



脊柱及相关疾病 诊治学（上）

杨家福等◎主编

脊柱及相关疾病诊治学

(上)

杨家福等◎主编

图书在版编目 (C I P) 数据

脊柱及相关疾病诊治学/ 杨家福等主编. — 长春 :
吉林科学技术出版社, 2016.3
ISBN 978-7-5578-0158-8

I. ①脊… II. ①杨… III. ①脊柱病—IV.
① R681.5

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第039886号

脊柱及相关疾病诊治学

JIZHU JI XIANGGUAN JIBING ZHENZHIXUE

主 编	杨家福	王慧东	柯西江	郝玉升	马国涛	吴银松
副 主 编	周鹰飞	郭润栋	彭 宏	冯居平		
	谭小欣	谭红略	郑永红	郭 利		
出 版 人	李 梁					
责任编辑	孟 波	张 卓				
封面设计	长春创意广告图文制作有限责任公司					
制 版	长春创意广告图文制作有限责任公司					
开 本	787mm×1092mm 1/16					
字 数	1031千字					
印 张	42					
版 次	2016年3月第1版					
印 次	2017年6月第1版第2次印刷					

出 版	吉林科学技术出版社				
发 行	吉林科学技术出版社				
地 址	长春市人民大街4646号				
邮 编	130021				
发行部电话/传真	0431-85635177	85651759	85651628		
	85652585	85635176			
储运部电话	0431-86059116				
编辑部电话	0431-86037565				
网 址	www.jlstp.net				
印 刷	虎彩印艺股份有限公司				

书 号 ISBN 978-7-5578-0158-8
定 价 165.00元

如有印装质量问题 可寄出版社调换

因本书作者较多, 联系未果, 如作者看到此声明, 请尽快来电或来函与编辑部联系, 以便商洽相应稿酬支付事宜。

版权所有 翻印必究 举报电话: 0431-86037565

主编简介



杨家福

1965年出生，毕业于成都中医药大学，现任职于西南医科大学附属中医医院，骨科教授，主任中医师，西南医科大学中西医结合学院硕士研究生导师，中西医结合学会四川分会委员。从事创伤骨科工作近30年，擅长各种创伤骨折、脱位的手法整复及手术治疗，特别是对骨盆骨折施行闭合复位空心螺钉内固定治疗有独到的见解，同时对老年性膝骨性关节炎及股骨头坏死的保守治疗及关节置换治疗也得心应手。主研和参与科研课题5项，其中主研课题1项，已发表科研论文20余篇。



王慧东

1975年出生，本科学历，河北省南皮县人民医院骨一科，主治医师。1997年毕业于华北煤炭医学院临床医疗系，从事骨科临床专业18年。专业是脊柱外科及创伤骨科，擅长脊柱、四肢骨折创伤的诊断及治疗，尤其是脊柱创伤骨折、脱位及脊柱退行性病变的诊断与治疗，临床经验丰富。在国家及省级专业刊物发表论文6篇。



柯西江

1972年出生，中国人民解放军第一一三医院，骨科，副主任医师。1995年毕业于江西医学院临床医疗专业。从事骨科临床工作20年，对骨科常见病多发病的诊治有较丰富的临床经验，对现代脊柱微创手术、疑难颈腰痛的诊治尤其擅长，有自己独特的经验和见解。在国家级别期刊上发表论文多篇，参与编写专业著作1部。

编 委 会

主 编 杨家福 王慧东 柯西江
郝玉升 马国涛 吴银松

副主编 周鹰飞 郭润栋 彭 宏 冯居平
谭小欣 谭红略 郑永红 郭 利

编 委

(按姓氏笔画排序)

马国涛	河南省平顶山市第一人民医院
王慧东	河北省南皮县人民医院
邓 凯	河北医科大学第二医院
石 鲲	兰州军区兰州总医院
冯居平	河南省南阳市中医院
李志强	河南省洛阳正骨医院 河南省骨科医院
杨家福	西南医科大学附属中医医院
吴银松	中国人民解放军第四〇一医院
张昌盛	河南省洛阳正骨医院 河南省骨科医院
张海波	河南省洛阳正骨医院 河南省骨科医院
周鹰飞	湖北医药学院附属人民医院
郑永红	河南省安阳地区医院
郝玉升	沧州市人民医院
柯西江	中国人民解放军第一一三医院
郭 利	中国人民解放军第四六三医院
郭润栋	郑州市骨科医院
唐华羽	佳木斯大学附属第一医院
彭 宏	河南省南阳市中医院
谭小欣	河南省平顶山市第一人民医院
谭红略	河南省洛阳正骨医院 河南省骨科医院
魏千程	兰州军区兰州总医院

前 言

近年来，随着现代科技、基础医学、临床医学的发展，脊柱外科领域的新理论层出不穷，让人应接不暇。脊柱外科很多手术方法和技术发生了重大变化，传统术式持续得到改良，更不断涌现出新的术式，如微创手术正以惊人的速度发展和普及。

本书系统的介绍了脊柱外科常见病及相关微创技术，内容新颖，实用性强，有助于临床医师对疾病做出正确诊断和恰当的处理。为各基层医院的住院医师，主治医师及医学院校本科生、研究生提供参考使用。

本书在编写过程中，虽力求做到写作方式和文笔风格的一致，但由于作者较多，加之篇幅和时间有限，因此难免有一些疏漏和缺点错误，期望广大读者予以批评指正。

编 者
2016 年 3 月

目 录

第一章 脊柱的相关生物力学基础与脊柱的运动·····	1
第一节 脊柱的解剖功能和生物力学·····	1
第二节 脊柱的功能单位·····	9
第三节 脊柱的运动学·····	11
第二章 脊柱外科诊断学·····	17
第一节 临床检查和诊断·····	17
第二节 脊柱外科影像诊断学·····	38
第三节 脊柱外科其他特殊检查·····	56
第三章 颈椎损伤·····	64
第一节 枕颈(寰)部损伤·····	64
第二节 寰椎骨折·····	76
第三节 枢椎齿状突骨折·····	81
第四节 单纯性寰枢椎脱位·····	86
第五节 颈椎过伸性损伤·····	95
第六节 下颈椎骨折·····	96
第七节 下颈椎脱位·····	100
第八节 颈椎椎体爆裂性骨折·····	104
第四章 胸腰椎损伤·····	107
第一节 胸椎损伤·····	107
第二节 腰椎损伤·····	114
第三节 骶骨损伤·····	121
第四节 尾骨损伤·····	126
第五节 脊髓损伤·····	126
第五章 小儿及高龄脊髓损伤·····	136
第一节 小儿脊髓损伤·····	136
第二节 高龄脊髓损伤·····	139

第六章 骨盆骨折	143
第一节 骨盆骨折的急救及合并伤的处理.....	143
第二节 骨盆骨折的分型与治疗.....	144
第三节 骶骨骨折.....	154
第四节 开放性骨盆骨折与儿童骨盆骨折.....	157
第五节 骨盆骨折的术后并发症及防治.....	159
第六节 骨盆骨折康复治疗.....	162
第七章 颈椎疾病	164
第一节 颈椎管狭窄症.....	164
第二节 颈椎后纵韧带骨化症.....	171
第三节 颈椎间盘突出症.....	178
第四节 枕颈及颈椎不稳症.....	182
第八章 胸腰椎疾病	190
第一节 胸椎管狭窄症.....	190
第二节 胸椎后纵韧带骨化症.....	194
第三节 腰椎间盘突出症.....	195
第四节 腰椎峡部崩裂和腰椎滑脱症.....	203
第九章 腰椎椎管狭窄	211
第一节 腰椎椎管狭窄症的概述及分类.....	211
第二节 腰椎椎管狭窄症的病理解剖与病理生理特点.....	213
第三节 腰椎椎管狭窄症的临床表现、诊断与鉴别诊断.....	217
第四节 腰椎椎管狭窄症的治疗.....	219
第十章 脊柱畸形	224
第一节 枕颈部畸形.....	224
第二节 颈椎其他畸形.....	236
第三节 胸腰椎畸形.....	247
第四节 青少年特发性脊柱侧弯.....	250
第十一章 脊柱肿瘤	258
第一节 概述.....	258
第二节 常见原发良性肿瘤.....	264
第三节 常见原发恶性肿瘤.....	271
第四节 脊柱转移性肿瘤.....	293
第五节 脊柱肿瘤的外科分期与手术方式.....	301
第十二章 腰椎手术的并发症及各种翻修性手术	306
第一节 腰椎手术并发症的基本概况.....	306
第二节 腰椎手术术中并发症及预防.....	307
第三节 腰椎手术术后并发症.....	309
第四节 腰椎翻修术概述及方案选择.....	312
第五节 腰椎退行性疾患翻修手术.....	315

第六节 腰椎畸形(滑脱症)翻修手术	321
第七节 其他情况下的腰椎再手术	325
第十三章 脊柱手术术后并发症	327
第一节 脊柱骨折脱位复位不良的并发症	327
第二节 脊柱后路内固定并发症	332
第三节 脊柱前路内固定并发症	344
第四节 经皮椎体成形术和后凸成形术并发症	356
第五节 脊髓火器伤手术并发症	365
第六节 脊髓损伤后痉挛和疼痛	367
第七节 脊髓损伤后并发脊髓空洞症	370
第十四章 脊柱的微创治疗	373
第一节 椎间盘髓核化学溶解术	373
第二节 经皮穿刺椎间盘切除术	382
第三节 经皮激光椎间盘减压术	388
第四节 经皮内镜激光椎间盘切除术	394
第五节 经皮射频椎间盘髓核成形术	405
第六节 经皮内镜下颈椎椎间盘摘除及固定	410
第七节 经皮内镜下腰椎椎间孔成形术	416
第八节 经皮内镜下腰椎纤维环成形术	421
第九节 椎间孔镜在脊柱退变性疾病中的应用	428
第十节 腰椎经椎间孔内镜手术的技术路线、临床预后及手术指征	437
第十一节 胸腔镜脊柱微创技术	445
第十二节 腹腔镜脊柱微创技术	456
第十三节 显微内镜下颈椎间盘切除术	462
第十四节 经皮椎体后凸成形术	466
第十五节 经皮椎弓根螺钉内固定术	475
第十五章 髋部手术	482
第一节 股骨头骨折	482
第二节 股骨颈骨折	485
第三节 儿童股骨颈骨折	500
第四节 小儿股骨头缺血性坏死	501
第五节 股骨粗隆间骨折	505
第六节 股骨大、小粗隆骨折	512
第七节 股骨粗隆下骨折	513
第八节 髋关节脱位	515
第十六章 髋关节微创手术	524
第一节 髋关节镜手术	524
第二节 髋关节骨关节炎与滑膜炎	530
第三节 髋关节撞击综合征与盂唇损伤	532

第四节	全髋关节置换术	533
第五节	髋关节表面置换术	539
第十七章	膝部手术	553
第一节	股骨下端骨折	553
第二节	膝关节半月板损伤	563
第三节	膝盘状软骨	567
第四节	内外侧副韧带损伤	569
第五节	前后交叉韧带损伤	571
第六节	胫骨结节骨骺炎及骨骺分离	575
第七节	膝关节僵硬	577
第八节	膝关节游离体	579
第九节	膝关节创伤性滑膜炎	579
第十八章	骨科常见的骨病	581
第一节	骨关节炎	581
第二节	脊柱结核	588
第三节	脊椎非特异性感染	592
第四节	强直性脊柱炎	610
第五节	大骨节病	611
第六节	松毛虫性骨关节炎	614
第十九章	脊柱疾病的针刀治疗	617
第一节	腰椎椎体滑脱症	617
第二节	骶尾椎损伤综合征	619
第三节	脊柱侧弯	626
第二十章	骨科常见疾病的护理	637
第一节	骨科常见诊疗技术及护理	637
第二节	腰椎间盘突出症	644
第三节	骨折的康复护理	650
第四节	骨科术后的康复护理	655
参考文献		660

第一章

脊柱的相关生物力学 基础与脊柱的运动

骨科生物力学是应用物理学和工程力学法则和概念来描述人体不同节段的活动,分析其不同部位在活动中的受力情况,解析骨骼系统疾病及损伤与力的相互关系,以达到更科学、更有效的预防和治疗骨科疾患的目的。

脊柱由椎骨通过椎间盘、关节及韧带连接而成,构成人体的中轴,具有传递载荷、保护脊髓,提供三维生理活动等功能。是人体的中轴,身体任何部位受到的冲击力或压力,均可传导至脊柱并造成损伤。脊柱生物力学从强度、疲劳和稳定性等三个方面研究脊柱的功能:对诸如椎间盘、脊柱韧带和椎骨的生物力学性质的了解,加深了对脊柱功能和脊柱损伤机制的认识。脊柱某一结构的破坏导致脊柱强度的减少,但并不一定导致脊柱稳定性的丧失。故从脊柱稳定性,即脊柱维持其正常运动功能能力的角度,研究脊柱部分结构损伤及其重建对脊柱稳定性的影响。可以为临床上脊柱外科手术式的改进和创新提供生物力学依据。

第一节 脊柱的解剖功能和生物力学

生物力学是指对载荷与生物系统的机械反应之间关系的研究。了解脊柱生物力学有助于理解脊柱的正常生理功能和脊柱伤病的病理改变,为临床深入研究脊柱伤病的诊断和治疗提供可靠的理论依据。脊柱生物力学与其功能解剖特点密不可分。根据解剖和功能不同,脊柱可分为前后两部分,分界线位于椎体的后部。前部结构包括椎体、椎间盘和前、后纵韧带,而相应的椎弓、椎间关节、横突、棘突和所属韧带构成其后部结构。前部结构的主要作用为支持躯干和吸收震荡,而后部结构控制脊柱的运动形式。两者联合作用共同保护脊髓。

一、椎体

椎体承载轴向压缩力是椎体的主要功能。颈椎承载轴向载荷是 2000N,胸椎是 2000 ~ 4000N,腰椎是 5000 ~ 8000N,但随着年龄的增大,椎体的强度有下降的趋势。如腰椎椎体能承受的最大压缩载荷在小于 40 岁时为 8000N,40 ~ 60 岁为该值的 55%,60 岁以后为该值的 45%。这是由于骨量随年龄增大而减少的缘故。

椎体主要由多孔的骨松质构成,表面为薄层密质骨。呈短圆柱状,中部略细,两端膨大。上、下面粗糙,可分为两个区域:中心部凹陷多孔,由软骨板(终板)填充至边缘的高度;边缘部突起且为密质骨,与椎间盘牢固附着。椎体是由软骨板、骨松质及密质骨组成的复合结构。这些不同的成分具有各自独特的生物力学性能。椎骨依赖其先天的构造来抵抗各种应力的作用。从本质上讲,椎骨几乎全部是由骨松质构成(呈网状结构的骨松质),只

是其外部包裹着一层坚硬的骨外壳：扫描电镜（SEM）显示椎骨骨小梁的形态呈片杆状结构，也有人称之为束样结构。椎骨的骨小梁依据力线的作用方向而呈三个方向的排列。由于椎骨的轴向应力最大，因此在垂直方向上的骨小梁最为坚硬。骨小梁依正常应力的轨迹方向（轴心力）而排列，以发挥其最大的生物学功能。80%的椎骨表面载荷是通过其骨小梁传递的。呈水平走行的骨小梁起着侧方支架的作用，以防呈垂直状的骨小梁弯曲变形。同样，垂直的骨小梁也并非笔直，这种形态是与功能相适应的。因为笔直的垂直骨小梁在任何轴向载荷都可使脊椎的弯矩增加。这种弯矩可大大地增加外力作用于骨骼上所产生的各种应力，椎骨网状结构的功能是抵抗轴向应力（R）（载荷）和弯矩（M）。宏观上，作用力是通过骨小梁传递，而在微观上，作用力是通过骨小梁中原子的聚集而传递的。骨骼对所加载弯矩的抵抗能力取决于这种物质的弹性模量。弯矩使得骨内产生应力或应变梯度。载荷应力使得骨骼发生变形，正是这种变形和应力分布的破坏使得骨骼内出现极化。

椎体主要是承受压缩载荷。随着椎体负重由上而下地增加，椎体也自上而下地变大，如腰椎椎体的形态与胸椎和颈椎相比，又厚又宽，能承受较大的负荷。椎体的力学性能与解剖形状、骨量相关。

从第3~6颈椎椎体平均截面积和骨矿含量逐渐增大，第3颈椎截面积为 333.8mm^2 ，骨矿含量（BMC）为 2.18g 。最大压缩载荷也从第3颈椎的 1060N 提高到第6颈椎的 1787N 。

椎体在承受压缩负荷方面起重要作用。不同椎体承受负荷所占体质量的百分比均有所不同，总的趋势是自上而下逐渐拉大，由 $L_1 \sim L_5$ 分别为50%、53%、56%、58%、60%。成人椎体的强度随年龄增长而减弱，尤其是40岁以后表现更为明显。当椎体骨量减少25%时，其抗压强度可减低50%，而这一变化对于患者的椎体松质来说，由于骨量的减少，容易出现微骨折，是出现疼痛的原因之一。

椎体骨密质和骨松质承受压缩负荷的比例与年龄有关：40岁以前分别为45%和55%，40岁以后则达到65%和35%。骨松质被破坏前可压缩9.5%，而骨密质仅有2%，这说明骨密质在压缩负荷作用下更容易发生骨折。因此，在压缩载荷下，骨密质首先骨折。如载荷继续增大，才出现骨松质破坏。骨髓的存在有助于增加骨松质的抗压强度和吸收能量的能力，在较高的动力性载荷下这种作用更有意义。骨松质能量吸收的机制是骨小梁间隙减小。因此，椎体内骨松质的功能似乎不仅是与骨密质外壳一起分担载荷，而且，至少在高速加载时，是抵抗动力性峰载的主要因素。国人腰椎的动态和静态强度研究表明，上腰椎的静、动态强度分别为 6.7kN 和 10.8kN ，下腰椎的静、动态强度分别为 9.2kN 和 12.8kN ，说明上、下腰椎椎体的强度有显著差异，椎体的动态强度高于静态强度。

在压缩载荷下，首先破坏的结构是终板。在腰椎，椎体在40岁以前可承受大约 8000N 的压缩负荷，40~60岁时降低至55%，60岁以后则进一步降低到45%，当椎体因压缩而破坏时，终板总是首当其冲。其骨折形式可分为三种类型：中央型骨折、边缘型骨折及全终板骨折。正常时椎间盘变化最易造成中心型骨折，压缩载荷使髓核产生液压力，该压力使纤维环的外层纤维拉伸并使终板中心承受压缩载荷，因应力与弯矩成正比，终板中心的弯矩最大，所以最可能首先骨折。当椎间盘退变时，髓核不能产生足够的液压，压缩载荷大部分传递到下一椎体的周围，以致终板四周骨折，而中心变形很小。载荷极高时导致整个终板骨折。终板及其附近骨松质的骨折可影响其本身的通透性，从而破坏椎间盘髓核的营养供给，即使骨折愈合后通透性亦仍然受到妨碍，从而导致椎间盘的退变。而这一薄弱区域也可能被

髓核穿过向椎体内凸入,形成所谓 Schmorl 结节。

关于胸腰段和腰骶段椎体终板的生物力学特性, Perry 用直径 1cm, 平底的压头对第 12 胸椎至第 5 腰椎的椎体终板进行了压缩实验,认为椎体终板最大破坏力随着年龄的增大逐渐下降,并且终板的中央区、两侧及前区之间的最大破坏力并没有统计学差异。国内有学者在颈椎终板结构生物力学特性的实验研究中得出以下结论。

(1) 颈椎上终板后部、下终板后外侧区是椎体力学强度最大的区域。颈椎节段由上而下最大压缩力及刚度均逐渐变小,同时下颈椎下终板平面的最大压缩力及刚度比相邻的上终板大,由此推测,在进行颈椎椎间植入物置入时下颈椎较易发生“沉陷”并发症,而且“沉陷”可能多发生于颈椎上终板平面。

(2) 颈椎终板对颈椎的生物力学性能影响很大,去除终板会明显减低椎体对植入物的支撑作用。但去除终板对终板平面生物力学的分布影响不大。进行颈椎前路融合术或改进椎间植入物设计时应考虑到颈椎终板的作用。

(3) 椎体骨密度对颈椎终板结构生物力学特性有显著影响,随着椎体 BMD 的降低,颈椎的主要承力部位并没有发生变化,但颈椎的承力强度明显减少。

(4) 颈椎椎间盘退变对终板结构生物力学特性有显著影响,随着退变程度的增加,颈椎终板承力能力迅速降低。但对终板平面力学分布而言,颈椎椎间盘退变对上终板的力学分布没有影响,而对下终板平面的分布有影响。

载荷从椎体上方的软骨终板通过椎体的皮质骨和松质骨传递到椎体下方的终板。随着年龄的增长和骨量的丢失,压缩力量主要集中在松质骨上。骨髓的存在有助于增加松质骨的抗压强度和吸收能量的能力,在较高的动力性载荷下这种作用更有意义。松质骨能量吸收的机制是骨小梁间隙减小。因此,椎体内松质骨的功能似乎不仅是与皮质骨外壳一起分担载荷,而且在高速加载时,是抵抗动力性峰载的主要因素,这一点在分析和理解椎体损伤时有重要意义。

二、椎间盘

椎间盘位于相邻椎体之间,将相邻椎体牢固连接从而维持椎管的排列,厚度约占骶骨以上脊柱全长的 1/4,椎间盘是一种黏弹性固体材料,具有蠕变、松弛和滞后等特性,可以吸收震荡能量。在较小的负载作用下,卸载后变形消失,若负载过大,则出现不可逆变形。椎间盘由髓核、纤维环和软骨终板三部分组成。髓核是一种液态团块,位于椎间盘中央,在腰椎则较偏向后方,是胚胎时期脊索组织的遗留物,内含大量亲水性氨基葡聚糖,呈凝胶样组织。其含水量随年龄及载荷不同变化较大,出生时含水量达 90%,18 岁时约为 80%,但随着人的衰老,水分含量逐渐降低,70 岁时可下降至 70%。当水分含量变化时,椎间盘的黏弹性就会改变。在压缩载荷作用下,髓核中的水分通过终板外渗,髓核体积减小,压缩载荷减小后,水分再进入,髓核体积又增大。在负荷情况下,髓核呈流体静力状态,在相邻椎体间形成一个垫,贮存能量并分散载荷。纤维环由纤维软骨组成,纤维软骨内有多层相互交叉的胶原纤维束,纤维与椎间盘平面呈 30° 角,相邻的两层纤维束的走向相互交叉,呈 120° 夹角。纤维环纤维的独特排列方向使椎间盘具有一定程度的抗扭转能力。纤维环的后部与后纵韧带相编织。纤维环内层纤维附于软骨终板,而外层纤维则直接止于椎体的骨性部分,这些纤维叫做 Sharpey 纤维,在后部与后纵韧带编织。

椎间盘可承受并分散负荷,同时能制约过多的活动,这是其重要的生物力学功能。压缩载荷通过终板作用于髓核和纤维环,髓核内部产生的液压使纤维环有向外膨胀的趋势,外层纤维环承受了最大张应力,内层纤维环承受的张应力较外层小,但承受了一部分压应力。

髓核是一种含水量较多的黏蛋白样物质,内含软骨细胞和纤维母细胞,具有一定的张力和弹性,其形状和压力可随外界压力变化而改变。正常髓核位于椎间盘的中央,在下腰椎则较偏向后方。非变性椎间盘传递载荷是通过胶冻样髓核的缓慢流动来完成的。在压力增高时髓核产生蠕动效应,从而把载荷的受力中心传导到椎体终板。变性和脱水的椎间盘不能在髓核内建立充分的流动压力,压力的传递机制发生改变,由于流动压消失,终板承受相对小的载荷,较大的压力载荷传递通过环状纤维从一个终板传递到另一个终板的外围部分,环状纤维紧张、疲劳时可破裂,从而导致髓核突出。

正常髓核在承受载荷时,可均匀地向各方向传递,以维持应力的平衡,使纤维环的纤维变长或改变方向而分散应力,防止纤维环或软骨终板某一部分因遭受过多应力而引起损伤。髓核在脊柱前屈、后伸时分别向后、前移动,起着类似轴承的作用。髓核在压力下不能压缩,但能变形,起着吸收震荡的作用。

椎间盘承受压缩载荷时,髓核内的压力为外压力的1.5倍,纤维环承受的压力为0.5倍。而后部纤维环的张应力是外压力的4~5倍。胸椎纤维环内的张应力比腰椎的小,原因是胸椎与腰椎的椎间盘直径与高度之比不同。

节段运动可以使椎间盘的部分承受拉伸载荷。例如当脊柱弯曲时,脊柱的一侧承受拉伸,另一侧承受压缩;因此,弯曲载荷在椎间盘产生拉伸和压缩应力,各作用于椎间盘的一半。研究表明,椎间盘的拉伸刚度小于压缩刚度。造成椎间盘损伤的是弯曲载荷和扭转载荷,而不是纯压缩载荷。

扭转是引起椎间盘损伤诸负荷中的最主要类型,扭转载荷在椎间盘的水平面和垂直面上产生剪切应力,其应力大小与距离旋转轴的距离成正比。在椎骨椎间盘的轴向扭转试验中,记录扭转载荷与扭转角度,绘制载荷-角度曲线,可以将曲线划分为三个节段:初始节段的扭曲范围 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$,所需载荷很小;往后的 $3^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 扭角范围内,载荷与扭角呈线性关系;大约在 20° 时,扭矩达到最大,椎骨-椎间盘-椎骨结构破坏。纤维环对抗扭转负荷的能力较弱,这是由其各向异性特点所决定的:纤维环层间纤维相互交叉,当其被扭转时仅有一半纤维承压;同样,外层纤维所受扭力要大于内层纤维,因而也就容易发生断裂。有研究表明,正常腰椎节段最大扭矩为80Nm,髓核摘除后节段的最大扭矩为49.9Nm,而单纯腰椎间盘的最大扭矩为45.1Nm,破坏形式为椎间盘破裂、椎体和关节突骨折。退变椎间盘的破坏扭矩比正常椎间盘的小25%。

纤维环由纤维软骨组成,主要作用是为髓核的流动提供空间,阻止髓核突出。纤维软骨内有多层相互交叉的胶原纤维束。各层纤维以 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 角交叉编织排列,在横切面上呈同心环状,在椎间盘受到扭曲力的作用时,应力集中在同一方向排列的斜行纤维上,而相反方向的纤维则变得松弛,从而限制脊柱的扭转活动,并且缓冲震荡。纤维环前部宽而厚,后部薄,再加上前方有坚强的前纵韧带保护,因而髓核组织最常见的突出部位是椎间盘的后方(图1-1)。

在椎体与椎间盘之间为软骨终板,由透明软骨构成。

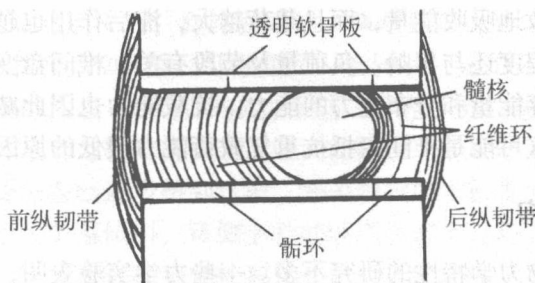


图 1-1 纤维环前部宽而厚、后部薄示意图

软骨终板位于椎体上、下表面与椎间盘的纤维环和髓核之间，它和纤维环一起形成一个自行限制的密闭“容器”，将胶冻状的髓核密封，起缓冲外力和传递应力的作用。近年来，对终板生物力学的研究结果显示，相当多的下腰痛患者有终板和（或）椎间盘的损害。离体的研究证实，大多数脊柱前柱的损害是因压应力导致的终板骨折所致。对椎体进行高速动力性试验时发现，有三种形式的终板骨折：中心型、边缘型和整个终板骨折。椎间盘正常时终板最易出现中心型骨折，压缩载荷使髓核产生液压力，该压力使纤维环的外层纤维拉伸并使终板中心承受压缩载荷，因应力与弯矩成正比，终板中心的弯矩最大，所以可能首先骨折。当椎间盘退变时，髓核不能产生足够的液压，压缩载荷大部分传递到下一椎体的周围，以致终板四周骨折，而中心变形很小。载荷极高时导致整个终板骨折。终板损伤后，相邻髓核的压力载荷减少 25%，应力位移集中于纤维环后侧，故极易发生纤维环劳损和髓核后突。尽管有作者认为保留终板在前路椎间植骨融合手术中不能明显增加植入物的抵抗力，但大多数学者认为保留终板手术的生物力学强度要大得多。Emery 和 Kozak 等采取保留终板的手术方式，取得了较好的效果。Martin 等认为颈前路融合后发生的植骨块下陷是由于过分去除皮质终板所致，提示了在颈前路融合手术中保留终板的重要意义：但毫无疑问，取出松质骨后单纯的中空皮质骨外壳是不能承受椎体负荷的，椎体强度的维持是松质骨和皮质骨外壳共同作用的结果：在椎体的受力中，应力的承受应该主要是经终板向下传导，稀疏的骨小梁在应力的分散中有重要作用。而目前生物力学的研究主要是应用测定离体标本或有限元分析的方法，侧重于终板和松质骨在椎体应力中的分享关系，但活体中椎体究竟承担多大应力？终板承担多少？松质骨承担多少？去除终板后松质骨能否承受压负荷而不被压缩？这些问题有待进一步研究。

椎间盘还具有黏弹特性，主要表现为蠕变和松弛。所谓蠕变系指在一段时间内在负荷持续作用下所导致的持续变形，也就是变形程度因时间而变化。而应力松弛或负荷松弛则指材料承受负荷后变形达到一定程度时应力或负荷随时间而减低。

椎间盘的黏弹性使其自身能够有效地缓冲和传递负荷。负荷量越大，所产生的变形就越大，蠕变率也就越高：已有研究发现，腰椎的前屈范围在正常情况下傍晚要比早晨大 5° 左右，而向尸体腰椎活动节段施加前屈蠕变负荷以模拟一天的活动时发现其抵抗前屈的能力明显减弱。这说明前屈负荷比早晨所产生的应力更大，腰椎也因此更容易受到损伤。椎间盘的退行性改变对其自身的黏弹性亦有明显的影响。当椎间盘发生退变后，蠕变率与初始松弛率均增加，达到平衡时的负荷也将减低。这说明椎间盘发生退行性改变后缓冲和传递负荷的功能相应减弱。椎间盘的黏弹性还表现为具有滞后特性。滞后指黏弹性材料在加负与卸负过程中的能量丢失现象：卸负后负荷变形曲线如低于加负时，则表示有滞后现象出现：通过滞后

这一过程，椎间盘可有效地吸收能量，而且载荷越大，滞后作用也越大，从而具有防止损伤的功能。椎间盘的滞后程度还与年龄、负荷量及节段有关。椎间盘变性后，水分减少，以致弹性降低，逐步丧失储存能量和分布应力的能力，抗载能力也因此减弱。当椎间盘第二次承载时其滞后作用减小，这可能是椎间盘抵抗重复载荷能力很低的原因之一。

三、后部骨结构

目前对有关椎弓生物力学特性的研究不多。一些力学实验表明，椎弓的破坏多发生于椎弓根和椎弓峡部，采用三维有限元方法分析亦证实这两个部位均为应力集中区域：但椎弓根部的损伤临床上非常少见，多数椎弓峡部裂患者亦无明显外伤，故目前多数意见认为腰椎椎弓峡部裂是由局部应力异常增高所导致的疲劳骨折。

脊柱节段的活动类型取决于椎间关节关节面的方向，而关节面方向在整个脊柱上有一定的变化。下颈椎的关节面与冠状面平行，与水平面呈 45° ，允许颈椎发生前屈、后伸、侧弯、旋转和一定程度的屈伸。腰椎关节面与水平面垂直，与冠状面呈 45° ，允许前屈、后伸和侧弯，但限制旋转运动。

关节突除引导节段运动外，还承受压缩、拉伸、剪切、扭转等不同类型的负荷，其承受负荷的多少因脊柱的不同运动而变化，后伸时关节突的负荷最大，占总负荷的 30%（另外 70% 由椎间盘负荷）。前屈并旋转时关节突负载也较大。以往腰椎关节突关节承受压缩负荷的作用常被忽视，但据椎间盘内压测定结果显示，关节突关节所承受的压缩负荷占腰椎总负荷的 18%。关节突关节承受拉伸负荷主要发生在腰椎前屈时，当腰椎前屈至最大限度时所产生的拉伸负荷有 39% 由关节突关节来承受。此时上、下关节突可相对滑动 5~7mm，关节囊所受拉力为 600N 左右，而正常青年人关节囊的极限拉伸负荷一般在 1000N 以上，大约相当于人体重量的 2 倍。

以往认为，后部结构的作用主要是限制椎体的活动，而在承受载荷尤其是压缩载荷方面作用很小。因此，以往的有限元模型往往将后部结构省略，以简化模型。后来的研究发现：后部结构在承受传递载荷方面起十分重要的作用，椎体后伸时尤为明显；前屈时载荷主要经过韧带的传递，而后伸时则通过椎弓根，椎板和小关节。就腰椎而言，当后伸力矩为 60 (N·m) 时，在下关节突的尖部产生的最大压应力达 113.5MPa，而下关节突的关节面产生很大的拉应力，提示这些部位容易发生骨折，关节囊也易于发生损伤。许多学者对椎体其他部位的三维有限元分析表明：椎体承受压缩载荷时，以椎体前方或前下方、终板的中央部位、椎弓根为最大主应力产生的部位。这些研究均为脊柱损伤机制的研究提供了一定的力学基础。

椎弓根为连接椎体与椎弓的坚强结构，在椎体与椎弓间载荷的动态平衡中起杠杆作用。通过对椎弓进行加载的生物力学试验表明，椎弓根骨折最易发生，小关节骨折占 1/3，当加载速度加快时，小关节骨折增多。解剖学的研究发现靠近椎弓根处的椎体后缘骨皮质明显变薄，易产生应力集中，这可能是胸腰椎骨折产生的解剖学基础。Hongo 等研究发现椎弓根部为明显应力集中区域，其应力水平在前屈位和后伸位时明显高于整个后部结构的平均应力水平。邻近上终板的椎体后上缘由于紧靠椎弓根底部，其应力集中较椎体后下缘更为明显。这一力学现象可解释为何胸腰椎骨折多表现为上终板骨折。

小关节对脊柱活动起控制作用，脊柱各节段的关节面方向，相对于横截面和冠状面发生变化。上颈椎关节面与横截面平行，故在 $C_1 \sim C_2$ 间有充分的旋转活动，下颈椎的关节面方

向与横截面呈 45° 角，与冠状面平行，允许做屈伸、侧屈和旋转活动。胸段脊柱的小关节面与横截面呈 60° 角，与冠状面呈 20° 角，可做侧屈、旋转和一定的屈伸活动，但受到肋骨架的限制。腰段关节面与横截面呈 60° 角，与冠状面呈 45° 角，允许做屈伸和侧屈活动，但几乎不能做旋转活动。腰骶关节与腰椎间关节不同，允许做一些旋转活动。此外，小关节方向与椎间盘病变之间的重要关系已逐步得到认识，手术和放射学检查均发现，小关节不对称与椎间盘病变高度相关，小关节越倾斜，该侧坐骨神经痛发病率越高。

近年来的研究表明，小关节在稳定脊柱和传递载荷方面起到了重要的作用。通过对脊柱有限元生物力学模型分析后认为，椎小关节的作用主要是防止脊柱过伸旋转及向前移位进而稳定脊柱。 L_1 小关节的所产生的张应力最大，并随着小关节面的矢状角和水平角的增加而增大。从 $T_{12} \sim L_1$ ，小关节面与矢状面的角度急剧增大，而与水平面所成的角度增加较小，整个腰椎小关节面的矢状角都很大。由于小关节所承受的载荷与小关节在矢状面的角度增加成正比，因此腰椎小关节承受的载荷明显高于胸椎。由此可以看出，从 T_{12} 到 L_1 小关节角度的聚变引起的载荷增高与临床上骨折的好发部位（胸腰段）是相吻合的。这充分说明小关节载荷影响脊柱骨折的发生。

当腰椎承受剪切负荷时，关节突关节大约承受了总负荷的 $1/3$ ，其余 $2/3$ 则由椎间盘承受。但由于椎间盘的黏弹性受负荷后发生蠕变和松弛，这样几乎所有的剪切负荷均由关节突关节承受，而附着于椎弓后方的肌肉收缩使上、下关节突相互靠拢，又在关节面上产生了较大的作用力，而在承受向前的剪切负荷时不起主要作用。腰椎关节突关节的轴向旋转范围很小，在 1° 左右。试验表明，当轴向旋转范围超过 $1^\circ \sim 3^\circ$ 时即可造成关节突关节的破坏。因此，限制腰椎的轴向旋转活动是腰椎关节突关节的主要功能。

四、韧带

韧带的主要成分为胶原纤维和弹力纤维，胶原纤维使韧带具有一定的强度和刚度，弹力纤维则赋予韧带在负荷作用下延伸的能力。韧带大多数纤维排列近乎平行，故其功能多较为专一，往往只承受一个方向的负荷。脊柱韧带的功能主要是为相邻脊柱提供恰当的生理活动，同时也可产生所谓“预应力”以维持脊柱的稳定。脊柱体外标本在牵拉负荷作用下仍保持一定的椎间盘内压，这种预应力在相当程度上来源于韧带的张力，以黄韧带最为突出。所有韧带均具有抗牵张力的作用，但在压缩力作用下疲劳很快。韧带强度与韧带的截面积密切相关。实验研究发现，韧带的疲劳曲线呈典型的三相改变。在初始时，施加轴向载荷就很容易牵拉韧带，此相是韧带的中性区，阻力很小就可以出现较大形变；随着载荷增大，韧带出现形变的阻力也增大，此相为弹性区。最后，在第三相，随着载荷增大，韧带迅速出现形变，此相发生邻近破坏之前。在脊柱韧带中，腰椎韧带的破坏强度最高。另一点必须考虑韧带与骨界面。界面部的破坏由这两种结构的相对强度决定。在严重骨质疏松患者，骨质破坏比韧带破坏更容易出现。脊柱的韧带承担脊柱的大部分牵张载荷，它们的作用方式犹如橡皮筋，当载荷方向与纤维方向一致时，韧带承载能力最强。当脊柱运动节段承受不同的力和力矩时，相应的韧带被拉伸，并对运动节段起稳定作用。

脊柱韧带有多种功能。首先，韧带的存在既允许两椎体间有充分的生理活动，又能保持一定姿势，并使维持姿势的能量消耗至最低程度。其次，通过将脊柱运动限制在恰当的生理范围内以及吸收能量，对脊柱提供保护。第三，在高载荷、高速度加载外力下，通过限制位