

Nd : YAG 激光对晶体透明皮质乳化的物理机理研究

倪晓武 陆 建 贺安之

李永年

(南京理工大学应用物理系, 南京 210014)

(解放军南京军区总医院眼科, 南京 210002)

提要 用 Nd : YAG 激光对未成熟期白内障进行晶体透明皮质乳化术 36 例。利用激光与组织相互作用的基本原理, 讨论了手术中激光致使晶体透明皮质乳化的机理。提出激光等离子体冲击波对眼组织的机械效应和等离子体闪光对眼组织的光化学效应是导致晶体透明皮质组织蛋白变性和凝结的原因。

关键词 Nd : YAG 激光, 晶体, 透明皮质, 乳化, 白内障

1 引 言

采用高功率 Nd : YAG 激光在原发性白内障手术中辅助治疗和切除混浊的后囊膜手术已列为眼科常规手术之一^[1,2], 其共同点都是对已成熟的白内障进行手术。若对未成熟的白内障患眼施行传统的囊外摘除术, 则因皮质中有较多的透明区, 术中可见度差, 难以彻底清除, 且易引起并发症, 因而常待其完全成熟后再进行手术。有些患者的白内障尚属未成熟期, 但已形成视力严重障碍, 以致生活不能自理者屡见不鲜。近年来有利用激光进行晶体乳化术的报道^[3,1], 但未涉及激光乳化术的物理机理研究。

本文报道了利用 Nd : YAG 激光对未成熟期白内障进行晶体透明皮质乳化术 36 例。并根据激光与生物组织相互作用的基本原理, 讨论了手术中激光致使晶体透明皮质乳化的机理。提出激光等离子体冲击波对眼组织的机械效应和等离子体闪光对眼组织的光化学效应是导致晶体透明皮质组织蛋白变性和凝结的原因。

2 对象与方法

2.1 手术对象

未成熟期白内障但已形成视力严重障碍者 36 眼, 均系单眼发病。其中男性 15 例, 女性 21 例; 年龄分布在 55~72 岁, 平均年龄 66 岁。

2.2 治疗方法

激光手术前用托吡长胺 (tropicamide) 加 1% 阿托品溶液滴眼, 充分扩大瞳孔直径至 7~8

mm。将激光聚焦于透明皮质层击射,一般击射 10~15 次,平均 13 次即可使皮质层全部混浊。术中激光参数如下:单脉冲能量 2.7 mJ;脉冲宽度 8 ns;治疗光斑直径 50 μm 。

3 结 果

在施行激光乳化术中可见激光击射点附近有小气泡产生,且激光作用后气泡向上方漂移。随着治疗激光能量的增加,气泡的直径增大或气泡的个数增加,最大直径达 0.5 mm 左右气泡个数达 3 个。

激光击射后即可通过 20 倍光学显微镜见到晶体中击射点附近的透明皮质有乳化物,表现为白色絮状结构。激光照射后,击射点附近的白色絮状物密度随时间延长而增大。照射后一小时左右,白色絮状物的密度达最大,而且距击射点愈近,白色絮状物愈密集。而后,絮状物的密度不再改变。可以说,晶体中透明皮质组织在高功率 YAG 激光作用下的乳化过程中存在两种形式,即瞬时反应和延迟反应,而且这两种反应并无明显的分界。但可以肯定延迟反应在激光作用一小时后终止。

4 讨 论

Nd: YAG 激光对晶体中透明皮质乳化是基于聚焦的高功率激光在透明皮质中产生光学击穿,继而形成等离子体和冲击波对组织作用的结果。我们认为在这种作用中,激光等离子体冲击波对眼组织的机械效应和等离子体闪光对眼组织的光化学效应同时存在。激光等离子体冲击波对眼组织的机械作用的主要表现是:在手术过程中出现气泡和产生瞬时乳化反应;等离子体闪光对眼组织的光化学作用表现为术后产生的延迟反应。

我们知道,作用于生物体的激光能量密度大于生物体的气化阈值时,生物组织就将被气化。由本文所给出的治疗激光能量和有关参数,结合我们报道过的实验装置和眼模型^[4]进行模拟实验,测得此时激光等离子体冲击波的起始速度达 $v = 10^3 \text{ m/s}$,继而可得到激光击射点处的等离子体冲击波对周围组织的压强为^[5]

$$P = I v / (v^2 / 2 + L + c \Delta T) = 68.9 \text{ MPa}$$

上式适用于生物组织,且式中: I 是作用于组织的激光功率密度; L 是组织的气化热(近似为 $2.26 \times 10^6 \text{ N/kg}$); c 是组织的比热,其值与生物组织的含水量有关^[5],对晶状体有 $c = 3.307 \text{ J/(g} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$); ΔT 是组织由激光作用前的温度上升到气化温度的温升($\sim 63 \text{ }^\circ\text{C}$)。上式的计算结果大于水的气化阈值 22 MPa,当然也大于透明皮质层的气化阈值(22 MPa)。因而,透明皮质层组织将在激光的作用下产生气泡。同样,在数值为大气压 689 倍的膨胀压作用下,透明皮质层中的细胞将被挤压、变形,改变了原来有序的微观结构,微观的无序又在宏观上表现为皮质的混浊。考虑到激光在透明皮质层中作用处近似为点状,因而由此点向外传播的冲击波强度与传播距离的平方成反比,所以离激光击射点愈近,晶体混浊愈明显。又因为激光作用于眼组织的时间很短(仅为 10^{-9} s),因而该过程可认为是绝热过程,借助于理想气体的绝热变化过程表达式可求到气泡的膨胀时间仅为 $10^2 \mu\text{s}$ 的数量级。而激光等离子体冲击波的扩展速度又达到 10^4 m/s ,由此可见,等离子体和冲击波对眼晶体透明皮质的机械作用过程是极短暂的,主要表现为瞬时反应。

激光在眼组织内产生等离子体时伴随有强烈的闪光。据我们实验测定,该闪光持续时间达

$10^2 \mu\text{s}$ 数量级;闪光处的温度达 10^5K ^[6]。眼组织吸收等离子体闪光的光能,将发生光致化学反应,且该化学反应遵循 Stark-Einstein 量子定律^[5],从而导致透明皮质组织中的蛋白变性和凝结。此反应过程从组织吸收光能到细胞结构改变并不是立即完成的,而具有一定的延迟时间,延迟时间的长短与组织吸收的光能有关。临床资料证实:眼组织产生延迟反应的时间与治疗激光的能量呈负相关。

当然,等离子体闪光处的局部温度达 10^5K ,也将不可避免地产生热化反应,具体表现亦是瞬时反应。但因眼晶体整体的温升极小,因而带来的影响可以忽略。

参 考 文 献

- 1 倪晓武等. 中华物理医学杂志, 1992, 14(3): 159
- 2 夏小平. 国外医学眼科分册, 1992, 16, 28
- 3 孙心铨, 王燕琪. 实用眼科杂志, 1990, 8: 291
- 4 倪晓武等. 中国激光, 1993, 20(5): 383~386
- 5 倪晓武, 陆建等. 激光眼科手术作用机理与临床应用, 北京: 兵器工业出版社. 1993, 160~165, 117, 207~208
- 6 An-Zhi He *et al.*. *Proc. SPIE*, 1990, 1427: 117~121

Study of Physical Mechanism of Crystal Hyaline Cortex Emulsification with YAG Laser

Ni Xiaowu Lu Jian He Anzhi

(*Department of Applied Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210014*)

Li Yongnian

(*Department of Ophthalmology, Nanjing General Hospital of P. L. A., Nanjing 210002*)

Abstract 36 cases of crystal hyaline cortex emulsification operations for immature cataract with YAG laser are reported in this paper. According to the basic theory of interaction between laser and tissues, the mechanism of laser induced hyaline cortex emulsification in the operation is discussed, and it is put forward that the mechanical effect of laser plasma shock wave and photochemical effect of plasma flashing on eye tissues result in the crystal hyaline cortex tissue protein degeneration and coagulation.

Key words YAG laser, crystal, hyaline cortex, emulsification, cataract