

経瞳孔温熱療法のレーザー光学系の改良と光量の測定

本田 美樹, 溝田 淳, 田中 稔

順天堂大学医学部附属順天堂浦安病院

要 約

目 的：脈絡膜新生血管(CNV)に対する経瞳孔温熱療法(TTT)の最も重篤な合併症は凝固など必要以上の温熱効果であるが、早期に気付くためには照射中の眼底の視認性が重要である。ハーフミラーを用いている現行の光学系では通常の網膜光凝固より眼底が暗く観察され、凝固が早期に気が付きにくいため、レーザー光学系の改良を試み、現行の光学系との比較検討を行う。

方 法：TTTの現行の光学系で使用されているハーフミラーの代わりに、分割ミラーを採用し、照明光量の測定を行い、眼底を比較観察した。

結 果：TTTのレーザー光学系にスリットランプ照

明光分割ミラーを採用したことにより照明光が増加し、眼底を明るく明瞭に観察することができ、視認性も向上し安全な照射が可能となった。

結 論：現行のTTTの光学系を改良することにより、さらに安全確実な効果が期待でき、本治療の適応となるCNVの治療に有用であると思われる。(日眼会誌 111: 594-597, 2007)

キーワード：経瞳孔温熱療法, 脈絡膜新生血管, 半導体レーザー

Improvement of Optical System for Better Visibility and Intensity of Radiation During Transpupillary Thermotherapy

Miki Honda, Atsushi Mizota and Minoru Tanaka

Juntendo University Urayasu Hospital

Abstract

Purpose : Coagulation is the most serious complication of transpupillary thermotherapy (TTT) for choroidal neovascularization (CNV). To detect coagulation quickly, it is important to have good visibility of the fundus during exposure. With the existing laser optical system using a half mirror, the fundus image is dim, and coagulation is difficult to detect. We have improved the laser optical system for TTT. The purpose of this study was to improve the optical system and to estimate the usefulness of our new system compared with the current optical system.

Method : We exchanged the half mirror used in the existing TTT optical system to a split mirror. The illumination intensities were measured and the

visibility of fundus images were compared.

Results : Illumination intensity was increased by means of the split mirror of the slit-lamp for the TTT laser optical system. The fundus image became brighter and clearer.

Conclusions : Improvement of the optical system was useful for safe and effective treatment of cases of CNV with an indication for TTT.

Nippon Ganka Gakkai Zasshi (J Jpn Ophthalmol Soc 111 : 594-597, 2007)

Key words : Transpupillary thermotherapy, Choroidal neovascularization, Diode laser

I 緒 言

脈絡膜新生血管(choroidal neovascularization, 以下 CNV)に対する経瞳孔温熱療法(transpupillary ther-

motherapy, 以下 TTT)は、1999 年に Reichel ら¹⁾によって報告されて以来、加齢黄斑変性(age-related macular degeneration, 以下 AMD)あるいはポリープ状脈絡膜血管症(polypoidal choroidal vasculopathy,

別刷請求先：279-0021 浦安市富岡 2-1-1 順天堂大学医学部附属順天堂浦安病院 本田 美樹

(平成 18 年 8 月 7 日受付, 平成 19 年 2 月 19 日改訂受理) E-mail: mikihonda@h4.dion.ne.jp

Reprint requests to: Miki Honda, M.D. Department of Ophthalmology, Juntendo University Urayasu Hospital, 2-1-1 Tomioka Urayasu-shi 279-0021, Japan

(Received August 7, 2006 and accepted in revised form February 19, 2007)

以下 PCV) の中心窩病変に対し試みられている。TTT は、810 nm 赤外線半導体レーザーを低エネルギー密度で長時間照射することで治療直後の組織破壊を防ぐ (subthreshold 治療)²⁾とされているが、出力条件が適切でないと従来のレーザー光凝固と同様、組織破壊や壊死を来す合併症、過剰凝固を起こす可能性がある³⁾⁴⁾。しかしながら、TTT の適切な照射条件は未だ定められていない。

過剰凝固を防ぐには、施行照射中の眼底のわずかな色調の変化に気付くことが重要であるが、ハーフミラーを用いている現行のレーザー光学系では、以下の 3 段階の要素で眼底が暗く観察される。①術者が安全フィルターを通して眼底を見ていること。②スリットランプ照明光がレーザー光ハーフミラーを通過すること。③観察光がハーフミラーを通過すること、である。

今回著者らは、ハーフミラーの代わりにスリットランプ照明光分割ミラーを採用することにより、上記②、③の要素は改善され、通常の網膜光凝固に近い観察が行えたので報告する。

II 方 法

レーザー光凝固装置本体は波長 810 nm の半導体レーザー光凝固装置 (SLx, IRIDEX Corporation 社製) を使用した。図 1 に改良前後のレーザー光学系を真横から見たシェーマを示す。改良前のレーザー光学系では、術者はレーザー光ハーフミラーを介して眼底を照明し、再びレーザー光ハーフミラーを介して眼底を観察しているが、改良レーザー光学系ではスリットランプ照明光分割ミラーとレーザー光ミラーを用いることにより、照明光がハーフミラーを通過することなく、かつ眼底観察もハーフミラーを通過することなく行えるようにした。光量の測定は光パワーメータ (アドバンテス社 TQ 82017, 日本) を使用した。スポットサイズ直径 3.5 mm, 観察倍率 12 倍, 光量はスリットランプの最大光量とし、光パワーメータの測定波長は可視光の代表として 560 nm, 可視光両端の 400 nm, 700 nm の 3 種で測定した。アゴ台にテープを渡して白い紙を貼り、ジョイスティックでピントを合わせ、スリットランプの直径

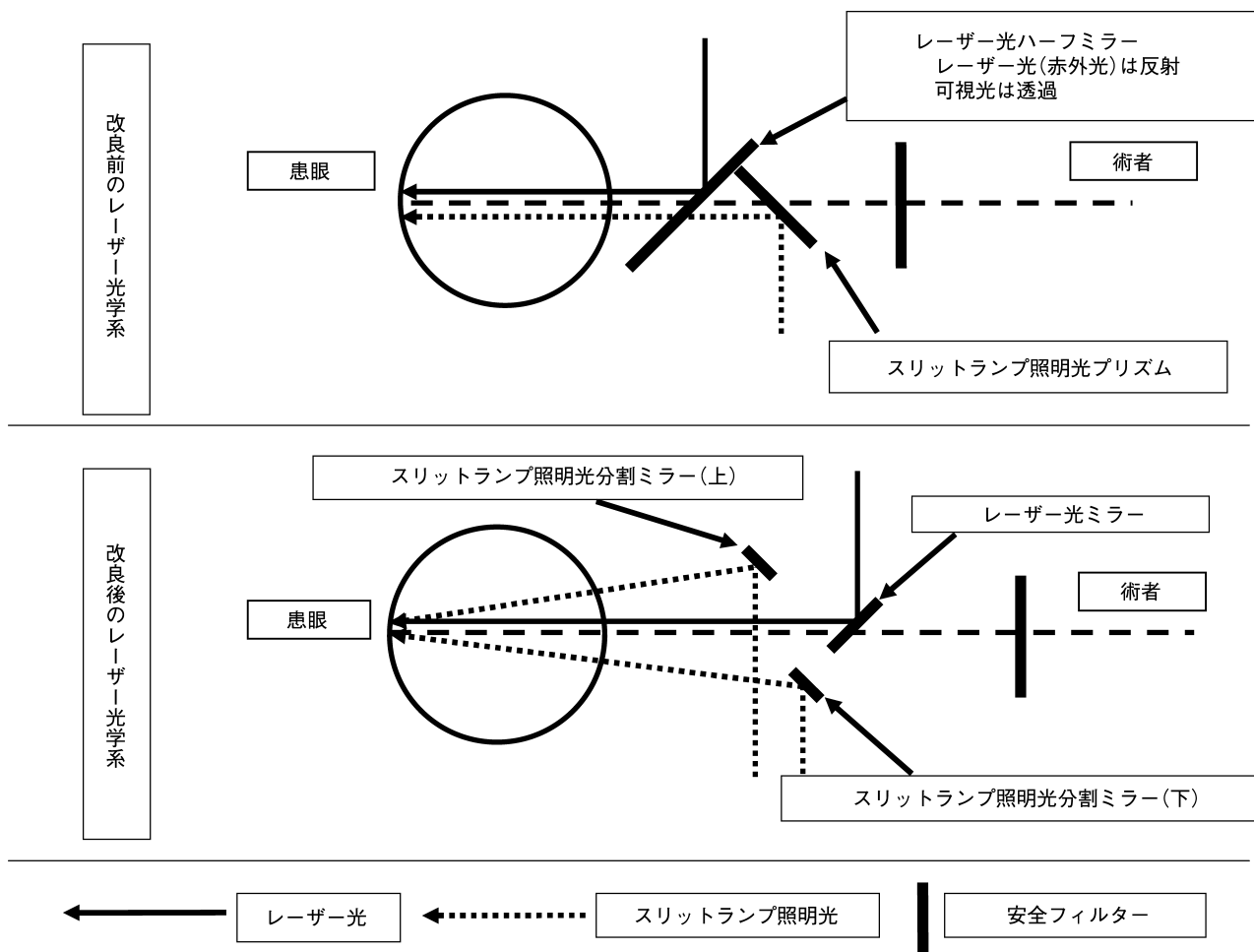


図 1 改良前後のレーザー光学系を真横から見た図。
 現行の光学系(上段)．照明光，観察光，ともにハーフミラーを通過する。
 分割ミラーを用いた改良光学系(下段)．レーザーミラーは術者の眉間にあり，術者の視界には入らない。

表 1 光量測定結果

測定波長	現行仕様 SLALS			改良仕様 SLALS			
	観察光(μ W)		照明光(mW)	測定波長	観察光(μ W)		照明光(mW)
	右	左			右	左	
400 nm	14.909	12.153	5.947	400 nm	14.380	11.714	11.286
560 nm	7.564	6.083	3.046	560 nm	7.591	6.082	5.812
700 nm	5.938	4.486	2.297	700 nm	5.632	4.514	4.261

SLALS : SLx, IRIDEX Corporation 社製

測定を 3 回行い、平均値を測定結果とした。測定波長 560 nm では照明光の光パワーは改良前 3.05 mW, 改良後 5.81 mW で、光量は 1.9 倍に改善された。観察光の光パワーは改良前後で変化がなかった。

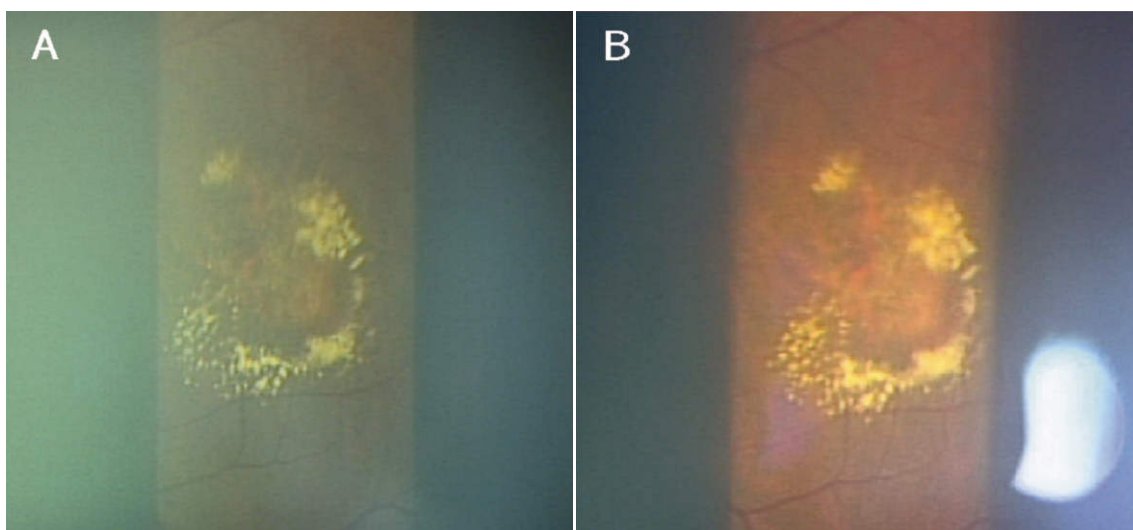


図 2 眼底の比較。

改良前(A)では眼底の色調が全体に黄色がかって見え、病変の境界は不明瞭で、病変内の状態の観察が困難なのに対して、改良後(B)では、眼底の色調は明るく、硬性白斑内部の血管の状態が明瞭に観察された。

3.5 mm の円で白い紙を照明し、観察光と照明光を測定した。眼底の撮影には 3 CCD カメラ “THD-341 F” (池上通信社製、日本)を使用した。

III 結 果

表 1 に光量の測定結果を示す。測定を 3 回行い、平均値を測定結果とした。測定波長 560 nm では照明光の光パワーは改良前 3.05 mW, 改良後 5.81 mW で、約 1.9 倍に改善された。観察光の光パワーは改良前後で変化がなかった。

図 2 に病変の観察で比較検討した一例を示す。改良前では眼底の色調が全体に黄色がかって見え、病変の境界は不明瞭で、病変内の状態が観察困難なのに対して、改良後では、眼底の色調は明るく、硬性白斑内部の血管の状態が明瞭に観察された。実際の観察照射時、改良後のレーザーミラーは術者の眉間にあるため、術野を妨げることはなかった。Alignment についても従来のシステムと同様に問題はなかった。瞳孔径は 4 mm 以上であれば治療可能で、白内障の有無については、眼底の観察

が可能であれば照射には問題がなかった。網膜光毒性が危惧されたが照明光は従来の方同様であり、毒性はないと思われた。照射時、視認性が改善されたため、ごくわずかな色調の変化を確認できた。

IV 考 按

TTT は、810 nm 赤外線半導体レーザーを低エネルギー密度で長時間照射することで治療直後の組織破壊を来さない(subthreshold 治療)²⁾とされているが、至適な出力条件で施行されなかった場合、組織破壊や壊死を来す過剰凝固を起こす可能性がある。この過剰凝固は TTT の合併症の中で最も重篤なものであり、照射中の眼底の色調の観察が重要である。1 回の照射時間である 60 秒の間眼底の色調に少しでも変化を生じた場合照射を中止することとされているが、改良前のレーザー光学系では照射部位の色調の変化を早期に気付くことは困難であると思われる。

改良前のレーザー光学系は、構造が簡単で、光線力学療法(PDT)用のレーザーにも採用されているシステム

である。それに対し、改良レーザー光学系は、古くから一般のレーザー網膜光凝固装置に多用されているものと構造的に同じものであり、明るく眼底を観察するシステムとしては長い歴史と実績をもつ完成されたものである。今回、著者らは眼底を詳細に観察するシステムとして最も優れたレーザー網膜光凝固光学系を TTT に採用した。

TTT の光学系改良には、治療光の波長である 810 nm 付近のみを反射し、他の波長は透過するような光透過特性を有するハーフミラーを採用する方法もある。810 nm のみを反射させるハーフミラーを採用することにより、同じ方式でありながら、視認性が飛躍的に向上すると予測される。TTT の光学系において分割ミラーの採用、またはハーフミラーの改善が必要と考えるが、後者は製品コストに問題が生じるため、著者らは前者を採用した。

今回の光学系の改良では分割ミラーは照明系のみで、レーザー光のビームプロファイルは不変である。また、TTT の場合黄斑部に局限して照明するため、分割ミラーにより上下に分割されたスリット光束はほぼ直進し歪みがほとんどなく、眼底で一致すると考えられる。

2004 年に PDT に用いられた光感受性物質 (verteporfin) が認可されて以来、それ以前 TTT が適用されていた AMD、PCV のほとんどに PDT が適応とされるようになってきた。しかし、PDT は適応基準を厳しく制限し開始された治療であり、TTT に代わる治療ではないと考えられる。

半導体レーザーの安全フィルターは波長 810 nm の近赤外光をカットするため、可視光透過率が高く、フィルターにはほとんど色がなく視認性への影響は少ない。現

在認可されている PDT では照射中の眼底はさらに暗く観察されるが、PDT 用のレーザーの波長は 690 nm と可視光領域にあるため、安全フィルターは青く、そのため眼底は暗く観察され、また色調が大きく変わる。よって今回の改良に採用した分割ミラーを用いて現在の PDT 用レーザーを改良したとしても今回のような改善はないものと推察される。

改良レーザー光学系を使用することにより、PDT の適応外の症例に対して、TTT を施行し、TTT の適切な照射出力条件を定める必要があると思われる。また著者らは、PDT 用のレーザーにおいても照射中の視認性の確保のためレーザー光学系の改良が必要であると考えている。

文 献

- 1) Reichel E, Berrocal AM, Ip M, Kroll AJ, Desai V, Duker JS, et al : Transpupillary thermotherapy of occult subfoveal choroidal neovascularization in patient with age-related macular degeneration. *Ophthalmology* 106 : 1908–1914, 1999.
- 2) Mainster MA, Reichel E : Transpupillary thermotherapy for age-related macular degeneration : long-pulse photocoagulation, apoptosis, and heat shock proteins. *Ophthalmic Surg Lasers* 31 : 359–373, 2000.
- 3) 松本容子, 湯沢美都子 : 経瞳孔温熱療法によって脈絡膜障害が生じた 3 例. *眼紀* 54 : 535–541, 2002.
- 4) 松本英孝, 飯田知弘, 佐藤 拓, 森本雅裕, 岸章治 : 経瞳孔温熱療法後に異なる経過をとったポリープ状脈絡膜血管症の 3 例. *臨眼* 57 : 763–767, 2003.