

総説

PEA の歴史

西 起史

総説

PEA の歴史

西 起史*

1. はじめに

現代の白内障手術は「白内障屈折矯正手術」と呼ばれる。一言で言えば、術後眼鏡フリーの状態の実現が目的であり、そう呼ばれる所以である。これには CD. Kelman が発明、導入した phacoemulsification and aspiration (以下 PEA) が果たした役割は決定的で、PEA が発明されなければこのような概念も生まれてこなかったに違いない。私見だが、網膜、白内障、緑内障等の眼科治療において最も偉大で重要な貢献を果たしたのは硝子体手術と PEA と考えている。

PEA はそれまでの水晶体嚢内摘出術 (intracapsular cataract extraction 以下 ICCE) や嚢外摘出術 (extracapsular cataract extraction 以下 ECCE) とは切開創の大きさや核処理と言う点で異なる手技であるが、白内障除去後眼内レンズ (intraocular lens 以下 IOL) を挿入するという本質は変わらない。本稿では細部に拘わらずに、近代白内障手術の発展の大きな流れの中の PEA の発展の歴史と我国の貢献を、私見を混えて述べる。

2. 近代・現代白内障手術の流れ (表 1)

近代白内障手術は 1747 年フランスの J. Daviel が計画的 ECCE を実施したのが始まりとされている¹⁾。これが 1960 年頃まで実に 200 年以上続いた。実質的な近

代白内障手術は 1960 年頃から近代 ICCE で始まったと思われ、約 20 年続く。1970 年からは ECCE の時代と同じく約 20 年間、この間を縫って 1967 年に CD. Kelman が初めて導入した KPE (Kelman Phacoemulsification) のマシン²⁾ が市場に登場したが (図 1)、超音波にリニアコントロールが無く、また 3mm の切開創を polymethylmethacrylate (以下 PMMA)-IOL 挿入のため拡大せざるを得ず、更に手術用顕微鏡もまだ余り普及していなかったこともあり、広く普及するに至らなかった。しかし、手術用顕微鏡が一般的となり、1983 年に超音波のリニアコントロールが導入され、更に 1984 年に小切開創から挿入出来るシリコン製の折りたたみ IOL が導入され、以降あっと言う間に 100% PEA の時代となった。これが近代・現代白内障手術の大きな流れである。

3. IOL の導入 (表 1)

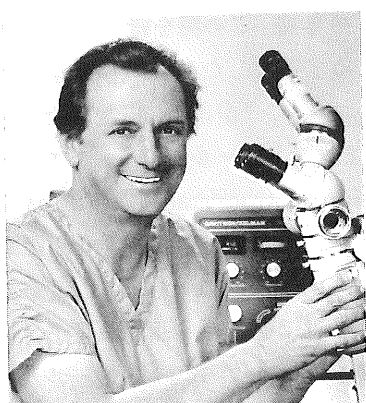
他方 IOL は、白内障手術手技と車の両輪のように発展してきた³⁾。最初の ECCE の時代では、術後眼鏡が無条件に必要なため、白内障手術の最大の合併症は無水晶体眼と言われていた。このような時代に 1949 年 H. Ridley が初めて IOL を人眼に挿入してこの合併症の解決の糸口を作った⁴⁾。そのきっかけとなったのが、彼の白内障手術を見学していた一人の医学生が言った言葉とされている。“It's a pity you can't replace the cataract with a clear lens”⁵⁾。それで彼は図 2 に示す IOL を作製したが、その材質のヒントとなったのが、第二次世界大戦のイギリス空軍戦闘機 Hurricane の防弾ガラスの破片が、異物反応無く長期間眼内

* 西眼科病院
2017 年 6 月 14 日受付

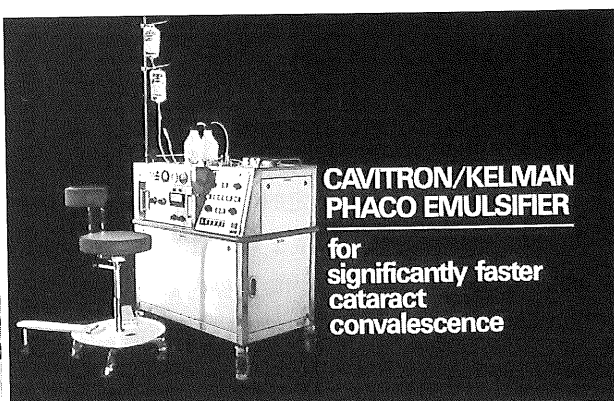
表 1 白内障手術の変遷

	1747	1950	1960	1970	1980	1990	～	2017
-Couching (墜下法) 紀元前一世紀								
-Daviel ECCE	1747			1970				
-近代 ICCE			1960		1980			
-近代 ECCE				1970		1990		
-PEA (KPE)				1967		1983		
-現代 PEA						1983		
-I 世代後房レンズ		1949	1959					
-II 世代前房レンズ		1952	1962					
-III 世代虹彩支持型レンズ		1953			1980			
-IV 世代近代前房レンズ			1963					
-V 世代近代後房レンズ					1975			
-折りたたみ IOL						1984		

下段の IOL 年譜は文献 5) より改変して掲載。



CD. Kelman



最初のPEAマシン

図 1 CD. Kelman と最初の KPE マシン

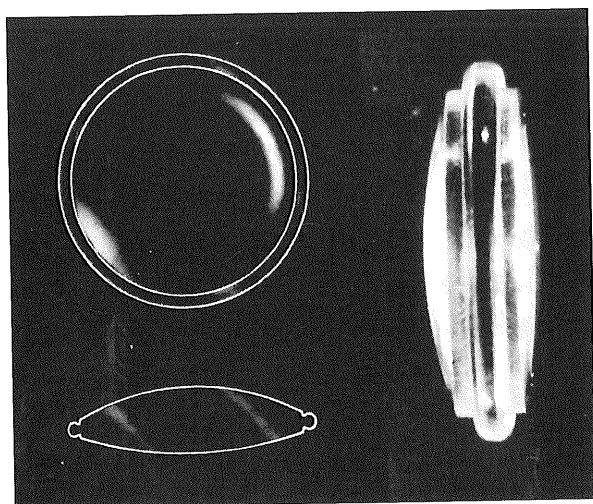


図 2 Ridley レンズ

中央部厚さ約 2.4mm, 周辺 1mm。直径 8.35mm。曲率半径: 前面 17.8mm, 後面 10.7mm。屈折率: 空中 1.49, 房水中 1.33 で 24D。

に止まっていた患者を診察したことにある。即ち PMMA 製の IOL である。最初の患者は 45 才の女性で、結果は術後 $S-18D=C-6DA \times 120^\circ$ の許容しがたい高度近視となった (D: diopter, Ax: axis)。彼は同僚・社会から非難・迫害を受け、それでも最終的に 1000 例以上に挿入したが、偏位、脱臼が多く、角膜内皮不全、虹彩炎等も多く見られた⁵⁾。

そこで前房に固定する前房レンズが考案された。挿入は容易で固定は非常に良好だったものの、後に多くの症例が角膜内皮不全を惹起した。1978 年京都の WOC で J. Barraquer が、彼自身が作製した IOL も含め、このレンズを使用してはいけないと強調していた。これが第 II 世代の前房レンズと言われるものである。

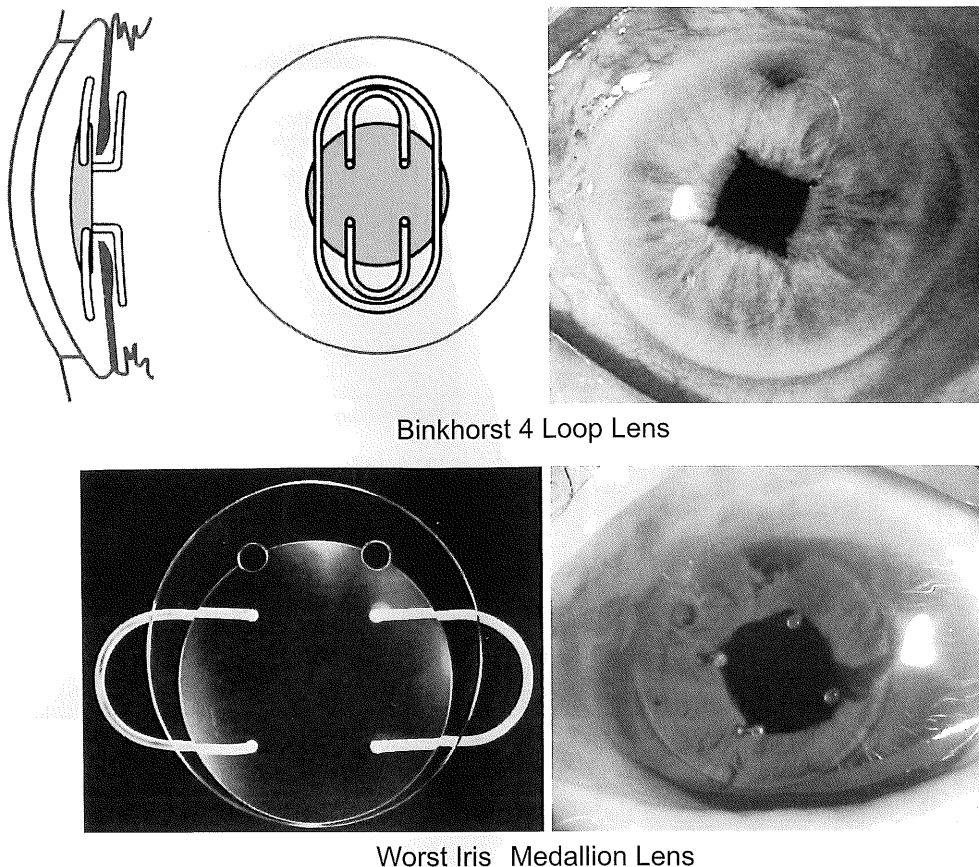


図3
上：Binkhorst 4-loop lens。下：Worst Iris medallion lens。87才女性。1977年挿入。2個の小孔に通糸し虹彩に縫着する。

4. 近代ICCEの時代(1960～1980)

DavielのECCEでは残留皮質は洗浄によって除去されたので、「皮質や嚢が残留し強固な後発白内障、水晶体起因性・過敏性眼内炎が惹起される」のが問題点であった。昭和43(1968)年頃のECCEにおける皮質除去法は、Davielの方法と殆ど変わらない。当時の手術書⁶⁾には「まずDaviel匙で角膜下方より上方へしごき上げるように加圧する。残留皮質の多いときはJaeger横匙を受け皿のように前房へ挿入し、しごき上げた皮質を匙に受けて除去」とある。従って実際に手術が行われるのは多くの場合、熟成白内障に近い状態になってからであった。

ICCEが登場する所以であるが、ICCEの問題点は「毛様小帯の切断が困難、水晶体の摘出が困難」であった。この問題点はBarraquerが導入した α -

Chymotripsin⁷⁾およびT.Krwawics⁸⁾, Kelman⁹⁾の導入したCryoで克服された。そしてECCEの問題点はKelmanの導入したI/A装置で克服される。しかし、 α -ChymotripsinとCryoの導入が早かったためにICCE全盛の時代となる(表1)。M. Inouyeが早い時期に α -Chymotripsinを使用したICCEを「眼科臨床医報」に報告している¹⁰⁾のは驚きである。180℃の角強膜切開後、これを前房に注入してZinn小帯を融解し、当初はカプセルの吸引子や、カプセルピンセットで、後にはCryoでくっつけて水晶体を全摘出した。

5. 近代ICCE用IOL(1953～1980)

この2つの新しい手技でICCEは再現性の高い、より確実・安全な手技となり、CD. Binkhorst¹¹⁾やJGF. Worst¹²⁾の虹彩固定IOLが導入された(図3)。第III世代虹彩支持型レンズである(表1)。当時日本では保

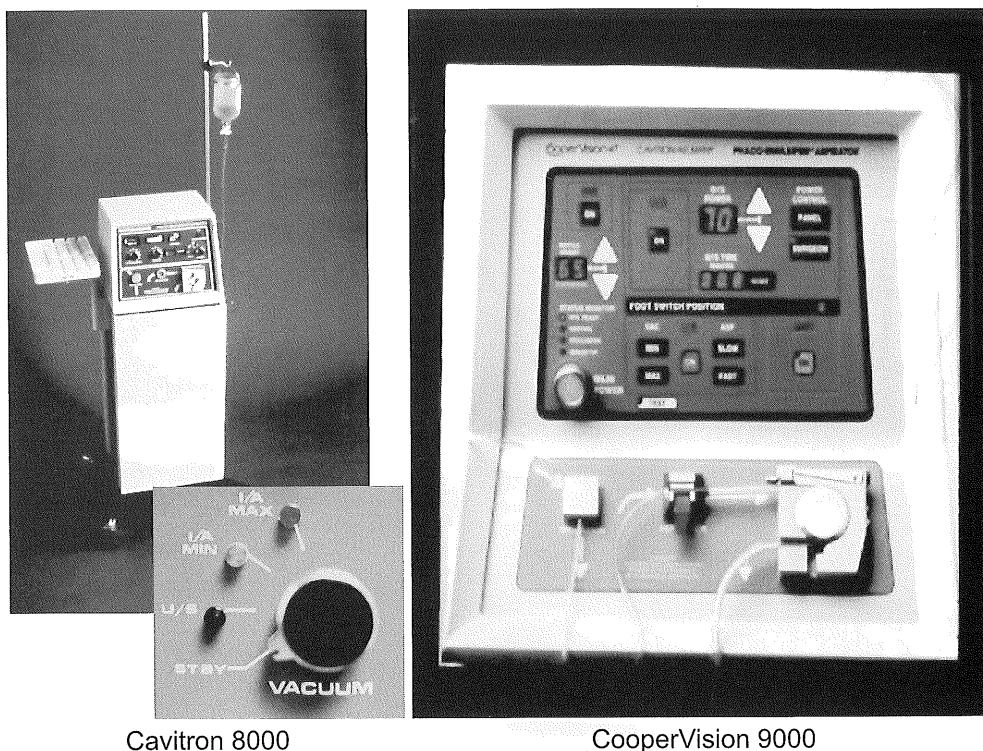


図4
左：最初の普及型 KPE マシン Cavitron 8000。右：CooperVision 9000。超音波振動がリニアコントロールとなった。

険適応が無く、混合診療でごく一部の患者に挿入されたに過ぎない。しかしこれらの IOL は来たるべき近代 ECCE 後に挿入する後房レンズの先駆けであり、事実上現代の IOL はここから始まったと言える。

6. Kelman Phacoemulsification (KPE) (1967~1983)

ICCE 全盛時の 1963 年に最初の KPE マシンが (図 1, 表 1), 少し後に最初の普及版である Cavitron 8000 が登場する (図 4 左)。これが生まれてきた過程は実に興味深く、Kelman の Lecture の原稿から翻訳して紹介したい¹³⁾。Kelman の熱意, 忍耐, 勇気, 更には幸運に、読者は驚かされるだろう。

『KPE の開発の歴史は綱渡りの連続であった。私 (Kelman) が当時レジデントであった Wills Eye Institute では白内障手術は 180° の切開と 8 本の縫合, 10 日間の入院が必要で、高齢患者が弱っていくのに心が痛んだ。当時 4 年に亘る「冷凍凝固が眼組織に及ぼす影響」の研究を終えて報告書を書き終えたが、Grant

を授与してくれた Hartford Foundation が、この研究が Grant に値しないと判断するのではとの思いがあった。ある日真夜中に目が覚め、殆どトランス状態で報告書に追加した。「この凍結凝固研究に加え、入院が不要になるほどの小切開から白内障を除去する手技を開発する」。この追加事項により更に 3 年の Grant が得られた。2 年 8 ヶ月の間、ロータリー式, Oscillating 式, 粉碎式等の器械的方法を試したが、必ず角膜が混濁した。研究に熱中していたあまり自分の身なりを放置していたので、ある日散髪と歯石除去に行った。この歯医者で歯石除去用の超音波バイブレーターを発見した。これには吸引装置がついていなかった。製作していた Cavitron 社は当初拒否していたが、最終的に試作品の製作に同意した。しかし最初はやはり角膜混濁を防げなかった。生理的食塩水の代わりにスペインの Barraquer Institute から BSS を輸入、更に眼内での温度の上昇が角膜の蛋白を凝固することが判り、数ヶ月に亘る動物実験に成功した後、遂に人眼に応用した。最初の患者は疼痛を伴う絶対緑内障眼で、実験

に賛同してくれた。70分の乳化吸引中、吸引圧が高いため、何度も前房が虚脱した。翌日術眼はPusで一杯で眼球摘出を余儀なくされた。本来ならここで終わっていたかも知れない。しかし私は2年間この虚脱を防ぐ方法を探し続け遂に見つけた。動脈血流の圧センサーである。これを吸引ラインに設置、吸引圧が灌流圧を超えた時、減圧バルブが開き吸引が止まる。人眼に再トライする気になるには更に1年を要した。そして中心動脈閉塞症で失明した患者さんが実験に同意してくれた。ハンドピースは重く、先端を眼内で絶えず正しく保持するために、ハンドピースを保持しながら3次元で動かす装置を術眼の上に設置した。そして困難な手術は成功したのである。患者は術後光覚を取り戻した。術翌日重篤なDescemet膜のFoldが見られたが、6週後には吸収された。次の患者の結果はもっと良かった。

しかし未だ多くの困難が待ち構えていた。当時は新しい手技を始めるのにルールは無かった。私の手術はSenior Surgeonsの知るところとなり、彼らはこの手術を止めるようにボードメンバーを説得しようとした。最終的に委員会が設置され、個々の症例がモニターされることになった。幸いこの頃には結果は良くなっていた。一つでも悪い結果があればそこで終わっていただろう。1970年に私はこの手技を教え始めた。しかし悪いことに手技をマスターしたドクターに対し多くの同業者は反対したのである。当時多くの術者はルーベで拡大手術をしていた。彼らは新しい手技と共に顕微鏡にも慣れねばならなかった。政治的に重要な術者の多くは高齢になり、これらの新しい手技に馴染めず、従って猛烈に反対した。

しかし事はそれだけでは済まなかった。Cavitronの技術主任が昇進出来なかったからか全ての批判的な情報を公開したのである。Cavitronはプロジェクトを中止しようとした。ここで全ては終わっていたかも知れない。しかしカリフォルニアのある起業家が引き受けてくれ、更にCooper Visionが、そして最終的にAlconが事業を買い取る事となる。

そしてAAOが比較調査を実施することになる。その結果KPEはICCEと同等と判断された。少しでも劣っていたならそこで終わっていただろう。それでもその結論は「ICCEは多くの症例で優先するべき手技

のみならず、用いるべき唯一の方法である」。次に生じた問題は、反対者がKPEは実験的でそれ故にnon-reimbursibleであるべきと主張したことである。更にIOLがよりポピュラーになるにつれ、どうせIOL挿入で切開を6mm幅に拡大するならという理由で、多くの術者がKPEを止めるに至った。Foldable IOLの登場はもう少し後だった（著者注：Kelmanは述べていないが、当時のマシンには超音波にリニアコントロールが無かったので、後囊破損率が低くはなかったことも影響していると私は考えている）。

当時は未だ角膜内皮細胞の正確な定量的測定法が無かった。内皮障害はかなりのものがあったので、もし今日ならFDAは絶対に許可しなかったであろう。私が将来に正しい時に正しい場所にて正しい執念を持っていなかったら、我々は未だ180°のICCEを行っているだろう、と信じる』と。

7. 日本 の KPE (桑 原 Kuwahara Phacoemulsification) (1968~1973)

これと同時代に桑原安治は超音波で核を乳化吸引する手技を開発していた^{14,15)}(図5)。Kelmanと同じく当初は器械的な除去を試みたが、角膜が白濁した。そこで思いついたのが収束超音波で核を破壊する方法、酵素で水晶体を液化させる方法だったが、旨いかなかった。ある日桑原が慶応大の歯科で歯石を除去してもらった時、その超音波器具に注目し(小口芳久私信)、これを応用してマシンを作った。歯石除去用の超音波に着目したのは奇しくもKelmanとおなじである。Kelman PEでは超音波は縦振動であったのに対し、Kuwahara PEは横振動であった¹⁶⁾。約500症例に使用したがそのうちの300例の臨床成績が報告された¹⁷⁾。横振動を取り入れるには当時は技術的に困難だったのか、操作も難しく¹⁶⁾、また合併症も多く^{16,17)}普及するには至らなかった。現在、横振動が当然の時代となっているが、桑原の技術的先見性に驚く。

8. 近代 ECCE と 後 房 IOL の 時代 (1970~1990)

述べたように1963年に導入されたKPEではPMMA製IOLを挿入するために切開創を拡大しなけ

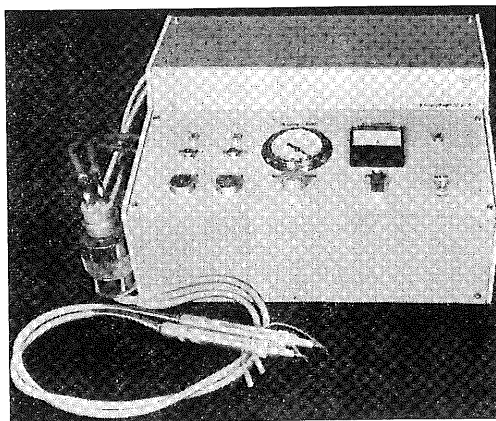


図5 桑原 KPE マシン

ればならず、更に超音波にリニアコントロールが無くかなりの後囊破損率だったので、KPE は次第に使用されなくなった。しかし I/A が優れものだった。この I/A によって、残留皮質が十分に除去出来ないという ECCE の欠点が解消され、ECCE の全盛を迎え、ICCE の時代は終焉した (表 1)。

当時多くの術者にとって、上述した理由から超音波は不要だったので、I/A 専用のマシンが販売された。灌流しながら先端を曲げたデイスボ針で Can Opener と呼ばれる前囊切開後、チストームを打ち込んで核を上下左右に揺り動かし、皮質から分離。約 160~180° の強角膜切開後、核を様々な方法で娩出。切開創を 4~6 糸で縫合して、縫合糸の間から I/A を挿入して残留皮質を吸引除去した。

この時代の IOL は現在の IOL の原型となるが、その代表例が Shearing IOL¹⁸⁾ であった (図 6 左)。直径 6mm の光学部に、ループは C 型、J 型であった。後房レンズと呼ばれ、1980 年ヒーロン[®]が登場するまで空気下で文字通り後囊上に置いた。この型の原型は第 II 世代前房レンズの中に見受けられる。また、改めているいろいろな前房レンズ、第 IV 世代近代前房レンズと呼ばれる (表 1) が、多数作製されたが、挿入 5~6 年後に多くの症例で角膜内皮代償不全が惹起された¹⁹⁾。第 II 世代の教訓が生かされず歴史は繰り返されたのである。幸いなことに我国では殆ど使用されなかったが、米国では endemic, epidemic と呼ばれるほど多数発生した。現在でも幾つかの前房レンズが見られるが、この教訓は忘れてはならない。何故なら第 II 世代前房レ

ンズと同様、発生機序が十分解明されていないからである。

9. 粘弾性物質の登場 (1980~)

ヒアルロン酸を関節に注入して軟骨の生成を促進する研究をしていたハンガリーの解剖学者、EA. Balazs が最初に作製した²⁰⁾。その後第二次世界大戦を避けるためにボストンへやってきて、C. Schepens と硝子体を含む眼科の手術用として 1979 年特許を取る。スウェーデンの Pharmacia がこの特許を購入して最初のヒーロン[®]を販売した。1981 年 D. Miller と R. Stegmann²¹⁾ が初めて IOL 挿入に応用した。前囊切開や核娩出、IOL 挿入はより安全、確実に行えるようになり、内皮へのダメージが大幅に減ったのである。

現在では OVD (ophthalmic viscosurgical device, 眼科手術補助粘弾性物質) と呼ばれ、分散型、凝集型、viscoadaptive 型等の性質の異なるタイプに発展している²²⁾。

10. Intercapsular Cataract Surgery (Envelope Technique) (1983~1990 頃)

ECCE の時代、IOL を囊内に確実に挿入しようとの試みがあった。Intercapsular Cataract Surgery と呼ばれるベルギーの A. Galand による手技である²³⁾。即ち、水晶体上方 1/3 辺りに水平の直線切開を置く。Hydrodissection 後、核を圧出する。皮質を I/A で吸引後 IOL を水平に封筒に入れるように挿入する。上方の前囊が

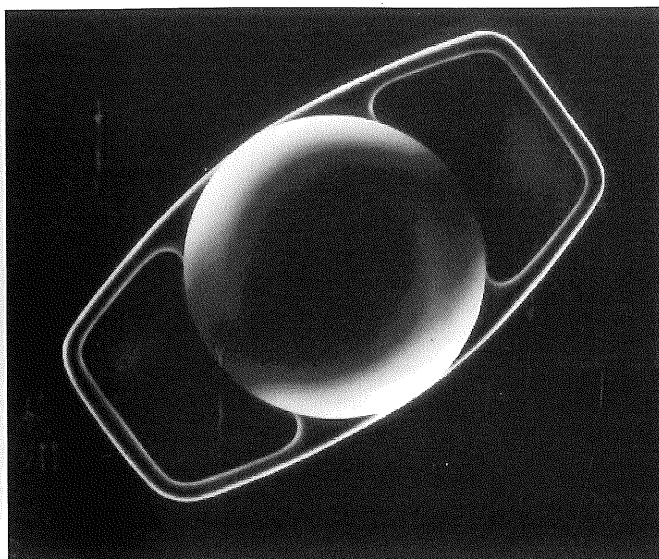
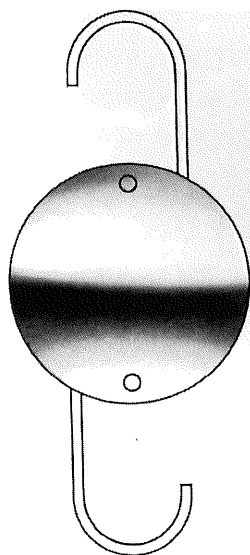


図6
左：Shearing lens。右：最初の折りたたみ Mazzocco シリコン IOL。

しっかりして残っている時には、上方のループをそこに挿入する。最後に下 2/3 の前囊を粘弾性物質下で一部切れ込みを入れ、鑷子で前囊を continuous curvilinear capsulorhexis (以下 CCC) の要領で破り取っていく。完全な CCC では無いが、鑷子で前囊を破り取るという点で、CCC の元祖は Galand と私は考えている。この手技は、現在でも極端に浅い前房眼で PEA が施行出来ない眼に応用出来る。

このような ECCE 全盛の時代でも、それでも PEA を全例で無くても細々と使用を続ける術者はいて、完全に PEA が死に絶えた訳では無かった。

11. PEA の本格的登場 (1983～)

1983 年新たなフェイコマシーン CooperVision 9000 が登場する(図 4 右)。超音波にリニアコントロールがつき、Fluidics も改善された。その後同様の性能を有した Alcon, AMO, Baush-Lomb, NIDEK 等の各社の PEA マシーンが登場、急速に普及し本格的な PEA の時代を迎えることになる。更に超音波も縦振動から横振動になり、チップ先端を曲げるにより軸中心に少し回転が加わる、所謂 Torsional Phaco も登場する。これにより核がチップの縦振動で蹴られることなく、従って核の引き寄せ力、保持力が向上した。

12. Foldable IOL の登場 (1984～)

TR. Mazzocco が 1984 年 Plate Haptic を有するシリコン製 foldable IOL を作製した²⁴⁾(図 6 右)。この IOL の登場により PEA 後 IOL 挿入時に切開創の拡大が不要となり、PEA 普及は一段と加速され、ECCE は終焉した(表 1)。

13. PEA の各手技について

PEA の導入と進化は核乳化吸引以外にも特有の手技を産んだ。

13.1. 麻酔 (1986～)

白内障手術の点眼麻酔は 19 世紀の終わり頃コカインとして広く使用されていた²⁵⁾。その後プロカインによる球後麻酔に取って代わられる。しかしこの方法による球後出血や視神経のダメージ、特に Staphyloma を伴う強度近視眼の穿孔等の多くの合併症をもたらしたので、Peribulbar 麻酔²⁶⁾、サブテノン麻酔が導入²⁷⁾された。更に侵襲の少ない PEA が普及するとテトラカイン、リドカインの点眼麻酔²⁸⁾が始まった。そして前房内注入が導入される²⁹⁾。

13.2. CCC (1985～)

1985 年カナダの H. Gimbel がボストンでの ASCRS の Film Festival で発表した³⁰⁾。次いでドイツの T.

Neuhann が 1987 年原著で発表し³¹⁾, これを Capsulorhexis と名づけた。年代的には Gimbel が早く, 彼が PEA に伴う CCC の事実上の創始者と私は考えている。後に Gimbel, Neuhann により Continuous Curvilinear Capsulorhexis (CCC) と命名された³⁰⁾。

13.3. 切開創および縫合 (1984~)

既に ICCE, ECCE の時代に, 切開創が大きいほど手術で惹起される乱視は大きいことは認識されていた。しかし切開創によって惹起乱視を意図的に軽減する本格的な努力は PEA の普及を待ってからであった。惹起乱視を軽減するために輪部から離れた強膜を切開し Scleral Tunnel Incision^{32, 33)} と呼ばれた。切開線も Smile と呼ばれる輪部に対して平行な順曲線, Frown (しかめ面) と呼ばれる逆曲線, 直線切開等が考案された。この切開法を巡って 1980 年代末頃, 米国で訴訟事件が起きた。テキサスのある眼科医が特許を取得し, J.A. Singer (Vermont, 故人) を特許侵害で訴えたのである。最終的には手術手技は特許になじまないという理由で却下された。訴訟費用が大変なのか Singer から私のところにもサポート依頼のメールが来たほどである。しかし彼にとってこれは私的な問題のみならず, 眼科全体の問題と認識していたに違いなく, 必死だったのであろう。この切開を使用する毎に使用料を支払えというものであった (J.A. Singer 私信)。米国らしい話である。

また, 創の縫合が強い乱視を惹起することも知られていた。必要な時は, 切開創に直角でなく, 平行に縫合糸を一条置いた時代もあった。この方が通常の縫合よりも惹起乱視が少ないとされた。そして前房へ入る最後の切開のところで輪部から離れて穿孔し, 所謂 inner flap を作製する自己閉鎖創が考案された^{33, 34)}。更に BSS を強制注入する創の Hydration により切開創の閉鎖は増強された。そして PEA チップが細くなり, より細い IOL インサーターが導入された結果, 切開創が小さくなり完全に無縫合となった。惹起乱視は最小となり切開創は前方へ, 角膜切開へと移行していった。

13.4. Hydrodissection と Hydrodelineation (1973~, 1991~)

Hydrodissection³⁵⁾ は皮質内へ液体を注入し, 核を皮質および囊から分離する手技と認識されていた。ECCE の時代に初めて導入されたが, PEA の発展と共

に非常に重要なステップとなった。後に核と Epinucleus の間を分離する手技が Hydrodelineation³⁶⁾ と呼ばれるようになった。現在では皮質と囊を分離する手技が Hydrodissection³⁷⁾ と呼ばれる。

13.5. 核分割 (1991~)

Gimbel は核の中央に Trough 溝を掘り, 核を 2 つに分割し更に半分づつを切断して (チョップ) 処理する, 所謂 Divide & Conquer 法を編み出した³⁸⁾。現在でも行われている代表的な核処理法である。Gimbel こそは CCC と, この核分割法の導入によって現在の PEA 手技の根幹を確立した立役者である。その後この方法はいろいろな変法を産んだ。Nagahara は溝を掘らずに最初から特殊なチョッパーで堅い核を分割し, これをフェイコチョップ法と名づけた³⁹⁾。Akahoshi は PEA に先立って核を特殊な鑷子で分割する Phaco prechop 法を考案した⁴⁰⁾。

13.6. Bimanual PEA (1985~)

L.J. Girard は, 1978 年頃超音波吸引と灌流とを分離してスリーブなしで Pars plana から核乳化吸引を行った⁴¹⁾。その後, 角膜切開による 2 つのサイドポートから行われるようになった^{42~44)}。この利点は切開創を最小にすることで手術惹起乱視を限りなく小さく出来ることである。しかし 1.5mm の切開創から挿入する IOL の臨床開発が困難であった。他方 Co-axial PEA でも創が相当小さくなり, 更に surgically induced astigmatism を考慮した切開位置の工夫により, 惹起乱視はミニマルとなった。その結果現在では Co-axial PEA が主流となっている。

14. 終わりに: 将来への期待

PEA を含む近代白内障手術の歴史の大きな流れを述べてきたが, 各節目で Kelman の果たした役割は大きい。Cryo の導入による ICCE 発展への貢献, I/A 装置導入による ICCE の終焉と ECCE 全盛への貢献, そして PEA である。しかし, 未だに「白内障屈折矯正手術」の目的である術後眼鏡フリーの状態は数%の患者でしか実現されていない。より良い多焦点レンズの開発, 発展が望まれる。また従来よりコンセプトとしてはあった水晶体再生は, PEA によって手技的には実現にほぼ近づいた。小さな前囊切開創から白内障を除去し Injectable IOL を水晶体囊内に注入して調節の復

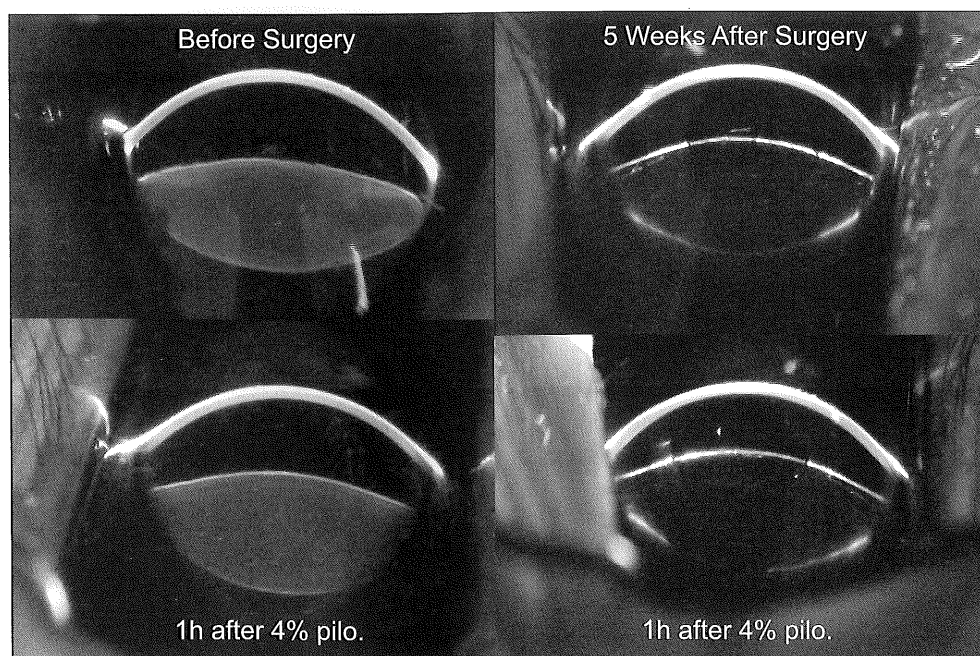


図7 レンズ・リフィリングされた猿眼の術前後の Scheimpflug 画像
左：術前，右：術後，上段：ピロカルピン点眼前，下段：同点眼後（文献 46）より）。

元を目指すレンズ・リフィリングである^{45, 46)} (図 7)。更には、幹細胞や iPS 細胞による真の水晶体の再生⁴⁷⁾ が近い将来現実のものとなると私は確信している。

■文 献

- 1) Obuchowska I & Mariak Z: Jacques Daviel- the inventor of the extracapsular cataract extraction surgery. *Klin Oczna*, **107**: 567-571, 2005.
- 2) Kelman CD: Phacoemulsification and aspiration: A new technique of cataract removal: a preliminary report. *Am J Ophthalmol*, **64**: 23-35, 1967.
- 3) 早野三郎：我が国における眼内レンズとその歩み. *IOL & RS*, **16**: 263-288, 2002.
- 4) Ridley H: Intra-ocular acrylic lenses after cataract extraction. *Lancet*, **1**: 118-121, 1952.
- 5) Apple DJ, Kincaid MC, Mamalis N, et al.: Intraocular lenses evolution, designs, complications and pathology, Chapter 1, 15, Williams & Wilkins, Baltimore, 1989.
- 6) 加藤 謙：老人性白内障の手術—囊外摘出法. 図解眼手術学, 162, 金原出版, 東京, 1969.
- 7) Barraquer J: Zonulolysis enzimítica Comunicacion a la Real Academia de Medicina de Barcelona, April, 1958.
- 8) Krwawicz T: Intracapsular extraction of intumescent cataract by application of low temperature. *Br J Ophthalmol*, **45**: 279-283, 1961.
- 9) Kelman CD: Through My Eyes. Back home in the last row, Chapter 8, 81-82, Crown Publishers, New York, 1985.
- 10) Inouye M: Zonulolytic Quimotrase. *Ganka Rinsho Iho J*, **52**: 885, 1958.
- 11) Binkhorst CD & Leonard PAM: Results in 208 iris-clip pseudophakos implantations. *Am J Ophthalmol*, **64**: 947-956, 1967.
- 12) Worst JGF: Extracapsular surgery and lens implantation. *Ophthalmic Surg*, **8**: 33-36, 1977.
- 13) Kelman CD: The Dr. Charles and Ann Kelman Family Foundation より. Kelman レクチャーの原稿.
- 14) 桑原安治：有核白内障の吸引法に就て. *日眼会誌*, **74**: 1313-1327, 1970.
- 15) 尾羽沢大, 小口芳久：超音波の諸条件が水晶体核破碎効果に及ぼす影響に関する研究. *日眼*, **73**: 1165-1183, 1969.
- 16) 小口芳久：Torsional PEA. *眼科*, **49**: 324, 2007.
- 17) 中野 強, 藤原隆明, 伊藤健二：有核白内障吸引法 300 例の臨床成績について. *日眼会誌*, **77**: 323-331, 1973.
- 18) Shearing SP: Mechanism of fixation of the Shearing posterior chamber intra-ocular lens. *Contact Intraocul Lens Med J*, **5**: 74-77, 1979.
- 19) Reidy JJ, Apple DJ, Googe JM, et al.: An analysis of semi-flexible, closed loop anterior chamber intraocular lenses. *J Am Intraocul Implant Soc*, **11**: 344-352, 1985.
- 20) Balazs EA & Sweeney DB: The injection of hyaluronic acid and reconstituted vitreous into the vitreous cavity.

- McPherson A, ed, New and controversial aspects of retinal detachment, 371-376, Harper and Row, New York, 1968.
- 21) Miller D & Stegmann R: Use of Na-hyaluronate in anterior segment eye surgery. *J Am Intraocul Implant Soc*, **6**: 13-15, 1980.
 - 22) Arshinoff SA: Dispersive-cohesive viscoelastic soft shell technique. *J Cataract Refract Surg*, **25**: 167-173, 1999.
 - 23) Galand A: A simple method of implantation within the capsular bag. *Am Intra-Ocular Implant Soc J*, **9**: 330-332, 1983.
 - 24) Mazzocco TR: Progress report: silicone IOLs. *Cataract*, **1**: 18-19, 1984.
 - 25) Koller K: Über die Verwendung des Cocain zur Anästhesierung am Auge. *Wien Med Wochenschr*, **43**: 1309-1311, 1884.
 - 26) Davis DB & Mandel MR: Posterior peribulbar anesthesia: an alternative to retrobulbar anesthesia. *J Cataract Refract Surg*, **12**: 182-184, 1986.
 - 27) Greenbaum S: Parabulbar anesthesia. *Am J Ophthalmol*, **114**: 776, 1992.
 - 28) Fichman RA: Use of topical anesthesia alone in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, **23**: 781-783, 1996.
 - 29) Gills JP, Cherchi M & Raanan MG: Unpreserved lidocaine to control discomfort during cataract surgery using topical anesthesia. *J Cataract Refract Surg*, **23**: 545-550, 1997.
 - 30) Gimbel HV & Neuhann T: Development, advantages and methods of the continuous circular capsulorhexis technique. *J Cataract Refract Surg*, **16**: 31-37, 1990.
 - 31) Neuhann T: Theorie und Operationstechnik der Kapsulorhexis. *Klin Monatsbl Augenheilkd*, **190**: 542-545, 1987.
 - 32) Girard LJ & Hoffmann RF: Scleral tunnel to prevent induced astigmatism. *Am J Ophthalmol*, **97**: 450-456, 1984.
 - 33) Fine IH: Architecture and construction of a self-sealing incision for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, **17**: 672-676, 1991.
 - 34) Langerman DW: Architectural design of a self-sealing corneal tunnel, single-hinge incision. *J Cataract Refract Surg*, **20**: 84-88, 1994.
 - 35) Paton D, Troutman R & Ryan S: Present trends in incision and closure of the cataract wound. *Highlights Ophthalmol*, **14**: 176, 1973.
 - 36) Anis A: Understanding hydrodelineation: the term and related procedures. *Ocular Surg News*, **9**: 134-137, 1991.
 - 37) Fine IH: Cortical cleaving hydrodissection. *J Cataract Refract Surg*, **18**: 508-512, 1992.
 - 38) Gimbel H: Divide and conquer nucleofractis phacoemulsification: development and variations. *J Cataract Refract Surg*, **17**: 281-291, 1991.
 - 39) Nagahara K: ASCRS Film festival. 1993.
 - 40) Akahoshi T: Phaco prechop: Manual nucleofracture prior to phacoemulsification. *Op Tech Cataract Ref Surg*, **1**: 69-91, 1998.
 - 41) Girard LJ: Ultrasonic fragmentation for cataract extraction and cataract complications. *Adv Ophthalmol*, **37**: 127-135, 1978.
 - 42) Shearing SP, Relyea RL, Loaiza A, et al.: Routine phacoemulsification through a one-millimeter non-sutured incision. *Cataract*, **2**: 6-10, 1985.
 - 43) Hara T & Hara T: Clinical results of phacoemulsification and complete in the bag fixation. *J Cataract Refract Surg*, **13**: 279-286, 1987.
 - 44) Tsuneoka H, Shiba T & Takahashi Y: Feasibility of ultrasound cataract surgery with a 1.4 mm incision. *J Cataract Refract Surg*, **27**: 934-940, 2001.
 - 45) Nishi O, Nakai Y, Yamada Y, et al.: Amplitudes of accommodation of primate lenses refilled with two types of inflatable endocapsular balloons. *Arch Ophthalmol*, **111**: 1677-1684, 1993.
 - 46) Nishi O, Nishi Y, Chang S, et al.: Accommodation amplitudes after an accommodating intraocular lens refilling procedure: In vivo update. *J Cataract Refract Surg*, **40**: 295-305, 2014.
 - 47) Lin H, Hong O, Jie Z, et al.: Lens regeneration using endogenous stem cells with gain of visual function. *Nature*, **531**: 323-328, 2016.

(別刷請求先) 西 起史 〒537-0025 大阪府大阪市東成区中道4丁目14-26 西眼科病院