

# 糖尿病黄斑症に対する半波長 Nd: YAG レーザー, クリプトンレーザー, 半導体レーザー局所網膜 光凝固術の安全性・有効性の比較検討

奥山美智子<sup>1)</sup>, 沖坂 重邦<sup>1)</sup>, 伊東 正雄<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>防衛医科大学校眼科学教室, <sup>2)</sup>伊東眼科クリニック

## 要 約

糖尿病黄斑症(福田分類 AI, AII, BI, BII) 13 症例 26 眼に対し, 片眼に半波長 Nd: YAG レーザー (6 眼) またはクリプトンレーザー (7 眼), 他眼に半導体レーザー (13 眼) による局所網膜光凝固を行った。A 群では半波長 Nd: YAG レーザーと半導体レーザー, B 群ではクリプトンレーザーと半導体レーザーを用いた。視力, 眼底所見, 蛍光眼底造影, 視野(オクトパス視野計) 検査を, 光凝固前, 1 か月後, 3 か月後, 6 か月後に行い, 視機能の経過を観察した。光凝固後の視力はすべてのレーザー群で安定していた。中心 30° 網膜感度は, 半波長 Nd: YAG レーザー, クリプトンレーザーに比較し

て, 半導体レーザーで低下した例がみられた。視力, 視野の保持と使いやすさの点からクリプトンレーザーが最もよく, 次に半波長 Nd: YAG レーザーであった。半導体レーザー凝固直後の凝固斑は 1 時間後のものより弱く, 適正凝固を行うのが困難であった。(日眼会誌 99: 87-92, 1995)

キーワード: 糖尿病黄斑症, 局所網膜光凝固, 半波長 Nd: YAG レーザー, クリプトンレーザー, 半導体レーザー

## Comparative Study on Frequency-doubled Nd: YAG Laser, Krypton Laser and Diode Laser Photocoagulation for Diabetic Maculopathy

Michiko Okuyama<sup>1)</sup>, Shigekuni Okisaka<sup>1)</sup> and Masao Ito<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Ophthalmology, National Defense Medical College

<sup>2)</sup>Ito Eye Clinic

## Abstract

Twenty six eyes of thirteen patients with diabetic maculopathy (Fukuda's classification AI, AII, BI) were treated with frequency-doubled Nd: YAG laser (6 eyes) or krypton laser (7 eyes) in one eye and diode laser (13 eyes) in the other eye. Group A was treated with frequency-doubled Nd: YAG laser and diode laser, and group B was treated with krypton laser and diode laser. The visual acuity, visual field (Octopus program 31) and fundus were examined at one month, 3 months, and 6 months after photocoagulation. Visual acuity was stable in all eyes. The central 30° visual sensitivity decreased more after diode laser treatment than after that of the other

lasers. Krypton laser photocoagulation maintained the better visual function and was easy to use followed by frequency-doubled Nd: YAG laser. Because the appearance immediately after diode laser lesion was weaker than one hour after coagulation, it was difficult to get the proper power setting. (J Jpn Ophthalmol Soc 99: 87-92, 1995)

Key words: Diabetic maculopathy, Focal laser photocoagulation, Frequency doubled Nd: YAG laser, Krypton laser, Diode laser

別刷請求先: 359 埼玉県所沢市並木 3-2 防衛医科大学校眼科学教室 奥山美智子  
(平成 6 年 4 月 18 日受付, 平成 6 年 8 月 8 日改訂受理)

Reprint requests to: Michiko Okuyama, M.D. Department of Ophthalmology, National Defense Medical College,  
3-2 Namiki, Tokorozawa-shi, Saitama-ken 359, Japan

(Received April 18, 1994 and accepted in revised form August 8, 1994)

I 緒言

糖尿病網膜症に対するレーザー治療には種々なレーザーが用いられている。色素レーザーは波長を選択でき、網膜の病態に応じて波長を選べる利点がある<sup>1)2)</sup>ので多くの施設で利用されているが、アルゴンレーザー、クリプトンレーザーもかなりの施設で使用されている。各種のレーザー光凝固の糖尿病網膜症患者の視力、眼底に及ぼす影響を比較検討したのものとして、アルゴンレーザー、クリプトンレーザーの比較を行った研究は Marshal<sup>3)</sup>、Olk<sup>4)5)</sup>と Casswell<sup>6)</sup>、岡野<sup>7)</sup>、野崎<sup>8)</sup>によって行われている。アルゴンレーザーとクリプトンレーザーの間には差はないとしている報告<sup>4)~6)</sup>、クリプトンレーザーの方が術後の網膜の状態改善には有効であるとする報告<sup>7)8)</sup>が発表されている。半導体レーザーは800nmの波長を有し、網膜より脈絡膜に凝固が強く出るが、弱度凝固であれば脈絡膜血管層の凝固は軽度であるので、糖

尿病網膜症の治療に試用されてきている<sup>9)~14)</sup>。半波長Nd:YAGレーザーの波長532nmは、アルゴンレーザー488nmより長く、色素レーザー575nmより短いため、網膜色素上皮、脈絡膜やヘモグロビンに吸収がよく、キサントフィルに吸収されないなどの利点があり、種々の眼底疾患の治療に用いられる可能性がある<sup>15)16)</sup>。

著者らは、糖尿病黄斑症に対し片眼にクリプトンレーザーまたは半波長Nd:YAGレーザー、他眼に半導体レーザーによる局所光凝固を行った。視力、視野、眼底所見について比較検討を行い、若干の知見を得たので報告する。

II 対象と方法

対象は、防衛医科大学校附属病院眼科に通院中の糖尿病網膜症患者13例26眼で、病期は福田分類AI, AII, BIで、黄斑部に限局性浮腫を認めたもので、両眼同程度の網膜症を有するものである。これを2群に分け、A群

表1 全症例の年齢、糖尿病罹病期間、術前、後視力、術前、後眼底、術前、後の中心窩網膜感度、術前、後の中心30°網膜感度 total loss

A群：半波長Nd:YAGレーザー（右眼）・半導体レーザー（左眼）比較群

| 症例番号 | 年齢(歳) | 糖尿病罹病期間(年) | 術前視力   | 術後視力  | 術前眼底 | 術後眼底 | 中心窩網膜感度変化(dB) | 30度網膜感度 total loss 変化(dB) |
|------|-------|------------|--------|-------|------|------|---------------|---------------------------|
| 1    | 43    | 13         | 右(1.2) | (1.2) | A 2  | A 2  | 36 → 33       | -16 → -16                 |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.2) | A 2  | A 2  | 33 → 33       | -17 → -54                 |
| 2    | 58    | 22         | 右(1.2) | (1.0) | B 1  | A 2  | 31 → 33       | -17 → -12                 |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.0) | A 2  | A 2  | 31 → 34       | 0 → 0                     |
| 3    | 57    | 6          | 右(1.2) | (1.0) | B 1  | B 1  | 32 → 34       | -160 → -38                |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.2) | B 1  | B 1  | 33 → 33       | -44 → -128                |
| 4    | 69    | 10         | 右(1.0) | (1.2) | A 2  | A 2  | 33 → 32       | -17 → -12                 |
|      |       |            | 左(0.8) | (0.7) | A 2  | A 2  | 32 → 30       | -5 → -172                 |
| 5    | 47    | 10         | 右(1.2) | (1.2) | A 2  | A 2  | 33 → 30       | -46 → -50                 |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.2) | A 2  | A 2  | 33 → 31       | -41 → -166                |
| 6    | 35    | 1          | 右(1.2) | (1.5) | A 2  | A 2  | 39 → 34       | -10 → -193                |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.2) | A 2  | A 2  | 32 → 35       | -5 → -299                 |

(注1) →は術前から術後6か月の変化を示す。

(注2) Total loss の-は standard deviation との差を意味する。

B群：クリプトンレーザー（左眼）・半導体レーザー（右眼）比較群

| 症例番号 | 年齢(歳) | 糖尿病罹病期間(年) | 術前視力   | 術後視力   | 術前眼底 | 術後眼底 | 中心窩網膜感度変化(dB) | 30度網膜感度 total loss 変化(dB) |
|------|-------|------------|--------|--------|------|------|---------------|---------------------------|
| 7    | 56    | 8          | 右(1.2) | (1.5)  | A 1  | A 1  | 34 → 33       | -100 → -212               |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.2)  | A 1  | A 1  | 34 → 34       | -28 → -53                 |
| 8    | 56    | 4          | 右(0.8) | (0.6)  | B 1  | B 1  | 33 → 33       | -41 → -90                 |
|      |       |            | 左(0.6) | 0.5.0) | B 1  | B 1  | 33 → 32       | -47 → -49                 |
| 9    | 49    | 10         | 右(1.2) | (1.2)  | B 1  | B 1  | 25 → 26       | -27 → -34                 |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.2)  | B 1  | B 1  | 32 → 32       | -60 → -65                 |
| 10   | 42    | 8          | 右(1.2) | (1.0)  | B 1  | B 1  | 33 → 32       | -0 → -44                  |
|      |       |            | 左(1.0) | (1.0)  | B 1  | B 2  | 32 → 32       | -6 → -10                  |
| 11   | 46    | 3          | 右(1.2) | (1.0)  | A 2  | A 2  | 36 → 34       | -58 → -123                |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.0)  | A 2  | A 2  | 37 → 34       | -193 → -317               |
| 12   | 74    | 15         | 右(1.0) | (0.8)  | A 2  | A 2  | 26 → 31       | -389 → -331               |
|      |       |            | 左(1.0) | (1.0)  | A 2  | A 2  | 30 → 32       | -83 → -83                 |
| 13   | 57    | 12         | 右(1.2) | (1.2)  | A 2  | A 2  | 31 → 31       | -263 → -39                |
|      |       |            | 左(1.2) | (1.2)  | A 2  | A 2  | 32 → 35       | -142 → -0                 |

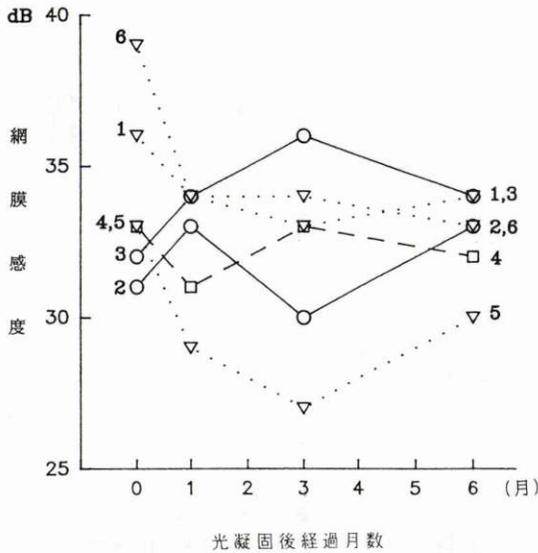


図1 A群：半波長Nd:YAGレーザー光凝固後の中心窩の網膜感度の経過。  
丸：改善(2) 四角：不変(1) 三角：悪化(3)

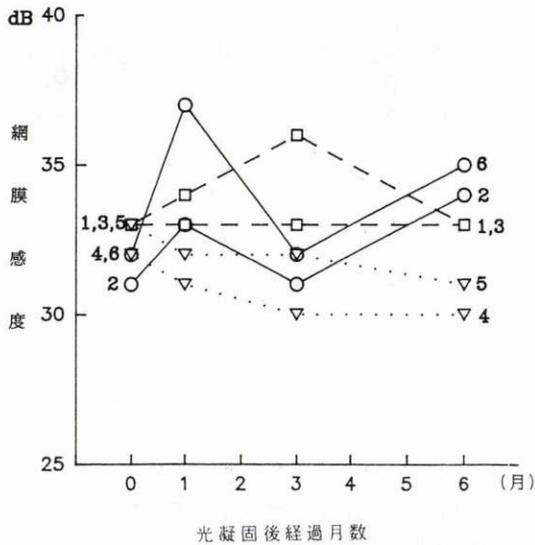


図2 A群：半導体レーザー光凝固後の中心窩の網膜感度の経過。  
丸：改善(2) 四角：不変(2) 三角：悪化(2)

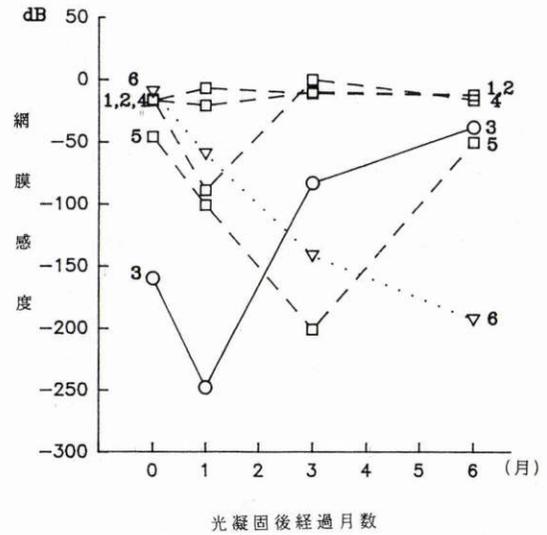


図3 A群：半波長Nd:YAGレーザー光凝固後中心30°網膜感度total lossの経過。  
丸：改善(1) 四角：不変(4) 三角：悪化(1)

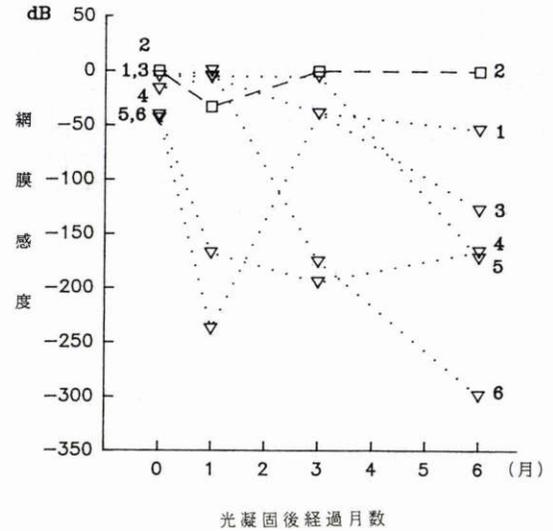


図4 A群：半導体レーザー光凝固後中心30°の網膜感度total lossの経過。  
四角：不変(1) 三角：悪化(5)

は片眼に半波長Nd:YAGレーザー、他眼に半導体レーザーを用い、B群は片眼にクリプトンレーザー、他眼に半導体レーザーを用いた。インフォームドコンセントとして光凝固術前に患者に光凝固の必要性和、著者らの行った形態学的研究に基づいて、右眼と左眼に異なる波長のレーザーを用いても同様の効果が期待できることを説明し同意を得た。A群は6例、男性5例、女性1例、年齢35~69歳まで平均年齢51.5歳で、B群は年齢42~74歳まで7例、男性3例、女性4例、平均年齢54.2歳である。矯正視力は0.6~1.5であった(表1a, 1b)。局所光凝固の方法はETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group) 第2報<sup>17)</sup>に従

い蛍光眼底造影で蛍光漏出部位や毛細血管瘤への直接凝固、また網膜内細小血管異常や細小血管新生への直接凝固を弱度で行った。光凝固の追加は蛍光眼底造影の結果で、ETDRS 第3報<sup>18)</sup>、第7報<sup>19)</sup>、第9報<sup>20)</sup>の方法で蛍光漏出部位や無血管領域に散布凝固、局所凝固、病巣凝固を行った。光凝固後30分~1時間で、凝固径に一致した薄い白色凝固斑の得られる状態を弱度凝固とした。凝固条件は半波長Nd:YAGレーザーでは、凝固径75~200μm、凝固時間0.1~0.2秒、凝固出力100~200mV、クリプトンレーザーでは、凝固径60~200μm、凝固時間0.2秒、凝固出力50~200mW、半導体レーザーでは、凝固径75~200μm、凝固時間0.2秒、凝固出力170~500mWで光凝固を行った。矯正視力、眼底写真、蛍光眼底

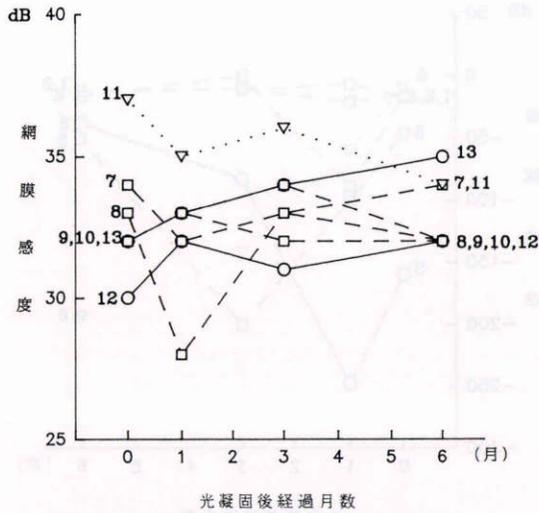


図5 B群：クリプトンレーザー光凝固後の中心窩の網膜感度の経過。  
丸：改善(2) 四角：不変(4) 三角：悪化(1)

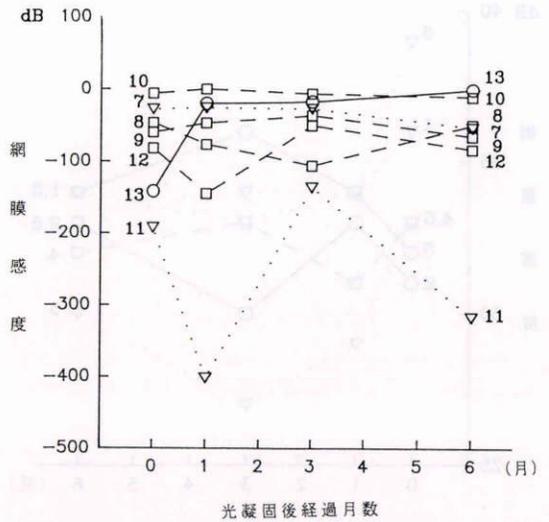


図7 B群：クリプトンレーザー光凝固後中心30°網膜感度 total loss の経過。  
丸：改善(1) 四角：不変(4) 三角：悪化(2)

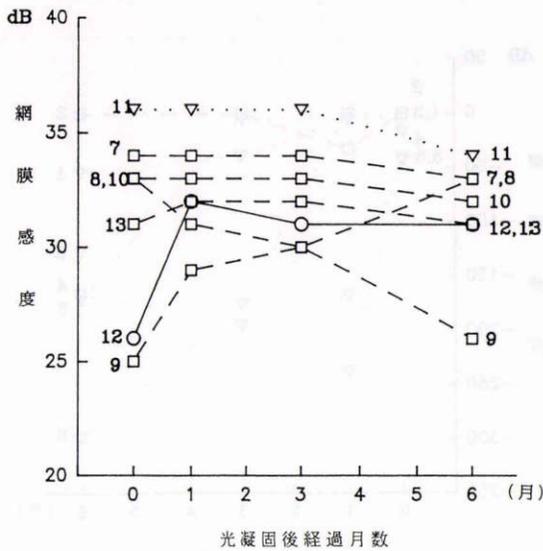


図6 B群：半導体レーザー光凝固後の中心窩網膜感度の経過。  
丸：改善(1) 四角：不変(5) 三角：悪化(1)

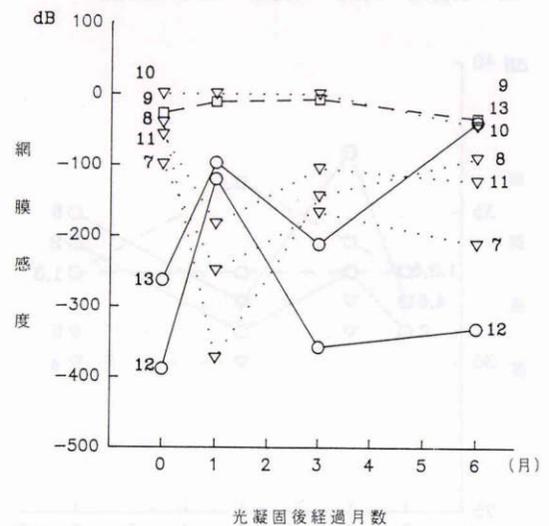


図8 B群：半導体レーザー光凝固後中心30°網膜感度 total loss の経過。  
丸：改善(2) 四角：不変(1) 三角：悪化(4)

造影，静的視野検査（オクトパス：プログラム 31）を術前，術後1か月，3か月，6か月に行った。視力の評価は視力表で2段階以上の変化を改善または悪化とした。網膜症の程度は，眼底写真，蛍光眼底造影をもとに福田分類で評価した。視野の評価は中心感度と total loss を測定し，中心感度は2段階以上の変化を，total loss は30 dB 以上の変化を改善または悪化とした。

### III 結果

経過中の視力の変化は全症例において認められなかった。A群における中心窩網膜感度は半波長 Nd: YAG レーザーでは改善2眼，不変1眼，悪化3眼(図1)，半導体レーザーでは改善2眼，不変2眼，悪化2眼であった(図2)。中心30°の網膜感度の total loss は半波長 Nd:

YAG レーザーで改善1眼，不変4眼，悪化1眼(図3)，半導体レーザーで不変1眼，悪化5眼であった(図4)。B群における中心窩網膜感度はクリプトンレーザーでは改善2眼，不変4眼，悪化1眼(図5)，半導体レーザーでは改善1眼，不変5眼，悪化1眼(図6)であった。中心30°網膜感度の total loss はクリプトンレーザーでは改善1眼，不変4眼，悪化2眼(図7)，半導体レーザーでは改善2眼，不変1眼，悪化4眼(図8)であった。A群における網膜症の程度変化は，不変11眼，改善1眼であった。不変 AII → AII は半波長 Nd: YAG レーザー4眼，半導体レーザー5眼，BI → BI は半波長 Nd: YAG レーザー1眼，半導体レーザー1眼であった。半波長 Nd: YAG レーザーで BI → AII に改善した1眼が認められた(表2)。B群では眼底所見は全例不変であった。

AI → AI はクリプトンレーザー 1 眼, 半導体レーザー 1 眼, AII → AII はクリプトンレーザー 3 眼, 半導体レーザー 3 眼, BII → BII はクリプトンレーザー 3 眼, 半導体レーザー 3 眼であった (表 2)。

中心網膜感度の術前の平均値は, 半波長 Nd: YAG レーザー +34.0 (±1.2) dB, クリプトンレーザー +32.9 (±0.8) dB, 半導体レーザー +31.7 (±0.8) dB, 術後 6 か月の平均値は半波長 Nd: YAG レーザー +32.7 (±0.6) dB, クリプトンレーザー ±33.3 (±0.4) dB, 半導体レーザー +32.0 (±0.6) dB であった。Total loss の術前平均値は半波長 Nd: YAG レーザー -44.3 (±23.7) dB, クリプトンレーザー -78.9 (±25.2) dB, 半導体レーザー -76.0 (±32.0) dB, 術後 6 か月後の平均値は半波長 Nd: YAG レーザー -53.5 (±28.6) dB, クリプトンレーザー -88.3 (±40.2) dB, 半導体レーザー -130.0 (±28.0) dB であった。

#### IV 考 按

糖尿病網膜症光凝固の効果判定として, これまでレーザーの種類にある比較を行った研究は多数報告されてきた<sup>10)~13)</sup>。アルゴンレーザーとクリプトンレーザーの比較では ETRS 報告と Olk ら<sup>4)</sup>の研究では差はないとしている。しかし, 当教室の野崎ら<sup>8)</sup>の報告ではクリプトンレーザーの方が有効と報告した。Brancato ら<sup>9)</sup>はアルゴンレーザーと半導体レーザーの増殖型糖尿病網膜症に対する光凝固では, 半導体レーザーは有効ではないと報告した。彼らの報告ではアルゴンレーザーの方に視力の上昇した例があり (7.6%), 新生血管の消退した例が半導体レーザーで 69.2%, アルゴンレーザーで 53.8% であり, また, 半導体レーザーでは角膜障害や, 硝子体出血, 脈絡膜剥離などの合併症があり, 眼痛の訴えも多かったと報告した。本報告において, 視力の維持と中心部網膜感度の維持については, 半波長 Nd: YAG レーザー, クリプトンレーザー, 半導体レーザーにおいて差は見られなかった。中心網膜感度と total loss について各レーザー間で t 検定を行ったが有意差はなかった。中心 30° 網膜感度の低下は半波長 Nd: YAG レーザーでは 6 眼中 1 眼 (16.7%), クリプトンレーザーでは 7 眼中 2 眼 (28.6%) であるのに, 半導体レーザーでは 13 眼中 9 眼 (69.2%) と悪化した例が多かった。各レーザー間で統計学的には有意差が得られなかったが, 半導体レーザー治療群に悪化した例が見られたことから, これらの症例には半導体レーザー凝固による網膜障害が惹起されたものと考えられる。

組織学的には弱度凝固であれば, 色素レーザー, クリプトンレーザー, 半導体レーザーの網膜凝固部位は網膜外層から網膜色素上皮細胞であるが, 中等度凝固以上になれば網膜中～内層まで障害が及ぶ。脈絡膜の凝固部位は色素レーザー, クリプトンレーザーでは弱度, 中等度

とも脈絡膜内層にとどまる。これに反し, 半導体レーザーの弱度凝固では脈絡膜内層が凝固されるが, 中等度になると脈絡膜全層に凝固が及ぶ<sup>8)21)</sup>。本研究では半導体レーザーの凝固程度は弱度を目標として行ったが, 中心 30° の網膜感度の低下が生じたことから, 中等度凝固になった場合もかなりあったものと考えられる。これは可視光レーザー凝固における凝固直後の検眼鏡所見と組織所見はよく一致するが, 半導体レーザー凝固における凝固直後の検眼鏡所見は組織所見より弱く出る (凝固直後はほとんど凝固斑が出ない程度であるが, 30 分～1 時間後に弱度凝固斑が得られる) ことによると考えられる。

三者のレーザーの中でその使いやすさは, 水晶体混濁があっても凝固しやすく眼透過性の優れているクリプトンレーザーが最も良好で, また, 浮腫の強い網膜でも凝固が容易にできた。半波長 Nd: YAG レーザーは網膜浮腫が軽度であれば適正凝固を行いやすかった。半導体レーザーと半波長 Nd: YAG レーザー光凝固では網膜の浮腫が強い場合には適正凝固を行うのが難しくかなり, 凝固出力を強くする必要があった。

本研究では, 半導体レーザー光凝固は網膜感度の低下を惹起しやすかったが, クリプトンレーザーは使いやすく, 網膜感度の維持のためには優れていた。

#### 文 献

- 1) 野寄喜美春, 千代田和正, 天野清範: Dye laser 光凝固について. 眼科 30: 431-437, 1988.
- 2) 千代田和正, 神鳥英世, 原 和彦, 野寄喜美春: 色素レーザーによる光凝固. 臨眼 42: 337-342, 1988.
- 3) Marshall J, Bird AC: A comparative histopathological study of argon and krypton laser irradiations of human retina. Br J Ophthalmol 63: 657-668, 1979.
- 4) Olk RJ: Modified grid argon (blue-green) laser photocoagulation for diffuse diabetic macular edema. Ophthalmology 93: 937-950, 1986.
- 5) Olk RJ: Argon green (514nm) versus krypton (647nm) modified grid laser photocoagulation for diffuse diabetic macula edema. Ophthalmology 97: 1101-1113, 1990.
- 6) Casswell AG, Canning CR, Gregor ZJ: Treatment of diffuse diabetic macular edema: A comparison between argon and krypton lasers. Eye 4: 668-672, 1990.
- 7) 岡野 正, 米谷 新, 村岡兼光, 岸 章治, 沼賀哲郎: 糖尿病網膜症に対するクリプトンとアルゴンレーザー光凝固の比較. 臨眼 39: 439-443, 1985.
- 8) 野崎いづみ, 横谷 智, 伊東正雄, 沖坂重邦: 糖尿病黄斑症に対するアルゴン及びクリプトンレーザー局所光凝固の黄斑部視機能に及ぼす影響. 眼科 33: 1581-1584, 1991.
- 9) Brancato R, Brandello F, Trabuchi G, Leoni G, Lattanzio R: Argon and diode laser photocoagulation in proliferative diabetic retinopathy: A preliminary report. Laser Light Ophthalmol 3: 233-237, 1990.

- 10) **Noyori K, Noyori S, Ohki R**: Clinical trial of a diode laser photocoagulation. A preliminary report. *Laser Light Ophthalmol* 3: 81-87, 1990.
- 11) **McHugh JDA, Marshall J, Ffytche TJ, Hamilton AM, Raven A, Keeler CR**: Initial clinical experience using a diode laser in the treatment of retinal vascular disease. *Eye* 3: 516-527, 1989.
- 12) **野寄 忍, 齊藤民也, 小倉 修, 大木隆太郎, 野寄喜美春**: 半導体レーザー径瞳孔網膜光凝固の臨床成績. *臨眼* 46: 771-777, 1992.
- 13) **日下俊次, 今居寅男, 坂上憲史, 張 国中, 中江一人, 池田恒彦, 他**: 半導体レーザーによる眼内光凝固療法. *眼科* 31: 1557-1560, 1989.
- 14) **沖坂重邦**: 眼底疾患とレーザー光凝固. *日本の眼科* 61: 1149-1162, 1990.
- 15) **日下俊次, 生島 操, 中江一人, 細谷比左志, 池田恒彦, 田野保雄**: グリーン Nd:YAG レーザーの使用経験. *あたらしい眼科* 6: 1751-1754, 1989.
- 16) **尾花 明, 三木徳彦, 松本宗明, 大塚 尚, 森脇光康, 加茂雅明, 他**: 半波長 Nd:YAG レーザーによる網脈絡膜光凝固の実験的および臨床的研究. *日眼会誌* 97: 1040-1046, 1993.
- 17) **Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Group**: Treatment techniques and clinical guidelines for photocoagulation of diabetic macular edema: Early treatment diabetic retinopathy study report No. 2. *Ophthalmology*, 94: 761-774, 1987.
- 18) **Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Group**: Techniques for scatter and local photocoagulation treatment of diabetic retinopathy: Early treatment diabetic retinopathy study report No. 3. *Int Ophthalmol Cl* 27: 254-264, 1987.
- 19) **Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Group**: Early treatment diabetic retinopathy study design and baseline patient characteristics: ETDRS Report No. 7. *Ophthalmology* 98: 741-756, 1991.
- 20) **Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Group**: Early photocoagulation for diabetic retinopathy: ETDRS Report No. 9. *Ophthalmology* 98: 766-785, 1991.
- 21) **Luck K, Steinmets M, El-Hifnawi E, Mehdorn E, Laqua H**: Diode laser retinal endo photocoagulation. *Laser Light Ophthalmol* 3: 167-172, 1990.