どうなる手術用无影灯

The Progress of Operating light in future

1940年生, 1962年早稲田大学卒, 榊大協器械製作所社長, 日本医科器械学会, 日本病院設備協会, 日本医用機器工業会各理事。

正会員 関 紀 夫
Norio Seki

◀キーワード：手術用照明灯

1. はじめに

「どうなる手術用无影灯」というテーマを与えられたが、まず手術に使用される照明灯は昔から「无影灯」という名称で呼ばれてきた。この名称は、かつて欧米で呼ばれていた SHADOWLESS LAMP を直訳したものであろう。術野をいかに明るく、影がでないように照射するかは昔から大きなテーマであったことがうかがえる。しかし、現在では「无影灯」という名称はほとんど使用されなくなり、代わって「手術用照明灯」という名称で呼ばれるようになってきている。本来、光と影は一对のもので、光が物体の裏側まで回って照射するということは考えられず、完全な无影ということは存在しないのであるから、当然のことといえる。また、仮に完全に无影になってしまうと、物の存在が精確に認識できるかどうか疑問である。要は、光が欲しい場所に必要な光量がどうしたら得られるかと言うことである。ここでは、无影灯ではなく、手術用照明灯という名称で呼ぶことにする。さて「どうなる手術用照明灯」ということであるが、まず、手術用照明灯に要求される一般的条件について考えてみたい、そして、手術用照明灯が進歩発展してきた裏にどのような環境の変化があったか、また、どのようなニーズがあったのかに触れ、かつ少し過去をさかのぼって、手術用照明灯の変遷について述べてみることにする。その上で、将来をお考えいただく一助になれば幸いである。

2. 手術用照明灯に要求される一般的条件

2.1 照度

手術に必要な十分な明るさのことである。一般的には100000 lx から130000 lx と言われているが、必要照度については、年齢差が激しいので、どの照度が適切であるということは、一概には言いがたい。

2.2 無熱性

術野に熱線を照射しない工夫のことである。限りなく0に近づけることが好ましいが、無理をすると赤の波長域をカットするので、重要な赤の識別が困難になる可能性がある。この点の注意が必要である。

放射照度・・25000 μ W/cm²以下 (特に800~1000nmの波長をカットする)・放射照度を小さくしていくと、赤の演色性がわるくなる。

2.3 光の質

色の再現性ということである。紫から赤までの波長域が平均して出ることが望ましい。特に、熱線をカットする余り、赤の波長域が失われると、血液や組織の識別が困難になり、問題を生ずる原因になる。

色温度・・3800K~4000K

演色性・・Ra (平均演色評価指数) が95以上

2.4 無影度

障害物 (現場では、頭や手) による、術野への照射の影響が少ない方が望ましい。また、術野深部まで照射できるように設計される必要がある。つまり、無影度および照射深度が良いということである。

無影度・・10%以上 (IES 規格)・実際には20%以上である。

照射深度・60%以上

(無影度・照射深度については、図1, 2を参照)

2.5 操作性

軽く移動ができること。しかし、軽すぎて固定ができないようでは困るので、この辺が大変技術を要するところである。また、欲しい角度からの照射ができるよう可

図1 手術用照明灯の無影度 (IES 規格)

手術用照明灯の照射深度規格は無し

図2 手術用照明灯の照射深度

動範囲が広く設計されていることが必要である。

2.6 経済性

標準品については、価格をなるべく低く抑さえ、特別仕様の要望にも応えられるようにすべきである。また、交換部品などの耐久性についても、十分検討がなされて、ランニングコストが掛からないよう何を使用するかを決めることが重要である。

2.7 その他

2.7.1 電球断線時の対策

手術時の電球の断線に際して、多灯式照明灯については、それほど問題は無いが、一灯式照明灯では即問題が生じるので、電球の交換が容易でなければならない。

2.7.2 天井補強対策

手術用照明灯の患者の真上に設置されるので、落下防止については、十分気を配る必要がある。

2.7.3 停電対策

手術の最中に停電になった場合のことを考慮しておく必要がある。最近では、自家発電機を用意して、停電時に自動的に切り替わるようにしてある病院が多いが、小病院ではまだ自家発電装置が用意されていない所もあり、充電装置を用意しておくことが必要である。

2.7.4 手術の種類と体位に対する対策

手術の種類によっては、標準品を使用すると照射に困難を来す恐れがあるので、特殊な手術に対応できる照明

灯を用意しなければならない。特に、整形外科、婦人科手術における低位置側面からの照射を必要とする場合、また、心臓外科のように高位置で手術を行う場合などを考慮した照明灯が要望される。

2.7.5 術者の年齢による視力を考慮した対策

高齢者の必要照度の研究によれば、同じ見え方を得るためには65歳の者は20歳の者に比べて約4倍～10倍の照度を必要とされると言われている。年齢によって照明灯を交換することもできないので、照度調節の範囲は極力大きくとって、各年齢層に対応できるようにしておくことが、重要である。

以上が手術用照明灯を考える上での基本的な条件である。

3. 環境の変化と手術用照明灯へのニーズ

次に手術用照明灯が進歩発展を遂げてきた裏に、どのような環境の変化とニーズがあったのかを考察してみたい。

3.1 手術の進歩

基本的には、手術技法の開発が外科学の分野であったことが第一であるが、手術を裏で支えている麻酔学の進歩と麻酔器の進歩が挙げられる。また、病巣部を精確に発見する検査機器および化学（薬品・試薬）の進歩、微細な手術をサポートする手術用各種機器・手術用顕微鏡などの進歩、術後の患者を安全に監視するシステム（ICU・CCU）の進歩、加えて、感染制御学および感染防止機器などの進歩により、手術の幅が大きく広がったことと、手術時間が長時間化することになったことによる手術用照明灯の多様なニーズが出てきた。

3.2 工学技術の進歩

3.2.1 光学の進歩

タングステンによる白熱電球に始まり、クリプトン球、蛍光灯、ナトリウムランプ、キセノンランプ、ハロゲンランプ、メタルハライド球というように、次々と新しい光源が出現したこと。

また、真空蒸着技術の進歩により、コールドミラー・コールドフィルタが出現し、熱線の光学的処理が可能になったこと。

3.2.2 化学・金属素材の進歩

従来はアルミニウムおよび鉄を素材としていたが、冶金学の進歩により、新しい軽くて丈夫な金属素材が出現したこと。また、化学の進歩により、プラスチックを始めとする合成樹脂素材が出現したこと。

3.2.3 電子工学の進歩

かつては電気部品と称される部品を使用していたが、電子工学の進歩に伴い出現したあらゆる種類の電子部品は、それらを組み合わせることにより器械制御の範囲を拡大した。

3.2.4 加工技術の進歩

工作機械の進歩により、従来不可能であった部品の加工を可能にした。特に、駆動部分の金属加工の精度は著しく改善され、ジョイント部の生命であるベアリング・スプリングなどは大きく改善された。

以上のとおり、工学技術が著しく進歩したことにより、あらゆるニーズに対応できる基礎ができ上がったと言える。

3.3 手術室の変化（進歩）

昭和40年代後半までの手術室は、壁面・床面共にタイル張りのものがほとんどで、湿式手術室と呼ばれるもので、術後、タイルの床を水で洗い流す方式であった。手術室には器械を整理する器械戸棚と手術経過を記録する記録台などが置かれ、壁にはシャーカステンや時計が掛かっているというのが標準であった。しかし、当時電子部品の分野では、部品生産の不良率を低減するために、生産施設がすでにクリーン化されており、NASAの規格に沿った設備が設置されていた。

この手法を手術室に導入し、術中の空気による感染を防ごうという動きが昭和47年頃から起きてきた。手術室も湿室から乾式へと変わり、壁面は二重構造を採用するようになり、かつて床に置かれていた器械戸棚、記録台などは壁面に埋め込まれ、加えて保温庫、保冷库、シャーカステン、時計などもすべて壁に埋め込まれるようになった。天井にはHEPAフィルタが設置され、無菌化した層流空気を流し、壁面下部の巾木の部分から吸気するというシステムを採用するようになった。そこで、この層流式クリーン手術室に対応する手術用照明灯のニーズが出てきたのである。

3.4 汎用 TV カメラの出現による研究記録および医学教育の変化

医学教育の現場では、手術のあらゆる場面の画像記録は重要な資料である。一眼レフカメラが発売された時点で、手術の経過を記録するために、35mmカメラが手術用照明灯に搭載されるようになり、手術記録には大いに役立ったと思われる。その後、テレビの時代を迎えて、モノクロの時代からカラーの時代へと進歩し、カラーTVカメラもかなりの大型ではあるが一般に使用できる時代を迎えて、TVカメラと手術用照明灯との関係に、多くの開発ニーズが生まれてきたのである。

4. 手術用照明灯の変遷

先に、手術用照明灯に要求される一般的条件と手術用照明灯進歩発展のベースにあった環境の変化およびニーズについて述べてみた。そこで、これらのことを基本に、具体的にどのような形で手術用照明灯が進歩発展を遂げてきたかについて、形状、性能などを含む歴史的な考察をしてみたい。

4.1 大正から昭和20年代

我が国で手術用照明灯として、本格的に使用され出したのは大正7、8年の頃であり、この頃は、フランスからシャリティク型の照明灯、そしてドイツからパントホス型の照明灯が輸入されていた。大正15年、最初に製造されたのが、ドイツのパントホス型の日本版である。当時の照明灯は天井と灯体を結ぶ数本のワイヤで吊り下げられており、そのワイヤの長さを調節することにより、灯体の角度を変えていた。その後、灯体を2個所で支持するアーム型となり、その上部にシリンダが設置され、シリンダの中に組み込まれたバランサにより、灯体を上下調節することができるようになった。パントホス型とシャリティク型との違いは、反射鏡の違いである。パントホス型の反射鏡は、当時黄銅製で放物線の形状をしており、内側に銀めっきを施したものであった。また、シャリティク型の反射鏡は天蓋の部分が平板型になっており、灯体の内側はガラスの鏡を細く切って並べた反射鏡で、いずれも反射効率はそれほど良いものではなく、照度も5000 lx～10000 lx程度であった。使用電球は200W球で、戦後は電球が二重フィラメントに改良されて、フィラメントの断線があっても、スイッチを切り替えることで、手術を続行できるようにした。しかし、この方式はそれほど効果的であったということではなかった。なぜならば、切り替えフィラメントはすでに熱により劣化をしていたからである。

戦後は、シャリティク型のものが主に生産されていたが、操作部分では大きな改良がなされ、可動範囲も拡大された。パントホス型を含め、これらの製品は昭和30年代後半まで生産をされていた。灯径は双方とも、90cmと

図3 パントホス型照明灯

80cmであった。

4.2 昭和30年代

昭和27年頃、手術用照明灯の照度を上げてほしいというニーズが高まり、この問題を解決するために開発されたのが、多灯式手術用照明灯である。アルミニウム製小型反射鏡と24V 25W小型電球を組み合わせた投光部を灯体の中に9個配列し、トランスを組み込んで照度調節ができるようにしたものであった。また、集光装置も施されていて当時としては画期的なものであった。照度も一気に30000 lx が得られ、術者には大いに歓迎されたものである。昭和30年代に入ると、手術用照明灯の生産はほとんど多灯式になったと思われる。そして、機種も灯体径100cm・9灯式、90cm・9灯式、70cm・7灯式、50cm・4灯式というように、大・中・小の4機種がそろい、手術の種類に合った機種が選べるようになった。

昭和35年頃、手術の状況を記録するために、35mmカメラが使用されていたが、一眼レフのカメラが登場し、このカメラを組み込んだ手術用照明灯が開発され、教育機関の病院や大病院などでの需要が広がった。映画については、まだ16mmカメラ全盛時代で、輸入品のアーリフレックスやベルハウエル16mmカメラを灯体に組み込んだものが開発された。一方、照明灯の駆動部も改善され、バランスウエイトが付いた照明灯からスプリングによる上下機構へと変化していった。灯体を上げると、バランスウエイトが下がり、それが手術室で作業する人の邪魔になっていたが、これからも開放されることになった。また、35mmカメラや16mmカメラを搭載すると、灯体が重量化するため、照明灯の操作に困難を来していた。これを解決するために、駆動部を電動化し、ボタン操作で行うことも可能になった。昭和30年代後半には、電球も24V 40W球が普及し、灯数も9灯から12灯へと増え、照度も50000 lx 程度が得られるようになった。

4.3 昭和40年代

4.3.1 TV カメラ搭載

昭和39年の東京オリンピックを契機に、我が国ではテレビの普及が起った。それまで、なかなか一般の家庭では購入できなかったテレビが、何とか購入できる価格まで引き下げられたからである。日本経済が発展の加速度をつけつつあった時代で、産業分野では技術革新が全国的に進行していたのである。昭和40年代に入ると、カラーTVカメラが、業務用として発売されるようになり、教育研究機関の病院でこれを使用しようという動きが出てきた。特に、大学病院の手術部で、手術用照明灯にTVカメラを搭載したいという要望があり、そのための照明灯の開発を行うことになった。当時のTVカメラの重量は、およそ25kgあり、これを灯体に設置して自由に操作するということは大変な困難を極めたが、照明灯の全駆動個所を電動操作式にできたため、使用上の問題は解決

図4 TVカメラ搭載手術用照明灯

図5 コールドミラー・コールドフィルターの分光特性 (ホットミラー)

された。この時の灯体径は120cmという特大のものであった。

4.3.2 コールドミラーの採用

昭和40年代初期の頃まで、投光部はアルミ板に電解研磨を施した反射鏡が使用されてきたが、真空蒸着技術の進歩により、ガラス球面に多層膜蒸着したコールドミラー（可視光線を反射・赤外線を透過）が使用できるようになり、一気に反射効率も大幅に改善され、かつ熱線の処理も光学的に処理されるようになったため、熱線による術野への影響が著しく低下した。また、使用電球も極力反射効率を損なわないよう、小型TP球（球の対極に2個ソケットを付けたもの）を開発し、このTP球とコールドミラーの組み合わせで、照度も著しく上昇した。灯体径100cm・12灯式で、95000 lx、灯体径50cm・4灯式で35000 lx が得られるようになった。

4.3.3 補助灯付き手術用照明灯

天井に付設される手術用照明灯は、大型・小型を問わず単灯型であり、補助照明としては、ほとんどがスタンド式の補助照明灯を使用していた。しかし、手術室内に多くの手術関連機器が持ち込まれるようになり、床面に補助灯を置くことは作業の邪魔になるということから、補助灯を主灯に組み込むということになった。この考え方は世界に先駆けて公案されたものである。天井回転部から2本のアームを出して、片方を主灯用、もう片方を補助灯用としたのである。このタイプは現在でも、主流をなして使用されている。

4.3.4 ハロゲン球の普及

昭和45年前後には、ハロゲン球を手術用として使用しても支障のないところまで改善されたため、当社では世界で始めてハロゲン球を手術用照明灯に採用することを決定した。ハロゲン球の問題点は、熱線を多く出すことである。しかし、この時点ではすでにコールドミラーが採用されていたことに加え、投光部下面に取り付けられる熱線吸収硝子にコールドミラーと逆特性の多層膜コーティング（コールドフィルター）を施したものを採用したため、熱線の処理は画期的に改善された。この時代以降、世界の手術用照明灯はハロゲン球使用の時代へと入って行った。

4.3.5 バイオクリーン手術室の出現

先の、手術室の進歩の中で述べたとおり、昭和40年代も終わりに近づく頃、新築あるいは改築の病院ではバイオクリーンシステムを手術室に採用する所が出てきた。HEPA フィルタを使用したクラス100を標榜する手術室では、水平層流式よりも垂直層流式を採用するところが多く、フィルタの取り付けはほとんど天井面ということにであった。そこで、従来の天井面に回転部を付設した手術用照明灯では、層流に支障をきたすことになるため、新たな発想の照明設備が要求されることになった。この要求を解決するために開発されたのが、コンピュータ制

御による天井埋め込み式手術用照明灯である。これは、投光部1灯1灯が自由に天井面に配置できるもので、HEPA フィルタ下面に設置されたパンチング板に取り付けることも、またフィルタとフィルタとの間に取り付けることも可能で、壁面に埋設されたコントロールパネル上の手術台を見ながら焦点の移動ができるものである。この方式は、昭和50年代の病院建設ラッシュの中で、大いに採用されたシステムである。

4.4 昭和50年代

この時代の中頃には、手術室のクリーン化も多様化してきて、必ずしも天井埋め込み式の手術用照明灯でなくても、極力層流を乱さないタイプの天井懸垂型製品であれば、用途によっては使用ができるということになり、独立多灯式の手術用照明灯が開発されたのである。従来の手術用照明灯は1つのハウジングの中に投光部を配列したものであるが、このタイプは独立した投光部を数個配列したものである。1灯の形状は極力円形に近づけ、灯と灯の間を清浄空気が流れるように設計されたものである。この形式は改善を重ねて現在も多数生産されている。

また、昭和58年頃、一般の手術用照明灯の中に、自動集光装置が組み込まれるようになり、術中の焦点調節も楽に行えるようになった。

4.5 昭和60年代から現在

国内の生産の基本が、各社軽小短薄の傾向を標榜していたため、電子機器の小型化、素材の軽量化が進み、医療機器の分野でもこれらの恩恵を受けた時代である。照明灯の本体も、今までアルミニウムが基本であったが、6年ほど前から、本体に耐熱性の合成樹脂を採用する製品も現れ、一層の軽量化が図られた。また、かつて25kgあったTVカメラも現在ではレンズを入れてわずか2kg程度に軽量化しているため、灯体に取り付けるのも数段容易になっている。

以上、大正時代から現在に至るまでの、手術用照明灯

図6 クリーン手術室と天井埋め込み式灯

図7 最近の手術用照明灯

の変遷について、概略を述べてきたが、現在の主役はやはり多灯式手術用照明灯であろう。フランス製あるいはアメリカ製の一部には一灯式の手術用照明灯を生産している所もあるが、問題は断線時の対応がスムーズに行えるかどうかである。また、中には高照度を要求されるため、キセノン球やメタルハライド球を使用せざるを得ず、色調に問題を生じないのか十分検討を要するところである。

5. おわりに

1996年の日本医科器械学会における基調講演「医科器械進化論」の中で、名古屋大学名誉教授の榊原欣作氏は、医科器械には進化と進歩の歴史があると申されております。たとえば、人工心肺を祖先として進化した補助循環は、さらに補助心臓にも進化した。また、単なる乳児保温装置でしかなかった保育器が現在では、未熟児管理機器として周産期医療に不可欠の機器に進化したということである。一方、手術用照明灯は著しい進歩は遂げたものの、進化はしなかったということである。この見方は確かに当を得ていると思われる。生体と直接関係を持たない、手術用照明灯や手術台は進化し難い製品の1つであろう。しかし、照明の概念を変えてしまうような光源

が出現すれば、手術用照明灯の姿は一変するであろう。たとえば、部屋全体が光り、そこから自由に光線が得られないか、またこれを部分的に制御できないかということである。あるいは、波長を自由に調節できる光源があれば、医療用として用途の幅は拡大されるはずである。手術用照明灯の変遷の中で、最も進歩を遂げた時代は、昭和40年代である。これは、その背景にある医術や工学技術が最も短期的に進歩した時代でもあった。そのことからすれば、手術用照明灯の進歩は、特に工学的技術進歩の傾向線の上に乗っているということが言えよう。ただし、21世紀に入って、社会現象の変化が起こり、心霊手術のようなことが簡単にできるようなことになれば、外科の概念は根本から崩れ、手術用照明灯も不要になる。現時点では、そのような変化はないと仮定し、照明技術に携わる方々の発明・開発努力に期待を致したいと思う。

参考文献

- (1) 財団法人日本医科器械資料保存協会：医科器械資料録，昭和60年(1985)
- (2) 横田雅巳：手術用照明灯の性能評価に関する問題点，病院設備，Vol.28, No.2, 150号，(1986)
- (3) 榊原欣作：医科器械進化論，医器学，Vol.66, No.9，(1996)