

不同参数 Nd:YAG 激光对椎间盘髓核组织 消融能力的实验研究

任龙喜, 张向飞, 张彤童, 韩正锋, 梁喜斌, 郭 函

(北京市垂杨柳医院骨科 100022 北京市朝阳区)

【摘要】目的:比较不同参数 Nd:YAG 激光(1064nm)对髓核组织的消融能力。**方法:**新鲜山羊腰椎标本制作成脊柱功能单位 144 个,随机分为 18 组,每组 8 个。前 9 组采用间断发射激光行髓核消融术(A 方法),消融总能量和脉冲频率分别为 250J/10Hz(A1 组)、250J/20Hz(A2 组)、250J/30Hz(A3 组)、500J/10Hz(A4 组)、500J/20Hz(A5 组)、500J/30Hz(A6 组)、750J/10Hz(A7 组)、750J/20Hz(A8 组)、750J/30Hz(A9 组);后 9 组采用连续发射激光行髓核消融术(B 方法),消融总能量和脉冲频率分别与 A 方法各组对应。采用 1064nm Nd:YAG 激光,脉宽 0.4ms,激光发射功率为 10W。A 方法激光每次发射持续时间 1s,再次重复发射的间歇时间 1s。测量消融前后标本的质量,并用游标卡尺测量汽化腔大小。**结果:**A 方法在相同总能量条件下,脉冲频率 20Hz 时,消融量及汽化腔长、宽轴大于 10Hz 与 30Hz 组;脉冲频率相同条件下,能量 750J 时的消融量和汽化腔长、宽轴大于 250J 与 500J 组;频率与能量无交互作用。B 方法在脉冲频率相同条件,能量 750J 时的消融量和汽化腔宽轴均大于 250J 与 500J 组,频率与能量无交互作用;频率 20Hz、能量 750J 时,汽化腔长轴最大。相同参数激光消融量除 750J/30Hz 时 B 方法大于 A 方法,其余各组两种方法均无统计学差异;汽化腔长轴 250J/30Hz、750J/20Hz、750J/30Hz 时两种方法比较无统计学差异,其余各组汽化腔长轴 B 方法均大于 A 方法;汽化腔宽轴 500J/10Hz、500J/30Hz 时 B 方法大于 A 方法,其余各组两种方法比较无统计学差异。**结论:**相同参数下,Nd:YAG 激光发射方式影响激光对山羊髓核的消融量及汽化腔形态。相同发射方式下改变激光参数可影响激光的消融能力,相同能量下,激光脉冲频率影响激光的消融能力;相同脉冲频率下,激光能量越大消融能力越强。

【关键词】经皮激光椎间盘减压术;激光参数;髓核;消融能力;山羊

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2011.12.11

中图分类号:R454.2 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2011)-12-1015-04

Comparison of the ablation ability of the Nd:YAG laser to nucleus pulposus between different parameters/REN Longxi,ZHANG Xiangfei,ZHANG Tongtong,et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord,2011,21(12):1015-1018

【Abstract】 Objective:To compare the laser ablation ability of the Nd:YAG laser (1064nm) to the nucleus pulposus between different parameters.**Method:**Fresh goat spines were selected to make 144 function units of the spine.The specimens were divided into 18 groups on random,8 specimens in each group.The laser was emitted intermittent in the former 9 groups (method A).The total energy and the frequency was 250J/10Hz (group A1),250J/20Hz (group A2),250J/30Hz (group A3),500J/10Hz (group A4),500J/20Hz (group A5),500J/30Hz (group A6),750J/10Hz (group A7),750J/20Hz (group A8),750J/30Hz (group A9) respectively.The laser was emitted continuous in the latter 9 groups (method B).The total energy and the frequency of each group was corresponding to method A.The intervertebral discs were radiated by Nd:YAG laser,the pulse width was 0.4ms,the power in each group was 10W.The laser was emitted lasting for 1s,and the interval time was 1s in group A.There was no interval time in group B.The weight of the specimen was measured before and after ablation,and the cavities were measured after radiating by sliding caliper after ablation.**Result:**At the same energy of method A,when the frequency was 20Hz,the ablated quantity and the long and wide axis of the cavity all exceeded 10Hz and 30Hz.At the same frequency,when the energy was 750J,the ablated quantity and the long and wide axis of the cavity all exceeded 250J and 500J.There was no interaction between frequency and energy.At the same frequency of method B,when the energy was 750J,the ablated quantity and

第一作者简介:男(1959-),教授、主任医师,硕士研究生导师,研究方向:脊柱外科

电话:(010)67718822-2007 E-mail:rlxpldd@sina.com

wide axis of the cavity all exceeded 250J and 500J. There was no interaction between frequency and energy. When the energy was 750J and the frequency was 20Hz, the long axis of the cavity was largest. At the same parameter, the ablated quantity was greater in method B than method A when the parameter was 750J/30Hz, and the remaining groups were not statistically significant between the two methods. The long axis of the cavity was greater in method B than method A except when the parameters were 250J/30Hz, 750J/20Hz and 750J/30Hz. The wide axis of the cavity was greater in the method B than method A when the parameters were 500J/10Hz and 500J/30Hz, and there was no statistically significant difference in the remaining groups between two methods. **Conclusion:** At the same parameter, both the quantity of ablation and the form of cavity are influenced by the mode of laser. The ablation ability is influenced by the different modes of the Nd:YAG laser when the parameter is changed. At the same energy, the ablation ability is influenced by the frequency of laser; at the same frequency, the ablation ability enhances with the increase of energy of laser.

[Key words] Percutaneous laser disc decompression; Laser parameters; Nucleus pulposus; Ablation potency; Goat

[Author's address] Department of Orthopaedic Surgery, Beijing Chuiyangliu Hospital, Beijing, 100022, China

1984年 Choy^[1]最先提出了经皮激光椎间盘减压术 (percutaneous laser disc decompression, PLDD) 的概念, 并于 1987 年首次报道^[2]。目前, 已成为临床治疗颈、腰椎椎间盘疾病的微创方法^[3]。该技术主要利用激光对椎间盘髓核组织的热作用。除激光的种类和作用的生物组织外, 激光参数也是影响激光热作用的主要因素。目前, 关于 PLDD 基础研究的报道多是在单一参数下进行的, 不同激光能量及频率对椎间盘髓核组织消融能力的研究仍较缺乏。本研究旨在探讨参数变化时激光对椎间盘髓核组织的消融能力, 为临床 PLDD 治疗确定更合理、安全、有效的激光参数提供依据。

1 材料与方法

1.1 标本制作及实验分组

新鲜山羊腰椎标本于目标椎间盘 (L6/S1) 上下椎体正中水平横断, 后方于椎弓根处离断, 保留椎间盘上下各半个椎体, 剔除多余组织, 制作成脊柱功能单位共 144 个。随机分为 18 组, 每组 8 个。前 9 组 4 个标本采用间断发射激光行髓核消融术 (A 方法), 消融总能量和脉冲频率分别为 250J/10Hz (A1 组)、250J/20Hz (A2 组)、250J/30Hz (A3 组)、500J/10Hz (A4 组)、500J/20Hz (A5 组)、500J/30Hz (A6 组)、750J/10Hz (A7 组)、750J/20Hz (A8 组)、750J/30Hz (A9 组); 后 9 组 4 个标本采用连续发射激光行髓核消融术 (B 方法), 消融总能量和脉冲频率分别与 A 方法对应。采用 1064nm Nd:YAG 激光, 脉宽 0.4ms, 激光发射功率为 10W。A 组激光每次发射持续时间 1s, 再次重复发

射的间歇时间 1s。

1.2 主要仪器

DL-200E 脉冲式 1064nm Nd:YAG 激光治疗仪 (国产) 及配套光纤, 穿刺针, Sartorius 224S 电子天平 (德国赛多利斯公司生产, 精度 0.0001g), C 型臂 X 线机 (荷兰飞利浦公司生产), 游标卡尺 (精度 0.02mm) 等。

1.3 髓核消融操作步骤

接通激光治疗仪及电子天平电源, 开机预热。连接光导纤维与激光治疗仪, 检查光纤与穿刺针, 光纤无漏光处, 光纤头指示光斑圆滑, 出光均匀。用干燥布单将实验标本擦拭干净, 吸去表面多余水分并将残余肌肉去除。同时取两个标本分别用电子天平称重, 其中之一在 C 型臂 X 线机透视下进行穿刺, 穿刺针平行于椎间盘上下缘, C 型臂 X 线机透视下, 正位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, 确认穿刺针位置无误, 拔除针芯, 接好三通管, 置入光导纤维并固定牢靠, 按设定参数向椎间盘发射激光, 达到每组的预定能量时结束。另一标本在相同环境下, 不作消融。再次对两标本进行称重, 两标本质量改变之差即为消融量。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, 用游标卡尺测量汽化腔长、宽轴长度。

1.4 统计学处理方法

测量数据采以 SPSS 17.0 软件进行处理。各组数据经正态性、方差齐性检验, 组内比较采用析因设计资料方差分析, 组间比较采用 *t* 检验, 方差不齐者采用非参数秩和检验, $P < 0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

不同参数激光对髓核的消融量、消融后汽化腔长轴和宽轴见表 1。

采用 A 方法时, 能量相同, 频率 10Hz 与 30Hz 消融量比较无统计学差异 ($P>0.05$), 20Hz 的消融量高于 10Hz 与 30Hz ($P<0.05$); 频率相同, 总能量为 250J 与 500J 的消融量比较无统计学差异 ($P>0.05$), 750J 的消融量高于 250J 与 500J ($P<0.05$)。频率与激光总能量无交互作用, 频率为 20Hz、激光总能量 750J 组合时, 消融量最大。采用 B 方法时, 能量相同, 不同频率的消融量比较无统计学差异 ($P>0.05$); 频率相同, 激光总能量 250J 与 500J 的消融量比较无统计学差异, 750J 的消融量高于 250J 与 500J ($P<0.05$)。频率与激光总能量无交互作用, 总能量 750J 时, 消融量最大。同一参数激光不同发射方式消融量比较, 750J/30Hz 连续发射大于间断发射 ($P<0.05$), 其余参数下两种方法消融量均无统计学差异。

采用 A 方法时, 能量相同, 频率为 10Hz 与 30Hz 的汽化腔长、宽轴比较均无统计学差异 ($P>0.05$), 20Hz 的汽化腔长、宽轴均高于 10Hz 与 30Hz ($P<0.05$); 频率相同, 激光总能量为 250J 与 500J 汽化腔长、宽轴比较均无统计学差异 ($P>0.05$), 750J 的汽化腔长、宽轴均高于 250J 与 500J ($P<0.01$)。频率与激光总能量两者无交互作用, 频率为 20Hz、激光总能量 750J 组合时, 汽化腔长、宽轴均最大。采用 B 方法时, 各组汽化腔长轴大小不一致, 频率为 20Hz、总能量 750J 组合时, 汽化腔长轴最大; 能量相同, 不同频率汽化腔宽轴比较无统计学差异 ($P>0.05$); 频率相同, 总能量 250J 与 500J 的汽化腔宽轴比较无统计学差异 ($P>0.05$), 750J 的汽化腔宽轴大于 250J 与 500J ($P<$

0.01)。频率与激光总能量两者无交互作用, 总能量 750J 时的汽化腔宽轴最大。

同一参数激光消融后, 250J/30Hz、750J/20Hz、750J/30Hz 时, 汽化腔长轴两种方法无统计学差异 ($P>0.05$), 其余各组 B 方法大于 A 方法。500J/10Hz、500J/30Hz 时汽化腔宽轴 B 方法大于 A 方法 ($P<0.05$), 其余各组两种方法均无统计学差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

激光对生物组织的作用是由多种因素决定的复杂过程。激光的参数如波长、功率、能量、发射模式等对生物组织的作用都有不同影响; 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做出不同的反射^[4]。当激光参数发生改变时, 激光可能发挥不同效应。

3.1 不同参数 Nd:YAG 激光对髓核消融量的比较

本研究结果证实激光参数改变可影响激光对髓核组织消融能力。激光能量在 250J 和 500J 时, 消融量无明显差别, 当能量增大到 750J 时, 消融量增大。这可能与髓核组织的光学、热学性质及激光作用过程中髓核组织的热学性质改变有关。

除激光参数外, 组织本身的光学性质及热学性质与激光对生物组织的光热作用密切相关。组织中水的比热最大, 因此含水量越高的组织比热和热容量越大, 组织不易升温。另外, 同一生物组织在激光作用过程中, 不同时间的热学特性也在发生改变。激光照射过程中生物组织汽化脱水, 组织热传导性降低、散射减少, 局部温度明显升高。林征宇等^[5]应用半导体激光 (波长 810nm) 照射兔肝脏组织并测量其温度变化情况, 发现被照射组织温度升高到 55℃左右时, 温度上升的速度降

表 1 不同参数不同发射方式 Nd:YAG (1064nm) 激光对山羊椎间盘髓核组织的消融量、汽化腔长轴和宽轴 ($\bar{x}\pm s, n=4$)

激光能量(J)/ 频率(Hz)	消融量(g)		汽化腔长轴(cm)		汽化腔宽轴(cm)	
	间断发射	连续发射	间断发射	连续发射	间断发射	连续发射
250/10	0.0170±0.0122	0.0277±0.0162	1.6975±0.7160	2.8350±0.8146 ^①	0.7950±0.1959	1.2750±0.6563
250/20	0.0168±0.0065	0.0201±0.0063	2.2475±0.9375	3.2700±0.5659 ^①	1.1925±0.2313	1.4550±0.5755
250/30	0.0184±0.0071	0.0276±0.0147	1.9200±0.3922	2.4625±0.6773	1.1175±0.5089	1.3350±0.3149
500/10	0.0166±0.0058	0.0242±0.0109	1.7025±0.5403	3.3950±0.5551 ^①	0.9925±0.3404	1.4900±0.3396 ^①
500/20	0.0287±0.0205	0.0268±0.0206	2.7100±0.9876	3.9350±0.5831 ^①	1.4200±0.3382	1.8425±0.5664
500/30	0.0182±0.0072	0.0337±0.0201	2.1375±0.4777	2.9925±0.8269 ^①	1.3000±0.3305	1.6950±0.3265 ^①
750/10	0.0308±0.0247	0.0361±0.0242	2.9700±0.6433	4.4125±0.8052 ^①	1.4725±0.2757	1.9525±0.6676
750/20	0.0551±0.0266	0.0395±0.0176	4.2000±0.9457	5.5925±2.2930	2.2325±0.8733	2.5925±0.7219
750/30	0.0265±0.0097	0.0544±0.0326 ^①	3.4750±1.4941	3.9825±0.9265	1.5925±0.4124	2.1225±0.9322

注: 与间断发射组相同参数消融时比较^① $P<0.05$

低,当温度达到 70℃左右时,温度升高速度加快。

髓核组织的含水量高达 80%,具有较高的比热和热容量,激光作用初期组织升温慢,消融能力弱,因此在能量较低时,激光能量的增加对髓核组织消融能力的改变不明显;随着激光能量的增加,髓核组织热学性质发生改变,激光消融作用增强。

本研究还发现:间断发射激光时,总能量一定的情况下,20Hz 时的消融量较 10Hz、30Hz 大。Nd:YAG 激光为脉冲激光,功率一定的情况下,激光发射频率与单脉冲能量成反比,频率为 10Hz 时,激光峰值功率高,单脉冲激光对髓核组织的消融能力强,但激光脉冲次数少;频率为 30Hz 时,激光脉冲次数增加,但峰值功率低,单脉冲激光对髓核组织的消融能力弱;频率为 20Hz 时,激光的脉冲次数与单脉冲能量相对平衡,激光对髓核组织的消融能力更强。因此,当发射频率改变时激光对髓核组织的消融能力不同。如何选择合适的激光频率应作进一步研究。

3.2 不同参数 Nd:YAG 激光消融后汽化腔的比较

对比同一参数下不同激光发射方式汽化腔长宽轴发现,总能量相同时,连续发射激光时椎间盘汽化腔的长宽轴大于间断发射激光组,而两者的消融量无明显差异。为保证 PLDD 安全性,激光在椎间盘组织内的穿透性越小,损伤终板软骨的可能性越小,激光相对越安全。因此,在相同能量下,连续发射激光组的标本中汽化腔的范围相对较大,会增加损伤终板软骨和神经根的可能性。另外,激光间断照射情况下,椎间盘有更多的时间散热,周围温度相对较低,安全性高于连续照射。这就提示我们在临床应用激光进行椎间盘汽化时,应选择间断发射激光。在保证消融量的同时,尽量降低椎板损伤的可能性。

PLDD 已经成为一种治疗椎间盘突出症的较为成熟的微创治疗方法。但是,目前仍有部分因激光总能量过大而导致肢体疼痛、麻木等不良反应的临床个案报道^[6]。任龙喜等^[7-11]应用 Nd:YAG 激光对颈椎病、颈性眩晕、腰椎间盘突出症及腰椎管狭窄症患者行 PLDD 治疗,激光能量颈椎为 250~500J、腰椎为 400~800J 时即可取得良好疗效。可见适当调整激光参数可降低激光总能量,从而达到既保证临床效果又提高手术安全性的目的。

本实验中设定不同激光参数对山羊椎间盘组织进行消融,发现不同激光发射方式、激光总能量

以及激光频率均可对激光作用效果产生影响。但是,临床治疗对象为退变的椎间盘,含水量、化学成分等与正常椎间盘不一致,且人椎间盘与山羊椎间盘也有差别,激光参数的改变对激光作用效果产生的影响可能与临床效果并不完全一致,因此,实验结果不能直接应用于临床。但是,此结果提示激光参数改变可能对 PLDD 的临床治疗效果产生影响。要确定治疗时采用何种参数能发挥激光的最大功效还需要建立椎间盘退变模型,并进行活体动物实验等研究。

4 参考文献

1. Choy DS, Altman PA, Case RB, et al. Laser radiation at various wavelengths for decompression of intervertebral disk: experimental observations on human autopsy specimens[J]. Clin Orthop Relat Res, 1991, 267: 245-295.
2. Choy DS, Case RB, Fielding W, et al. Percutaneous laser nucleolysis of lumbar disks[J]. N Engl J Med, 1987, 317(12): 771-772.
3. Choy DS, Hellinger J, Hellinger S, et al. 23rd Anniversary of percutaneous laser disc decompression (PLDD) [J]. Photomed Laser Surg, 2009, 27(4): 535-538.
4. 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.
5. 林征宇, 武乐斌, 李成利, 等. 肝脏激光间质热消融治疗中组织温度变化规律的实验研究[J]. 医学影像学杂志, 2006, 16(9): 982-985.
6. Kobayashi S, Uchida K, Takeno K, et al. A case of nerve root heat injury induced by percutaneous laser disc decompression performed at an outside institution; technical case report [J]. Neurosurgery, 2007, 60(2 Suppl 1): 171-172.
7. 任龙喜, 张彤童, 白秋铁, 等. PLDD 治疗拒绝开放手术的脊髓型颈椎病患者的疗效观察与思考[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2007, 17(11): 849-851.
8. 任龙喜, 焦守国, 白秋铁, 等. 经皮激光椎间盘减压术治疗腰椎间盘突出症的疗效观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2007, 17(11): 826-829.
9. 任龙喜, 尹建, 白秋铁, 等. 经皮激光椎间盘减压术治疗神经根型颈椎病的 2 年疗效观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(1): 44-46.
10. 任龙喜, 韩正锋, 白秋铁, 等. 经皮激光椎间盘减压术治疗腰椎管狭窄症的疗效观察 [J]. 中国激光医学杂志, 2009, 18(4): 221-224.
11. 任龙喜, 郭保逢, 韩正锋, 等. 经皮激光椎间盘减压术治疗颈性眩晕的中期疗效观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(1): 52-56.

(收稿日期: 2011-04-26 修回日期: 2011-06-22)

(英文编审 孙浩林/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)