

レーザー光凝固時に生じる反射光の周囲環境に対する安全性

岡本 紀夫¹⁾, 張野 正誉²⁾, 斉藤 喜博²⁾, 小川 憲治²⁾¹⁾大阪通信病院眼科, ²⁾大阪大学医学部眼科学教室

要 約

スリットランプ型および双眼倒像鏡に組み込んだレーザー光凝固装置を用いて、光凝固治療時に発射されると想定される反射光を実測し、周囲環境に対する安全性を検討した。レーザーはアルゴン・グリーンレーザー（波長 514 nm）を使用し、光量の測定には Advantest 社の光パワーメーター（TQ 8210）を用いた。双眼倒像鏡型レーザーを用いた検討で、手術室を想定した白タイルの反射では、計算上 0.75 W のパワーのレーザーで、1 m の距離で 1986 年の American National Standard Institute の基準および日本の JIS 規格の安全基準（2.5 mW/cm²）を超えた。しかし、外来患者用のレーザー室内で、壁から 1 m の所では、反射光は安全基準より十分に低かった。一方、スリットランプ型レーザーでは、レーザーコーティングなしの Goldmann 三面鏡による反射光は、出力 0.3 W、測定距離 40 cm（術者の傍ら側視鏡の位置）の条件で 2.66 mW/cm² と安全基準を越えた。この光量が、レーザーコーティングされたレンズでは 1/7~1/10 となるので、周囲に対する安全性の面でも、コーティングのあるレンズの使用が推奨される。（日眼会誌 97：196-200, 1993）

キーワード：レーザー光凝固, 反射光, 周囲環境, 安全基準, レーザーコーティング・スリーミラー

Potential Laser Hazards to Bystanders during Photocoagulation

Norio Okamoto¹⁾, Seiyo Harino²⁾, Yoshihiro Saito²⁾and Kenji Ogawa²⁾¹⁾Eye Clinic, Osaka Teishin Hospital²⁾Department Of Ophthalmology, Osaka University Medical School

Abstract

The authors measured reflected laser beams delivered by slit-lamp photocoagulator and binocular indirect ophthalmoscope laser delivery systems, to evaluate potential hazards to the eyes of bystanders. 514 nm laser beams were used; reflected laser beams were measured by a light power meter (Advantest: TQ8210). Reflected lasers were found to be hazardous at 1 meter from whitish tile when a 0.75 Watt laser beam was delivered by the binocular ophthalmoscope laser system, as in an operating room. At 1 meter from a wall in a photocoagulating room for out-patients, the reflected laser beam was found to be well below hazardous levels. Reflections at 40 cm from a non-laser-coated Goldmann 3-mirror contact lens were 2.66 mW/cm², which exceeds the exposure limits, when 0.3 W laser was delivered by the slit-lamp photocoagulator. This decreased 85~90% when the laser was reflected from a laser-coated lens. From the point of view of safety, it is recommended that laser surgeons replace non-laser-coated lenses with laser-coated ones. (J Jpn Ophthalmol Soc 97: 196-200, 1993)

Key words: Laser photocoagulation, Reflected beam, Bystanders, Ocular hazards, Laser-coated three mirror contact lens

別刷請求先: 543 大阪市天王寺区烏ヶ辻 2-6-40 大阪通信病院眼科 岡本 紀夫

(平成 4 年 5 月 27 日受付, 平成 4 年 7 月 27 日改訂受理)

Reprint requests to: Norio Okamoto, M.D. Eye Clinic, Osaka Teishin Hospital. 2-6-40 Karasugatsuji, Tennouji-ku, Osaka 546, Japan

(Received May 27, 1992 and accepted in revised form July 27, 1992)

I 緒 言

レーザー光凝固治療は、前眼部、後眼部を問わず臨床で広く行われている。危険防止の為、治療に際しては、レーザー装置は、1部屋に1台置き、医師と患者のみが入って行われるのが理想ではある。しかし、我が国の病院の眼科外来スペースに、それだけの余裕がある所は少ない。そこで、他の機械もレーザー光凝固装置と同一の部屋に設置し、他の治療や検査を並行して行う場合も多いが、この際にレーザーの直接光や反射光を受ける危険性がある。

Slaney¹⁾は数々のコンタクトレンズを用いて、それによる光凝固中の反射光の測定を行い、1m以内に居る人は、現在の安全基準を越える光量を受ける可能性があることを報告している。しかし、その時のレーザーの出力などの詳細は述べられていない。

また、最近、双眼倒像鏡に組み込んだレーザー光凝固装置も開発されているが、誤照射や周囲の壁などで反射したレーザー光をまともに受けることも懸念される。そこで今回、光凝固治療時に発射されると想定される反射光を実測し、周囲に居る人間に障害を及ぼす可能性を検討した。

II 実験方法

色素レーザー光凝固装置 (Coherent 920) および、それに接続可能な双眼倒像鏡レーザー光凝固装置を使用し、レーザーの波長はアルゴン・グリーンレーザー (波長 514 nm) を使用した。光量の測定には、Advantest 社の光パワーメーター (TQ 8210) を用いて測定した。パワーメーターの受光面は 1cm^2 で、特性は測定可能波長域は 400~1,100 nm、分解能

0.005~0.1%、測定精度は $\pm 5\%$ の特性を持ち、波長設定により、ダイオード波長感度を自動補正する波長感度補正機能がついているのが特徴である。受光パワー範囲は、1 nW~50 mW と直接光の測定には低いが、反射光の測定には十分である。測定時には、レーザー光に対して、測定面が直角にあたるように注意した。まず、レーザーのスポットサイズは $200\mu\text{m}$ で行い、出力は光凝固装置のメーター表示で 0.1 W の条件に設定した。直接光の測定には、ND フィルターによりレーザー光を減衰させて測定すると同時に、Coherent Model 210 のレーザーパワーメーター (受光範囲 0.01 W~0.2 W) も使用して、直接光がメーター表示通り出ていることを確認した。即ち、2種類のメーターで測定し同様の値を得た。次に示す実験を行った。

1. 双眼倒像鏡型レーザーを用いた検討

レーザーの出力は、0.1 W とした。ただし、スポットサイズは不可変 (350μ) である。レーザーを壁 (ベージュ色のパーティション 材質は塩化ビニール) に対して、入射角 45° および 90° の角度、距離 1 m で反射させ、反射光の光束即ち測定面上でレーザースポットの中と、レーザーのスポットから 5 cm 離れた光束外でも測定した (図 1)。測定は全て 5 回行い、その平均値および標準偏差を計算した。同様に、反射体に手術室を想定した白タイル、非球面 20 D レンズ (ニコン社製)、白色の紙、暗幕、白衣を用いて測定した。

2. 通常のスリットランプ型レーザーを用いた検討

Perfocal のレーザー発振を使用し、スポットサイズは 200μ 、出力は 0.1、0.3、0.5 W の条件を用い、反射体から 1 m と 40 cm の距離で測定した (図 2)。反射体としてスリーミラーコンタクトレンズを用い、レーザーコーティングされた Ocular 社のレンズと、レー

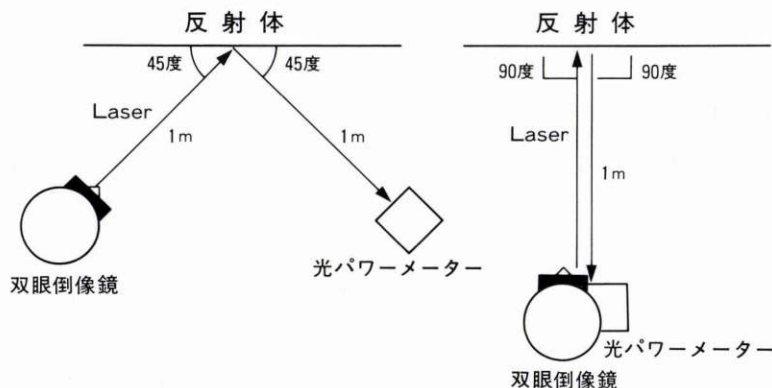


図1 双眼倒像鏡型レーザーを用いた時の反射光の測定。

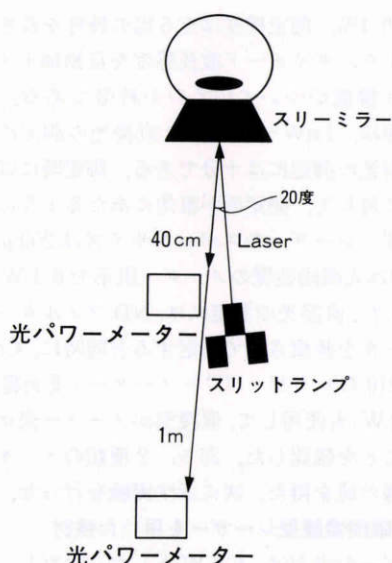


図2 スリットランプ型レーザーを用いた時の反射光の測定。

レーザーコーティングのないOcular社およびHaag-streit社のレンズを比較検討した。スリーミラーのサイズはすべてスモールサイズで、新品ではなかったが、表面のキズは肉眼的に認められないものを使用した。この時には模型眼を用い、実際に眼底にピントを合わせて行った。また、反射体としてニコン社製の90 D レンズ（レーザーコーティングなし）も検討した。

比較の基準として、レーザー光の網膜に対する安全基準（1986年のAmerican National Standards Institute²⁾）を採用した。具体的には、光を感じて嫌悪反応で回避するまでの時間を0.25秒として計算した場合の 2.5 mW/cm^2 である¹⁾。これは、日本のJIS規格の基準（JIS C 6801³⁾）でも、クラス1レーザー製品（どのような条件の下でも、最大許容露光レベルを超えないレーザー）の被爆放出限界は同様の値である。

III 結 果

1. 双眼倒像鏡型レーザーを用いた検討

光凝固室の壁、材質は塩化ビニールに反射した光を測定した結果は表1のごとくであった。レーザーの入射角度90度で出力0.1 Wの時では、反射光量は、光束内で出力の1/32,000であった。安全基準の1/800以下と低い値であった。

白タイルの反射では、表2のような結果を得た。入射角度90度の時、光束内で出力の1/290であった。出

力0.1 Wの時では、安全基準の1/7~1/10であった。従って、計算上0.75 Wのパワーのレーザーで1 mの距離で安全基準を超えて危険となる。光束外では、そのさらに1/250であった。また紙や、その他の反射体を用いた時（表3）、安全基準の1/50万以下であった。

2. スリットランプ型レーザーを用いた検討

スリーミラーコンタクトレンズの反射を測定した。測定面上で、コーティングのあるレンズとないレンズで、光束の大きさに差はなかった。コーティングのないレンズでは表4のようになり、出力0.3 W 測定距離40 cmの条件で 2.66 mW/cm^2 と大きく安全基準を越えた。1 mの距離では、反射光量はかなり低くなるが、計算上約1 Wの出力を使用している時に安全基準を越える。Ocular社およびHaag-streit社のレンズに、特に差はなかった。これが、コーティングのあるレンズでは、表5のようになり、コーティングのないレンズの反射時に安全基準を越えていた条件でも、安全基準の1/8に低下する。コーティングのあるレンズの反

表1 壁（パーティション）に対する0.1 W レーザーの反射

入射角度	測定場所	測定値 ($\mu\text{W/cm}^2$)	レーザー出力 との比較	安全基準 との比較
45°	光束内	1.34 ± 0.03	1/75000	1/1900
90°	光束内	3.10 ± 0.3	1/32000	1/800

測定値：5回測定（平均値±標準偏差）

表2 白タイルに対する0.1 W レーザーの反射

入射角度	測定場所	測定値 ($\mu\text{W/cm}^2$)	レーザー出力 との比較	安全基準 との比較
45°	光束内	241.3 ± 96.3	1/415	1/10
	光束外	1.9 ± 0.2	1/52600	1/1300
90°	光束内	344.9 ± 18.5	1/290	1/7
	光束外	1.9 ± 0.05	1/52600	1/1300

測定値：5回測定（平均値±標準偏差）

表3 様々な反射体に対する0.1 W レーザーの反射

反射体	測定距離 (cm)	入射 角度	測定値 ($\mu\text{W/cm}^2$)	レーザー 出力との 比較	安全基準 との比較
20 D レンズ	40	90°	1.6	1/63000	1/1600000
紙	30	45°	約5.0	1/20000	1/500000
白衣	40	90°	約1.7	1/59000	1/1500000
暗幕	40	90°	約0.1	1/1000000	1/25×10 ⁶

測定値：5回測定（平均値±標準偏差）

表 4 レーザーコーティングのないスリーミラーによる反射

測定距離	出力 (W)	測定値 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	レーザー出力との比較	安全基準との比較
40 cm	0.1	1060 $\pm$ 230	1/94	1/2.4
	0.3	2660 $\pm$ 420	1/112	OVER
1 m	0.1	276 $\pm$ 34	1/360	1/9
	0.5	1220 $\pm$ 133	1/410	1/2

測定値：5 回測定 (平均値 $\pm$ 標準偏差)

表 5 レーザーコーティングのあるスリーミラーによる反射

測定距離	出力 (W)	測定値 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	レーザー出力との比較	安全基準との比較	コーティングのあるレンズとの比較
40 cm	0.1	142.6 $\pm$ 10.8	1/700	1/17	1/7.4
	0.3	296.6 $\pm$ 17.2	1/1011	1/8	1/9
1 m	0.1	26.3 $\pm$ 3.4	1/3800	1/95	1/10.5
	0.5	120.8 $\pm$ 5.6	1/4140	1/21	1/10.1

測定値：5 回測定 (平均値 $\pm$ 標準偏差)

射は、コーティングのないレンズの 1/7~1/10 であった。ニコン製のコーティングなしの 90 D レンズによる反射は、40 cm 0.3 W の条件で約 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ と低かった。

IV 考 按

光の網膜に対する安全基準は、各国独自のものをもっており⁴⁾、日本では 1991 年に通産省から、JIS 規格 (レーザー製品の放射安全基準)³⁾が発表された。JIS 規格は、医用のものは適用外とされているが、機器周辺の人には適用される。今回の判定の基準として、ANSI (American National Standards Institute) の 1972 年と 1986 年の基準から、計算した値である 2.5 mW/cm² を用いた。これは JIS 規格でも同じ値となる。

安全基準の決め方は、動物実験で実際に網膜に、50% の確率で組織学的変化を及ぼす閾値の光量を基準に、1/10 という安全率を考慮しているので、安全基準を越える光量に露光したからといって、直ちに網膜に障害を及ぼすわけではない。しかし、逆に網膜に障害及ぼす値は、主にサルを用いた急性の実験であるので、例えば網膜に組織学的もしくは検眼鏡的に障害を及ぼす量の、1/100 でも網膜に機能的な障害を及ぼしていないという保証はない。猿の実験で、極めて小さい出力 70 μJ (0.25 秒の露光とすると、280 mW) でも、障害を

来したという報告もある⁵⁾。また、瞬目による回避反応の時間は 0.25 秒と考えられており、もし反射光を見つめた場合は、閾値はさらに低いものである必要がある。このように考えると、光の安全基準と一口に言っても、どれを基準とするか決めるのは困難であるが、人体に対する管理の基準として先に述べた値を採用した。

双眼倒像鏡から発振されるアルゴン・グリーンレーザーについては、1 m の距離でタイルに反射した光を最悪の条件で受けると、今回の 0.1 W を用いた実験結果から、約 0.3 W でこの限界に達することがわかった。手術室で、多くはタイルと想像される壁に、照射しないよう術者は注意することと、見学者や介護者、看護婦は反射光を受けないように、極めて慎重に対処せねばならない。紙による反射や、白衣や暗幕などの布や、表面の平面でない物や粗な物に反射する時は、0.1 W で安全基準の 1/50 万と極めて低い値であるので、通常の使用の出力では、全く問題ない。

双眼倒像鏡レーザーを眼底に、焦点を合わせるためには、通常 20 D のレンズを用いるが、その表面の反射は小さかった。これは、非球面のレンズの表面が平面でなく凸であるため、反射光が拡散するためと思われる。これは、スリットランプ型レーザーで、90 D レンズを用いた時にも当てはまる。

通常のスリットランプ型のレーザー装置について、最も問題となるのは眼底観察用コンタクトレンズ表面での反射である。コーティングなしのスリーミラーレンズを用いた時は、40 cm の距離で出力 0.3 W の時に、基準を越えた。これは、通常の網膜光凝固の条件で、位置は術者の真横や側視鏡のある位置に相当する。従って、光凝固の教育を行っている時に、側視鏡を使用している者が反射光を直接受けることは極めて注意を要する。反射光を受けないように、保護眼鏡を使用したり、手で隠すとか、間に紙や布をおくなどの心掛けが必要である。また、看護婦などのスタッフは、保護眼鏡の装着が望ましい。

Sliney ら¹⁾は、同様の条件でエイミング・ビームの反射を詳細に調べている。その中で傍観者は、コンタクトレンズの前 1 m 以内で、安全基準を越える光量となることが述べられている。しかし、実測値は示されていない。今回の結果から、1 m で危険になることは彼らの報告に一致したが、1 m の距離では、安全基準を超えるのは 1 W の出力時である。これはレーザー虹彩切開術など臨床に用いる機会のある高いレーザー出力であるが、通常の条件では安全基準を下回ることが判明し

た。しかし、1m以内に近づくと通常の条件で、容易に安全基準をこえるので、側視鏡の位置では特に注意を要する。

レーザー虹彩切開術では、1~1.5Wの出力レーザーを用いるが、Abrahamレンズを用いて通常行うので、レンズの表面は術者側に凸であるから、3ミラーコンタクトレンズで反射する時のような、鏡面反射は起こらない。もちろん、Abrahamレンズ以外のところに誤照射しないことが前提である。

レーザーコーティングのあるミラーは、術者にとって眩しさが少なく、レーザー出力が表面で反射しない分、有効に眼内に入るので、有用である。今回の検討の安全性の面でも、コーティングのないミラーの1/7~1/10の反射光量となり、安全性は高くなるので安全の面でもレーザーコーティングレンズの使用が推奨される。

波長に関する問題は、今回はアルゴンの波長514nmのmono-greenのみを使用した。反射光は他の波長でも大きな差はない¹⁾。しかし、眼はブルーの波長に感受性が高く、レーザー治療を頻繁に施行する眼科医は、アルゴン・ブルーのレーザーにより第3色覚異常を生ずることが報告されている^{6)~8)}。従って、現在臨床的に用いるアルゴンのブルーの波長を用いる時は、他の波長を使用するよりも傍観者にも注意を喚起しなければならない。

これまで、眼科のレーザー治療は20年の歴史があるが、国内でもレーザー光の安全性が報告されている⁹⁾¹⁰⁾。しかし、知りうるところでは、眼科医療内でレーザーが起因になった障害は報告されていない¹¹⁾。しかし、使用が頻繁になるにつれ、また、他の機械が増えるにつれ、限界のある眼科診療スペースで、事故がおこらないとも限らない。また、手術室でレーザーを使用する頻度も増えるであろう。レーザーの発射を確認することができない半導体レーザーも市販されているので、周囲環境に対する安全面にはさらに細心の注意が必要となろう。直接に光を見ること、誤照射を

しないことには最も注意しなければならないが、今回の結果をもとにして反射光に対しても、反射体や反射体からの距離に留意することが重要である。

稿を終えるに当たり、大阪大学眼科学教室、田野保雄教授の御校閲に深謝します。

文 献

- 1) Sliney DH, Mainster MA: Potential laser hazards to the clinician during photocoagulation. *Am J Ophthalmol* 103: 758-760, 1987.
- 2) American National Standards Institute: Safe Use of Lasers. Toledo, Ohio, Laser Institute of America, Z-136, 1, 1986.
- 3) 日本工業標準調査会: レーザー製品の放射安全基準. JIS C 6802, 日本規格協会, 1991.
- 4) Sliney DH, Wolbarsht ML: Safety with lasers and other optical sources. Plenum Publishing Corp, New York, 217-283, 1980.
- 5) Adms DO, Beatrice ES, Bedell RB: Retina: Ultrastructural alterations produced by extremely low levels of coherent radiation. *Science* 177: 58-60, 1972.
- 6) Gündüz K, Arden GB: Changes in colour contrast sensitivity associated with operating argon lasers. *Br J Ophthalmol* 73: 241-246, 1989.
- 7) Berninger TA, Canning CR, Gündüz K, Strong N, Arden GB: Using argon laser blue light reduces ophthalmologists' color contrast sensitivity. *Arch Ophthalmol* 107: 1453-1458, 1989.
- 8) Arden GB, Berninger T, Hogg CR, Perry S: A survey of color discrimination in German ophthalmologists: Changes associated with the use of lasers and operating microscopes. *Ophthalmology* 98: 567-575, 1991.
- 9) 野寄喜美春: レーザー光からの眼の防護. *臨眼* 28: 1171-1174, 1974.
- 10) 天野清範, 野寄喜美春: レーザー光の安全性. *眼科* 24: 763-768, 1982.
- 11) 小澤哲磨: レーザーの安全な取り扱い—事故例の検討. *日本の眼科* 59: 673-678, 1988.