

综述

经皮激光椎间盘减压术中热效应与温度关系的研究进展

Advance of thermal effects and temperature in percutaneous laser disc decompression

梁喜斌¹, 任龙喜¹, 申 勇²

(1 北京市垂杨柳医院骨科 100022 北京市; 2 河北医科大学第三医院脊柱外科 050051 石家庄市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2012.07.17

中图分类号: R681.5, R454.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2012)-07-0662-03

经皮激光椎间盘减压术(percutaneous laser disc decompression, PLDD)是治疗椎间盘疾患的一种比较成熟、疗效确切的微创方法。1986年Choy等^[1]首次应用Nd:YAG激光行腰椎PLDD并获得成功。目前该技术已应用于颈、胸、腰椎间盘疾患的治疗^[1,2],其经皮减压成功率为63%~89%^[3]。对于PLDD,热效应对髓核及其周围组织的影响在治疗中起到至关重要的作用。笔者就PLDD中的热效应与温度关系的相关研究作一综述。

1 PLDD的热效应及其影响因素

激光对活组织的基本效应主要表现为热效应、压力效应、光效应和电磁效应。热效应即激光照射生物组织,组织内的分子吸收光子能量而被激活,其振动和转动加剧,被激活的生物分子在和其他分子多次撞击过程中,逐渐失去其所获得的能量,从而转化为热能,使受照射组织温度升高,当温度上升到一定高度,或持续一定时间,就能使组织细胞受伤甚至死亡。热效应在治疗中可产生凝固、切除、碳化和汽化等效果。

PLDD在治疗中主要应用的是激光的压力效应和热效应。PLDD的基本原理是在X线或CT透视引导下,经皮穿刺将导针穿入椎间盘髓核内,导入光导纤维,输送激光,利用激光的消融能力汽化一定量髓核组织,降低椎间盘内压力,从而减轻突出物对神经根或脊髓的压迫,同时消除椎间盘内炎性因子,以达到缓解症状的效果^[4]。大成俊夫^[5]认为PLDD除减压效应外,激光照射髓核组织同时具有消炎止痛的作用。激光与组织接触所产生的机体反应层,其最外层为40℃以下的光生物学的活性化反应层(photobio-activative-reaction, PAR),其主要作用为温热效果,其中血管的扩张、致痛物质的减少、自律神经功能的正常化和免疫功能的提高等共同作用达到消炎止痛的目的。Iwatsuki等^[6]认为激光照射椎间盘组织致使髓核蛋白变性,从而减少化学炎症因子,亦为PLDD起效的机制之一。

影响激光热效应的主要因素包括激光总能量、波长、功率、激光输出模式、辐照时间以及生物组织的颜色等。Schenk等^[7]认为激光输出的总能量是决定髓核组织汽化量大小的主要因素,但仅应用总能量来描述PLDD比较含糊,还应包括功率、照射总时间、频率、脉冲宽度和脉冲间隔时间。应用同一种激光行PLDD,设定不同的激光参数可以产生不同的临床效果;不同的生物组织对激光的吸收和散射(含内反射)不同,激光的热效应亦不同。任龙喜等^[8]将临床PLDD中常用的两种激光(1064nm Nd:YAG激光和980nm半导体激光)对山羊髓核组织的生物热效应进行了比较,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1064nm Nd:YAG激光,但1064nm Nd:YAG激光的安全性更高。Sato等^[9]在动物实验中应用半导体激光照射经吲哚菁绿(ICG)均匀染色后的猎犬椎间盘组织,发现应用低功率(5W)激光可有效并选择性消融髓核,且未伤及纤维环和终板软骨。

2 PLDD中温度变化与疗效的关系

PLDD中温度变化及其对周围组织的影响直接关系到临床疗效及并发症的发生。激光照射下,受照射组织的局部温度可在几毫秒内升高到200℃~1000℃,停止照射后温度下降,而温度为45℃~50℃(包括组织局部和周边的温度)的状态持续约1min,局部的高温可使组织发生凝固、坏死、碳化或汽化,低温状态使组织蛋白发生可逆或不可逆变性^[10]。生物活性化反应层在温度为40℃以下产生温热效果,使血管扩张、疼痛物质减少^[5],而激光照射椎间盘组织产生的热量能降解髓核蛋白,消除化学炎症因子^[11]。

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,观察以上三个位点的温度变化情况有助于衡量PLDD治疗的安全性。Sherk等^[12]测定了Nd:YAG激光汽化人体椎间盘髓核组织标本(尸体)时椎体边缘、纤维环和脊髓三个部位的温度变化情况,发现此三个部位的最高温度为42℃。Schmolke等^[13]应用Nd:YAG激光照射人新鲜尸体椎间盘的过程中发现,总能量600J时椎间盘后

第一作者简介:男(1983-),医学硕士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)87720225 E-mail:liangxibin1983@sina.com

通讯作者:任龙喜 E-mail:rlxpdd@sina.com

缘处温度由 28℃ 上升到 30℃, 变化在 2℃ 以内。池永龙等^[14]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, 而术中汽化脉冲间隔的冷却和三通管吸除汽化产物有助于减少热量在组织中的积累, 从而限制了其对邻近组织的损伤。任龙喜等^[8]应用 Nd:YAG 激光照射新鲜山羊腰椎间盘, 当激光照射总能量达到 1000J 时, 椎间盘周围最大温度变化幅度小于 10℃, 温度变化值虽然偏高, 但仍在安全范围之内。王义清等^[15]应用 810nm 半导体激光对犬颈椎间盘进行照射, 总能量设为 1000J, 测量椎间孔处和后纵韧带与硬脊膜之间两个位点的温度变化, 连续脉冲输出, 发现激光输出间隔为 5s 时, 上述两位点的温度始终不超过 40℃; 输出间隔为 1s 时, 上述两个位点温度最高可达 41℃。

上述研究发现, 应用不同波长的激光汽化椎间盘髓核组织时, 椎间盘周围的温度变化均在安全范围之内, 远小于造成组织变性损伤的温度 (60℃)^[16], 且激光间断发射、术中抽吸汽化产物会提高 PLDD 的安全性。如果激光总能量不过高 (小于 1000J), 穿刺位置合适, 温度变化对周围组织造成热损伤的发生率会很低。PLDD 应用于临床已逾万例, 并发症主要为术后椎间盘炎、腰痛、短暂肢体麻木, 其发生率仅为 0.3%~1%^[1], 反映了 PLDD 较高的安全性。

3 PLDD 中温度变化与热损伤的关系

激光的热损伤关系到 PLDD 治疗的安全性。激光照射过程中温度变化对热效应的产生及其疗效的发挥起到重要作用, 但温度过高则易出现热损伤。此外, 穿刺针尖的位置越接近髓核周围组织, 越容易出现热损伤。热损伤是 PLDD 的并发症之一, 为临床医师所关注。

PLDD 的热损伤包括椎体终板损伤、纤维环损伤、神经损伤、血管或脊髓的损伤。热损伤的发生率较低, 目前临床上还未见有关血管或脊髓热损伤的报道; 髓核周围组织 (软骨终板、纤维环) 热损伤多表现为腰背疼痛及下肢疼痛、麻木等神经症状。Buy 等^[17]认为因热损伤导致邻近终板无菌性炎症而产生严重背部疼痛, 如果激光消融过程中出现腰背疼痛, 应及时调整光纤位置或降低激光能量。向湘松等^[18]认为 PLDD 术后短期内症状复发的主要原因为反应性椎间盘炎, 认为激光照射髓核治疗的同时导致了髓核周围组织 (如软骨终板、纤维环) 不同程度的热损伤, 而终板损伤后可引发自身免疫性椎间盘炎, 导致髓核组织肿胀逐渐加重, 当无菌性炎症的作用大于激光的治疗作用时, 便出现腰、腿痛等神经根受压症状复发。Ohnmeiss 等^[19]报道了 164 例患者行 PLDD 治疗的并发症, 术中穿刺过程中损伤神经 3 例, 因热聚反应 (穿刺针周围的一种灼热感) 而终止手术 5 例, 术后 12 例出现下肢皮肤痛觉减弱, 1 例出现反射性交感神经营养不良。

Goupille 等^[20]认为 PLDD 中高能量激光照射造成周围组织的热损伤风险增高, 但低能量激光照射可能达不到足够的汽化消融量。池永龙等^[14]应用半导体激光照射人尸体

椎间盘, 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, 空腔与周边界清楚, 纤维环及软骨终板未见明显破坏。该研究从病理组织学上说明了激光消融椎间盘后未见热损伤发生, 一定程度上反映了 PLDD 的安全性。Hafez 等^[21]的研究证实 PLDD 的激光生物热效应不会对周围组织造成损伤。游箭等^[22]对杂种犬行 PLDD, 随机分为持续负压抽吸 PLDD 组和常规 PLDD 组, 术中温度变化以常规组变化较大 (12.1℃), 而抽吸组温度变化较小 (3.2℃), 表明 PLDD 过程中应用持续负压抽吸方法会降低术中温度变化, 不会引起组织的热损伤。赵友全等^[23]研究发现脉冲激光具有许多连续激光不具备的优点, 如靶组织得到的热量被限制在较小范围内, 对深部组织产生的热损伤相对较小。

Choy 等^[24]强调激光光纤要置入髓核中央, 且平行于椎间盘轴, 可避免纤维环、软骨终板炭化。关家文等^[25]对行 PLDD 治疗的 149 例椎间盘突出症患者进行临床分析后认为: PLDD 治疗整个过程应以患者感觉为金标准, 因烧灼局部热量聚集, 患者会出现胀痛甚至向肢体放射, 有预兆时应立即停止激光照射, 一般 5~10s 即可消失, 其间用针管抽吸, 既抽出了碳化组织及水分, 清洁烧灼区使热量快速消散, 又在一定程度上使椎间盘回缩。向湘松等^[18]对 126 例采用半导体激光治疗的腰椎间盘突出症患者进行临床随访并对术后并发症分析后发现, 单个椎间盘激光总能量过高, 将导致反应性椎间盘炎的发生率显著增高, 同时导致患者恢复工作的时间延迟, 应避免单个椎间盘激光总能量过大; 但术后 3 个月、6 个月恢复工作率无显著性差异, 提示反应性椎间盘炎可能不影响 PLDD 术后 3 个月后的疗效。Choy 等^[24]报道全世界上万例经 PLDD 治疗的患者, 未见术后神经损伤的并发症。

对 PLDD 中热损伤重在预防, 术前精确定位, 术中规范操作, 透视下准确穿刺, 激光照射过程中采用多点低能量照射, 术中抽吸汽化产物, 同时严密监视患者病情变化, 是预防热损伤的有效措施。

4 其他相关研究

经 PLDD 治疗后其热效应在细胞生物学上有何影响, 目前文献报道不多。潘化平等^[26]通过临床对比研究发现, PLDD 治疗腰椎间盘突出症患者在治疗后第 1 天、第 7 天, 外周血浆中 P 物质均有下降, β -内啡肽均有上升, 从而发挥镇痛作用; 治疗后第 28 天, 血浆中 P 物质和 β -内啡肽水平分别在观察组与对照组比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.01$)。Sato 等^[27]应用波长 2100nm 的 Ho:YAG 激光照射经三维培养的兔腰椎间盘细胞后, 通过测量残余细胞数量、乳酸脱氢酶和蛋白多糖含量, 发现激光的总能量与保护细胞和促进基质合成密切相关。另外, 骨形态发生蛋白-7 (BMP-7) 对软骨细胞、纤维环细胞及髓核细胞合成代谢具有显著促进作用。Gavenis 等^[28]证实 BMP-7 在椎间盘退变的早期能延缓或者逆转退变进程。那么, 对于临床中保

守治疗 3 个月无效或症状反复发作的颈、腰椎间盘突出病患者,应用 PLDD 治疗后会对 BMP-7 有何影响,还有待进一步研究。

5 总结与展望

激光的热效应与温度相关,在 PLDD 的治疗中起到至关重要的作用。作为治疗椎间盘疾患的一项微创方法,PLDD 具有较高的安全性。只要激光照射总能量适中,穿刺位置准确,术中严密监视患者病情变化,发生热损伤的风险很低。但有关 PLDD 热效应及其与温度变化的关系多为基础研究,且应用的多是正常完整的椎间盘组织,而临床上 PLDD 针对的是退变、突出的椎间盘组织。将 PLDD 应用于椎间盘突出动物模型的实验研究,以及探索 PLDD 热效应在细胞分子学上的基础研究尤为重要。

6 参考文献

1. 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.
2. Haufe S, Mork A, Pyne M, et al. Percutaneous laser disc decompression for thoracic disc disease: report of 10 cases[J]. Int J Med Sci, 2010, 7(3): 155-159.
3. Kelekis AD, Filippidis DK, Martin JB, et al. Standards of practice: quality assurance guidelines for percutaneous treatments of intervertebral discs [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2010, 33(5): 909-913.
4. Choy DS, Ascher PW, Ranu HS, et al. Percutaneous laser disc decompression: a new therapeutic modality [J]. Spine, 1992, 17(8): 949-956.
5. 大成俊夫. シーザー治疗の最先端[J]. 毎日ライフ, 1999, 4(1): 137-138.
6. Iwatsuki K, Yoshimine T, Sasaki M, et al. The effect of laser irradiation for nucleus pulposus: an experimental study [J]. Neurol Res, 2005, 27(3): 319-323.
7. Schenk B, Brouwer PA, van Buehem MA. Experimental basis of percutaneous laser disc decompression(PLDD): a review of literature[J]. Lasers Med Sci, 2006, 21(4): 245-249.
8. 任龙喜, 尹建, 焦守国, 等. Nd: YAG 激光与半导体激光对髓核组织生物热效应的对比性研究 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2009, 19(10): 735-739.
9. Sato M, Ishihara M, Arai T, et al. Use of a new ICG-dye-enhanced diode laser for percutaneous laser disc decompression[J]. Lasers Surg Med, 2001, 29(3): 282-287.
10. 任龙喜. 经皮激光椎间盘减压术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008. 6.
11. Iwatsuki K, Yoshimine T, Awazu K, et al. Percutaneous laser disc decompression for lumbar disc hernia: indications based on Lasague's sign[J]. Photomed Laser Surg, 2007, 25(1): 40-44.
12. Sherk HH, Black J, Rhodes A, et al. Laser discectomy[J]. Clin Sports Med, 1993, 12(3): 569-577.
13. Schmolke S, Kirsch L, Gosse F, et al. Risk evaluation of thermal injury to the cervical spine during intradiscal laser application in vitro[J]. Photomed Laser Surg, 2004, 22(5): 426-430.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Buy X, Gangi A. Percutaneous treatment of intervertebral disc herniation[J]. Semin Intervent Radiol, 2010, 27(2): 148-59.
18. 向湘松, 肖业生, 蒲丹, 等. 经皮半导体激光腰椎间盘减压术的并发症分析[J]. 中国医师杂志, 2004, 6(6): 813-814.
19. Ohnmeiss DD, Guyer RD, Hochschuler SH. Laser disc decompression: the importance of proper patient selection [J]. Spine, 1994, 19(18): 2054-2058.
20. Goupille P, Mulleman D, Mammou S, et al. Percutaneous laser disc decompression for the treatment of lumbar disc herniation: a review[J]. Semin Arthritis Rheum, 2007, 37(1): 20-30.
21. Hafez MI, Zhou S, Coombs RR, et al. The effect of irrigation on peak temperatures in nerve root, dura and intervertebral disc during laser-assisted foraminoplasty [J]. Lasers Surg Med, 2001, 29(1): 33-37.
22. 游箭, 廖顺明, 丁仕义. 经皮腰椎间盘激光减压术的早期实验与临床研究[J]. 中国介入影像与治疗学, 2005, 2(1): 48-53.
23. 赵友全, 李立勇, 范世福, 等. 脉冲激光在医学中的光热效应分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26(2): 114-116.
24. Choy DS. Techniques of percutaneous laser disc decompression with the Nd: YAG laser [J]. J Clin Laser Med Surg, 1995, 13(3): 187-193.
25. 关家文, 孙海涛, 刘录明, 等. 149 例经皮椎间盘激光减压术的临床分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2006, 14(11): 872-874.
26. 潘化平, 冯慧, 王健, 等. 腰椎间盘突出症经皮激光椎间盘减压术后患者血浆 β -内啡肽和 P 物质的水平[J]. 中华全科医师杂志, 2010, 9(8): 540-543.
27. Sato M, Ishihara M, Kikuchi M, et al. The influence of Ho: YAG laser irradiation on intervertebral disc cells [J]. Lasers Surg Med, 2011, 43(9): 921-926.
28. Gavenis K, Schneider U, Groll J, et al. BMP-7-loaded PGLA microspheres as a new delivery system for the cultivation of human chondrocytes in a collagen type I gel: the common nude mouse model[J]. Int J Artif Organs, 2010, 33(1): 45-53.

(收稿日期: 2011-12-15 修回日期: 2012-03-12)

(本文编辑 李伟霞)