

基础研究

单节段与双节段椎弓根螺钉固定胸腰椎
单椎体骨折的生物力学比较魏富鑫¹, 刘少喻¹, 赵卫东², 于滨生¹, 李浩森¹, 陈柏龄¹

(1 中山大学附属第一医院黄埔院区脊柱外科 510700 广州市; 2 南方医科大学解剖教研室 510515 广州市)

【摘要】目的:比较单节段与双节段椎弓根螺钉固定术固定胸腰椎单椎体骨折的生物力学效果。**方法:**在 16 具新鲜小牛胸腰椎标本(T11-L3)的 L1 椎体上制作不完全爆裂骨折模型,分为两组,分别行单节段与双节段椎弓根螺钉固定,对固定后的标本施加扭矩为 4Nm 的疲劳载荷共 2000 次,加载频率为 0.5Hz,经脊柱三维运动测量系统测量正常、损伤、固定和周期性加载后固定节段前屈/后伸、左/右侧弯和左/右旋转运动时固定节段的运动范围。**结果:**单节段固定组前屈、后伸、侧屈、旋转稳定指数(SPI)分别为 0.78、0.80、0.92、0.83,双节段固定组 SPI 分别为 0.88、0.89、0.95、0.85,在前屈方向单节段固定组明显小于双节段固定组($P<0.01$);疲劳后,单节段固定组 SPI 在前屈、后伸、侧屈、旋转方向分别降低 0.05、0.03、0.05、0.11,降低值均大于双节段固定组,且在旋转和侧屈方向有显著性差异(旋转: $P<0.01$;侧屈: $P<0.05$)。**结论:**两种术式均可重建脊柱骨折即刻稳定性,效果无明显差异。在旋转、侧屈方向,双节段椎弓根螺钉固定术抗疲劳载荷效果优于单节段固定术。

【关键词】脊柱骨折;生物力学;内固定;椎弓根

中图分类号:R687.3,R318.01 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2007)-01-0046-05

Biomechanical evaluation of monosegmental versus bisegmental fixation by pedicle instrumentation in the management of thoracolumbar fracture/WEI Fuxin, LIU Shaoyu, ZHAO Weidong, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2007, 17(1):46~50

【Abstract】 Objective:To compare the biomechanical properties of monosegmental pedicle instrumentation with those of bisegmental pedicle instrumentation.**Method:**Sixteen fresh frozen 6-week-old calf spines (T11-L3) were divided into two groups following the introduction of incomplete burst fracture at the vertebral body of L1. Monosegmental or bisegmental pedicle instrumentation was applied to the two groups to restore spinal stability. A cyclic load of 4Nm were applied to specimens at rate of 0.5Hz up to 2000 cycles. Segmental instability tests were performed on specimens in the condition of intact, injured, fixation respectively, followed by cyclic loading. Range of motion in flexion/extension, axial rotation, left/right lateral bending were determined by three-dimensional laser scanner. **Result:**The stability potential index (SPI) of monosegmental pedicle instrumentation in flexion/extension, lateral bending and axial rotation was 0.78, 0.80, 0.92, and 0.83 respectively, and the SPI in bisegmental group was 0.88, 0.89, 0.95 and 0.85 respectively. SPI of the former was significantly lower than the latter in flexion. ($P<0.01$). Following the fatigue test, SPI of monosegmental group in flexion/extension, lateral bending and axial rotation decreased 0.05, 0.03, 0.05, and 0.11 respectively, which were higher than bisegmental group especially in lateral bending ($P<0.01$), and axial rotation ($P<0.05$). **Conclusion:** Monosegmental pedicle instrumentation can provide the instant stability parallel to bisegmental instrumentation with respect to the reconstruction of unstable spine, however, it is inferior to bisegmental instrumentation in resisting lateral bending and axial rotation fatigue.

【Key words】 Spinal fracture; Biomechanics; Internal fixation; Pedicle

【Author's address】 Department of Spinal Surgery, Huangpu Division of the First Affiliated Hospital, Zhongshan University, Guangzhou, 510700, China

基金项目:广州市科委攻关项目(2005Z3-E0401)

第一作者简介:男(1981-),住院医师,医学硕士,研究方向:脊柱伤病

电话:(020)82379597 E-mail:suifeng720@163.com

通讯作者:刘少喻

后路椎弓根螺钉内固定术是目前治疗胸腰椎骨折的常用术式之一,与以椎板或横突为固定点的钩棒固定相比,具有稳定性高、融合效果好等

优点^[1]。对单椎体骨折目前常用的术式为短节段椎弓根螺钉固定 (short segment pedicle instrumentation, SSPI), 即将椎弓根螺钉置入与伤椎相邻的上下正常椎中, 然后融合两个节段, 故又称其为跨节段椎弓根螺钉固定。近来, 为减少融合节段, 有学者开展了单节段椎弓根螺钉固定术 (monosegment pedicle instrumentation)^[2-4], 即将两对椎弓根螺钉分别置于伤椎及其相邻正常椎体中, 临床效果满意。本研究对两种术式进行生物力学效果比较, 旨在为临床术式选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 标本准备及固定器械

取 16 具 6 周龄小牛新鲜 T11~L3 段脊柱标本, 经 X 线摄片排除骨病及畸形。随机分为 A、B 两组, 每组 8 具。剔除所有肌肉组织, 保留韧带、小关节及椎骨完整, 标本两端 (T11 和 L3) 分别用聚甲基丙烯酸甲酯包埋, 双层塑料袋密封保存于 -20℃ 冰柜中。测试前将标本移至普通冰箱

及室温下 (20~25℃) 逐级解冻。固定器械采用江苏武进医疗器械公司提供的通用型脊柱内固定系统 (general spine system, GSS), 螺钉直径/长度为 5.0mm/35mm。

1.2 骨折模型制作

采用 MTS 机制作 L1 椎体骨折模型^[5]。按 Chiba 方法^[6]破坏 L1 椎体上终板及前缘骨皮质, 将标本固定于底座, 前屈 10°, 于椎体中心前 0.5cm 处压缩标本, 制作 L1 椎体不完全爆裂性骨折模型。当 L1 椎体高度压缩接近 75% 时, 停止压缩。拍摄 X 线正侧位片、CT 扫描确认所有模型均符合以下条件: ①椎弓根完整无损; ②有一侧终板完整 (图 1、2)。双节段固定组 (A 组) 按常规进钉点于骨折椎上下相邻椎体置入螺钉 (图 3); 单节段固定组 (B 组) 选择伤椎及与骨折终板相邻的正常椎置入螺钉 (图 4)。进钉方向: 冠状位向内 15°~20°; 矢状位正常椎与终板平行, 骨折椎矢状面爆裂 >50% 时, 向正常终板倾斜 5° 左右。

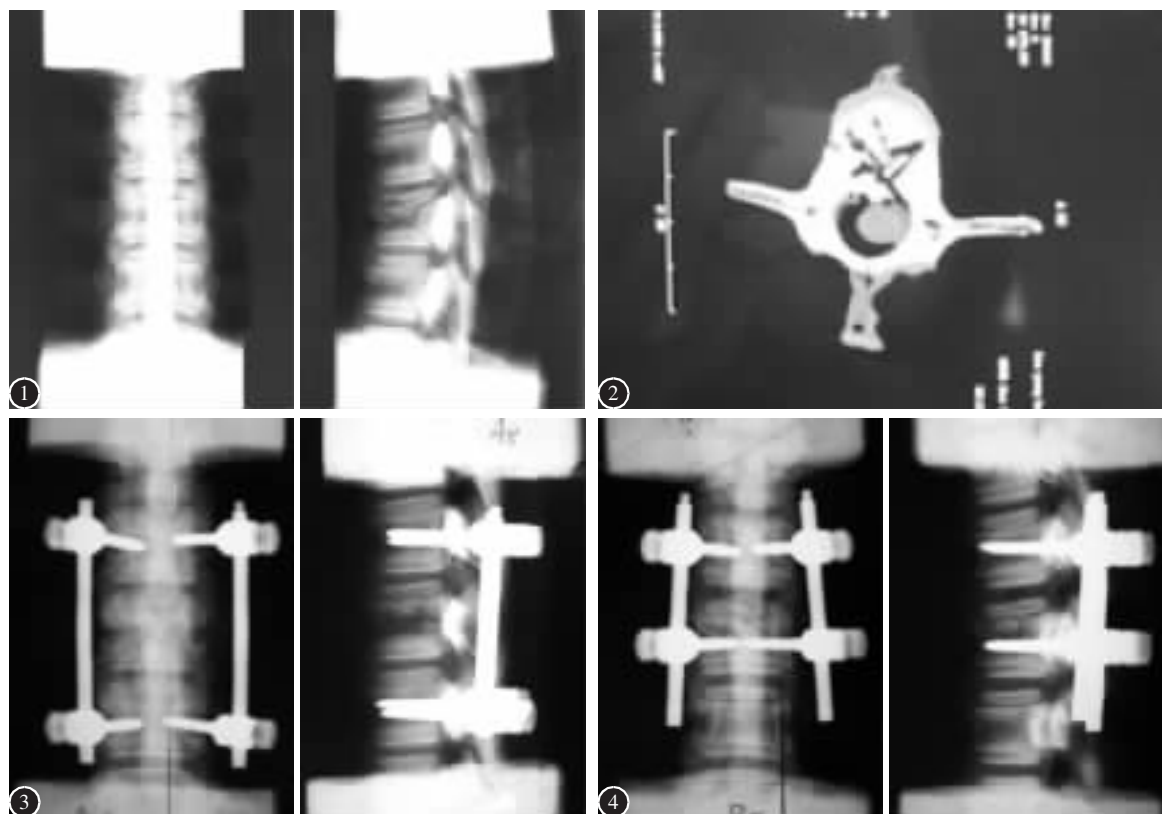


图 1 骨折模型 X 线正、侧位片示 L1 椎体呈不完全爆裂型骨折, 椎体上终板骨折及中上部压缩改变, 椎弓根及下终板尚完整 图 2 骨折椎体横断面 CT 扫描示骨块向周围爆散, 椎体后壁骨折片向后进入椎管, 压迫硬膜囊 图 3 双节段椎弓根螺钉固定后 X 线正、侧位片示内固定位置良好, 伤椎高度恢复可 图 4 单节段椎弓根螺钉固定后 X 线正、侧位片示内固定位置良好, 伤椎高度恢复可

1.3 实验方法

将 6 个双维标志物分别固定于测量节段 (T12~L2) 横突及椎体前方, 便于双维激光扫描仪扫描、定位。应用脊柱双维运动试验机 (南方医科大学生物力学实验室研制) 进行测量。将 L3 包埋端固定于加载盘, 通过加载盘对标本施加一对大小相等、方向相反、相互平行的力, 形成作用于标本的纯力矩, 通过控制施加力的大小、调整加载盘方向, 使标本产生前屈 (FL)、后伸 (EX)、左侧弯 (LB)、右侧弯 (RB)、左轴向旋转 (LR)、右轴向旋转 (RR) 6 个方向的生理运动。由双维激光扫描仪 (美国 3DD 公司生产, 精度 0.01°) 摄取在零载荷和最大载荷 (4.0Nm) 时的脊柱运动图像, 用相应软件系统进行图像分析并计算出测量节段的角位移运动范围 (range of motion, ROM)。每次测量均加载、卸载 3 次, 加、卸载间隔 30s, 只记录第 3 次的结果 (这样可以减少脊柱黏弹性的影响, 得到相对稳定的运动学测量数据)。每组标本依次进行 4 种状态双维运动测试: ①完整状态 (intact); ②骨折状态 (fractured); ③固定状态 (instrumented); ④疲劳后状态 (post-fatigue)。将固定后的标本置于 MTS 858 材料试验机上, 进行频率为 0.5Hz、扭矩为 4Nm 的 2000 次循环屈伸、左右侧屈、左右旋转运动。实验中, 不断用生理盐水喷洒标本, 保证其在整个实验期间湿润, 尽量减少实验造成的组织变性。椎弓根螺钉固定安装完毕后均拍 X 线片, 确保内置物位置满意。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 13.0 统计软件分析, 两组间 T12~L2 节段正常状态 ROM 及骨折状态 ROM 比较采用 *t* 检验; 以自身完整结构的节段运动为对照组, 组内各状态 ROM 采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 及均数间多重比较 LSD (least significant difference) *t* 检验。为均衡固定节段 (A 组 T12~L2; B 组 T12~L1) 对 ROM 的影响, 用稳定指数 (stability potential index, SPI)^[7] 反映两种固定方法的即刻稳定性, SPI=(完整状态 ROM-固定状态 ROM)/完整状态 ROM, 并采用协方差分析进行比较 [协变量: 骨折状态 ROM 变化率=(骨折状态 ROM-完整状态 ROM)/完整状态 ROM×100%; ROM 均为固定节段活动范围]; 以固定疲劳前、后 SPI 变化 (疲劳前 SPI-疲劳后 SPI) 作为抗疲劳性能评定指标, 其比较采用 *t* 检验, 统计检验的显著性均设定在 α=0.05。

2 结果

见表 1、2。两组间 T12~L2 节段正常状态 ROM 以及骨折状态 ROM 比较均无明显差异 (*P*>0.05), 说明两组标本具有均衡性; 与完整状态相比, 两组骨折状态各方位椎间 ROM 均显著增加 (*P*<0.01), 表明骨折模型制作满意; 两组固定状态各方位 ROM 均显著小于完整状态和骨折状态, 差异均有显著性 (*P*<0.01); 两组疲劳后各方位 ROM 均大于疲劳前固定状态, 但除 A 组侧屈 (*P*=0.011<0.05)、B 组旋转方位差异有显著性 (*P*<0.001) 外, 余均无明显差异 (*P*>0.05)。A 组疲劳前各方位 SPI 均大于 B 组, 但除前屈方位差异有显

表 1 两组各状态固定节段双维运动范围 (x̄±s, n=8, °)

	A组(T12~L2)				B组(T12~L1)			
	正常	骨折	固定	固定疲劳后	正常	骨折	固定	固定疲劳后
前屈	7.85±3.01	11.81±2.40	0.83±0.15	0.95±0.24	4.55±0.93	8.67±1.34	0.91±0.39	1.11±0.41
后伸	7.97±1.91	14.05±4.6	0.80±0.20	0.96±0.28	4.25±1.13	7.71±1.64	0.74±0.46	0.87±0.44
侧屈	25.51±5.95	33.92±6.27	1.15±0.47	1.43±0.45 ^①	13.46±1.32	18.10±2.52	1.11±0.95	1.81±1.33 ^②
旋转	8.25±1.87	12.94±2.43	1.20±0.31	1.38±0.32	4.58±1.37	7.22±1.86	0.74±0.21	1.22±0.28

注: 各组骨折状态、固定状态、疲劳状态分别与完整状态比较 *P*<0.01; 与同组固定状态比较^①*P*<0.05, ^②*P*<0.01

表 2 两组固定后疲劳前稳定指数 (SPI) 及固定疲劳前后 SPI 变化比较 (x̄±s, n=8)

	疲劳前 SPI				固定疲劳前后 SPI 变化			
	前屈	后伸	侧屈	旋转	前屈	后伸	侧屈	旋转
A	0.88±0.05	0.89±0.04	0.95±0.03	0.85±0.05	0.018±0.011	0.020±0.015	0.011±0.008	0.023±0.013
B	0.78±0.13 ^①	0.80±0.17	0.92±0.07	0.83±0.06	0.050±0.041	0.029±0.014	0.05±0.038 ^②	0.110±0.079 ^②

注: 与 A 组比较^①*P*<0.01, ^②*P*<0.05

著性($P<0.01$)外,余均无显著性差异($P>0.05$)。

疲劳前、后 SPI 变化在旋转和侧屈方向 A 组优于 B 组(旋转: $P=0.008$;侧屈: $P=0.02$),余无明显差异($P>0.05$)。表明双节段固定术式在旋转和侧屈方向上的抗疲劳性优于单节段固定。

3 讨论

3.1 椎弓根螺钉固定术的特点

经椎弓根内固定技术由 Boucher 于 1959 年提出,但直至 20 世纪 70 年代, Roy-Camille 等^[8]报告应用椎弓根螺钉固定治疗脊柱骨折取得良好临床效果后,该技术才得以广泛开展。其可提供三维矫正和坚强的内固定^[9],恢复脊柱的正常排列,这是非椎弓根内固定术较难达到的。现已广泛开展的后路双节段(跨节段)固定尽管较长节段固定优越,但仍需融合两个节段。随着融合节段的增多,会加重邻近关节突关节退变^[10]。近来有学者开展了单节段椎弓根螺钉内固定术,并取得了满意临床效果^[2-4]。其特点为:(1)只需融合一个节段,最大限度减少了脊柱运动节段的丢失^[4],进而减少相邻节段椎体退变及椎体不稳发生率。(2)将螺钉置入伤椎,纵向撑开,可即时恢复椎体高度^[4]。(3)纵向联接棒(板)缩短,后柱力矩减小,可降低钉棒应力负荷,使内固定折损几率降低,进而减少术后矫正丢失,在治疗屈曲-牵拉型骨折方面,效果较为显著^[11]。(4)多数情况下不需取髂骨植骨,避免了供骨区疼痛,减少了手术创伤^[2]。

3.2 单节段与双节段椎弓根固定的生物力学特点

Dick 等^[12]报告在牛腰椎模型上行六钉固定和四钉固定的生物力学实验比较,发现六钉固定具有明显优势:轴向承载能力增加 160%,抗屈能力增加 48%,抗扭转能力增加 38%。说明在伤椎置入螺钉至少有增加抗应力作用。本实验通过生物力学测试表明,单节段固定(即伤椎固定)与双节段固定均能明显提高失稳模型的稳定性。考虑到固定节段数目对 ROM 的影响,我们通过比较“稳定指数(SPI)”进行探讨。从表 2 可以看出,尽管双节段固定组 SPI 高于单节段组,但是除前屈方位差异有显著性外,余无明显差异。说明单节段固定同样可良好重建骨折脊柱即刻稳定性。

通过比较固定疲劳前、后 SPI 变化发现,在旋转和侧屈方位,单节段组 SPI 变化明显大于双节

段组,尤其是旋转方位。因此,对爆裂性骨折,椎体呈压缩膨胀性改变,在骨折椎体未修复前反复进行旋转疲劳运动会产生水平剪切力,从而导致螺钉松动。说明骨折椎对螺钉的即时把持力不如正常椎,提示临床行伤椎固定后其即刻抗疲劳性效果不确实。

3.3 单节段椎弓根螺钉固定的可行性及适用范围

Weinstein 等^[13]报道,椎弓根提供了至少 60% 的抗拔出强度及 80% 的轴向刚度,而椎体松质骨仅提供 15%~20% 的抗拔出强度。可见椎弓根在后路短节段内固定术中起主要作用。结合本实验结果,我们认为在伤椎椎弓根及部分椎体正常的条件下,行伤椎固定和复位是可行的,虽无法承受正常载荷,但椎体内松质骨修复较快,通过适当增加患者卧床时间并避免负重,可确保其基本修复。但单节段固定抗旋转疲劳性能不确实,我们将伤椎进钉方向向正常终板倾斜 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,尽量避开骨折终板,并适当延长术后支架外固定时间,临床效果满意。

Defino^[3]、Finkelstein^[11]等认为该技术主要适用于屈曲-牵拉型而不伴有前柱损伤的骨折(按 AO 分类:B 型)。Wawro 等^[2]认为除椎弓根断裂及椎体完全爆裂型骨折外,该术式适用于治疗 AO 分类中其他类型的骨折。Steel 等^[14]报道采用该术式治疗 18 例胸腰椎爆裂性骨折患者(骨质疏松与椎体完全压缩骨折者除外),患者均于术后 10d 离床活动,术后 6 周获得较稳定融合重建。本实验结果提示,只要伤椎符合以下条件:(1)椎弓根完整;(2)椎体未完全爆裂;(3)仅一端终板破坏,另一端的终板基本完好;(4)椎体压缩 $<3/4$;(5)骨质密度基本正常。临床上行单节段固定是可行的。

但本研究采用的是小牛脊柱标本,与人体脊柱存在一定解剖差异,但其个体差异小,无关节退变及骨质疏松等病理改变,有利于实验的均衡性。而且,其粘弹性及解剖结构近似于人尸体脊柱,被认为是生物力学实验中理想的脊柱替代材料^[15]。不足之处在于,尽管本实验所采用爆裂性骨折模型的制作方法在以往生物力学实验中被广泛应用,但其没有考虑神经、肌肉等结构对脊柱的稳定作用,且体外实验只能评价术后早期生物力学变化,而临床上脊柱融合是一动态过程,随着骨愈合的逐步完成,椎间稳定性将逐步增强。因此,如何

设计能够恰当模拟体内整个脊柱、器械及载荷情况仍是一个挑战。另外,由于实验室条件限制,本实验未测定固定后邻近关节的应力,存在一定局限性,需进一步临床观察及生物力学研究。

4 参考文献

1. Gayet LE, Pries P, Hamcha H, et al. Biomechanical study and digital modeling of traction resistance in posterior thoracic implants[J]. Spine, 2002, 27(7): 707-714.
2. Wawro W, Konrad L. Die monosegmentale montage des fixateur interne bei der behandlung von thorakolumbalen wirbelfrakturen[J]. Unfallchirurg, 1994, 97(3): 114-120.
3. Defino HL, Scarparop P. Fractures of thoracolumbar spine: monosegmental fixation[J]. Injury, 2005, 36(2): B90-97.
4. Junge A, Gotzen L, von-Garrel T, et al. Die monosegmentale fixateur interne-instrumentation und fusion in der behandlung von frakturen der thorakolumbalen wirbelsaule: indikation, technik und ergebnisse[J]. Unfallchirurg, 1997, 100(11): 880-887.
5. Lu WW, Cheung MC, Li YW, et al. Bioactive bone cement as a principal fixture for spinal burst fracture [J]. Spine, 2001, 26(24): 2684-2691.
6. Chiba M, Mclain RF, Yerby SA, et al. Short-segment pedicle instrumentation: biomechanical analysis of supplemental hook fixation[J]. Spine, 1996, 21(3): 288-294.
7. Wang JW, Panjabi MM, Isomi T. The role of bone graft in stabilizing the multilevel anterior cervical spine plate system[J]. Spine, 2000, 25(13): 1649-1654.
8. Roy-Camille R, Sailant G, Mazel C. Plating of thoracic, thoracolumbal and lumbar injures with pedicle screw plates[J]. Or-

thop Clin North Am, 1986, 17(1): 147-159.

9. Yue JJ, Sossan A, Selgrath C, et al. The treatment of unstable thoracic spine fractures with transpedicular screw instrumentation: a 3-year consecutive series[J]. Spine, 2002, 27(24): 2782-2787.
10. Umehara S, Zindrick MR, Patwardhan AG, et al. The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments [J]. Spine, 2000, 25(13): 1617-1624.
11. Finkelstein JA, Wai EK, Jackson SS, et al. Single-level fixation of flexion distraction injuries[J]. J Spinal Disord Tech, 2003, 3(16): 236-242.
12. Dick JC, Jones MP, Zdeblick TA, et al. A biomechanical comparison evaluating the use of intermediate screws and cross-linkage in lumbar pedicle fixation [J]. Spinal Disord, 1994, 7(5): 402-407.
13. Weinstein JN, Rydevik BL, Rausching WR. Anatomical and technical considerations of pedicle screw fixation [J]. Clin Orthop, 1992, 284: 34-36.
14. Steel TR, Rust TM, Fairhall JM, et al. Monosegmental pedicle screw fixation for thoracolumbar burst fracture[J]. J Bone Joint Surg Am, 2004, 86(Suppl 4): 458.
15. Yu BS. Biomechanical comparison of the posterolateral fusion and posterior lumbar interbody fusion using pedicle screw fixation system for unstable lumbar spine [J]. J Hokkaido Med Sci, 2003, 78(3): 211-218.

(收稿日期: 2006-06-12 修回日期: 2006-08-16)

(英文编审 蒋欣)

(本文编辑 卢庆霞)

消息

第八届全国经椎弓根内固定学习班暨脊柱融合与新业务新技术学术研讨会通知

为了加强对骨融合重要性的认识,由中华医学会骨科分会脊柱学组、《中华骨科杂志》、《中国脊柱脊髓杂志》等杂志社和海军总医院骨科拟定于 2007 年 4 月中旬在北京联合举办第七届全国经椎弓根内固定学习班暨脊柱融合与新业务新技术学术研讨会,届时将邀请美国费城 Thomas Jefferson 大学医学院骨科教授 Todd J. Albert 及国内著名脊柱外科专家做专题报告,现将有关事宜通知如下。

一、专题研讨(授课)内容

(1)椎弓根应用解剖学研究;(2)经椎弓根内固定的生物力学研究;(3)颈椎经椎弓根内固定及侧块螺钉内固定;(4)经椎弓根内固定的并发症与预防措施;(5)后路腰椎间融合(PLIF)、前路腰椎间融合(ALIF)及后外侧融合(PLF)的适应证与优缺点;(6)前路植骨融合在胸腰段骨折治疗中的作用;(7)脊柱假关节形成与对策;(8)人工颈、腰椎间盘置换的临床应用;(9)椎间盘源性腰痛的诊断与治疗原则;(10)导航系统在脊柱经椎弓根内固定中的作用。

二、学习班内容

(1)实践操作:学员 6~8 人为一组,利用新鲜尸体脊柱标本进行颈椎或胸腰椎椎弓根螺钉及内固定器械操作练习,初步掌握经椎弓根内固定的应用技术。(2)看手术录像:通过看手术录像提高对经椎弓根内固定应用技术的实践认识。(3)有意大会发言者请寄 500~800 字摘要(最好通过 E-mail 发送)。欢迎参会代表自带疑难和争论性病例参会并进行现场讨论。

三、报名及截稿日期:2007 年 3 月 31 日。

本次学习班属卫生部 2007 年国家级继续教育项目,结业合格者授学分 14 分。来信请寄北京阜成路 6 号海军总医院骨科阮狄克收,邮编:100037;电话:(010)68780323,66958224;传真:(010)68780323;E-mail: nghortho@mail.china.com。