医療における照明・光放射利用（眼科）[†]

正 会 員 関 亮*

1. は じ め に

照明用語によると、光とは「視覚器を通して視覚を起こすことができる放射」と定義されているので、視覚器である目を対象とする眼科学の領域は、光ときわめて密接な関係があり、眼光学学会という境界領域の学会が生まれているほどである。目自身が身体における唯一の光学系オルガンであるからでもある。

今回は医学における研究用のものを除き、医療に実際に用いられている光放射の利用について述べるが、医療機器には大別して診断用のものと治療用のものがある。

眼科で用いる診断用機器の大部分は光学機器であって、治療用機器も他科に比べて光学機器が多い。特にレーザーなどは、かなり多種類のものが早期より眼科において用いられている。

2. 各医療機器について¹⁾

以下、各医療機器名とその簡単な説明、用いられている光源について記述する。

2.1 屈折測定器械

(1) オフサルモメータ

角膜の曲率半径（屈折度）、および角膜乱視の軸・度数を測定する器械——リング蛍光ランプ。

(2) 視力検査装置

旧式のものは、紙製視力表を前方より照明する型式であったが、新式のものは、プラスチック製視力表を後方より透過照明する型式のものとなっている——白熱電球、蛍光ランプ。

(3) レフラクトメータ

目の屈折度を他覚的に測定する器械で、最近はおたん一つ押すだけのオートレフラクトメータと称する器械が多く用いられている——白熱電球、ハロゲン電球。

(4) レンズメータ

眼鏡レンズや、コンタクトレンズの度を測定する器械——白熱電球。

(5) レチノスコープ

この器械とあらかじめ度のわかっている板付レンズとを用いて、網膜からの反射光の瞳孔内での動きを観察することにより目の屈折度を他覚的に測定する。検査者の熟練を要するので、現在では前記レフラクトメータを用いる場合が多い——白熱電球。

(6) チャートプロジェクタ

プラスチックに書かれた視力表などの各種チャートを投影して、視力や複像など各種の検査を行なう器械——ハロゲン電球。

2.2 両眼視機能検査器械

(1) シノプトフォア

両眼視機能、斜視、弱視などの診断および治療を行なう目的で設計され、同時視、融像視、立体視の3要素に基づいた各種の検査、および治療（矯正）を行なう器械——白熱電球。

(2) コルチナトール

ハイデンガブラッシの現象を利用し、直接視の視点と主観的凝視点とのずれを患者に意識させ、中心固視を行なうように練習することにより、弱視を矯正する器械——白熱電球。

2.3 視野検査器械

視野を測定する静的（視標を動かさないで、視野内の一点を視標の刺激の強さ、すなわち明るさを変化させて、その点における明度識別いき値を求めていく方法）、および動的（順応を一定にして、一定面積の背景輝度よりも明るい視標を移動させ、その視標が見える所と見えない所の境界を計測する方法）視野計——白熱電球。

2.4 色覚検査器械

波長 670 nm（赤）と 544 nm（緑）の色光を任意の割合で混合できる視野と、589 nm（黄）の明るさだけを变化できる単色視野とを被検者をして等色させ、そのときの混色および単色目盛によって、色覚の正常と異常および異常の類型、程度を判定するアノマロスコープという器械——白熱電球。

2.5 前眼部診断機器

(1) 細隙灯顕微鏡（スリットランプ）

スリット照明と顕微鏡の組み合わせにより、主として前眼部の結膜、角膜、虹彩、水晶体、前房、前部硝子体など

[†] Application of Light and Optical Radiation for Ophthalmology

* 獨協医科大学眼科学教室

Ryo Seki

を精細に視診する装置——白熱電球、ハロゲン電球。

(2) フォトスリットカメラ

スリットランプの装置にカメラを加え、撮影が可能となった装置——白熱電球、ハロゲン電球。

(3) スペキュラー顕微鏡

白内障手術や人工水晶体挿入手術の術前、術後、またはコンタクトレンズ処方に必要な角膜内皮細胞の観察、および撮影をする装置——ハロゲン電球。

2.6 眼底診断器械

(1) 直像検眼鏡

目に近接して上下そのまの眼底像を見る検眼鏡——白熱電球、ハロゲン電球。

(2) 倒像検眼鏡

眼前に凸レンズを置き、一度眼前に倒像を結ばせ、それを明視距離から観察する型式の検眼鏡である。上下が逆さになるのでこの名がある。1851年ドイツのケーニヒスベルヒ大学の生理学助教授、若冠30歳のヘルムホルツが世界で始めて眼底検査を行なったのもこの型式で、暗室灯(白熱電球)と凹面反射鏡と凸レンズだけであったが、現在は光源が検眼鏡の中に組み込まれており、額帯式の双眼倒像鏡に至っては立体観察が可能である——白熱電球、ハロゲン電球。

2.7 電気生理診断器械

(1) 網膜電図(ERG)

眼球の静止電位は、網膜に光刺激を加えたときと断ったときに変動する。この電位の変動すなわち網膜の活動電位を記録したものが網膜電図で、白内障などの存在により眼底検査が十分行なえない症例の網膜機能の推定と、各種網膜疾患の診断、ならびに予後の推定に用いられる装置である。この装置における刺激光として、一般にキセノンセン光ランプが用いられている——キセノンセン光ランプ。

(2) イリスコーダ

赤外放射を用いてビジコンカメラで瞳孔を走査撮影し、瞳孔面積値を計算して、その経時の変化をグラフに表わす器械である。これにより主として対光反応、さらに種々の薬物による瞳孔の反応状態を分析し、交感、副交感神経の作動状況を知ることができる——赤外電球。

2.8 手術治療用器械装置

(1) 手術用顕微鏡

目という繊細な組織にメスを加えるには、何よりも操作の精密さが要求される。従来肉眼ないし2倍程度の拡大めがねを用いてやっていた目の手術の多くが、より高い精度を求めて顕微鏡下で行なわれるようになった——白熱電球、ハロゲン電球。

(2) 光凝固装置

強力な人工光を組織に照射し、その部分を凝固破壊させる治療法で、悪性腫瘍を直接破壊したり、虹彩を穿孔したり、再生修復の組織反応を利用して強固な癒着を促し、各種の網膜疾患に用いる手術である。光源はキセノンランプに始まり、現在では各種レーザが主力となっている——キ

セノンランプ、アルゴンレーザ、クリプトンレーザ、ダイレーザ。

(3) Nd:YAG レーザ装置

眼科におけるレーザ治療は、その熱作用を応用する上記光凝固術と、パルス作用を用いて高エネルギー光で組織を破壊切開する方法に大別される。この装置は後者のほうで、主として前眼部疾患に用いられる。すなわち後発白内障(白内障手術の際に残留した囊が白濁して生じる白内障)や、閉塞隅角緑内障(虹彩穿孔術により房水の流出を促進する)、硝子体索状物切除などの手術に用いる——Nd:YAG レーザ。

(4) ケラトメータ

手術後の乱視を予防するため、手術中の角膜曲率半径を測定する器械——白熱電球。

3. ハロゲン電球

従来、多くの眼科機器には白熱電球が用いられてきたが、人工光源の発達と高照度の要求とが相俟って、ハロゲン電球が多く用いられるようになった。

眼科機器だけでなく、手術灯のような一般医療機器にもハロゲンランプが広く用いられるようになったが、ここに一つの落とし穴が存在する。それは青色光を長く照射した場合、網膜障害を起こす可能性があることが最近知られて来たからである。

網膜の視細胞には赤、緑、青にそれぞれ感度のピークを持つ三つの錐状体と称する視細胞があるが、この3種のうち青錐状体が、他の赤錐状体や緑錐状体よりも光に対しての脆弱性が高く、さるによる動物実験で細胞の脱落が起こることが明らかとなった³⁾。

そのため、眼科領域では検眼鏡、細隙灯顕微鏡による検査や、手術用顕微鏡による顕微鏡下手術の際には、露光時間を長くしないようになるべく短時間で済ませよう、また必要以上に照度を高くして用いないように注意を要すると警告が発せられている^{4)~8)}。

特に眼内レンズ挿入⁸⁾、無水晶体眼や硝子体内へのガラスファイバによる光の導入⁹⁾に際しては、格別の注意を要する必要がある。

4. 光凝固療法¹⁰⁾¹¹⁾

従来、前眼部の疾患の治療には主として点眼薬が用いられていたが、眼底の疾患となると点眼薬では薬成分の移行が十分ではないので、血行を介して薬効を期待する内服薬が用いられていた。

そこに光凝固療法という、眼底疾患に対する画期的な治療法が出現して、多くの病気を積極的に治療することが可能となったのである。以下出生順に解説する。

(1) キセノン光凝固装置

1945年といえは第二次世界大戦終焉の年であるが、その7月10日のことである。敗戦国ドイツで Meyer Sch-wickerath という眼科医が、日食を利用して太陽光で網膜

に熱凝固を起こし、組織の修復過程において治療効果を発揮しようと試みた。

しかし何分にも太陽光を用いていたのでは光量が不安定なので、人工光源による器械の開発に努力し、1956年 Zeiss 社の協力により、高圧キセノンランプを用いたキセノンアーク光凝固装置を完成した。そのため、ドイツ語の Licht Koagulation を省略した L. K. という略語が用いられ、その後英語圏では photocoagulation、日本語では光凝固という言葉が定着している。

(2) ルビーレーザー光凝固装置

その後、アメリカに発達したレーザー光をこの器械に組み入れることが考えられ、まずルビーレーザーの装置が作られることになった。

これは、従来のキセノン光のものに比べるとたいへん利点が多くて、患者がそれほどまぶしさを感じないこと、照射時間が1ミリ秒ときわめて短く、目の動揺がない（キセノンでは眼球の後に麻酔剤の注射をして目の動揺を止めていた）、光のスポットが小さい（目の後極部病変の凝固ではスポットが大きいと失明の危険がある）などのことから、たいへん容易にかつ確実に凝固手術を行なえるようになった。

しかしこの器械はその後、パルス発振のために網脈絡膜の破裂が生じやすい、波長が694 nmで血液に吸収されにくいので、血管病変の凝固閉塞には不適當などの理由によって、より凝固条件に自由度の多い次のアルゴンレーザー装置に移行していくのである。

(3) アルゴンレーザー光凝固装置

アルゴンレーザーは稀ガスイオンのレーザーで、458から529 nmまで数多くの発振波長を持っているが、主発振波長は488と514 nmの青緑色の光である。

488 nmの光は、黄斑部に存在する Xanthophyll（黄色色素）に吸収されやすいので、黄斑部病変の凝固に際し過剰凝固を起こしやすいのが欠点である。

しかし網膜血管（血管内の血液のヘモグロビン）、網膜色素上皮、脈絡膜に強く吸収されるので、現在最も広範囲に用いられている装置である。

(4) クリプトンレーザー光凝固装置

これも稀ガスイオンレーザーの一つで、450～830 nmの波長間に数十本の連続発振があるが、最も強いのは647 nmの赤色光である。

アルゴンレーザーの欠点とされる黄斑部の凝固に有利である。また一般に波長の長いレーザーほど深部において強く吸収されるので、クリプトンレーザーでは網膜色素上皮と脈絡膜とに強い吸収が見られる点が特徴であるといえる。

(5) ダイレーザー光凝固装置

ダイレーザーは、色素（Dye）液をアルゴンレーザービームで励起することによって得られたダイレーザー発振光線を、プリズムで選択して用いる装置である。黄色から赤色にかけて広い範囲で任意の波長が出るので、アルゴンとクリプトンの中間の波長をカバーすることになった。

上述のように、一般に波長の長いものほど深部に作用するので、その用途によって、アルゴン、クリプトン、ダイレーザーのどれかを選んで使用することが可能となり、以上三つのレーザー装置の出現によって、光凝固療法が完璧なものとなった。

5. 光凝固以外のレーザー

5.1 前眼部疾患に対するヤグレーザー¹¹⁾

レーザーは当初、光凝固療法として眼底疾患の治療に用いられてきたが、次いで前眼部疾患にも応用されるようになった。この目的には、初期に Nd ガラスレーザー、CO₂ レーザー、ルビーレーザーなどが用いられたが、現在では Nd:YAG (YAG) レーザーが用いられるようになった。

YAG は Y₃Al₅O₁₂ (yttrium aluminium garnet) の組成の結晶名であるが、光学的に均一な固体レーザーの材料として現在最も広く利用されている。母体材料 YAG の中に含まれているネオジウムイオン (Nd) が、実際のレーザー発振を行なっている。

発振開始に要するエネルギーが少なくよく、連続発振、繰返し発振など容易に行なえるので応用分野も広い。主波長は 1,060 nm の近赤外放射で不可視光であるため、照準には He-Ne レーザー (632 nm の赤色光) が用いられている。

Nd:YAG レーザーは、極短パルス型（1億分の1秒）Q スイッチ 0～20 mJ と、モード同期パルス 3～4 mJ の二つの型があり、共に発振波長は 1,060 nm、照射時間は連続 10 ミリ秒、30 ps である。

照射時間が1ミリ秒以下の短い時間となると、そのピークパワーがきわめて大となり、熱作用より圧力作用が大となる。この圧力によって細胞の変形、特に膜様組織を破壊する効果があり、これを応用した装置が眼科用として作られているのである。

この装置は、網膜凝固能率は低いので光凝固の目的には用いられず、虹彩穿孔による緑内障の降圧、後発白内障の切開、前部硝子体索状物の切開などに用いられている。

5.2 光化学療法

1978年アメリカの Dougherty ら¹²⁾が、悪性腫瘍に対してヘマトポルフィリン誘導体を静脈注射した後、ダイレーザーを腫瘍に照射して、これを壊死させる治療を初めて臨床的に行なった。これは光化学療法 (photochemotherapy) と呼ばれ、その詳細な作用機序はわかっていないが、腫瘍親和性の高い物質レーザーで励起されて、腫瘍細胞の細胞膜が破壊されると考えられている。

現在ダイレーザーのほか、ルビー、CO₂、YAG、アルゴンレーザーなどを用いて、各科領域で治療手技の開発が行なわれている。

眼科領域でも、脈絡膜悪性黒色腫や網膜芽細胞腫などに対する動物実験に次いで、1982年ごろ臨床的に使用され始めている。しかしまだ黎明期であり治療手技の確立、適応症の拡大など今後の研究が期待されている。

参考文献

- (1) 日本眼科医療機器総覧 1988 年度版, 日本眼科医療機器協会 (1988)
- (2) Ham, W. T. et al.: Histologic analysis of photochemical lesions produced in rhesus retina by short-wave-length light, Invest. Ophthalmol. **17**-10 (1978) 1029 ~ 1035
- (3) Ham, W. T. et al.: The nature of retinal radiation damage: Dependence on wavelength, power level and exposure time, Vision Res. **20**-12 (1980) 1105 ~ 1111
- (4) Lanum, J.: The damaging effects of light on the retina. Empirical findings, theoretical and practical implications, Surv. Ophthalmol. **22**-4 (1978) 221 ~ 249
- (5) Calkins, J. L. et al.: Retinal light exposure from operation microscopes, Arch Ophthalmol. **97**-12 (1979) 2363 ~ 2367
- (6) Hochheimer, B. F. et al.: Retinal damage from light, Amer. J. Ophthalmol. **88**-12 (1979) 1039 ~ 1044
- (7) Calkins, J. L. et al.: Retinal light exposure from ophthalmoscopes, slit lamps, and overhead surgical lamps, Invest. Ophthalmol. **19**-9 (1980) 1009 ~ 1015
- (8) David Miller: Clinical Light Damage to the Eye, Springer-Verlag (1987) 76, 206
- (9) 小沢哲磨: 光による網膜障害, 眼臨 **75**-4 (昭 56) 409 ~ 413
- (10) Francis A. L'Esperance, Jr.: Ocular Photocoagulation, The C. V. Mosby Company (1975)
- (11) 野寄喜美春, 清水弘一, 糸井素一: レーザ眼科学, 医学書院 (1983)
- (12) Dougherty T. J. et al.: Photoradiation therapy for the treatment of malignant tumors, Cancer Res. **38**-8 (1978) 2628 ~ 2635

(受付 1988 年 9 月 26 日)

照明ニュース

照明学会東京支部 昭和 63 年度照明技術セミナー開催さる

照明学会東京支部主催の照明技術セミナーが、さる 9 月 29 日、東京渋谷の電力館「TEPCO ホール」にて約 60 名の参加者を得て開催された。

今回は本年 4 月 10 日に開通し、四国と本州とを陸続きとした本州四国連絡橋児島・坂出ルートを取り上げ、「瀬戸大橋の設備と照明」と題し三つのテーマに分け講演が行なわれた。講師は、瀬戸大橋の建設に際し現地で直接、施設の建設や計画に携わったかたがたを岡山や大阪より迎えた。

セミナーでは、施設の管理に種々の設備が採用されている様子や、海面上の照度が 0.01 lx に規定され、その値を達成するために苦心した様子が肌身に感じられた。そのせいか、講演終了後にも数々の質問も出され、盛況のうちに終了することができた。遠路ご講演をいただいた各講師には深くお礼を申し上げる次第である。

なお、テーマと講演された講師は次のとおりである。

- (1) 設備の概況
本州四国連絡橋公団第二管理局維持施設第一部電気通信課長 西野 盛雄氏
- (2) 橋梁部道路の照明
松下電工㈱飯塚 哲英氏、大塚 忠弘氏、土井 勇氏
- (3) 視線誘導灯
小糸工業㈱電機技術部 稲垣 襄二氏
(東京支部幹事 内田和夫)