

# Nd:YAG 激光与半导体激光对山羊髓核组织生物热效应的比较

任龙喜, 尹建, 焦守国, 韩正峰, 张彤童

(北京市垂杨柳医院骨科 100022)

**【摘要】目的:** 比较波长 1064nm 的 Nd:YAG 激光和波长 980nm 的半导体激光对椎间盘髓核组织的生物热效应。**方法:** 选取新鲜山羊完整脊柱 80 具, 将其 L6/7 节段制作成脊柱功能单位标本 80 个, 分为波长 1064nm 的 Nd:YAG 激光椎间盘照射组(A 组)和波长 980nm 的半导体激光椎间盘照射组(B 组), 每组 40 个标本, 再按激光最终照射能量的不同各分为 200J、400J、600J、800J、1000J 5 个亚组, 每个亚组 8 个标本。观察照射前后标本的质量差和照射过程中椎间盘周边的温度变化情况, 操作结束后水平切开椎间盘观察汽化腔形态, 测量汽化腔的长、宽轴。**结果:** 两组照射后标本的质量减少量随照射能量的增大而增加; 在相同能量下, B 组激光照射后标本的质量减少量大于 A 组, 在能量分别为 200J、400J 时比较  $P<0.05$ , 能量为 600J、800J、1000J 时比较  $P<0.01$ 。照射过程中椎间盘前缘、后缘、椎间孔内侧壁的温度升高值随激光能量的增加而升高, 当以同一能量进行照射时, B 组激光照射过程中椎间盘周边的温度升高值高于 A 组激光相同位点处的温度升高值( $P<0.01$ )。A 组激光照射后肉眼观察汽化腔大致呈圆形或卵圆形, B 组激光照射后的汽化腔形态接近于椭圆形, 相同能量照射时 B 组激光的汽化腔长轴大于 A 组( $P<0.01$ ); 能量为 200J、400J 时 A 组激光汽化腔的宽轴均大于 B 组(分别为  $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ), 能量为 600~1000J 时两者比较均无统计学差异( $P>0.05$ )。**结论:** 波长 980nm 的半导体激光对山羊椎间盘髓核组织的消融能力优于波长 1064nm 的 Nd:YAG 激光, 但 Nd:YAG 激光的安全性相对较高。

**【关键词】** 激光; 椎间盘; 生物热效应; 山羊

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2009.10.06

中图分类号: R454.2, R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2009)-10-0735-05

**Comparison of the bio-heating effect to nucleus pulposus between Nd:YAG laser and diode laser/REN Longxi, YIN Jian, JIAO Shouguo, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2009, 19 (10): 735~738**

**【Abstract】 Objective:** To compare the bio-heating effect to nucleus pulposus between 1064nm wave-length Nd:YAG laser and 980nm wave-length diode laser. **Method:** 80 whole fresh goat spine specimen (GSS) were used, 80 L6/7 discs were assigned as spine unit into followings, Nd:YAG laser (group A) and 980nm wave-length diode laser (group B) with each group 40 specimen, and each group was evenly divided into five sub-groups according to the final radiate energy from 200J to 1000J. The decreased quality of nucleus pulposus after radiating and the changes of temperature around disc during radiation were observed. After this, the discs were sliced horizontally to observe the morphology of the cavity and measure the volumn of cavity by sliding caliper. **Result:** The ablated quality of GSS was greater at higher radiating energy in both groups. Under the same energy, the ablated quality was greater in group B than in group A which showed statistical significance under 200J, 400J group ( $P<0.05$ ) and under 600J, 800J, 1000J group ( $P<0.01$ ) respectively. The increase of temperature at anterior, posterior border of discs and the intervertebral foramen were greater at higher energy during radiation. The changes of temperature at the same site during radiation were higher in group B than in group A under the same energy ( $P<0.01$ ). The cavities of group A were approximately toroid- or ovale-shape under direct vision, while the cavities of group B shaped as elliptic. The long axis in group B was larger than that in group A when compare was processed at the same energy ( $P<0.01$ ). The wide axis in group A was

第一作者简介: 男(1959-), 教授, 主任医师, 医学博士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)87720225 E-mail: LX\_Ren@sina.com

larger than that in group B when compare was processed at the 200J sub-group ( $P<0.05$ ) and at the 400J sub-group ( $P<0.01$ ), while no statistical significance were noted at the 600J, 800J, 1000J energy group respectively. **Conclusion:** 980nm wave-length diode laser has better ablation capacity to nucleus pulposus than 1064nm wave-length Nd:YAG laser, but the latter is less risky.

**【Key words】** Laser; Disc; Bio-heating effectiveness; Goat

**【Author's address】** Department of Orthopedics, Chuiyangliu Hospital, Beijing, 100022, China

1984年 Choy 首先提出了经皮激光椎间盘减压术 (percutaneous laser disc decompression, PLDD), 并于 1987 年首次报道了 PLDD 试验成果和临床应用<sup>[1]</sup>。有关该技术中所用激光种类及其安全性问题一直是人们关注的焦点。近年来, 波长 1064nm 的 Nd:YAG 激光以及波长 980nm 的半导体激光在 PLDD 中的应用最为广泛<sup>[2-6]</sup>。本研究旨在对比两种激光对椎间盘髓核组织的生物热效应特点。

## 1 材料与方法

### 1.1 组织标本的制作及实验分组

未经冷藏的新鲜山羊完整脊柱标本 80 具, 取 L6/7 节段制作成脊柱功能单位, 即目标椎间盘 (L6/7) 上下各半个椎体, 剔除多余肌肉、韧带组织, 后方结构保留一侧椎间孔, 共制成功能单位 80 个。随机分为 Nd:YAG 激光组 (A 组) 和 980nm 半导体激光组 (B 组), 每组 40 个标本。按照激光最终照射能量的不同, 每组再分为 200J、400J、600J、800J、1000J 5 个亚组, 即 A1~A5 及 B1~B5, 每个亚组 8 个标本。

### 1.2 实验仪器

980nm Velure S9 半导体激光仪及配套光纤、穿刺针; 1064nm Nd:YAG 激光仪及配套光纤、穿刺针; Sartorius BS224 S 电子天平 (精确度 0.1mg); DT9508B 数字万用表; 游标卡尺 (精确度 0.02mm)。

### 1.3 操作步骤

接通激光器电源, 开机进行预热, 连接光导纤维后进行参数设置。检查光纤与穿刺针, 首先将光纤置入三通管, 然后一同置入穿刺针, 使光纤头端超出穿刺针前端约 3mm。标本在电子天平称重后在 C 型臂 X 线透视下进行穿刺, 穿刺针平行于椎间盘上下缘, 正位透视像针尖位于椎间盘正中, 侧位像针尖位于椎间盘正中稍偏后, 拔出针芯, 将光导纤维连同三通管置于穿刺针内。将三个数字万用表的探针分别包埋于椎间盘前缘、后缘及椎间

孔内侧壁, 按照预定能量发射激光, 两种激光器的输出功率均设为 10W, 发射时间为 1s, 间隔 1s。照射结束后再次称重标本。术后将实验标本保存于 -20℃ 冰箱中 24h, 待其完全冰冻后从椎间隙正中平行于椎间盘切开, 肉眼观察汽化空洞大体形态, 用游标卡尺测量汽化腔长、宽轴。

### 1.4 统计学处理

测量数据采用均值±标准差表示, 数据分析采用 SAS 6.12 统计学软件, 进行方差分析及组内两两比较  $q$  检验, 组间比较采用  $t$  检验。  $P<0.05$  为有显著性差异。

## 2 结果

两种激光照射后标本质量减少量即消融髓核的量见表 1。随能量的增大髓核消融量增加。同一激光不同能量组内比较: A1 组与 A3、A4、A5 组比较  $P<0.05$ , A2 组与 A4、A5 组比较  $P<0.05$ , A3、A4 组分别与 A5 组比较  $P<0.05$ ; B1 组与 B3、B4、B5 组比较  $P<0.05$ , B2 组与 B3、B4、B5 组比较  $P<0.05$ , B3 组与 B4 或 B5 组比较  $P<0.05$ 。两种激光相同能量组间进行比较, B 组激光照射后标本质量减少量大于 A 组, 在能量为 200J、400J 时比较  $P<0.05$ , 能量为 600J、800J、1000J 时  $P<0.01$ 。

在激光照射过程中, 两组椎间盘前缘、后缘、椎间孔内侧壁的温度升高值见表 2。每组随着激光能量的增加温度升高值增加。当以相同能量进行照射时, B 组照射过程中椎间盘周边的温度升高值大于 A 组激光相同位点处的温度升高值 ( $P<$

表 1 两种激光不同能量照射后标本的质量减少量 ( $\bar{x}\pm s, n=8, \text{mg}$ )

| 激光能量  | 1064nm Nd:YAG 激光 | 980nm 半导体激光             |
|-------|------------------|-------------------------|
| 200J  | 68.2±17.1        | 107.8±33.4 <sup>①</sup> |
| 400J  | 88.5±17.9        | 118.9±18.1 <sup>①</sup> |
| 600J  | 106.3±18.8       | 172.5±31.7 <sup>②</sup> |
| 800J  | 145.5±31.6       | 239.3±22.4 <sup>②</sup> |
| 1000J | 205.6±22.4       | 276.2±17.4 <sup>②</sup> |

注: 与相同能量 1064nm Nd:YAG 激光组比较 ① $P<0.05$ , ② $P<0.01$

0.01)。B 组激光照射后汽化腔长轴大于 A 组 ( $P<0.01$ ); 能量为 200J、400J 时 A 组激光汽化腔的宽轴均大于 B 组 ( $P<0.05, P<0.01$ ), 能量为 600~1000J 时两组宽轴比较均无统计学差异 ( $P>0.05$ , 表 3)。

| 表 2 两种激光照射过程中椎间盘周边的温度升高值 |                  |           |           |             |            |           |
|--------------------------|------------------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|
| 激光能量                     | 1064nm Nd:YAG 激光 |           |           | 980nm 半导体激光 |            |           |
|                          | 前缘               | 后缘        | 内侧壁       | 前缘          | 后缘         | 内侧壁       |
| 200J                     | 1.38±0.52        | 2.38±0.52 | 0.75±0.71 | 2.75±0.71   | 3.63±0.52  | 1.88±0.64 |
| 400J                     | 2.00±0.53        | 3.88±0.83 | 1.88±0.64 | 3.38±0.52   | 5.25±0.71  | 3.13±0.83 |
| 600J                     | 3.88±0.83        | 5.50±0.93 | 3.13±0.35 | 6.25±0.71   | 7.75±0.89  | 4.50±0.53 |
| 800J                     | 4.63±0.74        | 7.25±0.89 | 3.75±0.46 | 6.38±0.74   | 10.75±0.46 | 6.00±0.76 |
| 1000J                    | 5.25±0.71        | 9.63±0.92 | 4.50±0.53 | 7.50±0.53   | 11.75±0.88 | 7.00±0.53 |

注:两种激光在相同能量下相同位点的温度升高值比较  $P<0.01$

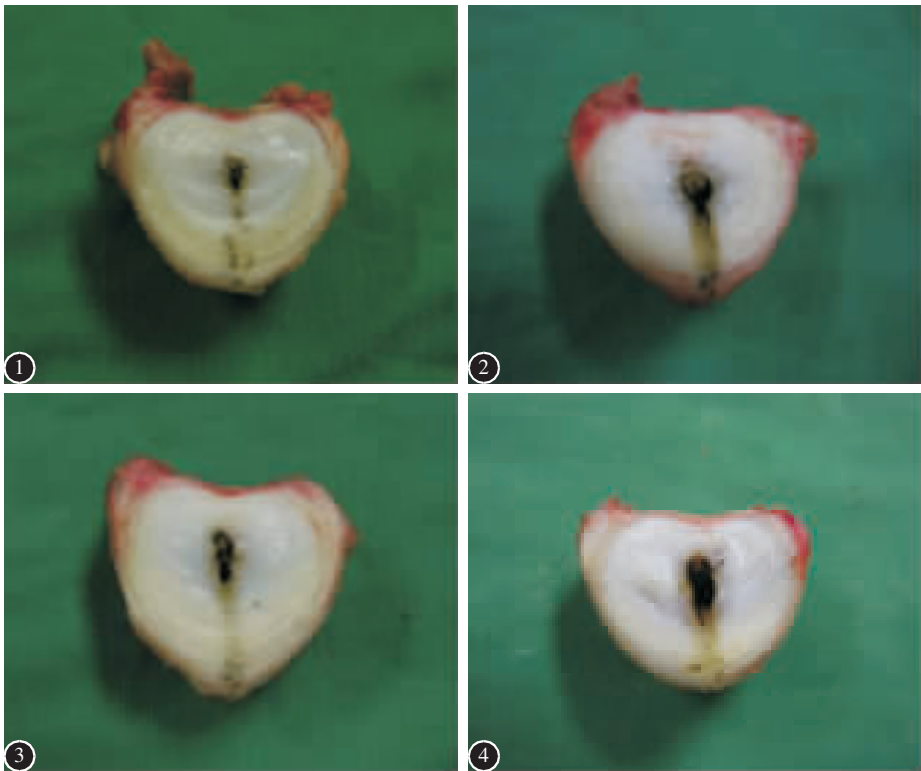


图 1、2 1064nm Nd:YAG 激光能量为 200J、1000J 时的汽化腔,相对局限,形态接近于圆形 图 3、4 980nm 半导体激光能量为 200J、1000J 时的汽化腔,形态为长椭圆形

| 表 3 两种激光照射后标本汽化腔的长、宽轴 |                  |           |                         |                        |
|-----------------------|------------------|-----------|-------------------------|------------------------|
| 激光能量                  | 1064nm Nd:YAG 激光 |           | 980nm 半导体激光             |                        |
|                       | 长轴               | 宽轴        | 长轴                      | 宽轴                     |
| 200J                  | 2.99±0.41        | 2.49±0.30 | 6.06±0.75 <sup>①</sup>  | 2.06±0.31 <sup>②</sup> |
| 400J                  | 4.46±0.54        | 3.39±0.34 | 7.38±2.05 <sup>①</sup>  | 2.65±0.49 <sup>①</sup> |
| 600J                  | 4.88±0.65        | 3.39±0.39 | 7.39±0.30 <sup>①</sup>  | 3.54±0.52              |
| 800J                  | 6.44±0.54        | 3.96±0.52 | 10.56±1.27 <sup>①</sup> | 4.03±0.50              |
| 1000J                 | 7.01±0.57        | 4.23±0.23 | 10.83±1.06 <sup>①</sup> | 4.30±0.35              |

注:与相同能量 Nd:YAG 激光相同轴比较① $P<0.01$ ,② $P<0.05$

3 讨论

3.1 Nd:YAG 激光与 980nm 半导体激光的特点  
激光的生物学热效应是激光生物效应的主要因素。激光的参数如波长、功率、能量、模式等对生物组织都有不同的影响。而生物组织的性质如密度、弹性、热导率、比热、含水量等也会对激光作出不同的反射<sup>[7]</sup>。Nikfarjam 等<sup>[8]</sup>的研究结果表明,对大鼠肝脏进行照射时,980nm 半导体激光在低能量下消融即能达到和 Nd:YAG 激光相同的最大

组织坏死直径,且所用时间要明显短于 Nd:YAG 激光。龚卓等<sup>[9]</sup>应用 Nd:YAG 激光、980nm 半导体激光和 810nm 半导体激光对鸡蛋清进行照射后测量蛋清凝固团的高度和最大直径,结果表明,980nm 半导体激光热凝固作用最强,Nd:YAG 激光次之,810nm 半导体激光最弱。本研究结果显示,980nm 半导体激光对髓核组织的消融能力优于 Nd:YAG 激光,此结果与上述报道基本一致。分析原因可能与水的吸收光谱以及激光仪的工作方式有关。髓核组织含水量达 80%,而水对波长 900nm 以下激光的吸收率较低。本研究中所用的两种激光波长相近,水对这两种激光均有较高的吸收率,且对 980nm 半导体激光的吸收率明显高于 Nd:YAG 激光<sup>[9]</sup>,这就解释了在相同能量下 980nm 半导体激光消融髓核的量高于 Nd:YAG 激光。此外,两种激光仪的工作方式不同,Nd:YAG 激光在工作时间内以脉冲的方式输出,属于脉冲式激光器,而半导体激光则以连续方式输出,工作方式的不同也会对两者的生物热效应造成影响。

### 3.2 激光汽化过程中的安全性

PLDD 技术的安全性问题一直是人们讨论的焦点。有学者<sup>[10,11]</sup>认为激光汽化后会造成椎间盘周边组织的热损伤,但 Casper 等<sup>[12]</sup>报告的 100 例腰腿痛患者行激光椎间盘减压术后无 1 例并发症发生。Choy<sup>[12]</sup>总结了 752 个节段 PLDD 治疗结果,并发症不足 1%,他强调行 PLDD 手术时激光光纤应置于髓核中央,且与椎间盘水平相平行,可避免纤维环、软骨终板炭化而破坏。

椎间盘的前缘、后缘及椎间孔内侧壁毗邻重要组织如血管、脊髓、神经,观察以上三个位点在 PLDD 操作过程中温度的变化情况有助于衡量该技术的安全性。Sherk 等<sup>[13]</sup>测定激光汽化人椎间盘髓核组织标本时椎体边缘、纤维环和脊髓三个部位的温度变化情况,结果发现三个部位的最高温度在使用 Nd:YAG 激光时为 42℃。王义清等<sup>[14]</sup>使用 810nm 半导体激光对犬颈椎间盘进行照射,激光输出间隔 5s 时,后纵韧带与硬脊膜之间及椎间孔处的温度始终不超过 40℃,输出间隔 1s 时,两个位点温度可达 41℃。齐强等<sup>[15]</sup>应用 Nd:YAG 激光对人尸体椎间盘进行照射并测量椎间盘前缘、后缘、神经根表面和穿刺入口处的温度变化后发现,上述监测点处的最大温度变化幅度小于 3℃。

池永龙等<sup>[16]</sup>应用半导体激光照射人尸体椎间盘,发现椎间盘周围温度的变化不大,均在 2℃以内,而且通过对汽化后的椎间盘切片染色后进行组织学观察发现,汽化的空腔基本局限在髓核内,空腔与周境界限清楚,纤维环及软骨终板未见明显破坏。

本研究结果显示,当能量达到 1000J 时,Nd:YAG 激光照射下椎间盘周围最大温度变化幅度小于 10℃,980nm 半导体激光小于 12℃,虽然与上述学者的报道结果相比,三个位点的温度变化值偏高,但温度的最高值仍在安全范围之内。本研究温度变化值较高的原因,考虑与实验标本的差异有关,山羊腰椎间盘小于人椎间盘,热量由髓核中央向周围传导的过程中衰减较少,导致了本研究中椎间盘周边的温度变化值较大。

当以相同能量进行照射时,980nm 半导体激光照射过程中椎间盘周边的温度变化值高于 Nd:YAG 激光相同位点处的温度变化,这与两种激光器的工作方式不同有关。Nd:YAG 激光为脉冲式激光,工作时以脉冲的形式发射,在两个脉冲之间有一定的时间间隔,因此该激光照射过程中有较充分的散热时间,而 980nm 半导体激光为连续的能量输出,散热时间相对短缩,热量的积累要高于 Nd:YAG 激光,椎间盘周边的温度变化值也会相应增大。

Nd:YAG 激光与 980nm 半导体激光照射后肉眼观察汽化腔的形态发现,Nd:YAG 激光的汽化腔形态呈圆形或卵圆形,半导体激光汽化腔的形态则接近于长椭圆形。当以同一能量照射时,980nm 半导体激光的汽化腔长轴大于 Nd:YAG 激光汽化腔的长轴( $P<0.01$ ),均说明半导体激光前冲性大。

两者汽化腔形态的差异与配套光纤的不同有关。目前多数 Nd:YAG 激光的配套光纤头端均经过特殊处理,使热作用于光纤裸露部的四周,将高热锁定在较小的区域,能量小于或等于 400J 时,Nd:YAG 激光汽化腔的宽轴大于 980nm 半导体激光,而当能量达到 600J 或更高时两者的宽轴比较无统计学意义,说明与 980nm 半导体激光相比,Nd:YAG 激光的汽化腔较局限,激光向前直射量较小,安全性高,而半导体激光光纤无特殊处理,激光在光纤出口呈喇叭口形状向前传输,激光向前的直射量较大,安全性下降。

### 3.3 本研究的临床指导意义

本研究将临床 PLDD 技术中常用的两种激光器对髓核组织的生物热效应进行了初步比较。实验中两种激光器的参数设置均与临床接近,结果显示,980nm 半导体激光的消融能力优于 Nd:YAG 激光,在临床中有利于髓核组织的汽化,但同时前者汽化腔的长度、汽化过程中椎间盘周边的温度变化值也高于后者,这在一定程度上影响了该激光的安全性。如前所述,980nm 半导体激光消融能力较强与水的吸收光谱有关,由此想到,临床中一些高龄患者的髓核含水量明显降低,这势必会影响到该激光对髓核的消融效果,而且髓核含水量的减少会增加该激光的穿透性,加之该激光本身前冲性较强,因此推测,在应用 980nm 半导体激光对高龄患者进行治疗时,如果能量的大小或穿刺针位置把握不当就有可能对椎间盘周围结构造成热损伤。相比之下,Nd:YAG 激光依靠瞬间高功率达到汽化组织的目的,热积累小,并且光纤经过特殊处理后可以使汽化腔较为局限,因此,治疗过程中更加安全。任龙喜等<sup>[3-5]</sup>应用 Nd:YAG 激光对大量颈椎病患者行 PLDD,激光能量颈椎控制在 250~500J、腰椎 400~800J 时即可取得良好的疗效,提示我们在临床操作过程中,无需过分追求高能量下对髓核的汽化量,这样既可以保证安全又能达到治疗疾病的目的。

### 4 参考文献

1. Choy DS, Case RB, Fielding W, et al. Percutaneous laser nucleolysis of lumbar disks[J]. N Engl J Med, 1987, 317(12): 771-772.
2. Choy DS. Percutaneous laser disc decompression (PLDD): twelve years experience with 752 procedures in 518 patients[J]. J Clin Laser Med Surg, 1998, 16(6): 325-331.
3. 任龙喜, 赵巍, 张彤童, 等. 经皮激光椎间盘减压术治疗颈性眩晕的疗效观察[J]. 中国激光医学杂志, 2006, 15(4): 205-209.
4. 任龙喜, 白秋铁. 经皮激光间盘减压术治疗颈椎病及椎间盘突出症初步报告[J]. 中国激光医学杂志, 2005, 14(1): 49.
5. 任龙喜, 白秋铁, 张敏, 等. 经皮激光椎间盘减压术治疗颈椎病初步报告[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2004, 14(2): 105-107.
6. 王胜利, 李继海. 980nm 半导体激光减压术治疗椎间盘突出症 286 例[J]. 中国康复理论与实践, 2006, 12(7): 632.
7. 韩晓俊, 李正佳, 朱长虹. 半导体激光器在医学上的应用[J]. 光学技术, 1998, 24(2): 7-10.
8. Nikfarjam M, Malcontenti-Wilson C, Christophi C. Comparison of 980- and 1064-nm wavelengths for interstitial laser thermotherapy of the liver [J]. Photomed Laser Surg, 2005, 23(3): 284-288.
9. 龚卓, 王勉镜, 高孟林. GaAlAs, InGaAs, Nd:YAG 三种激光热凝固效应的比较[J]. 中国激光医学杂志, 2003, 12(2): 100-102.
10. Turgut M, Onol B, Kilinç K, et al. Extensive damage to the end-plates as a complication of laser discectomy: an experimental study using an animal model [J]. Acta Neurochir (Wien), 1997, 139(5): 404-410.
11. Nerubay J, Caspi I, Levinkopf M. Percutaneous carbon dioxide laser nucleolysis with 2 to 5-year followup [J]. Clin Orthop Relat Res, 1997, 337: 45-48.
12. Casper GD, Hartman VL, Mullins LL. Results of a clinical trial of the holmium:YAG laser in disc decompression utilizing a side-firing fiber: a two-year follow-up [J]. Lasers Surg Med, 1996, 19(1): 90-96.
13. Sherk HH, Black J, Rhodes A, et al. Laser discectomy [J]. Clin Sports Med, 1993, 12(3): 569-577.
14. 王义清, 王执民, 郭卫平, 等. 经皮激光颈椎间盘髓核消融的实验研究[J]. 中华放射学杂志, 2002, 36(9): 778-780.
15. 齐强, 党耕町, 陈仲强, 等. 经皮激光椎间盘减压术的实验研究[J]. 中华外科杂志, 1993, 31(7): 407-410.
16. 池永龙, 黄其杉, 王向阳, 等. 半导体激光颈椎间盘汽化减压术的实验研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(6): 427-429.

(收稿日期: 2009-05-12 修回日期: 2009-06-29)

(英文编审 蒋欣)

(本文编辑 李伟霞)

消息

## 欢迎订阅《中国脊柱脊髓杂志》合订本

《中国脊柱脊髓杂志》2006~2009 年合订本均为精装本(上、下册), 2006 年定价 180 元/套, 2007 年定价 200 元/套, 2008 年定价 200 元/套, 2009 年上册定价 100 元/册, 有需要者请与本刊经理部联系。

联系地址: 北京市朝阳区中日友好医院内《中国脊柱脊髓杂志》经理部, 邮编: 100029。联系电话: (010)64206649, 64284923。E-mail 地址: cspine@263.net.cn。

汇款时请在汇款单上注明所需物品及数量。