

家兎眼白内障手術後の水晶体支持組織の強度測定

坂部 功生, 大木孝太郎, 佐野 雄太

東京慈恵会医科大学眼科学教室

要 約

水晶体支持組織への侵襲が少ない白内障手術方法について検討するため、白色家兎眼に白内障手術を施行し、手術操作による水晶体支持組織の強度の低下を微小圧力計測装置で測定した。その結果、嚢外摘出術および眼内レンズ挿入術により、水晶体支持組織の強度は眼球後極部方向への圧力に対し本来の支持組織の強度に比べて約35%低下した。また、亀裂を生じた前嚢切開の水晶体支持組織の強度は亀裂を生じないときの約43%低下した。以上の結果より、前嚢に亀裂を生じた際は水晶体支持組織に負担がかからぬように手術操作をするべきであることが実験的に確認された。また、対称性で亀裂のない **continuous circular capsulorhexis (CCC)** は **circular capsulorhexis with tears** や **linear capsulotomy** と比べ最も外力に対して強度の強い理想的な前嚢切開であることが示唆された。(日眼会誌 96:1099-1105, 1992)

キーワード：水晶体支持組織の強度, **Continuous circular capsulorhexis (CCC)**, 手術侵襲, 白内障手術, 亀裂を生じた前嚢切開

An Experimental Study of the Surgical Trauma on the Rabbit's Lens Suspensory Apparatus after Cataract Surgery

Isao Sakabe, Kohtaroh Ohki and Yuta Sano

Department of Ophthalmology, Jikei University School of Medicine

Abstract

Extracapsular cataract extraction (ECCE) and posterior chamber intraocular lens (PC-IOL) implantation requires that the posterior capsule and the zonules remain sufficiently intact. To assess the surgical trauma on the lens suspensory apparatus of the enucleated rabbit eye, we developed a new fine pressure gauge that could quantitate its strength. The cornea and the iris of enucleated eyes were removed to allow clear visualization of the anterior surface of the lens to the equator. Afterwards several types of anterior capsulotomy were performed for ECCE and PC-IOL implantation. And then the lens of the pseudophakic eye was vertically pressed with the plastic rod of the fine pressure transducer, and the strength of the lens suspensory apparatus was simultaneously measured. The strength of the lens suspensory apparatus of the pseudophakic eye decreased approximately 35% compared with that of the phakic eye. Moreover the integrity of the lens capsule of animals with circular capsulorhexis with tears or linear capsulotomy decreased approximately 43% compared with that of continuous circular capsulorhexis (CCC) and also zonular rupture and vitreous loss occurred as a result of the expansion of radial tears in the anterior capsule. The present study indicates that the strength of the lens suspensory apparatus decreases with cataract surgery, suggesting that much

別刷請求先：105 港区西新橋3-19-18 東京慈恵会医科大学眼科学教室 坂部 功生

(平成4年3月9日受付, 平成4年4月17日改訂受理)

Reprint requests to: Isao Sakabe, M.D. Department of Ophthalmology, Jikei University School of Medicine, 3-19-18 Nishi-shinbashi, Minato-ku 105, Japan

(Received March 9, 1992 and accepted in revised form April 17, 1992)

more attention to cataract surgery is needed if the anterior capsule had radial tears. It is also suggested that CCC is the best type of anterior capsulectomy procedure. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 96 : 1099-1105, 1992)

Key words: Strength of the lens suspensory apparatus, Continuous circular capsulorhexis (CCC), Surgical trauma, Cataract surgery, Circular capsulorhexis with tears

I 緒 言

現在、眼内レンズ挿入術は安全かつ成功率の高い白内障手術術式の一方法として、また、有用な視力矯正手段として一般に広く普及している。また、眼内レンズの固定位置は、水晶体の本来の位置に固定しようとする後房レンズが第一選択となり、嚢内固定が主流となってきた。嚢内固定では、眼内レンズが解剖学的に生理的な位置に固定されること、支持部が血管に富む周囲ぶどう膜組織を直接圧迫、侵襲する危険性が少ないことから、毛様溝固定と比較して合理的かつ機能的にも良い結果が得られる^{1)~5)}。さらに、linear capsulotomy²⁾³⁾、continuous circular capsulorhexis (以下 CCC)⁴⁾⁵⁾などの前囊切開法が開発され臨床上の成果を上げてきている。これらの手術手技を評価し、さらに安定した眼内レンズ挿入術を行うため白内障手術による眼内各組織に対する手術侵襲⁶⁾を知る必要がある。これにより、水晶体支持組織への侵襲の少ない安全な手術方法を知ることができる。

今回われわれは、白色家兎眼を用いて白内障手術を施行し、種々の術式について水晶体支持組織に対する

侵襲度について比較検討した。さらに走査型電子顕微鏡を用い毛様小帯の微細変化について観察を試みた。

II 実験方法

1. 実験装置

われわれが開発した微小圧力計測装置⁷⁾の模式図を示す(図1)。成熟白色家兎(体重2~3kg)をペントバルビタールナトリウム(ネプタール[®])致死量静注にて屠殺後、眼球を摘出した。手術用顕微鏡を用いて摘出眼球の角膜をマイクロ剪刀により360°輪部切除し水晶体を露出させ、また、虹彩も同様に360°根部から切除した。摘出眼球は固定台の上に水平に固定し、摘出眼球の水晶体の中心を直径8mmのプラスチック製の棒(touch bar)で垂直に圧迫した。水晶体支持組織の破綻(毛様小帯断裂および硝子体脱出)に要する圧力はトランスデューサー、アンプを介し、レコーダーで記録される。

2. 実験方法

眼球を摘出し種々の手術手技を施行した手術後眼球を眼球固定台に水平に固定し、水晶体を上記の微小圧力計測装置で垂直に後極部網膜方向に向かって直接圧

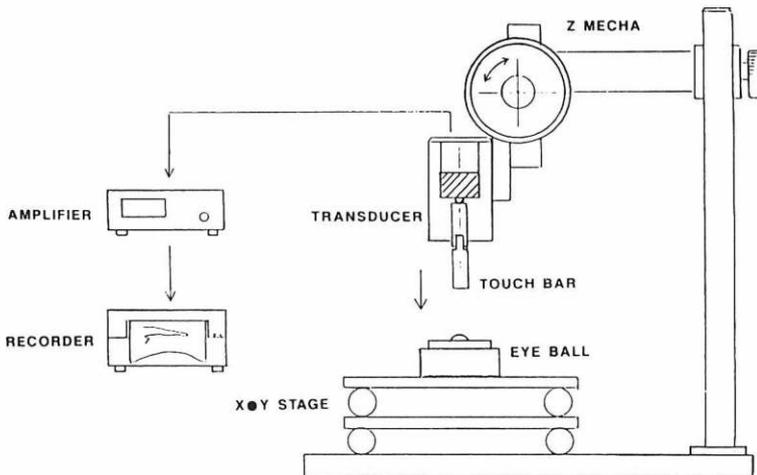


図1 微小圧力計測装置模式図。

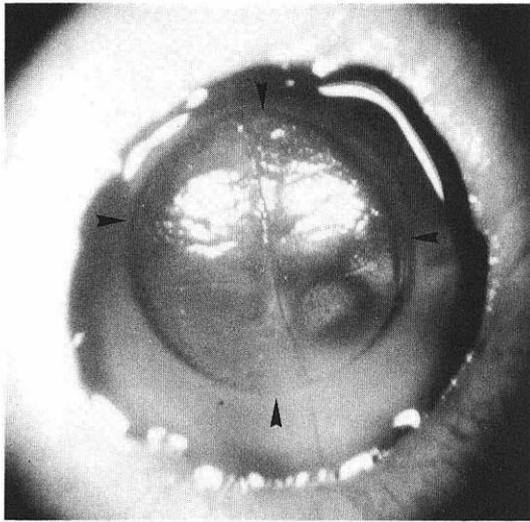


図2 直径5.5mmのCCC施行後の実体顕微鏡写真。矢印はCCCを示す。

迫して、水晶体支持組織の破綻をきたすのに要する圧力を測定した。実験に際し以下に述べるグループAからGに家兎眼を分類し、実験を行った。

A：水晶体を直接圧迫した。

B：水晶体前囊に直径5.5mmのCCCを施行し水晶体を圧迫した。

C：水晶体前囊に5.5mmのCCCを施行し3時9時部位に減張切開を前囊に加え水晶体を圧迫した。

D：5.5mmのCCCで囊外摘出術を施行し水晶体後囊を圧迫した。

E：5.5mmのCCCで囊外摘出術を施行し後房レンズを挿入後レンズを圧迫した。

F：5.5mmのCCCで囊外摘出術を施行し後房レンズを挿入後3時9時部位に減張切開を前囊に加えレンズを圧迫した。

G：Intercapsular法で囊外摘出術を施行し後房レンズを挿入後レンズを圧迫した。

すなわち水晶体に手術侵襲を加えるに際し、水晶体前囊に種々の前囊切開(CCC, circular capsulorhexis with tears)を施行した(図2)群(グループB, C), 水晶体前囊に種々の前囊切開(CCC, circular capsulorhexis with tears, linear capsulotomy)を加え計画的囊外摘出術(圧が均等にかかるようにhydrodissectionによる囊と皮質、核の層間分離を行い水晶体内容を除去した。)および眼内レンズ(直径13.5mm, PMMAレンズ径7mm, modified C-loop)挿入術を施行した群(グループE, F, G)を作成し(図3), 対照として前回報告⁷⁾した水晶体圧迫のみを行った群(グループA)を設定した。これらをそれぞれ微小圧力計測装置で垂直に直接圧迫して水晶体支持組織の破綻に要する圧力を比較した(図4)。また、その臨界点はレコーダーで山状のパターンを示す頂点とした。

計測後直ちに実体顕微鏡を用い実験眼を観察した。さらに、実体顕微鏡で観察後、固定液中で摘出眼球を赤道部で半割し、2.0%グルタルアルデヒド(0.1Mリン酸緩衝液pH7.4)に24時間浸透固定した。固定液中で実体顕微鏡を用い可能な限り硝子体を除去し毛様体、毛様小体に損傷を与えないように鋸状縁まで強膜を切除した後、さらに同固定液で3日間浸透固定した。固定後0.1Mリン酸緩衝液で数回水洗しタンニン酸-オスミウムで導電染色した。さらに、エタノール系列で脱水し酢酸イソアミル浸透後臨界点乾燥した。

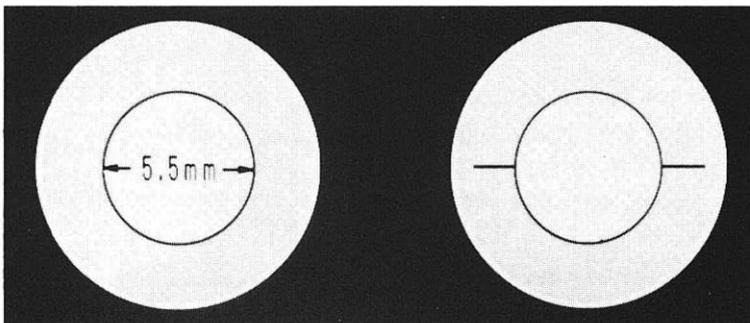


図3 前囊切開の模式図。

左：直径5.5mmのCCC，右：直径5.5mmのCCCの3時9時部位に減張切開を加えた。

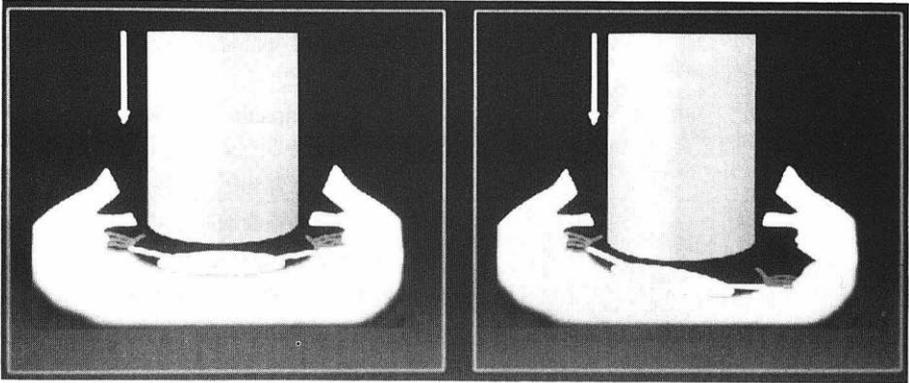


図4 眼内レンズ挿入眼を圧迫した際、水晶体支持組織が破綻するときの概略図。
左：眼内レンズ圧迫前，右：眼内レンズ圧迫後

試料は炭素—金真空蒸着を経て、JEOL JSM-50 A および 35 型走査型電子顕微鏡（日本電子）で観察した。

III 結 果

1. 水晶体圧迫時の計測値（グループ A, B, C）の比較

直径 8 mm の touch bar による水晶体圧迫群（グループ A）では、水晶体支持組織の破綻をきたすのに要する圧力は 105.91 ± 17.36 g（平均値 \pm 標準偏差）（ $n=23$ ）であった。直径 5.5 mm の CCC を施行した群（グループ B）では 108.83 ± 17.36 g（ $n=6$ ）とグループ A と比べ近似の値を示し統計学的有意差は認められなかった。しかしながら、5.5 mm の CCC の 3 時 9 時部位に減張切開を加えた群（グループ C）ではその減張切開部位を介して水晶体嚢は破裂し、水晶体支持組織の強度は低下し、その際の圧力は 59.00 ± 1.23 g（ $n=4$ ）であり、グループ A と比べ約 44% 低下していた。

2. 水晶体嚢外摘出後圧迫時の計測値（グループ D, E, F, G）の比較

直径 5.5 mm の CCC より水晶体内容を除去し、水晶体後嚢だけを直接圧迫した群（グループ D）は 63.08 ± 10.36 g（平均値 \pm 標準偏差）（ $n=12$ ）で、グループ A に比し約 60% の圧力で水晶体支持組織の破綻を認めた。さらに、眼内レンズ挿入眼（グループ E）の水晶体支持組織の強度は 68.60 ± 10.36 g（ $n=10$ ）で、グループ A に比べて約 35% 低下した。また、眼内レンズ未挿入眼（グループ D）と眼内レンズ挿入眼（グループ E）の水晶体支持組織はほぼ同等の強度を有しており、グループ D とグループ E の比較より水晶体支持組

織の強度は垂直方向の圧力に対し眼内レンズの有無に影響されなかった。5.5 mm の CCC の 3 時 9 時部位に減張切開を加えた群（グループ F）では 39.20 ± 18.71 g（ $n=5$ ）であり intercapsular 法（グループ G）の 39.60 ± 6.40 g（ $n=10$ ）とはほぼ同等の強度を有していた。また、CCC の 3 時 9 時部位に減張切開を加えた水晶体支持組織の強度は減張切開を加えないときの約 43% 低下した（表 1）。

3. 実体顕微鏡所見

水晶体前嚢に 5.5 mm の CCC を施行した群（グループ B, D, E）では、圧迫後 CCC に新しく亀裂を

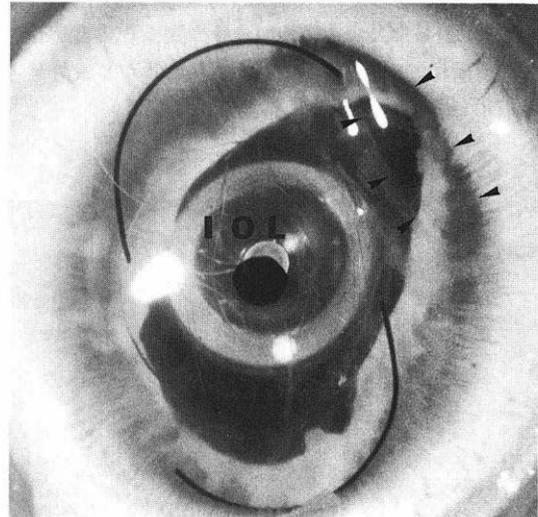


図5 圧迫された眼内レンズ挿入眼裏面の実体顕微鏡写真。
矢印は毛様小帯の断裂を示す。IOL：眼内レンズ

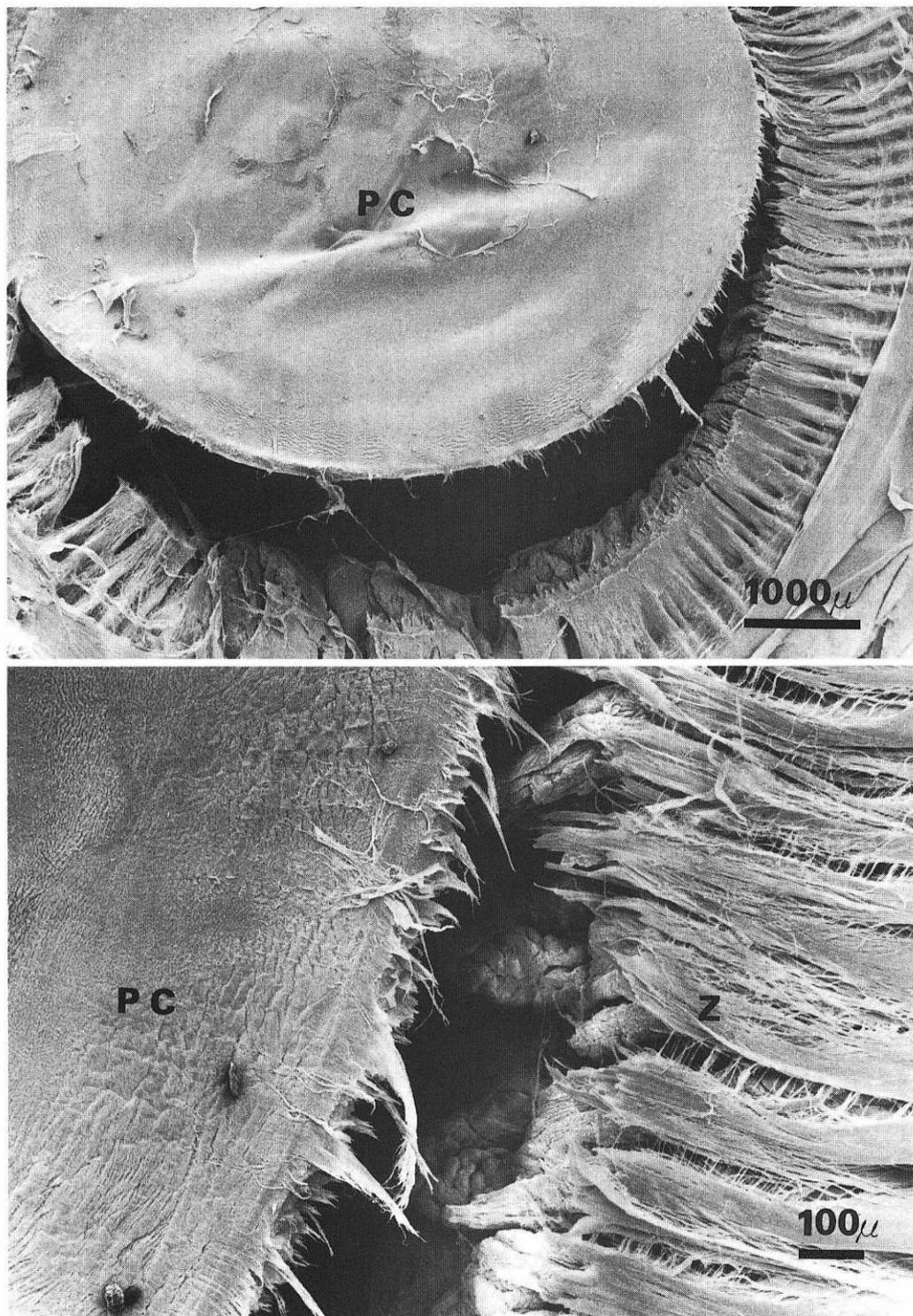


図6 圧迫された囊外摘出後眼裏面の走査電子顕微鏡写真(上:×10,下:×50).
Z:毛様小帯,PC:水晶体後囊

表1 各種手術手技施行後の水晶体支持組織破綻に要する圧力

A : lens	: 105.91±17.36 g(n=23)
B : lens with 5.5 mm CCC	: 100.83±17.72 g(n= 6)
C : lens with 5.5 mm CCT	: 59.00± 1.23 g(n= 4)
D : ECCE with 5.5 mm CCC	: 63.08±10.36 g(n=12)
E : ECCE with 5.5 mm CCC and PC-IOL	: 68.60±10.36 g(n=10)
F : ECCE with 5.5 mm CCT and PC-IOL	: 39.20±18.71 g(n= 5)
G : ECCE with linear capsulotomy and PC-IOL	: 39.60± 6.40 g(n=10)
ECCE : extracapsular cataract extraction	平均値±標準偏差(個数)
CCC : continuous circular capsulorhexis	
CCT : circular capsulorhexis with tears	
PC-IOL : posterior chamber intraocular lens	

生じることなく水晶体支持組織の破綻をきたした。一方、5.5 mm の CCC の 3 時 9 時部位に減張切開を加えた群（グループ C, F, G）では、全例圧迫により水晶体囊の亀裂は前囊だけにとどまらず後囊に波及して水晶体支持組織の破綻が発生した。

直径 5.5 mm の CCC により水晶体囊外摘出術および眼内レンズ挿入術を施行した場合の毛様小帯断裂は眼内レンズの支持部が水晶体囊赤道部に接していない部位に生じていた（図 5）。

4. 走査型電子顕微鏡所見

水晶体囊外摘出後水晶体囊を圧迫した場合、毛様小帯は水晶体囊近方で断裂していた（図 6）。

IV 考 按

白内障手術による水晶体支持組織への手術侵襲を計測する試みは、われわれの調べた限りでは報告されていない。今回、われわれは白色家兎眼を用い白内障手術手技による手術侵襲後の水晶体支持組織の強度の定量比較を試みた。

家兎水晶体を垂直に圧迫し水晶体支持組織の破綻を引き起こすのに必要な圧力は約 106 g⁷⁾であった。さらに、直径 5.5 mm の CCC を施行した場合でもほぼ同等の圧力で水晶体支持組織の破綻を生じた。このことから、毛様小帯に手術侵襲を加えない適正な大きさの正円前囊切開は、水晶体支持組織の強度を低下させないことが判明した。しかしながら、5.5 mm の CCC の 3 時 9 時部位に減張切開を加えた群では減張切開を加えない群と比べ約 44% の水晶体支持組織の強度の低下を認めた。これは、垂直方向の圧力が前囊の減張切開部位に集中し、亀裂の拡大が引き起こされたことが原因と思われる。

水晶体囊外摘出術および眼内レンズ挿入術を施行し

た場合では水晶体支持組織の強度はさらに低下していた。CCC を施行後水晶体内容を除き眼内レンズを挿入することで本来の水晶体支持組織の強度が約 35% 低下することは興味あることである。Wilson ら⁸⁾は囊外摘出術の際、前部毛様小帯は前囊切開時に、赤道部ならびに後部毛様小帯は皮質吸引、眼内レンズ挿入時に損傷を受けることを報告し、さらに、佐野ら⁹⁾は後房レンズ移植後の摘出人眼を走査電子顕微鏡で検討し、後房レンズ移植眼では毛様小帯の断裂や部分的な解離が生じていることを確認している。これらの報告を考えると、核や皮質の除去および眼内レンズ挿入により水晶体支持組織の強度の低下が引き起こされ、さらに、眼球容積に対する水晶体容積の縮小が約 35% の水晶体支持組織の強度の低下を引き起こしたものと推測される。さらに、眼内レンズの有無に関わらず circular capsulorhexis with tears や linear capsulotomy の様に前囊切開に亀裂が生じれば水晶体支持組織の強度が約 43% 低下することは、水晶体の前囊切開時に亀裂を生じた場合、垂直方向の力は水晶体内容の有無にかかわらず、まず前囊切開の亀裂に集中し亀裂が拡大するためと考えられる。以上のことより、CCC は前囊に亀裂を生じにくく、CCC によって水晶体支持組織の強度は低下しないが、いったん前囊に亀裂を生じると圧迫により水晶体囊の亀裂の拡大が起こりやすいと考えられ、Assia ら¹⁰⁾の報告とも見解の一致をみている。

今回の実験より CCC は水晶体支持組織への侵襲が最も少ない理想的な前囊切開であり、眼内レンズの固定に適していると思われた。また、白色家兎眼は解剖学的に毛様小帯附着部およびその強度、水晶体体積、硝子体など人眼と異なる点が多々あるが、水晶体内容除去および眼内レンズ挿入が水晶体支持組織の強度を

約35%低下させ、さらに、亀裂を生じた前囊切開はその強度が約43%低下してしまう。以上のことより前囊切開時に亀裂を作らず、毛様小帯に障害をおよぼさない大きさのCCCを作成するべきであると考えられた。さらに、前囊に亀裂が生じた場合には、無理な手術操作を加えると亀裂に圧力が集中し水晶体囊の亀裂がさらに拡大するので、特に核、皮質除去、眼内レンズ挿入時には垂直方向に圧力が加わらないように注意すべきである。

今回の実験系を作成するにあたり、水晶体支持組織は水晶体一毛様小帯一毛様体、さらに水晶体一硝子体とその強度測定には複雑な要因を含み、さらに個々の強度を測定することは困難であるため、その結果水晶体支持組織を一つの系としてとらえることを余儀なくされた。今回の実験が実際の白内障手術による手術侵襲をどれ程具象化しているかを示すことは困難だが、手術侵襲による相対的な水晶体支持組織の強度の低下を示すことができたと思われる。また、今回の実験では家兎眼に対して人眼用眼内レンズを用いたが、人眼用眼内レンズもそのサイズにバリエーションが多く(直径12~14mm, 光学部径5.0~7.0mm)まだ見解の一致をみていない。水晶体囊の大きさばかりでなく、水晶体支持組織への影響を考え、今後検討すべき問題点と考える。

稿を終えるにあたりご指導並びにご校閲頂いた北原健二教授に深謝致し、また、ご指導を頂いた東京慈恵会医科大学付属研究室形態研究部関係者各位に感謝致します。なお、本論文は第94回日本眼科学会総会の発表に追加実験を加えたものである。

文 献

1) Apple DJ, Reidy JJ, Googe JM, et al: A

comparison of ciliary sulcus and capsular bag fixation of posterior chamber intraocular lenses. *Am Intra-Ocular Implant Soc J* 11: 44-63, 1985.

- 2) Baikoff G: Insertion of the Simcoe posterior chamber lens into capsular bag. *Am Intra-Ocular Implant Soc J* 7: 267-269, 1981.
- 3) Galand A: A simple method of implantation within the capsular bag. *Am Intra-Ocular Implant Soc J* 9: 330-332, 1983.
- 4) Neuhann T: Theorie und Operationstechnik der Kapsulorhexis. *Klin Mbl Augenheilk* 190: 542-545, 1987.
- 5) Gimbel H, Neuhann T: Development, advantage, methods of the continuous circular capsulorhexis technique. *J Cataract Refract Surg* 16: 31-37, 1990.
- 6) 三宅謙作: 水晶体囊, チン氏帯, および前部ぶどう膜に対する手術の外傷に関する2, 3の考察. *IOL* 2: 31-37, 1988.
- 7) 坂部功生, 大木孝太郎, 真智直子: チン小帯の強度, 張力測定の試み(水晶体加圧における水晶体支持組織への影響). *日眼会誌* 95: 1037-1043, 1991.
- 8) Wilson DJ, Jaeger MJ, Green WR: Effects of extracapsular cataract extraction on the lens zonules. *Ophthalmology* 94: 467-470, 1987.
- 9) 佐野雄太, 真智直子, 大木孝太郎, 他: 後房レンズ移植後ヒト眼チン氏帯に関する走査電子顕微鏡による検討. *IOL* 2: 116-120, 1988.
- 10) Assia EI, Apple DJ, Barden A, et al: An experimental study comparing various anterior capsulectomy techniques. *Arch Ophthalmol* 109: 642-647, 1991.