螺钉应与矢状面成 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的内倾夹角, T3~T11 成 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$, T12 成 10° 。在 L1~L3, 椎弓根螺钉应与矢状面成 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的内倾夹角; 在 L4~L5, 椎弓根螺钉应与矢状面成 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的内倾夹角。螺钉在水平面上应与上下终板平行。骶椎椎弓根的进钉点为上下关节的外缘与上关节下缘水平线的交点。植入角度为内倾 25° 或者在骶骨翼外侧成角 35° 。俯卧位时向头侧偏斜 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 瞄向骶骨岬, 进入软骨下骨。

3. 螺钉的选择及植入深度

椎弓根宽度是影响椎弓根螺钉直径的选择和精确植入的最主要因素。在成人骶椎, 可以安全植入直径 7.5 mm 的椎弓根螺钉; 在下腰椎 (L4~L5), 对于大部分成人患者, 植入直径 6.5 mm 的螺钉是安全的; 在胸腰段 (T11~L2), 大部分成人患者可以耐受直径 6.5 mm 或者 6.0 mm 的螺钉; 在中下胸椎 (T4~T10), 使用直径 5.0 mm 或者 4.5 mm 的椎弓根螺钉是恰当的; 在上胸椎 (T1~T3), 成人患者可以耐受使用直径 5.0 mm 的椎弓根螺钉。青少年和儿童患者的椎弓根内径虽然小, 但是由于其骨皮质具有比成人好的可塑性, 植入直径 4.5 mm 甚至 5.0 mm 的螺钉是可行的。

进钉的长度是固定术中应考虑的重要因素。从力学的角度讲,椎弓根螺钉越长、越粗,螺纹越深,越牢固,但螺钉长度是受椎体大小及椎弓根长度限制的。螺钉短了,固定不牢;长了易穿透椎体前皮质,损伤椎体前结构。故术中或术后 X 线检查目前仍是判断椎弓根螺钉位置和深度的主要手段。椎弓根螺钉植入深度一般为骨-螺钉通道长度,为椎弓根轴线长度(包括上关节突厚度)加上椎弓根轴线在椎体延长线的长度。Roy - Camille 使螺钉进入 50%~60% 的通道长度,而 Magerl 将螺钉植入达椎体前皮质下。Weinstein 研究表明,椎弓根螺钉系统 60% 的固定强度来自椎弓根内,进入椎体松质骨增加 15%,至椎体前方骨皮质但未穿破时又增加 16%,若穿破,则增加 20%~25%。Krag 对骨-螺钉通道的 50%、80% 和 100% 分别进行生物力学测定,发现 80% 的深度较 50% 的深度抵抗加载强度增加 32.5%,差异有显著意义,100% 的深度较 80% 的深度强度有增加,但差异无显著意义。穿破椎体前方骨皮质有潜在性损伤神经、血管和脏器等重要结构的危险,因此,螺钉最恰当的位置应位于椎体前缘骨皮质下,这样既能充分发挥固定作用,又不至于损伤椎体前缘组织,一般以 80% 的骨螺钉通道长度为植入深度。Mckinley 等通过研究证实 35 mm 长的螺钉较 40 mm 和 45 mm 长的螺钉在椎弓根内所承受的弯曲力矩增加 16%。

椎弓根螺钉的进钉深度在颈椎一般情况下为 18~20 mm,胸椎一般为 35~40 mm,腰椎一般为 40~45 mm 长度。

椎弓根的宽度决定了螺钉的直径,为达到固定强度应尽可能选择较粗的螺钉。螺钉直径以不超过椎弓根外皮直径的 83% 为宜。颈椎椎弓根螺钉的直径选择最常选用的螺钉直径为 3.5 mm, T1~T5 一般为 4.0~5.5 mm, T6~T10 一般为 4.5~5.5 mm, T11、T12 一般为 5.5~6.5 mm。骶椎一般为 6.5~7.5 mm。

由于解剖学差异,同一脊椎节段的不同个体会存在差异。有学者认为椎体是松质骨,椎弓根螺钉的稳定主要在椎弓根,进钉深度过椎弓根就行了,但临床证明该方法对椎体前缘撑开受限影响椎体前部复位。临床上总结出进钉长度在 4.4~5.0 cm 间难准确选用,过短时达不到要求,过长时有穿破椎体骨皮质损伤大血管的危险。故临床椎弓根螺钉钉道的准备对螺钉的固定强度起着非常重要的作用。钉道的准备通常用手锤而不用动力钻,手感进行术中操作开骨道经椎弓根进椎体松质骨达骨皮质,徐徐钻入,感觉层次清晰,钉道四周均为明确的骨性感,证明方向正确,所开的钉道是恰好到达椎体侧骨皮质,其深度占椎体的 80%~90%。攻丝后(自攻螺钉不需攻丝)植入合适的螺钉,原则上是宁短勿长,以取其钉道长度稍短为宜。在螺钉植入前可以用螺钉探子探查钉道四壁及底,如果均为骨性结构,则说明方向正确。An 等用盐水注入准备好的钉道来确定钉道是否正确,方法简单,准确率高。用动力钻准备钉道不易掌握

方向,容易损伤椎弓根皮质。Halverson 通过研究发现,在正常椎体用手锥和骨钻准备的钉道对拔出强度无明显影响,而在骨质疏松的椎体,则有显著差异。对螺钉有松动迹象或骨质疏松者,可采用骨水泥填充再植入螺钉,以增加螺钉的固定强度。

大型的影像设备如 X 线 CT 计算机导航等为了解椎弓根的形态、神经脊髓的解剖位置提供了有价值的信息,因此,其正愈来愈广泛应用于术中椎弓根螺钉的置入。在术前准备时,通过高质量的胸腰椎正、侧位 X 线平片和椎弓根平面的轴位 CT 扫描研究每一例患者的脊柱解剖是很重要的。根据术前椎弓根平面的 CT 扫描和术中 X 线平片,就可在水平面和矢状面确定出椎弓根的角度。椎弓根螺钉的植入必须位于三维空间中唯一的一个正确通道上,即按照正确的矢状面角及水平面角沿着椎弓根的长轴穿过椎弓根这一狭小的骨性管道达椎体内,正是这一唯一性导致了手术的操作难度。因此,对椎弓根螺钉植入过程进行监测是非常必要的,目前最普遍的定位方法是 X 线监测法,X 线透视可以在术中随时评价椎弓根螺钉的多角度位置,但是 X 线透视会给患者和术者带来射线照射的隐形损害,而且术中 C 形臂 X 线透视效果在很大程度上和设备的优劣及操作人员的经验有关,肋骨、肩胛骨及较多软组织同样会给透视效果带来不利影响。采用术中神经电生理监测技术进行脊髓躯体感觉诱发电位 (Somatosensoryevokedpotentials, SSEP)、运动诱发电位 (Motorevokedpotentials, MEP)、皮节体感诱发电位 (Dermatomesomatosensoryevokedpotential, DSEP) 和肌电图 (electromyogram, EMG) 监测是目前脊柱外科术中脊髓、神经根功能监测的最主要手段,可应用于椎弓根螺钉植入手术的术中监护。采用计算机导航技术进行椎弓根螺钉植入是近年来术中辅助技术研究的热点。此项技术首先将患者术前 CT 三维重建影像存入计算机,术中根据三维数据和脊柱结构做多点匹配,创造出三维虚拟环境引导术者置入内固定。Laine 等对 100 例患者进行传统 C 形臂 X 线透视辅助下置入椎弓根螺钉和依赖 CT 的计算机辅助导航下胸椎和胸腰段椎弓根螺钉置入技术对比研究。两种方法各应用于 50 例患者,发现在传统方法中 13.4% 的椎弓根钉穿破椎弓根皮质,计算机辅助导航技术中椎弓根螺钉穿破椎弓根皮质为 4.6%,可见计算机辅助技术可以明显提高置钉的准确性。在椎弓根螺钉内固定术中,计算机辅助导航技术是目前最准确的监测方法,是未来脊柱外科的一种发展趋势,但它需要借助昂贵的设备和特殊的器械,操作较为复杂,一些技术问题仍未完全解决。

四、经椎弓根螺钉内固定的应用优势

Harrington 采用钩棒装置进行脊柱畸形矫形手术,此装置在冠状面上可提供良好的矫形,但无法有效控制矢状面对线,而且无法进行椎体的旋转畸形