教育講演 I

これからの白内障手術

常 岡 寛

東京慈恵会医科大学 眼科学教室

Cataract surgery in near future

Hiroshi Tsuneoka

Department of Ophthalmology, Jikei University School of Medicine

I. 緒 言

眼科診療において、白内障手術に関連する検査はもっともポピュラーであり、視能訓練士として十分に修得しておかなければならない分野である。現在でも多くの方が白内障手術を受けておられるが、眼が見えなくなる病気の代表であったであろう白内障に関しては、極めて古い時代から認識されており、それに対する手術が紀元前より行われていたことは驚きである。3000年の歴史を経て、いろいろな改良がなされた上で現在の白内障手術が完成しているのである。そして、白内障手術に関しては現時点ですでに最高の術式が出来上がっていると考えられがちであるが、まだまだ着々と進歩しているのである。

本稿では、白内障手術はいつごろからどのような術式で始まったのか、白内障手術の術式はどのように発展・進歩してきたのか、現代の完成された白内障術式と最新の手術法はどのよう

なものか、これからの白内障手術はどうか、そして最後に、白内障手術前後の検査を担当する視能訓練士にとって、どのような点に注意して検査をしなければならないのか、を論じていく。

II. 白内障手術の歴史

現在の、点眼麻酔（テノン嚢麻酔）＋超音波乳化吸引術＋折りたたみ眼内レンズ挿入術という小切開白内障手術が完成するまでには、術式にいろいろな変遷があった。時代に沿って解説していく。

1. 白内障手術は古代から始まっていた

眼の手術に関する最も古い記載は、チグリス川・ユーフラテス川流域に栄えたメソポタミア文明において制定された最古の法律、ハムラビ法典（紀元前1750年頃）の中にある。どのような疾患に対してだか不明であるが、眼科医が手

別冊請求先（〒105-8461）東京都港区西新橋 3-25-8

東京慈恵会医科大学 眼科学教室

Tel. 03-3433-1111 Fax. 03-3435-7959

E-mail: tsuneh@jikei.ac.jp

術をした際の報酬に関して、視力回復度に応じて払われる基準と、うまくいかなかった場合には手指の切断などという罰則があることまでが記載されているのである。

白内障手術に関する最も古い記載は、ガンジス川流域に栄えた古代インド（紀元前600年頃）の外科書「Susruta-samhita（妙聞集）」の中にあり、眼疾患の系統的な説明および白内障手術としてcouching法（針立法）が記載されている（図1 A）。この方法は、角膜の耳側、いわゆる毛様体扁平部から針を刺して水晶体を突き刺し、混濁した水晶体を硝子体内に落下させて光を得るという術式である（図1 B）。針を刺す部分が、ちょうど硝子体手術の時に器具を挿入させるために穿刺する位置であることを考えると、古代の人の知恵には驚かされてしまう。

図1-A

図1-B

図1. 古代の白内障手術 couching法（針立法）
A. 古代インドの外科書「Susruta-samhita」に描かれている白内障手術
B. ヨーロッパで記載された白内障手術の教科書

一方ヨーロッパでは、紀元前400年頃の古代ギリシア時代、ヒポクラテスがその著作の中で、種々の眼疾患と白内障手術について述べている。また、ローマ皇帝アエリクス時代（紀元後222年頃）には、視力が低下したヤギが茂みに行って、トゲで目を穿刺すると、白内障が消失してヤギは直ちに見えるようになった、というおとぎ話がGalen集に記載されており、一般的にも眼のある部分を穿刺して中のものを落下させると眼が見えるようになる、ということが信じられていたようである。

さて日本であるが、白内障手術に関する記載が残っているのは12世紀になってからである。京都国立博物館に所蔵されている国宝「病草紙」（平安時代後期）の中に、「偽医者が『水晶体突き落とし術』で失敗して出血させてしまった図」（図2）という、大変滑稽な絵がある。この当時にはすでに白内障手術が広く行われていたらしいこと、偽医者という存在があったらしいこと、など、その当時の世相を知るうえで有用な資料である。

図2

図2. 偽医者が水晶体突き落とし術で失敗して出血させてしまった図
平安時代の白内障手術を示す絵。患者が体を乗り出して眼を前に出し、偽医者が針で水晶体を突き落とそうとしている。患者の横には看護師と思われる女性があり、医師の後ろには面白そうに覗き込んでいる見学者がいる。国宝「病草紙」より。

Couching法は、古代において世界中で広く用いられた白内障術式であるが、この術式が現在でもなおアフリカなどの開発途上国では行われ

ているようであり、まさに「世界不思議発見」である。

2. 中世での白内障手術の発展

古代では、術式の理論は分からないけれど、経験的な知識からCouching法が広く行われていたわけであるが、中世になると眼の構造が解明され、病気の原因である混濁した水晶体を眼外に摘出する、という術式が考えられるようになった。

1610年、ドイツの天文学で数学者でもあるJohannes Keplerが、網膜こそが視覚を感受する器官であり、水晶体は光を屈折するのみであるという革命的な発表を行なったのである。そして1705年には、フランスのPierre Brisseauが、死体眼の解剖結果を示し、白内障は「水晶体の混濁によって惹起される」ことを最初に提唱した。白内障の原因がやっと解明されたのである。

1745年になると、Jacques Davielが初めて水晶体囊外摘出術(図3)を考案。当初は眼球の下方に切開をして水晶体の囊を破り、核や皮質を摘出していたが、後に上方の輪部切開の手法が普及するようになった。

図3

図3. 水晶体囊外摘出術

水晶体の前囊を切開し、硬い核をそのままの形で摘出する術式。当初は、核を摘出した後皮質を洗い流すだけであったため、後発白内障が必ず発症した。現在行われている計画的囊外摘出術では、皮質を丁寧に吸い取るため、残余皮質は少なく、後発白内障の発症率は減少した。

3. 近代における白内障手術の進歩

近代になると、手術を安全に行うための処置や装備が整えられていった。

まず麻酔であるが、1849年にJüngkenがクロロホルムの麻酔を用いた最初の眼内手術を施行したのである。その後、1884年にはCarl Kollerがコカインの点眼による局所麻酔を開発した。その後1928年にAnton Elschnigが球後麻酔を発表するまで、点眼麻酔による白内障手術が続けられていた。近年、点眼麻酔による白内障手術は最も新しい方法のように思われているが、実は100年以上前にはスタンダードに行われていた手技なのであった。

混濁した水晶体を摘出する方法として、水晶体前囊を破り、核を摘出、皮質を洗い流していたのであるが、後発白内障が多発していた。1800年頃、ウィーン大のJoseph Beerは、初めて水晶体全部を取り出すことを提唱した。セッシンなどで前囊を摘んで摘出する水晶体全摘出術(囊内摘出術)は徐々に普及していき、その後1960年代になると冷凍ブロープによるcryoextraction法(図4)になっていた。

図4

図4. 水晶体全摘出術(囊内摘出術)

水晶体を囊ごとすべて摘出する術式。当初は、特殊な鑷子で前囊を把持して摘出していたが、20年前までは冷凍凝固によってチップと前囊を癒着させて引っ張り出す冷凍摘出術が行われていた。

この時代で起きた大きな出来事として眼内レンズの登場があげられる。ロンドンのセント・トーマス病院(慈恵医大の姉妹校)のHarold Ridley(図5)が、1949年11月29日にPMMA製のレンズを45歳の女性の眼内に埋植したのである。当時、混濁した水晶体を摘出する術式は進

歩して安全になってきたが、摘出後に分厚い眼鏡を装用する必要があった。戦争で負傷して眼内に戦闘機の風防ガラスを入れてしまった飛行士を診察し、眼内での炎症がほとんど起きていないことに気づいた彼は、PMMA製のレンズならば水晶体を摘出した代わりに眼内に移植することが可能ではないかと考えたのである。直径8.32 mmで重量が112 mgという大きなレンズであり、経過が良好で30年以上有効であった症例も少しはあったが、ほとんどの症例でレンズが眼内に落下し、失明にいたる症例が多く、当時は「悪魔のレンズ」と陰口をたたかれた。30年以上経過してさまざまな改良が加えられ、今では極めて安全に眼内レンズを挿入することが可能になったのである。

1950年代になると、拡大鏡を用いて行っていた手術から手術用顕微鏡を用いる手術に変わっていき、より詳細な手技を行うことが可能になった。

図5. 近代白内障手術の父、Sir Harold Ridley
1949年に世界で初めて眼内レンズを挿入した。
当時のレンズには支持部はついておらず、大きな光学部のみであった。

Ⅲ. 現代の白内障手術の発展

白内障手術は、局所麻酔を行い、混濁した水晶体を摘出し、代用の凸レンズで視力を矯正するという3つの手技があるが、ここ25年間でこれらの手技が大きく変わっていった。

1. 20年前までの術式＝球後麻酔＋水晶体全摘出術＋眼鏡またはコンタクトレンズ（図6）

図6. 水晶体摘出後の視力矯正法

摘出した水晶体の屈折度に匹敵する度数の凸レンズを、眼鏡またはコンタクトレンズで補うことになった。眼鏡では非常に厚みがあるため、正面視では良く見えるが、少し横を見ると物が歪んで見えるという問題点があった。コンタクトレンズでは、視機能の質は良くなるが、高齢者にとって毎日装用、取り外しをすることはかなり難しく、結局諦めてしまう人が多かった。

20年ぐらい前までは最も一般的に行われていた術式である。球後麻酔であるため安全に手術を受けることができるものの麻酔時の疼痛が非常に強いこと、手術時間が40～60分かかり長いこと、切開が12mm以上あるため術後1日は絶対安静が必要であること、社会復帰には時間がかかること、そして術後分厚い眼鏡が必要で視機能には不満が残ること、などが特徴である。大掛かりな手術であったため、手術を終えて見えるようになったときの感激は大きかったが、白内障がかなり進行するまでは手術適応とならなかった。

2. 15年前までの術式＝テノン囊麻酔＋計画的囊外摘出術＋PMMA眼内レンズ（図7）

白内障手術を安全に行うためには、球後麻酔（図8）によって術中の疼痛抑制と眼球運動制御をする必要があったが、後囊を残して核と皮質だけを摘出する術式になったため、眼球運動を確実に制御するという必要がなくなった。1990年頃にあらたしく登場したテノン囊麻酔（図9）では、麻酔時の疼痛がほとんどなく患者への負担が軽減することになった。水晶体の

図7

図7. 後房眼内レンズの普及

従来の眼内レンズは、前房に入れたりや虹彩に括りつける方法がとられていたが、あまり結果がよくなかった。嚢外摘出術で残した水晶体嚢内に眼内レンズを移植することで、今までの問題点を解決することが可能になった。眼内レンズを水晶体があった場所に安全に移植することが可能になり、白内障術後の視機能は画期的にようになった。

図8

図8. 球後麻酔

眼球の後ろにある毛様神経節をブロックし、術中の疼痛閾値を上げるとともに眼球運動を抑制することができるため、白内障手術を安全に行うためには必須の麻酔であった。しかし、投与時の疼痛が非常に強く、手術を受ける患者にとっては恐怖的であった。

摘出法も全摘出術から水晶体嚢を残す計画的嚢外摘出術になり、手術時間も20〜40分と短くなって、術後の絶対安静も不要となった。術中に眼内レンズを残存する水晶体嚢の中に挿入することが安全に行えるようになったため、術後に分厚い眼鏡を装用する必要がなくなり、見え方の質は格段に向上した。しかし、切開創は11mm

図9

図9. テノン嚢麻酔

白内障手術の進歩と共に、術中の眼球運動を抑制する必要性が減少した。投与時の疼痛がほとんどなく、術中の疼痛閾値を上げることができるため、きわめて有用な麻酔法であるが、眼球運動を抑制することはできない。

程度と大きいため縫合が必要であり、術後も縫合が少しずつ緩んでくるため、乱視が長期間にわたって変化し続けた。したがって、術後何度も眼鏡を作り変えなければならず、社会復帰には時間がかかることが多かったのである。

3. 最近の術式 = 点眼麻酔 + 超音波乳化吸引術 + foldable眼内レンズ (小切開白内障手術)

1995年頃より普及しはじめた超音波乳化吸引術 (図10) の登場により、白内障手術は画期的な進歩をとげることになった。計画的嚢外摘出術では、硬い核をそのままの形で摘出するため、創口を10mm以上にする必要があったが、Charles D. Kelman (1930〜2004) が開発した超音波乳化吸引術では、眼内で硬い水晶体核を碎いて吸い取ることができるため、3mmの創口で混濁した水晶体を摘出することが可能になったのである。また、当初は素材が硬いPMMAの眼内レンズを挿入していたため、レンズ挿入のために創口を6mmにまで拡大していたが、アクリルソフトやシリコンなど軟らかい素材の眼内レンズが開発された。折り畳んで挿入することが可能なfoldable 眼内レンズ (図11) の登場により、現在では約3mmの創口で手術を終えることが可能になったのである。縫合は不要となり、術後の角膜乱視の変化も非常に少なく

図10-A

図10-B

図10. 超音波乳化吸引術

水晶体内の硬い核を、細い超音波チップにて碎き、柔らかくして吸い取ることにより水晶体摘出時の創口を小さくすることが可能な術式である。現在最も普及している術式であり、以前に比して術中・術後合併症も少ない低侵襲手術と考えられている。

図11

図11. Foldable IOL

超音波乳化吸引術の普及により、水晶体は3 mmの創口から摘出が可能になった。それに合わせて、硬い材質で作られていた眼内レンズが柔らかい材質で作られるようになり、レンズ挿入のための創口が非常に小さくなった。

なった。麻酔も点眼麻酔だけで行うことが可能になり、患者は手術時にほとんど疼痛を感じることもなく手術を受けることができるようになった。手術時間は20分程度であり、術前後の不自由さも少なくなり、快適な術後視機能を得ることができるため、術後早期に社会復帰が可能になった。

4. 手術の時に起こりうる合併症

超音波乳化吸引術の普及によって、白内障手術はきわめて安全な手術になったが、頻度は少ないものの、いくつかの合併症がある。術中に後囊が破損し、硝子体脱出する頻度が0.5～5.0%、核片が硝子体内へ落下する頻度が0.1%程度、チン小帯が断裂して超音波乳化吸引術が施行できない場合が0.5%程度である。いずれも術中に眼内レンズを嚢内に挿入することが困難なことがあり、最終的にはレンズを毛様溝へ縫着しなければならない症例がある。また、最も嫌な術後合併症として、細菌性眼内炎がある。頻度は0.05%程度と極めて稀であるが、はっきりとした原因なしに術後2～4日に急激に発症し、適切な処置を行っても失明に至る症例がある。適切な予防法の確立が待たれている。

IV. 最新の白内障手術＝極小切開白内障手術

超音波乳化吸引術と折りたたみ眼内レンズの普及により、白内障手術は3 mmという大変小さな創口で手術を完了することが可能になったが、最近ではその創口をさらに小さくする術式が普及し始めている。従来の小切開白内障手術に対して極小切開白内障手術と名づけられた手術では、水晶体の摘出法として2種類ある。1つはBimanual phaco surgery (図12) と呼ばれる新しい手技であり、超音波乳化吸引術における灌流と吸引のポートを別々に分け、それぞれの創口を1.2～1.4 mmにするという術式である。もうひとつはMicro co-axial phaco surgery と呼ばれる術式であり、手技は従来と同じで灌流と吸引を同じポートにしているが、超音波チップおよび灌流スリーブを細くすることによって、

図12. Bimanual micro phaco surgery
従来の超音波乳化吸引術では、超音波チップに灌流スリーブを装着し、灌流と乳化吸引を同じポートで行うco-axial手術であったが、灌流と乳化吸引のポートを別々にし、書くポートの切開幅を小さくした術式である。

2.0~2.4mmの創口で水晶体を摘出する術式である。最近ではこれらの術式にあわせて、1.7~2.4mmの創口から挿入可能な極小切開対応眼内レンズが市販されている。

極小切開白内障手術では、切開創が3mmから2mmになることにより、手術によって惹起される角膜形状の変化がほとんどなくなるといふメリットがある。小切開白内障手術に比して、極小切開白内障手術では術後の乱視をより正確に予測できることになる。

V. これからの白内障手術は

現在、いろいろな目的を持った新しい眼内レンズが開発されている。小さな創口から挿入可能な極小切開用眼内レンズ、予測される術後乱視を矯正する乱視矯正眼内レンズ、遠方・近方の両方見える多焦点眼内レンズ、そしてこれらすべてを併せ持つ極小切開対応多焦点+乱視矯正眼内レンズである。

極小切開対応レンズに関しては、従来の半分の切開幅である1.5mm以下の創口から挿入可能な眼内レンズが開発されており、ヨーロッパではすでに市販されている。わが国でも、1.7mmの創口から挿入できる眼内レンズが市販されているが、手術による惹起角膜乱視や不正乱視が

ほとんどないことから、術後の角膜乱視を正確に予測できることになる。

乱視矯正眼内レンズは、以前にも市販されたことがあるが、その当時は白内障手術によって新たな乱視が惹起されたため、正確に乱視の度数を矯正することは不可能であった。また、挿入された眼内レンズが術後回転し、乱視の軸も変化していた。最近欧米で発売された乱視矯正眼内レンズは、2.0mm以下の創口から挿入できること、素材の粘性が高く術後眼内で回転することがないこと、などの改善によって、正確に術前の乱視を矯正することが可能なレンズとなった。

図13-A

図13-B

図13. 多焦点眼内レンズ

従来の眼内レンズは短焦点レンズであるが、最近二重焦点の眼内レンズが認可された。

A. 屈折型多焦点眼内レンズ リズム (AMO社製)

B. アボタイズ回折型多焦点眼内レンズ リストア (アルコン社製)

白内障手術時に摘出した水晶体の代替として挿入する眼内レンズは単焦点のレンズであるため、遠方がはっきり見える度数の眼内レンズを挿入すると近くのものにはピントが合わず、強い老眼になったのと同じで日常生活をする上で、眼鏡装用を必要とする機会が多いことになる。最近わが国で認可された多焦点眼内レンズ（図13）は、遠方と中間距離（70cmくらい）、または遠方と近方（30cmくらい）の両方にピントが合う二重焦点レンズであるため、遠方がはっきり見える度数のレンズを挿入しても、ある程度近くのものにピントが合うようになっている。そのため、いろいろな作業をするうえで眼鏡を装用する機会が少なくなり、日常生活をより便利にする画期的なレンズである。

眼鏡装用からの解放を目指す多焦点眼内レンズの利点を享受するためには、屈折誤差をなくすこと、乱視をできるだけ少なくすることが重要である。現時点では、多焦点眼内レンズ挿入後の屈折誤差を補正し、残余乱視を矯正するにはエキシマレーザーによる屈折矯正手術を行っている。今後は、乱視矯正と多焦点が合わさった眼内レンズが市販される予定であり、これからの白内障手術は屈折矯正手術と融合する方向に向かうものと思われる。

VI. 視能訓練士と白内障手術

古代から行われていた白内障手術であるが、20年前までは、混濁した水晶体を光路から外して明るさを取り戻すという開眼手術であった。日常生活がほとんどできないほど悪くなった状

態で手術を受けているため、術後の見え方の質についてはそれほど重視されるようなレベルではなかった。しかし、眼内レンズが普及してからは、術後の視機能の質が非常に向上した。このころから、白内障手術は「見えなくなった眼を見えるようにする開眼手術」から「見にくくなった眼を見やすくする手術」へ発展して行った。そして最近では、日常生活が快適に送れるように術後の屈折状態を調節するという「屈折矯正手術」に変わってきたといえる。

このような白内障手術の進歩により、視能訓練士が担当する術前術後の検査の重要性は非常に増してきた。とくに、術前の屈折検査・ケラト値・眼軸長の測定は極めて重要で、術後の視機能に大きく影響を及ぼすことになる。これらの測定が不正確であると、術者がいかに綺麗な白内障手術を行っても、患者さんの満足度は低くなってしまう。慎重に検査をし、不適切な値と思われる結果が得られた場合には、必ず再検して確認するという姿勢が必要である。

また、新しい眼内レンズの登場により、以前よりも患者のニーズをしっかりと聞き取る必要がでてきた。多焦点眼内レンズを希望される場合には、そのレンズの性質を十分に理解し、適切なアドバイスをしてあげることが要求される。また、単焦点眼内レンズを選択する場合には、遠方合わせが良いか、それとも近方合わせが良いのか、患者さんの希望を聞きながらも適切な度数合わせを考える必要がある。

視能訓練士は、進化した白内障手術に遅れをとることがないように、しっかりと研鑽を積むことが要求されている。