



张佐伦 刘立成 周东生 主编

# 脊柱

---

## 外科手术及

---

## 并发症学

山东科学技术出版社  
[www.lkj.com.cn](http://www.lkj.com.cn)

90028442



张佐伦 刘立成 周东生 主编



90028442



## 脊柱外科手术及并发症学

张佐伦 刘立成 周东生 主编

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 2065109

网址: [www.lkj.com.cn](http://www.lkj.com.cn)

电子邮件: [sdkj@jn-public.sd.cninfo.net](mailto:sdkj@jn-public.sd.cninfo.net)

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 2020432

印刷者: 山东新华印刷厂德州厂

地址: 德州市新华路 155 号

邮编: 253006 电话: (0534) 2671209

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 23

字数: 516 千

版次: 2002 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 1—3800

ISBN 7-5331-3243-2

R · 996

定价: 48.00 元

**图书在版编目 (CIP) 数据**

脊柱外科手术及并发症学 / 张佐伦, 刘立成, 周东生主编. 济南: 山东科学技术出版社, 2002  
ISBN 7-5331-3243-2

I. 脊... II. ①张...②刘...③周东生 III. ①脊椎病-外科手术②脊椎病-并发症 IV. R681.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 065351 号

主 编: 张佐伦 刘立成 周东生  
副 主 编: 袁泽农 孙建民 王鲁博 路小勇  
主编助理: 王 峰

编 委 (以姓氏笔画为序):

|     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王大川 | 王伯珉 | 王 甫 | 王 健 | 王 峰 | 王鲁博 | 王增涛 |
| 刘立成 | 刘金钊 | 孙成良 | 孙建民 | 朱小雷 | 朱 磊 | 许世宏 |
| 李 伟 | 李连欣 | 李 季 | 李 斌 | 张兴凯 | 张佐伦 | 周东生 |
| 袁泽农 | 蒋振松 | 路小勇 | 颜廷宾 |     |     |     |

插图绘制: 朱利群 刘 军

(作者单位: 山东省立医院)

# 序

脊柱外科目前正在我国各地迅速发展。全国绝大部分地市以上医院都能开展脊柱外科工作。脊柱矫形、创伤、退行性疾病、肿瘤、感染和基础研究工作，均取得了很大的成绩。山东省立医院骨科在老前辈王志先教授和赵安仁、肖子范教授的精心耕耘下，在矫形外科教学、科研及临床实践方面都打下了坚实的基础。近20年来，该院的脊柱外科从基础研究到临床实践均取得了较大进展，在颈椎病、颈腰段并发椎间盘病、寰枢椎旋转半脱位、退变性胸椎管狭窄症的临床研究方面都处于国内先进行列，近期又率先在省内推广应用多种先进的脊柱内固定系统，且取得了满意的效果。张佐伦教授等于1997年7月主编的《脊柱外科手术并发症及防治》一经出版便销售一空；最近又应广大读者要求主编了《脊柱外科手术及并发症学》。本书以脊柱外科手术并发症为选题，进一步总结数十年临床经验和博览有关此方面内容的文献，深入探讨颈、胸、腰椎和骶椎各类手术中的血管、神经、脏器的损伤及手术后内固定失败、感染等并发症的预防和处理。此书文笔隽秀，图文并茂，详尽地介绍了脊柱外科手术并发症的诊断、处理和预防，使从事骨科临床工作的医师从其中借鉴经验，吸取教训，避免失误，颇有裨益。此书实为一本有实用价值的骨科参考专著。

北京医科大学 党耕町  
青岛大学医学院 胡有谷

# 前 言

成功的脊柱外科手术至少应是无明显并发症的手术。手术并发症轻者增加患者痛苦和经济负担；重者使本可成功的手术完全归于失败。因此，避免手术并发症应是对脊柱外科手术最基本的要求。然而，脊柱外科又是生命科学中发展迅速而又年轻的学科分支，在其临床实践中涉及许多未知的领域。要完全避免并发症的发生实际上是不可能的。近年来我国脊柱外科取得长足发展，许多新技术、新进展已得到广泛普及和推广；然而，随之而来的脊柱外科手术并发症也不断增加，医疗纠纷逐年增多，给患者、医疗单位包括医者带来很大损失，甚至终生遗憾。人类有史以来，自然科学的发展遵循着实践—失败—再实践—成功这一模式，但医学专业的研究对象是人而非其他，这就对我们有更高的要求：实践—成功。因此，一个脊柱外科医师应具备坚实的基础理论知识和系统的专业技术知识，在实践中不断通过动物试验、模拟操作加强基本功训练，并应在有经验医师指导下细心操作，精益求精，总结经验教训，使自己的知识不断更新。有时失败的教训比成功的经验更为重要。1997年9月山东科学技术出版社出版了作者等总结了多年临床经验编写的《脊柱外科手术并发症与防治》一书，受到了广大读者的欢迎；近几年来，许多领导、学者和临床医师都希望我们继续总结这方面的经验；加之近年来我国的脊柱外科领域也取得了许多更加令人瞩目的成就，作者等在临床和教学实践中也积累了更多的经验和教训。为了更好地满足当前医疗、教学和科研的需要，我们重新对过去的临床经验进行总结，并参考大量国内外有关文献，写成了《脊柱外科手术及并发症学》。本书虽为关于脊柱外科并发症的专著，但仍涉及许多脊柱外科的基础理论和临床知识，以期对临床、教学和科研工作者都有所裨益。编写中亦力求内容全面、图文并茂、新颖实用。党耕町、胡有谷教授在出版之际热情为本书作序，编者十分感谢。

本书编者均为繁忙的一线临床医师，要求他们再为本书投入更多的时间是不现实的，而且各章节的内容亦可能有不尽一致的地方，加之我们水平有限，不当之处在所难免，请各位同道给予指正。

编 者

# 目 录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第一章 脊柱外科患者的医学心理学和医学社会学问题 | 1   |
| 第二章 脊柱内固定生物力学基础          | 4   |
| 第三章 脊柱外科围手术期处理           | 10  |
| 第一节 手术前准备                | 10  |
| 第二节 手术后处理                | 15  |
| 第四章 脊柱外科常见并发症的一般处理       | 22  |
| 第一节 神经并发症                | 22  |
| 第二节 血管和软组织并发症            | 25  |
| 第三节 术后脊柱畸形               | 30  |
| 第四节 术后蛛网膜炎               | 36  |
| 第五节 脊柱外科手术后感染            | 38  |
| 第六节 脑脊液漏和假性蛛网膜囊肿         | 40  |
| 第七节 不愈合                  | 45  |
| 第八节 内科并发症                | 49  |
| 第五章 颈椎病的外科治疗及并发症         | 60  |
| 第一节 概述                   | 60  |
| 第二节 颈椎病的手术治疗             | 69  |
| 第三节 颈椎病手术并发症             | 74  |
| 第六章 颈椎损伤的外科治疗及并发症        | 83  |
| 第一节 概述                   | 83  |
| 第二节 颈椎损伤的手术治疗            | 93  |
| 第三节 手术治疗颈椎损伤的并发症         | 105 |
| 第七章 枕颈部发育畸形的外科治疗及并发症     | 107 |
| 第一节 概述                   | 107 |
| 第二节 枕颈部发育畸形的手术治疗及并发症     | 111 |
| 第八章 胸椎管狭窄症的外科治疗及并发症      | 120 |
| 第一节 胸椎间盘突出症              | 120 |
| 第二节 胸椎黄韧带骨化症             | 125 |
| 第三节 胸椎后纵韧带骨化症            | 127 |
| 第四节 手术并发症                | 130 |
| 第九章 腰椎间盘突出症的外科治疗及并发症     | 134 |
| 第一节 概述                   | 134 |
| 第二节 腰椎间盘突出症的手术治疗         | 147 |
| 第三节 手术并发症                | 153 |
| 第十章 胸腰椎骨折脱位的外科治疗及并发症     | 158 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一节 概述                 | 158 |
| 第二节 胸腰椎损伤的外科治疗         | 161 |
| 第三节 手术并发症              | 172 |
| 第十一章 脊柱侧弯的外科治疗及并发症     | 179 |
| 第一节 概述                 | 179 |
| 第二节 脊柱侧弯的外科治疗          | 183 |
| 第三节 手术并发症              | 214 |
| 第十二章 脊柱后凸畸形的外科治疗及并发症   | 226 |
| 第一节 概述                 | 226 |
| 第二节 脊柱后凸的手术治疗          | 230 |
| 第三节 手术并发症              | 232 |
| 第十三章 腰椎滑脱症的手术治疗及并发症    | 234 |
| 第一节 概述                 | 234 |
| 第二节 手术治疗               | 241 |
| 第三节 手术并发症              | 247 |
| 第十四章 小儿脊柱外科问题          | 251 |
| 第一节 隐性脊柱裂与脊髓拴系综合征及相关畸形 | 251 |
| 第二节 脊髓脊膜膨出及相关畸形        | 262 |
| 第三节 骶前脊膜膨出和相关畸形        | 265 |
| 第四节 查理畸形和脊髓空洞症         | 267 |
| 第五节 休莫病                | 271 |
| 第六节 青少年椎间盘病变           | 274 |
| 第十五章 脊柱肿瘤的外科治疗及并发症     | 283 |
| 第一节 概述                 | 283 |
| 第二节 脊柱的原发性肿瘤           | 286 |
| 第三节 脊柱的转移性肿瘤           | 291 |
| 第四节 手术并发症              | 301 |
| 第十六章 脊柱类风湿性关节炎外科治疗的并发症 | 305 |
| 第一节 概述                 | 305 |
| 第二节 颈椎类风湿性关节炎的手术治疗     | 307 |
| 第三节 手术并发症              | 311 |
| 第十七章 强直性脊柱炎外科治疗的并发症    | 314 |
| 第一节 概述                 | 314 |
| 第二节 强直性脊柱炎的手术治疗        | 315 |
| 第三节 手术并发症              | 320 |
| 第十八章 脊柱结核的外科治疗及并发症     | 323 |
| 第一节 概述                 | 323 |
| 第二节 脊柱结核的外科治疗          | 325 |



---

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第三节 手术并发症.....              | 328 |
| 第十九章 脊柱外科感染.....            | 332 |
| 第一节 概述.....                 | 332 |
| 第二节 脊柱化脓性骨髓炎的治疗.....        | 334 |
| 第二十章 脊柱外科中的一些特殊问题.....      | 336 |
| 第一节 肥胖病人的脊柱外科问题.....        | 336 |
| 第二节 老年脊柱外科问题.....           | 339 |
| 第二十一章 脊柱外科再手术.....          | 345 |
| 第二十二章 脊柱外科手术中髂嵴取骨术的并发症..... | 350 |

# 第一章 脊柱外科患者的医学心理学 和医学社会学问题

一次脊柱外科手术往往决定病人一生的命运。不完全截瘫患者术后可能完全恢复，活动正常的患者术后却可能永远失去活动能力。与工伤、交通事故有牵连的脊柱手术效果的评价，常受法律和赔偿问题的影响，对脊柱外科手术后发生的性功能障碍进行正确的评价又是一个十分复杂的问题。凡此种种，都不是纯技术性问题，而经常涉及心理学和社会学的各个方面。美国生命伦理学家恩格尔·哈特曾写道：医师与病人之间常常是道德异乡人，他们并不持有相同的道德前提或基础，从而可以通过圆满的道德论证解决道德争端。这充分说明医患关系的调整又是一个多么困难的问题。

诚然，在许多情况下，患者的某个具体问题均能得到合理的治疗而无明显后遗症。几乎在骨科所有领域中患者都迫切希望医师能根除病痛而无并发症出现，不仅永久性地解除症状，而且在以后可预防疾病的发生。然而，脊柱的解剖和生理特点决定了其并非是一种对一般治疗手段一定能作出理想反应的结构。例如，腰椎间盘突出症患者都希望下肢症状在手术后能完全解除。然而，不管手术做得多么理想，总有部分患者会在术后遗留一些不适甚至疼痛。统计表明，在一般人群中，一生中曾患不同程度的腰腿痛可达80%，其中症状发生反复者约占5%。经手术治疗且近期效果良好的腰椎间盘突出患者，发生腰腿痛的可能性与一般人群依然相同。因此，若患者不了解慢性腰腿痛的自然流行情况，便很容易将其术后本来与手术无关的腰腿痛发作误认为是手术失误的结果。在颈椎病的治疗中，也会见到相似的情况。在一般人群中，一生某一时期会有50%的人发生相当严重的颈臂痛，发生反复者约占25%，患者将术后症状的残存或反复不加区别地一并归咎于手术后遗症的现象亦不乏其例。当然，明显的手术失误所造成的并发症则是另外一回事。

无论对于医师还是患者，“增生”都是一个十分熟悉的字眼。在面对医师陈述病史时，诸如“腰椎增生”、“间盘突出”甚或“滑脱”、“退变”等都可脱口而出，但大多数却未必真正理解其病理意义。有的患者甚至认为腰椎手术可以根除其“增生”，有的甚至会在X线片或CT片上发现与其现存症状毫无关系的其他间盘或关节突的改变，从而要求对这样的间盘做“预防性切除”，即要求医师进行一次多间盘切除和多节段融合术。尸解资料表明，所有50岁以上者的脊柱标本均有腰椎间盘突出病变表现，在CT或MRI所显示的腰间盘突出患者中，20%~25%的患者并无症状。许多研究成果早已表明，临床表现与X线片的常见退变表现并无必然联系。外科手术的依据只能是具体的病人，而决非影像学表现。至于手术结果的评价，腰间盘切除术后结果差异很大，结果的优劣主要决定于病人的选择，而不决定于手术方式的差异。就多种手术方案的选择来说，最

好的方案似是尽量减少对解剖结构的破坏而又能有效地解除现有症状。总之,术前帮助患者解除其对影像学表现的诸多误解,是脊柱外科医师不可推卸的责任。

在脊柱外科领域内,伴心理障碍的腰腿痛患者占相当比例。此类患者的疼痛感觉、手术效果亦将因之受到影响。例如,腰间盘突出患者伴有某种心理障碍时,其心理状态足可影响其症状的严重程度。对此类患者施行间盘切除术,应首先对其进行心理状态的调整。不少这样的患者经心理治疗后,原来的腰腿痛亦获减轻,有的甚至毋须再行手术治疗。

患者对职业的态度亦会影响脊柱外科手术的效果。近年来,关于职业与腰腿痛流行的关系已进行了不少研究。可以想像,就同一职业说来,在热爱本职工作的人群中,其腰痛的发生率与在厌恶本职工作的人群中一定会有差异。就来自此两组的不同患者说来,尽管同样施行神经根的减压手术,术后结果也会大相径庭。

近年来,医疗费用的上涨已引起社会各界的关注,脊柱病患者多须进行昂贵的大型仪器检查,加之其他高新技术的应用,使脊柱外科越来越具有“高消费”的特征。然而,医疗费用与治疗效果并非呈线性关系。我国目前尚属发展中国家,脊柱外科所面临的服务对象有其自身的特点。作为中国的脊柱外科医师,在追求完美的治疗效果的同时还应把控制医疗费用、减少病人支出作为不懈追求的目标之一。

脊柱外科患者的整形问题也是一个重要的临床课题。例如,脊柱侧弯患者在术前常有许多不切实际的整形方面的期望,然而,在许多情况下,此类患者的整形问题,如头、躯干与骨盆的排列关系的恢复、肋骨隆起的矫正等都受许多不肯定因素的影响。因此,术前实事求是地向患者讲清手术的预期效果,也是对脊柱外科工作的最基本的要求。

循证医学(evidence based medicine, EBM)思想的出现使包括脊柱外科在内的整个临床医学的研究和实践发生了巨大转变。其核心含义为“医师慎重、准确而明智的应用目前所能获得的最佳证据,对自己所面临的具体患者的处理作出决策”。按照这一思想,脊柱外科医师的行为模式亦将逐渐由以经验和推论为基础的经验医学(experienced based medicine)向 EBM 过渡,这是临床医学发展的必然趋势,也是 21 世纪临床医学的一场深刻变革。

目前,我国脊柱外科已从“大外科”和骨科中逐渐分离出来。不少基层医院现已能开展脊柱外科手术。脊柱外科的发展不断为社会人群提供健康保障,而社会的发展又不断向脊柱外科提出新的挑战。一个合格的脊柱外科医师,不仅应是技术娴熟的能工巧匠,而且还应是能够洞悉患者心理世界和重视病人社会背景的新型学者。

### 参 考 文 献

1. Boden SD, et al. Abnormal magnetic resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. J Bone Joint Surg 1990, 72A: 403
2. Southwick S, White AA. Current concepts review: The use of psychological tests in evaluation of low-back pain. J Bone Joint Surg. 1983, 65A: 560
3. Spengler DM, Freeman CW. Patient selection for lumbar discectomy. Spine 1979, 4: 129

4. Aiken AP, Bradford CH. End result of ruptured intervertebral discs in industry. *Am J Surg* 1947, 73: 365
5. Kelsey J, Whit AA. Epidemiology and impact of low-back pain. *Spine*. 1980, 5 (2): 133
6. Wiesel SW, et al. A study of computer assisted tomography; Part I. The incidence of positive CAT scans in an asymptomatic group of patients. *Spine*. 1984, 9: 549
7. Sackett DL, Richardson NS, Rosenberg WR. Evidence based medicine: how to practise and teach EMB. New York: Churchill living stone, 1997

## 第二章 脊柱内固定生物力学基础

脊柱手术的目的在于矫正畸形、缓解疼痛、稳定脊柱和保护神经，坚固的内固定器械对脊柱进行可靠的固定，往往是达到上述目的、保证手术成功的关键所在。此外，坚强的内固定也为术后护理和患者早期活动提供了条件。在过去的 20 年中，随着材料科学的发展和脊柱生物力学的进一步理解，传统的脊柱内固定方法得到不断地改进和发展，各种新型的脊柱内固定器械系统不断涌现并逐步应用于临床，使得日益复杂的脊柱疾患的治疗手段增加。随着这些技术的持续发展，要求脊柱外科医师必须掌握一定的生物力学知识，能全面分析脊柱的病理性学改变以及各种内固定器械的作用原理，这对于正确选择手术方法，合理使用内固定器械，以取得最佳矫形和固定效果，降低手术失败率和减少并发症的发生，具有重要的意义。

### 一、现代生物力学的理论进展

自 Harrington 系统出现以来，脊柱外科生物力学的理论研究得到极大的促进。而生物力学理论研究的进展又极大地促进了内固定器械的发展。这一阶段的理论进展可归纳为：①脊柱是节段性，冠状面上垂直，矢状面上有颈胸腰骶不同方向弯曲；结构上又分为前中后三柱，处于三维空间生物力学动态环境里承受载荷；是结构复杂的骨组织（支持）、软组织（运动）、神经组织（反射）的集合体。②病理变化过程中骨组织的位移表现在三维空间里，简单一个面的矫形，难以解决其复杂的位移对神经系统造成的综合影响。③植入物须适合脊柱生物力学特性，具备三维空间里的多重矫正力及可调性。④植入物须能随意控制内固定节段并有效分担脊柱载荷。⑤椎弓根螺钉是将具有多重矫正力的结构与脊柱结合的力学上的理想途径，尤其是后方手术入路的安全性，在减压手术（椎板和小关节切除）后，钩和钢丝均失去支点时仍可应用，更具有意义。⑥植入物结构应尽可能简单，以求避免对神经系统的影响，且需要有良好的稳定性和安全性。

### 二、内固定器械的生物力学评估

脊柱内固定器械可以通过强度（strength）、疲劳（fatigue）以及稳定性（stability）等三种不同测试方法进行生物力学评估。强度及疲劳试验是破坏性的，通常用于评价内固定装置的强度和整体结构的刚度。非破坏性的稳定性试验用于评估生理载荷下内固定系统的稳定性能。每一种测试方法及目的不同，在解释生物力学测试结果时必须予以注意，例如一种内固定装置具有较长的疲劳寿命，并不意味着其必然提供较大的稳定效果。一般来讲，任何新的脊柱内固定器械都应进行上述三方面的实验评估后方能应用于临床。

1. 强度试验：强度试验通过材料试验机进行载荷的加载，直至试件出现破坏。强

度试验可提供破坏载荷、能量及刚度等。如强度试验中测量螺钉的“拔出力”(pull-out),可以评价螺钉与骨界面的固定强度。强度试验也用于评价特定内固定装置的整体强度。在这些试验中,切除韧带等组织,模拟临床上相关的损伤,然后进行内固定。对这些固定节段施加不同的载荷,如屈曲、后伸、侧屈及扭转载荷,直至破坏,可以获得载荷以及位移等数据,并与正常结构的数据进行比较。可以判断内固定装置有效恢复强度及固定刚度的情况。这类试验仅能评估内固定装置材料和结构的力学强度以及了解有关内固定物的断裂损伤机制,为内固定物的设计和临床应用提供有价值的资料,但不能反映固定后病损部位的相关生物力学资料。

2. 疲劳试验:评价内固定物的另一个重要方面是测量疲劳强度,在临床上疲劳强度比静态强度更为重要。金属疲劳通常在最大应力处逐渐出现裂纹并不断延长直至发生突然的静态断裂。疲劳试验就是以一定频率进行试件的循环性加载,直至试件破坏,以循环加载次数代表内固定装置的疲劳寿命,内固定植入物必须进行疲劳强度的评价,因为在坚固脊柱融合出现之前,植入物必须保持足够的强度而不出现疲劳。所有内固定物都有一定的疲劳寿命,它必须长到足够使脊柱融合完成。因为随着脊柱融合过程的进行,脊柱本身承受载荷的能力逐步增强,而固定物的力学强度却同时在相应减小,这就是因为固定材料疲劳的缘故。所以从固定物开始承重的时间起,在脊柱病损处融合与固定物因疲劳使寿命丧失之间进行着竞争。如果骨融合速度不能超过固定物的疲劳速度,固定就会失败。由此可见,固定物的有效寿命不仅与它自己的疲劳寿命有关,而且与它帮助产生骨融合的能力有关。Ashman 及其同事提出了脊柱内固定物所承受的生理载荷下循环次数的估计值。考虑到每个病人脊柱内固定物的应力载荷循环为 5 秒 (0.2Hz),每天 16 个小时,持续 4 个月(公认的融合时间),器械将会承载超过 100 万次以上的循环载荷。但是疲劳试验亦属破坏性试验,时间持续长,所以一般只能选择少数几种载荷类型进行试验,而且疲劳试验无法提供损伤及固定节段在不同载荷方式下运动学的特点,因此,需要进行稳定性试验进行补充。

3. 稳定性试验:脊柱内固定的主要目的是在脊柱坚固融合之前提供足够的脊柱稳定性。其稳定性效果则通过稳定性试验加以评价。它属于一种非破坏性试验,是由美国学者 Panjabi (1981) 倡导的另一类脊柱固定器的生物力学试验,可详细地反映固定节段的生物力学环境。目前稳定性试验一般采用两种方法,刚度法和柔顺度法。刚度法通常将脊柱试件的一端固定于测试平台上,而另一端则固定于材料试验机的加载头上,可以施加单一或复合的载荷;柔顺度法指在脊柱试件最上部椎体随意施加各方向的载荷,试件出现的位移就是多向性。每一个椎体出现的位移可以采用三维运动分析系统进行测量。此两种方法测量结果是获得载荷一位移曲线,可以确定正常或固定后结构的刚度(载荷/位移)或柔顺度(位移/载荷)。柔顺度法允许脊柱出现多向性的活动,而刚度法只允许加载方向上的运动。脊柱三维运动分析在脊柱植入物的稳定性评价中具有重要作用。一般比较正常试件与植入物固定后节段运动之间的三维运动变化,可以反映内固定的稳定效果。为进行固定器之间以及固定器与完整脊柱之间的比较,可用每个试件在最大作用载荷下的运动范围(range of motion, ROM)来计算试件的相对运动范围(relative ROM),来衡量固定器在各个方向上的稳定性。 $\text{Relative ROM} = 100 \times (\text{固定器}$

ROM-完整脊柱 ROM)/完整脊柱 ROM。 $RROM=0$ , 表示固定器的稳定程度与完整脊柱相同; $RROM>0$ , 表示固定器的稳定性低于完整脊柱。相反, $RROM<0$ , 则表示固定器稳定性超过完整脊柱。这类试验方法可以在同一标本上进行不同固定器的比较研究, 使不同的固定器在同一模型可以比较其稳定性, 因而这种方法可重复性好, 可比性强。

### 三、内固定生物力学特性

在行脊柱内固定手术时通常需考虑各种位置或不同器械固定后的结果, 因为不同的固定途径, 会影响脊柱整体结构力学。虽然不同部位的固定方法其原理和目的各不相同, 就是用于同一部位的几种器械其原理也有差异, 但所有的内固定器械的应用和评估都应遵循一些共同的生物力学原则。Krag 于 1991 年针对这种情况将相关文献整理后进行了讨论。

1. 棘突固定: 将钢丝直接系在棘突上固定, 此方式在 1891 年由 Hadra 提出。此固定方式较简易, 它利用钢丝可以承受张力, 因此在形成前屈力矩时可由钢丝和前方椎体形成反力矩作用, 而遇水平剪力则须由小关节来承受。但由于钢丝本身仅承受张力, 因此在承受垂直压力或后伸时, 钢丝固定便失去作用。若改用棘突钢板代替钢线, 则不仅可以承受张力, 也可以承受压力, 但缺点是在做前屈时, 固定于棘突的螺钉无法承受太大的弯矩, 导致螺钉歪斜而切割棘突。

2. 小关节螺钉固定: 此固定方法在 1940 年由 Toumey 和 King 提出, 方法是用螺钉固定小关节来达到稳定脊柱的功效。但这种方法会因技术原因造成效果上的差异, 螺钉不同的固定方向对椎体稳定性的影响有所不同。螺钉在小关节内的接触长度长者可获得较大的固定力, 但它却不能抵抗前方弯矩, 尤其是在前屈时, 小关节的固定完全依靠螺钉与骨之间的摩擦力, 因此这种方法仅适用于前方椎体完整, 能协助抵抗前方弯矩的病种。

3. 椎板和关节突的固定: 由支撑棍配合钩子固定在椎板上。这种方法可同时承受张力和压力。通过棍的支撑力及前方椎体的反作用力形成反作用力矩, 以抵抗前弯力矩。但因棍的硬度太高, 造成固定后丧失脊柱原有的曲度而引起疼痛。因此, 在手术中往往需要将棍弯成与原节段脊柱相同的曲率作固定或在棍中间加装一个套筒, 形成三点支撑, 以维持原有脊柱矢状面上的曲度。除了固定方式会造成力学行为的改变外, 固定的长度也会影响受力的改变。短节段固定对钩子产生较大的接触力, 而长节段的固定因力臂增长使钩子的接触力减少而造成钩子较易松脱。当接触力不够时, 也会造成钩子与椎板之间的相对位移, 因此在使用钩子时必须注意它与椎板的吻合情况。

4. 前方植入物: 利用前方植骨或其他替代物, 可直接承受外来的压力, 且这些物质在长时间的愈合中会产生骨融合, 进而承受剪力或弯曲力矩。但是应特别注意植入物在愈合过程中无法承受剪力或弯曲力矩, 此时的剪力是由椎间小关节来承受, 而前方弯曲力矩是由后方的韧带来协助承受。考虑前方支撑力不够时, 便须使用前方固定器, 以增加整体结构的稳定性。在植入前方固定器后可以直接增加稳定性, 但若前屈力矩或剪力过大, 虽不会造成椎体的旋转, 但会造成椎体的平移, 因此较好的方式就是在固定椎体时, 将螺钉以不同角度拧入椎体或是在 2 根螺钉之间加入 1 根横向棍以增加抵抗前弯和扭转的力量。

5. 椎弓根螺钉：目前在脊柱的内固定方法中，以椎弓根螺钉的固定效果最佳。

(1) 椎弓根螺钉的外形设计：一般的螺钉外形有 V 型及三角形，为检验两种不同螺钉固定能力的差异，Koronyi 等人进行了拉出测试，发现较深螺纹的拉出强度略大于较浅的螺纹，但没有显著的差异。而在抗弯曲强度方面，不同的螺纹深度会造成抗弯曲强度不同，螺纹内径差 2 倍会造成抗弯矩强度相差 8 倍。

(2) 椎弓根螺钉的位置差异：椎弓根螺钉的置入有三种不同的位置。Roy-Camille 等人提出平行向前置入，位置在横突根部中点与小关节之间的交叉点向前植入，2 根螺钉平行于椎体终板；Magorl 等人提出第二种方法，植入点在横突根部中点与上关节突外侧交点处，2 根椎弓根螺钉形成一定角度，由外向内植入，但也与椎体终板平行；Krag 等人提出螺钉进入点在横突根部中下 1/3 与小关节突外侧交点处，2 根螺钉由外向内成角，且由下向上与终板成角，使其尖端接近椎体前缘皮质骨。对于这三种不同的置入角度，从生物力学角度看，后两种方法有较多优点，如螺钉入点在小关节突外侧，可方便椎弓根螺钉向上或向下置入；由于斜向置入，螺钉在椎体内所占的接触面较多，可提供更多的接触力，以增加骨与椎弓根螺钉之间界面的强度；另外也可承受较大的侧向剪力所产生的位移。

(3) 椎弓根螺钉的置入深度：椎弓根螺钉的深度也会影响其固定强度，从生物力学研究中可看出置入较深的螺钉拥有较高的相对强度。通常置入都尽量接近椎体前缘皮质骨，以增加固定的相对强度。需要注意的一个问题是椎体本身是不规则体，因此从不同角度来观察置入后的螺钉会有不同的结果，如置入物虽已达到椎体前缘皮质骨，但由不同角度观察到的结果不一致，有些好似仍有一段距离存在，在拍摄置入物位置时要尽量以螺钉与皮质骨接触点的切线位去拍摄方可显示出正确位置。

(4) 椎弓根螺钉系统生物力学特点：

①螺帽在螺棍上转动所提供 Y 轴方向的撑开力，通过螺钉传到脊柱前、中柱，能有效恢复骨折椎体的高度。

②螺钉在 X 轴上的旋转能使腰椎恢复生理前凸，后纵韧带伸展及纤维环紧张，有助于突入椎管内的骨块复位。

③螺钉在 Y 轴上的转动能纠正椎体旋转畸形。

④螺钉在 Z 轴上的进退能调节椎体的前后位置。

⑤符合对局部病损固定应尽可能短节段的原则。

#### 四、内固定装置的总体刚度

内固定装置要达到能在三维方向上矫正畸形和固定脊柱的功能，其基本条件是具备足够的总体刚度和强度。一般说来，金属内固定器械各组件的强度是足够的，因此，器械与骨组织以及器械各组件之间的结合方式就成为判断内固定装置优劣（装置—骨骼系统总体刚度）的两个主要方面。

1. 骨与器械之间的连接方式主要有两种：一是器械与骨组织的表面接触固定；二是通过螺钉或其他形式，将器械插入骨内固定。前者器械与骨之间缺乏坚强的连接，而是依靠软组织的张力来保持稳定，当软组织被拉长或发生蜕变时，两者之间的连接就会松动，哈氏棒和鲁克棒就是如此。加大矫形力，使软组织处于紧张状态，可能会增加固



定效果,但这受骨组织强度的影响,过大的矫形力会导致骨结构的破坏,如哈氏棒所致的关节突折断。多点固定可以加强器械与骨组织的连接并减小应力集中,由于鲁克棒采用椎板下钢丝多节段固定,将载荷分布到多个平面,该装置明显增加了矫形效果和抗旋转抗剪切能力。但哈氏棒和鲁克棒都缺少与骨组织连接的内在稳定性,哈氏棒钩可在椎板或关节突上旋转,鲁克棒钢丝可沿棒上下移动,说明它仍缺乏完全而坚强的三维固定能力。

椎弓根螺钉的应用实现了植入物与脊柱牢固连接并能有效地在三维空间里施加多种矫形力的要求。椎弓根是脊柱最强的部分,对椎弓根螺钉有很好的握持作用。横突、椎板及上、下关节突汇集在椎弓根的同一点,从后部结构传递到椎体的所有力均通过此点,该点被称做“力核”。椎弓根的解剖位置决定了它具有两大生物力学功能,即控制脊柱运动,并将力传递到前部椎体。因此,通过两侧椎弓根进入椎体的螺钉,不但可以获得与骨组织的牢固结合,而且可以有效地控制整个椎体,具有三维固定和矫形的功能,这是借助椎弓根进行内固定的力学基础。

2. 器械各组件间的坚强连接是脊柱内固定器械成功的关键。如各组件之间缺乏坚固的连接,不仅会丧失其矫形和稳定功能,而且会导致应力在器械内的异常分布。试验发现,钉—板之间坚固连接与钉—板间发生微小运动时螺钉的受力情况不同,后者螺钉要抵抗悬臂弯矩,而前者螺钉仅承受单纯拉力。虽然钉板之间的微小活动可减少该处的应力集中,但这是以牺牲器械的刚度为代价的。此外,器械各组件间的坚强连接亦使短节段固定成为可能。

### 五、脊柱内固定与载荷分布

对载荷分布机制的认识有助于脊柱外科医师加强对脊柱与内植物之间相互关系的了解。载荷分布机制的有关研究表明,脊柱节段和内固定装置均是承受载荷的重要结构,脊柱内固定为固定节段的载荷传递提供了一个旁路。传递载荷的大小由内固定装置的刚度以及固定节段椎体间的结构特性决定。

后路脊柱器械可将加压和撑开处于平衡中。生物力学资料证实,后路内固定棒系统在施以压力时,内置物张力强度明显增强。而后方撑开易对器械产生较大的弯曲力。后部撑开系统的应用失败率较高,当前柱骨与椎间盘结构缺陷时,应力将加于后方器械上。只有在前柱重建和后方加压时,后路器械的张力减少才能达到理想的稳定。对载荷分布的生物力学研究表明,在直立时,80%~90%的轴向压力直接作用于前柱,其余的10%~20%则通过后柱。Biedermann对脊柱内植物相关的脊柱生物力学进行了深入地研究。他在前柱结构完整的情况下,应用柔性后路内固定棒“张力”固定,确立了80%力通过前柱,而20%在后柱,类似于腰椎正常生物力学;在应用后路刚性内置物时,力量转移不大,采用这类器械65%的力在前柱而35%的力在后柱;如果椎体切除没有重建,则100%的力必定会通过后方内置物;在后路放置器械撑开或者前柱有缺陷时,后方内植物要承受90%的过多载荷;在前柱有效重建后,因为80%的力通过前柱,而只需要小的后路内固定器械。这些结果提示,尽管应用脊柱内固定系统,仍然需要理想的前后柱载荷分布环境。McLani复习了19例胸腰椎骨折病应用短节短椎弓根器械固定的早期结果,共有10例出现早期固定失败。表现为螺钉弯曲脊柱后凸进行性发展,骨