

学位論文（博士）

Evaluation of corneal hysteresis after pars plana vitrectomy  
combined phacoemulsification and intraocular lens implantation  
(水晶体再建術併施の硝子体切除術後における角膜ヒス  
テリシスの評価についての研究)

氏名 太田 真実

所属 山口大学大学院医学系研究科

医学専攻 眼科学講座

令和4年12月

## 目次

1. 要旨	3
2. 研究の背景	4
3. 目的	4
4. 方法	4
(1) 対象	4
(2) 方法	5
(3) 解析	6
5. 結果	6
6. 考察	10
7. 結語	11
8. 謝辞	12
9. 参考文献	12

## 1. 要旨

角膜の剛性を表す生体力学的指標の一つとして角膜ヒステリシス (CH) があり, CH は眼圧 (IOP) や中心角膜厚 (CCT) などの影響を受け, 眼球全体の剛性も反映することから, CH 低下が緑内障の進行リスクとして注目される。一方で, 硝子体は眼球を外力から保護する緩衝材としての作用があり, 眼球の剛性に影響するが, 硝子体と CH との関連は明らかになっていない。本研究では硝子体切除が CH に与える影響を評価することを目的に, 白内障単独手術と白内障手術併施硝子体切除術の術後早期の CH を比較した。白内障手術 (PEA+IOL) を施行した 18 例 20 眼 (PEA+IOL 群), 黄斑上膜あるいは黄斑円孔に対して PEA+IOL 併施の経毛様体扁平部硝子体切除術 (PPV) を施行した 27 例 28 眼 (PPV triple 群) を対象とした。術前, 術後 2 週, 術後 3 か月の CH, IOP, CCT および CH と CCT の相関関係について後ろ向きに検討した。CH は術前, 術後 2 週, 術後 3 か月で, PEA+IOL 群において  $11.1 \pm 1.1$  mmHg,  $10.4 \pm 1.1$  mmHg,  $11.0 \pm 1.0$  mmHg であり, PPV triple 群において  $11.0 \pm 1.4$  mmHg,  $9.8 \pm 1.4$  mmHg,  $10.6 \pm 1.6$  mmHg であった。CH は PEA+IOL 群で術前後に有意差は認めなかったが, PPV triple 群の術後 2 週で有意に低下していた。IOP および CCT は両群とも術前後に有意な変化は認めなかった。PEA+IOL 群の全時点と PPV triple 群の術前には CH と CCT の正の相関関係を認めたが, PPV triple 群の術後には相関関係を認めなかった。以上より, PPV triple 手術では IOP や CCT 以外による要因で術後に CH が低下することが示され, 硝子体切除が眼球の剛性変化をもたらす CH 低下に寄与した可能性が考えられた。CH の低下は, 外力や眼圧の影響を受けやすい眼球構造であると言えることから, PPV 術後の CH 評価は眼圧管理の指標や緑内障の発症, 進行リスクを反映する可能性がある。

## 2. 研究の背景

角膜は、外力により変形し外力が取り除かれると元の形に回復しようとする性質である弾性と、外力に対する変形や回復に抵抗する性質である粘性の双方を併せ持つ粘弾性体構造をとる。角膜ヒステリシス (corneal hysteresis; CH) は角膜剛性を表す生体力学的指標の一つであり、空気圧加入に対して角膜が平坦になる時の空気圧 (P1) と、陥凹状態から再び平坦に戻る時の空気圧 (P2) の差、P1-P2 と定義される[1]。すなわち、CH は外力を吸収および放散する角膜の能力を反映し、CH が大きいほど加入エネルギーをしなやかに吸収する可塑性の高い眼球であり、外力から影響を受けにくい眼球構造であると言える。CH は加齢、中心角膜厚 (central corneal thickness; CCT)、眼圧 (intraocular pressure; IOP)、眼軸長、前房深度の影響を受ける[2] [3] [4] [5]。臨床的には緑内障は正常眼と比べ CH が低いことが分かっており、視野障害の重症度や進行速度と相関する[6] [7]。これは低 CH が篩状板の脆弱性を反映しており[8]、CH が低いと圧変化を吸収しにくく眼圧の影響を受けやすいためと考えられる。以上からも CH は角膜だけではなく強膜や球後組織を含めた眼球全体の剛性を示唆していることが推測される[9]。

眼球全体の剛性には角膜、水晶体、硝子体、強膜などが関与しており、なかでも硝子体は、コラーゲン線維に高分子ヒアルロン酸が絡みついて水分を保持することで、眼球形態の保持や外力から眼球を保護する緩衝材としての作用を有する。このため硝子体は CH にも影響を及ぼすと考えられているが、これまで十分な検討はなされていない。

黄斑円孔や黄斑上膜、網膜剥離などの種々の網膜疾患に対する手術療法として硝子体を切除・除去する硝子体手術は、近年小切開化および低侵襲化が進んでより安全に広く行われるようになっており[10] [11] [12]、白内障手術と硝子体手術の同時手術 (triple 手術) も一般的に施行される。白内障手術後早期に CH が低下する報告はあるが[13] [14] [15] [16]、硝子体手術後の CH の変化に関する報告は少ない。また一方で、硝子体手術後の主な合併症である高眼圧[17]は、緑内障の発症や進行につながり、特に緑内障既往眼や強度近視眼は硝子体手術後の緑内障性視野障害の悪化のリスクとされている[18]。このように眼圧コントロールは術後管理において重要であるが、硝子体切除に伴う CH の変化が術後の眼圧上昇に及ぼす影響については明らかにされていないのが現状である。

## 3. 目的

本研究では硝子体と角膜剛性との関連を明らかにするために、硝子体手術による硝子体切除が角膜剛性の指標である CH に与える影響を検討することを目的とした。さらに CH に影響を与えうる因子として IOP と CCT の術前後の変化を検討し、前房深度、眼軸長、CCT と CH との相関関係についても検討した。

## 4. 方法

### (1) 対象

2018年7月から2021年7月までの期間に山口大学医学部附属病院において、白内障に対して白内障手術 (超音波水晶体乳化吸引術と眼内レンズ挿入術 phacoemulsification and

aspiration with intraocular lens implantation; PEA+IOL) を施行した PEA+IOL 群 18 例 20 眼, 黄斑上膜 (epiretinal membrane; ERM) あるいは黄斑円孔 (macular hole; MH) に対して PEA+IOL 併施の経毛様体扁平部硝子体切除術 (pars plana vitrectomy; PPV) を施行した PPV triple 群 27 例 28 眼を対象とした。緑内障, 円錐角膜や角膜不正乱視などの角膜疾患, ぶどう膜炎, 眼科手術歴, -6 ジオプター以上の強度近視, 術中あるいは術後合併症, 術後に追加治療を要する眼圧上昇を認めた患者は除外した。

## (2) 方法

単一施設の後ろ向き観察研究であり, 山口大学医学部附属病院の倫理委員会の承認のもと, 診療録より以下の評価項目について比較検討した。オプアウト形式により患者からの同意を取得した。

### 1. 評価項目

術前, 術後 2 週, 術後 3 か月時点における CH, IOP, CCT, 前房深度, 眼軸長

### 2. 眼科的検査

#### 【CH】

CH は Ocular Response Analyzer(ORA; Reichert Inc., Depew, NY, USA)により測定した。

ORA は空気の噴流による角膜の圧平過程を赤外線集光状態で評価する。空気圧により角膜が平坦になった時の圧を P1, さらに角膜が押し込まれ内陥し, 元の形状に戻る際に再び平坦となる時の圧を P2 として測定し,  $CH=P1-P2$  として計算される。検査の信頼性が高いとされる Waveform Score が 7 以上の測定値を採用した。

#### 【IOP】

ゴールドマン眼圧計を用いた眼圧 (Goldmann applanation tonometer; GAT) および, ORA を用いた CH での補正眼圧 (corneal compensated IOP; IOPcc), ゴールドマン眼圧計の相当眼圧 (Goldmann-equivalent IOP; IOPg) を測定した。

#### 【CCT, 前房深度】

CCT と前房深度は前眼部光干渉断層計である CASIA SS-1000 (TOMEY Corporation, Nagoya, JAPAN) を使用して測定した。

#### 【眼軸長】

眼軸長は非接触式の光学的眼軸長測定装置である IOL Master 500 (Carl Zeiss Meditec AG, Dublin, CA, USA) を使用して測定した。

### 3. 手術方法

#### 【白内障単独手術 PEA+IOL】

Whitestar Signature Pro (Johnson & Johnson Surgical Vision, Inc., New Brunswick, New Jersey, USA) を用いて水晶体核および皮質の吸引および眼内レンズ挿入から成る標準的術式で施行した。切開創は 2.65mm の強角膜創を作成し, 無縫合であった。

#### 【白内障併施硝子体手術 PEA+IOL+PPV】

上記の白内障手術施行後に硝子体切除術を施行した。硝子体切除術は Constellation Vision System(Alcon Laboratories, Fort Worth, Texas, USA)を用いて, 角膜輪部より 3.5mm の強膜

に 25 ゲージの 4 ポートを作成し, core vitrectomy と peripheral vitrectomy を施行し, 全例において内境界膜剥離 (ILM peeling) を施行した。黄斑円孔症例に対しては手術終了時に 1.5ml の 100%六フッ化硫黄 (SF6) ガスを注入し, 術後 3 日~7 日間, 腹臥位安静とした。25 ゲージの強膜ポート部は無縫合で閉鎖を得た。

### (3) 解析

二群間の比較において, 正規性が確認された変数は Student の t 検定を用い, 正規性が確認されない変数は Mann-Whitney 検定, Chi-squared 検定を用いた。CH の術前後の変化は Dunnett の多重比較検定を, 各項目の相関関係は Spearman の順位相関係数を用いた。統計解析は Statcel 4 Software (OMS Publishing Inc. Saitama, Japan) を用い, いずれも 0.05 未満の P 値を統計学的に有意とした。

## 5. 結果

### 患者背景

表 1 に本研究の患者背景を示す。計 45 例 48 眼が本研究に登録され, 白内障手術のみを施行した PEA+IOL 群が 18 例 20 眼, 白内障手術併施の硝子体手術を施行した PPV triple 群が 27 例 28 眼であった。両群間で有意差を認めた項目は年齢で, PEA+IOL 群では  $74.8 \pm 5.2$  歳, PPV triple 群では  $69.9 \pm 5.2$  歳と PEA+IOL 群が高齢であった。PPV triple 群の原因疾患としては 11 眼が ERM, 17 眼が MH であり MH に対しては全例で SF6 ガスの硝子体内注入を施行した。術前の CH, IOP (IOPg, IOPcc), CCT, 前房深度 (ACD), 眼軸長 (AL) には両群間に有意差は認めなかった。

Parameter	PEA+IOL group	PPV triple group	P-Value
Number (eyes)	20	28	-
Age $\pm$ SD (years)	$74.8 \pm 5.2$	$69.9 \pm 5.2$	0.005
Sex (male/female)	10/10	11/17	0.434
Diagnosis (eyes)	Cataract (20)	ERM (11) MH (17)	-
Surgical procedure (eyes)	PEA+IOL (20)	PEA+IOL+PPV+ILM peeling (11) PEA+IOL+PPV+ILM peeling+SF6 (17)	-
CH $\pm$ SD (mmHg)	$11.1 \pm 1.1$	$11.0 \pm 1.4$	0.676
IOPg $\pm$ SD (mmHg)	$12.0 \pm 2.8$	$13.2 \pm 2.4$	0.161
IOPcc $\pm$ SD (mmHg)	$12.3 \pm 2.6$	$13.5 \pm 2.6$	0.221
CCT $\pm$ SD ( $\mu$ m)	$530.1 \pm 35.9$	$541.5 \pm 32.2$	0.254
ACD $\pm$ SD (mm)	$2.7 \pm 0.3$	$2.5 \pm 0.3$	0.601

AL ± SD (mm)

23.5 ± 0.9

23.7 ± 1.2

0.107

表 1. 患者背景

SD: standard deviation, ERM: epiretinal membrane, MH: macular hole, PEA: phacoemulsification and aspiration, IOL: intraocular lens, PPV: pars plana vitrectomy, ILM: inner limiting membrane, SF6: sulfur hexafluoride, CH: corneal hysteresis, IOPg: Goldmann-correlated intraocular pressure, IOPcc: corneal compensated intraocular pressure, CCT: central corneal thickness, ACD: anterior chamber depth, AL: axial length

### CH の経時的変化

術前, 術後 2 週, 術後 3 か月の CH はそれぞれ, PEA+IOL 群にて  $11.1 \pm 1.1$  mmHg,  $10.4 \pm 1.1$  mmHg,  $11.0 \pm 1.0$  mmHg であり, PPV triple 群にて  $11.0 \pm 1.4$  mmHg,  $9.8 \pm 1.4$  mmHg,  $10.6 \pm 1.6$  mmHg であった。PEA+IOL 群では術前後で CH の有意な変化は認めなかったが, PPV triple 群では術前と比較し, 術後 2 週時点で有意に CH が低値であった (Dunnett 検定,  $p < 0.01$ )。また, 術前と比較した術後 CH の変化量を CH ratio (=術後 CH/術前 CH) として表し, PPV triple 群の術後 2 週時点で有意に CH ratio の減少を認めた (図 1)。

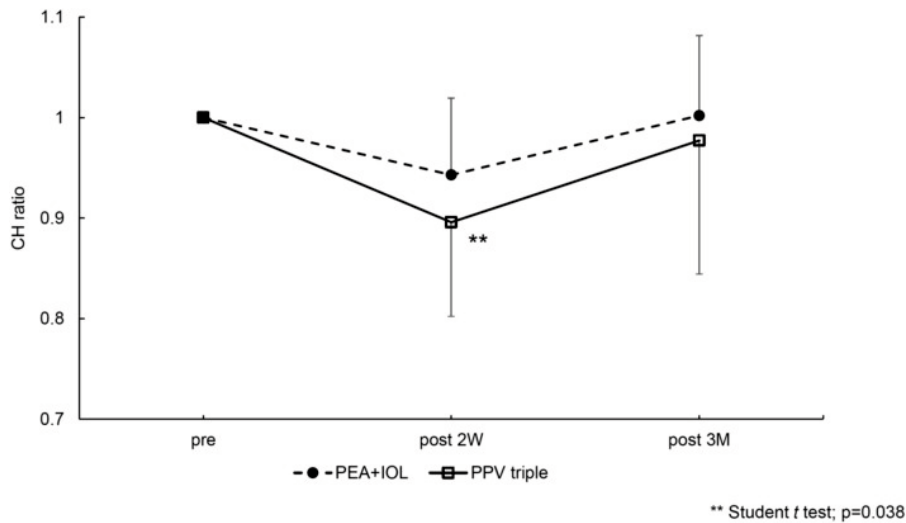


図 1. CH ratio の経時的変化

術後 2 週, 術後 3 か月の CH ratio はそれぞれ, PEA+IOL 群において  $0.94 \pm 0.08$ ,  $1.00 \pm 0.08$ , PPV triple 群において  $0.89 \pm 0.09$ ,  $0.98 \pm 0.13$  であり, PPV triple 群の術後 2 週時点で有意に低値であった (Student t 検定,  $p = 0.038$ )。

### IOP の経時的変化

IOP は PEA+IOL 群および PPV triple 群の両群において, 測定方法 (GAT, IOPg, IOPcc) に関わらず, 術前後に有意な変化は認めなかった (図 2)。

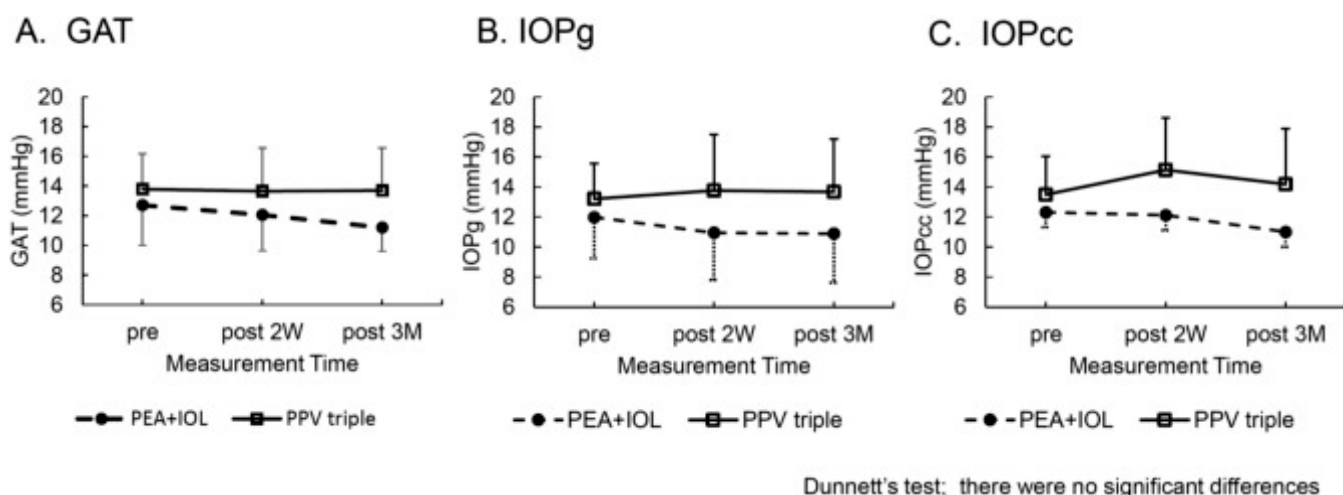


図 2. IOP の経時的変化

- (A) ゴールドマン眼圧計による眼圧 (GAT) は術前, 術後 2 週, 術後 3 か月時点でそれぞれ, PEA+IOL 群で  $12.7 \pm 2.7$  mmHg,  $12.1 \pm 2.4$  mmHg,  $11.2 \pm 1.6$  mmHg であり, PPV triple 群では  $13.8 \pm 2.4$  mmHg,  $13.7 \pm 2.9$  mmHg,  $13.7 \pm 2.9$  mmHg であった。全ての時点で両群間に有意差はなく (Student t 検定,  $p > 0.05$ ), また術前との比較においても全ての時点で両群とも有意差は認めなかった (Dunnett 検定,  $p > 0.05$ )。
- (B) Ocular Response Analyzer によるゴールドマン眼圧計相当眼圧 (IOPg) は術前, 術後 2 週, 術後 3 か月時点でそれぞれ, PEA+IOL 群で  $12.0 \pm 2.8$  mmHg,  $11.0 \pm 3.1$  mmHg,  $10.9 \pm 3.3$  mmHg, PPV triple 群では  $13.2 \pm 2.4$  mmHg,  $13.8 \pm 3.7$  mmHg,  $13.7 \pm 3.5$  mmHg であった。全ての時点で両群間に有意差はなく (Student t 検定,  $p > 0.05$ ), また術前との比較においても全ての時点で両群とも有意差は認めなかった (Dunnett 検定,  $p > 0.05$ )。
- (C) Ocular Response Analyzer による CH 補正眼圧 (IOPcc) は術前, 術後 2 週, 術後 3 か月時点でそれぞれ, PEA+IOL 群で  $12.3 \pm 2.6$  mmHg,  $12.1 \pm 2.6$  mmHg,  $11.0 \pm 1.1$  mmHg であり, PPV triple 群では  $13.5 \pm 2.6$  mmHg,  $15.1 \pm 3.4$  mmHg,  $14.2 \pm 3.7$  mmHg であった。全ての時点で両群間に有意差はなく (Student t 検定,  $p > 0.05$ ), また術前との比較においても全ての時点で両群とも有意差は認めなかった (Dunnett 検定,  $p > 0.05$ )。

### CCT の経時的変化

CCT は PEA+IOL 群および PPV triple 群の両群において, 術前後に有意な変化は認めなかった (図 3)。



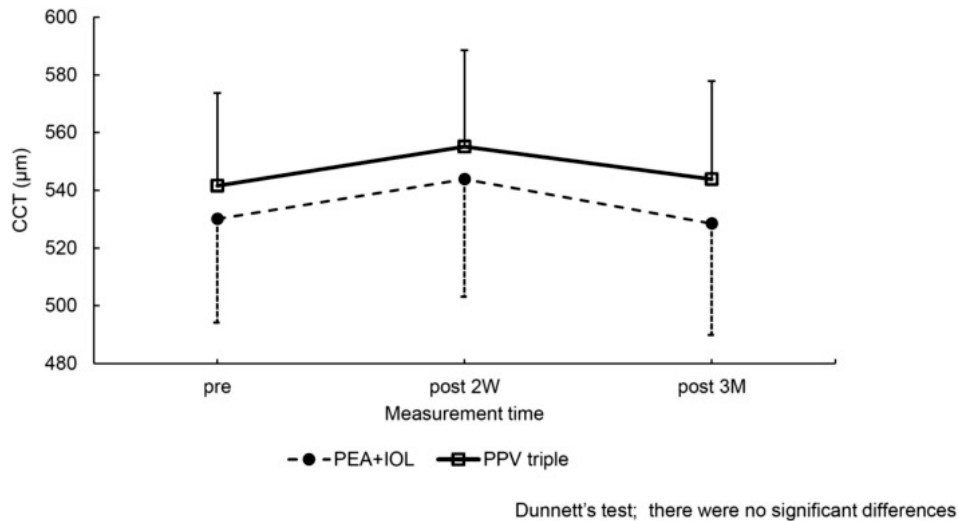


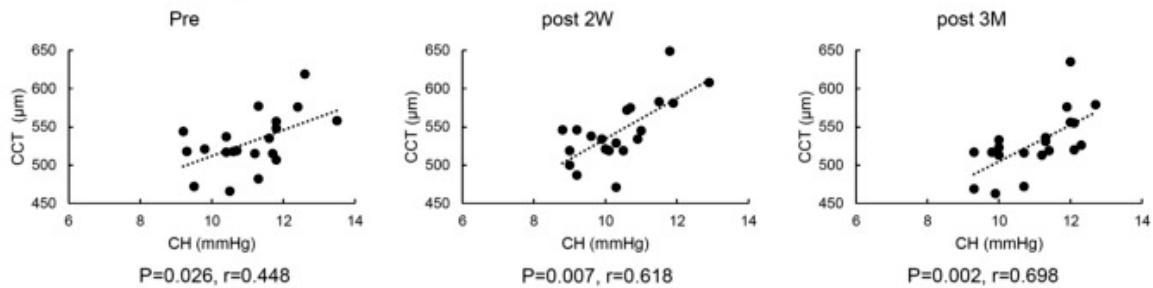
図 3. CCT の経時的変化

術前，術後 2 週，術後 3 か月の CCT はそれぞれ，PEA+IOL 群で  $530.1 \pm 35.9 \mu\text{m}$ ， $543.8 \pm 40.7 \mu\text{m}$ ， $528.5 \pm 38.6 \mu\text{m}$  であり，PPV triple 群で  $541.5 \pm 32.2 \mu\text{m}$ ， $555.1 \pm 33.5 \mu\text{m}$ ， $543.8 \pm 34.1 \mu\text{m}$  であり，両群とも術前と比較し，術後 2 週，術後 3 か月の CCT に有意差は認めなかった（Dunnett 検定， $p > 0.05$ ）。

### CH と CCT の相関関係

PEA+IOL 群では術前，術後のいずれも CH と CCT に正の相関を認めた。PPV triple 群では術前には正の相関を認めたが，術後は相関関係を認めなかった（図 4）。

#### A. PEA+IOL group



#### B. PPV triple group

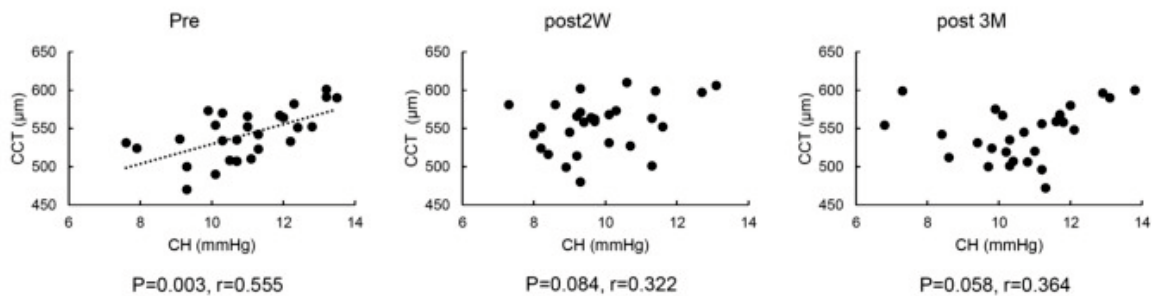


図 4. CH と CCT の相関関係

(A) PEA+IOL 群では術前は  $p=0.026$ ,  $r=0.448$ , 術後 2 週は  $p=0.007$ ,  $r=0.618$ , 術後 3 か月は  $p=0.002$ ,  $r=0.698$  といずれの時点でも CH と CCT に正の相関関係を認めた。

(B) PPV triple 群では術前は  $p=0.003$ ,  $r=0.555$  と CH と CCT に正の相関を認めたが、術後 2 週は  $p=0.084$ ,  $r=0.322$ , 術後 3 か月は  $p=0.058$ ,  $r=0.364$  と CH と CCT に相関関係は認めなかった。

## 6. 考察

本研究では、PEA+IOL 群と PPV triple 群の CH の術後変化を比較することで、硝子体の角膜剛性への影響について検討した。PEA+IOL 群では術前後で CH に有意な変化は認めなかったが、PPV triple 群では術後 2 週の時点で CH が有意に減少していた。

CH は眼圧、角膜厚などの影響を受けるとされ、正常眼においては、IOP と CH は負の相関関係にあり [2] [4], CCT と CH は正の相関関係にある [3]。内眼手術後の CH 変化としては、PEA+IOL 術後に一過性に CH が低下することが報告されている [13] [14] [15] [16]。いずれの既報においても、PEA+IOL 術後 1 日目と超早期に CH の低下と CCT の増加を認め、正常眼とは異なる相関を示すが、術後 1 週間時点では術前と同レベルに回復するとされ、術後早期の炎症や角膜内皮障害による角膜浮腫が角膜のエネルギー吸収能力を低下させるためと推測されている。本研究では PEA+IOL 術後に CH の変化は認めなかったが、術後 2 週目と 3 か月目の評価のため、すでに術後炎症や角膜浮腫が回復していた可能性がある。

PPV 術後の角膜の生体力学的変化に関する既報は少なく、CCT と CH との関連を報告したものはあるが、低侵襲硝子体手術である 25 ゲージ PPV での評価や、硝子体の有無と CH との関連について言及されたものはない。既報では切開創の大きな 20 ゲージ PPV では術後 1~3 日の早期に CH の低下と CCT の増加を認めたという報告 [19], 23 ゲージ PPV では術後 1 か月目に低下した CH が術後 3 か月目には回復し、いずれの時点でも CCT と相関を認めたという報告がある [20]。本研究では PPV triple 群で術後 2 週目の術後早期に CH の有意な低下を認めた。さらに、PPV triple 群において術前に認めていた CH と CCT の相関関係が術後に消失していた。このことから、CCT 以外の要因が PPV triple 術後の CH 低下に影響を及ぼした可能性がある。CCT 以外に術後の CH に影響を及ぼす他の要因として IOP が考えられる。白内障手術や硝子体手術の術後に眼圧上昇をきたすことはよく知られており、これは術後炎症や術中に使用する粘弾性物質の残存、術後炎症抑制のために使用されるステロイド点眼の副作用、ガスやシリコンオイルなどの眼内充填物質による影響とされる [21] [22] [23]。ただし、本研究では術後に加療を要する眼圧上昇をきたした症例や、緑内障やぶどう膜炎などの眼圧上昇をきたしやすい症例は除外しているため、術後の IOP は術前と比較し有意な変化を認めず、眼圧上昇が CH 低下に影響を与えた可能性は低い。また、その他の要因として眼軸長や前房深度と CH との相関関係についても検討したが、有意な相関関係は認められなかった。以上のことから、硝子体切除を行った群では IOP や CCT 以外の要因により CH 低下をきたした可能性が示唆される。PEA+IOL 群と PPV triple 群の違いは強膜創の作成と硝子体の除去であり、これらが眼球の剛性や脆弱性に影響を与え、PPV triple 群における術後の CH 低下をもたらしたと考えられる。

本研究では PPV triple 術後 2 週目に CH はいったん低下し、3 か月目に術前レベルまで回復した。硝子体手術の術後晩期に CH が回復する機序は明らかではない。既報による超音波生体顕微鏡を用

いた観察では、25 ゲージ PPV の強膜創の創傷治癒には 4 週間を要する[24]。また、組織学的な創傷治癒については、25 ゲージ PPV 術後において術後 1~7 日目には強膜創に筋線維芽細胞と好中球の浸潤を認め、結膜下組織と強膜の肥厚を認めるが、術後 1 か月目には回復するという報告がある[25]。このように強膜の創傷治癒における経時的変化は、本研究において CH の回復が確認された時期と矛盾しない。

また、PPV 術後の無硝子体眼における硝子体コラーゲンの代謝も CH 変化に影響を与える可能性がある。無硝子体眼では高分子ヒアルロン酸は有意に減少するが、II 型コラーゲンは PPV 術後も維持されており、持続的に II 型コラーゲンが産生されている[26]。毛様体無色素上皮細胞は硝子体コラーゲンの供給源として機能し、硝子体中のムコ多糖の回復機能の役割を果たす[27]。したがって、硝子体腔の組成は硝子体切除術後も変化し、PPV 後の CH の減少や回復に影響を与える可能性が考えられる。

CH と眼疾患の関連として、緑内障や強度近視では正常眼と比較し CH が低下することが分かっている。緑内障は視神経障害により徐々に視野狭窄が進行する疾患で、通常は眼圧下降により視神経障害を改善もしくは抑制しうる[28]。しかし、本邦では眼圧が正常範囲内でも緑内障の発症、進行を認める正常眼圧緑内障が全緑内障の 7 割を占め[29]、視神経障害をもたらす眼圧非依存性因子の一つとして CH が低いことが挙げられる。実際に CH 低下は緑内障患者における視野障害の重症度や進行速度とも関連することが報告されている[6] [7]。緑内障の進行と CH との関連性については諸説あるが、その一つに篩状板の関与が考えられている。篩状板は視神経が強膜を貫く部位で弾性線維やコラーゲンから形成される組織であり、多数の篩板孔を有し、その中を視神経線維が通過する。緑内障における CH 低下は篩状板の脆弱性を反映していると考えられている[8]。また、近視眼、特に強度近視眼では眼軸長の延長に起因して、強膜や網脈絡膜の菲薄化から網膜分離症や網膜剥離、黄斑症、緑内障など様々な眼疾患を合併する[30]。強度近視眼においても正常眼と比較し、有意に CH が低下しており[31] [32]、このことから CH は強膜や球後組織を含めた眼球全体の剛性や構造的な脆弱性を反映すると考えられる。さらに、強度近視眼の硝子体切除後には黄斑症や黄斑萎縮をきたしやすいという報告もある[33] [34]。したがって、硝子体切除後の CH を評価することで、術後の緑内障の発症や進行のリスク、近視に伴う眼疾患の重症度や発症リスクなどを推測できる可能性がある。

本研究の限界として、単施設の後ろ向き研究であり、症例数が少なく、CH の測定ポイントが術後 2 点と限られていたことが挙げられる。CH の術後変化をより詳細に捉えるには測定ポイントを増やし、さらなる症例数の増加が望まれる。また 2 群間において年齢に有意差が認められた。CH を含むベースラインのその他のパラメーターには有意差はなかったが、眼組織におけるコラーゲン線維や CH の反応性に年齢による組織構造の違いが影響した可能性がある。

## 7. 結語

本研究では、白内障手術に比較すると、硝子体切除術後に長期間にわたり、CH が低下することを示した。この間は眼球の剛性や弾力性が低下しており、外力や眼圧による影響を受けやすい眼球構造をしていると考えられる。また、硝子体切除術後の CH 評価は術後の緑内障の発症、進行リス

クや、近視に伴う眼疾患の重症度を反映する可能性がある。

## 8. 謝辞

本研究にあたって、ご指導をいただいた山口大学大学院医学系研究科眼科学講座教授 木村和博先生、山口大学医学部附属病院臨床研究センター 湧田真紀子先生に対して、ここに深謝の意を表する。

## 9. 参考文献

1. Luce, D.A., *Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer*. J Cataract Refract Surg, 2005. **31**(1): p. 156-62.
2. Kamiya, K., et al., *Factors affecting corneal hysteresis in normal eyes*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2008. **246**(10): p. 1491-4.
3. Kotecha, A., et al., *Corneal thickness- and age-related biomechanical properties of the cornea measured with the ocular response analyzer*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2006. **47**(12): p. 5337-47.
4. Altan, C., et al., *Biomechanical properties of axially myopic cornea*. Eur J Ophthalmol, 2012. **22 Suppl 7**: p. S24-8.
5. Hwang, H.S., S.K. Park, and M.S. Kim, *The biomechanical properties of the cornea and anterior segment parameters*. BMC Ophthalmol, 2013. **13**: p. 49.
6. Congdon, N.G., et al., *Central corneal thickness and corneal hysteresis associated with glaucoma damage*. Am J Ophthalmol, 2006. **141**(5): p. 868-75.
7. Mansouri, K., et al., *Association between corneal biomechanical properties and glaucoma severity*. Am J Ophthalmol, 2012. **153**(3): p. 419-427.e1.
8. Morita, T., et al., *Corneal biomechanical properties in normal-tension glaucoma*. Acta Ophthalmol, 2012. **90**(1): p. e48-53.
9. Edmund, C., *Corneal elasticity and ocular rigidity in normal and keratoconic eyes*. Acta Ophthalmol (Copenh), 1988. **66**(2): p. 134-40.
10. Khan, M.A., et al., *Outcomes of 27 Gauge Microincision Vitrectomy Surgery for Posterior Segment Disease*. Am J Ophthalmol, 2016. **161**: p. 36-43.e1-2.
11. Eckardt, C., *Transconjunctival sutureless 23-gauge vitrectomy*. Retina, 2005. **25**(2): p. 208-11.
12. Fujii, G.Y., et al., *A new 25-gauge instrument system for transconjunctival sutureless vitrectomy surgery*. Ophthalmology, 2002. **109**(10): p. 1807-12; discussion 1813.
13. Hager, A., et al., *Changes in corneal hysteresis after clear corneal cataract surgery*. Am J Ophthalmol, 2007. **144**(3): p. 341-6.
14. Kamiya, K., et al., *Time course of corneal biomechanical parameters after phacoemulsification with intraocular lens implantation*. Cornea, 2010. **29**(11): p. 1256-60.
15. Kamiya, K., et al., *Evaluation of corneal biomechanical parameters after simultaneous*

- phacoemulsification with intraocular lens implantation and limbal relaxing incisions.* J Cataract Refract Surg, 2011. **37**(2): p. 265-70.
16. Zhang, Z., et al., *Corneal biomechanical properties changes after coaxial 2.2-mm microincision and standard 3.0-mm phacoemulsification.* Int J Ophthalmol, 2016. **9**(2): p. 230-4.
  17. Rossi, T. and G. Ripandelli, *Pars Plana Vitrectomy and the Risk of Ocular Hypertension and Glaucoma: Where Are We?* Clin Med, 2020. **9**(12).
  18. Tsuchiya, S., et al., *Glaucoma-related central visual field deterioration after vitrectomy for epiretinal membrane: topographic characteristics and risk factors.* Eye (Lond), 2021. **35**(3): p. 919-928.
  19. Hager, A., et al., *[The effect of cataract and vitreoretinal surgery on central corneal thickness and corneal hysteresis].* Klin Monbl Augenheilkd, 2008. **225**(3): p. 207-11.
  20. Seymenoglu, G., Ö. Uzun, and E. Başer, *Surgically induced changes in corneal viscoelastic properties after 23-gauge pars plana vitrectomy using ocular response analyzer.* Curr Eye Res, 2013. **38**(1): p. 35-40.
  21. Fujikawa, M., et al., *Long-term intraocular pressure changes after vitrectomy for epiretinal membrane and macular hole.* Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2014. **252**(3): p. 389-93.
  22. Costarides, A.P., P. Alabata, and C. Bergstrom, *Elevated intraocular pressure following vitreoretinal surgery.* Ophthalmol Clin North Am, 2004. **17**(4): p. 507-12, v.
  23. Tranos, P., G. Bhar, and B. Little, *Postoperative intraocular pressure spikes: the need to treat.* Eye (Lond), 2004. **18**(7): p. 673-9.
  24. Avitabile, T., et al., *Transconjunctival sutureless 25-gauge versus 20-gauge standard vitrectomy: correlation between corneal topography and ultrasound biomicroscopy measurements of sclerotomy sites.* Cornea, 2010. **29**(1): p. 19-25.
  25. Gozawa, M., et al., *Comparison of subconjunctival scarring after microincision vitrectomy surgery using 20-, 23-, 25- and 27-gauge systems in rabbits.* Acta Ophthalmol, 2017. **95**(7): p. e602-e609.
  26. Itakura, H., et al., *Vitreous collagen metabolism before and after vitrectomy.* Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2005. **243**(10): p. 994-8.
  27. Bishop, P.N., et al., *The role of the posterior ciliary body in the biosynthesis of vitreous humour.* Eye (Lond), 2002. **16**(4): p. 454-60.
  28. 木内, 良., et al., **【緑内障診療ガイドライン(第5版)】**. 日本眼科学会雑誌, 2022. **126**(2): p. 85-177.
  29. Iwase, A., et al., *The prevalence of primary open-angle glaucoma in Japanese: the Tajimi Study.* Ophthalmology, 2004. **111**(9): p. 1641-8.
  30. Saw, S.M., et al., *Myopia and associated pathological complications.* Ophthalmic Physiol Opt, 2005. **25**(5): p. 381-91.
  31. Shen, M., et al., *Biomechanical properties of the cornea in high myopia.* Vision Res, 2008. **48**(21): p. 2167-71.
  32. Sedaghat, M.R., et al., *Corneal Biomechanical Properties in Varying Severities of Myopia.* Front

- Bioeng Biotechnol, 2020. **8**: p. 595330.
33. Fang, Y., et al., *DEVELOPMENT OF MACULAR ATROPHY AFTER PARS PLANA VITRECTOMY FOR MYOPIC TRACTION MACULOPATHY AND MACULAR HOLE RETINAL DETACHMENT IN PATHOLOGIC MYOPIA*. Retina, 2020. **40**(10): p. 1881-1893.
  34. Park, H.S., C.S. Lee, and H.J. Koh, *PROGRESSION OF MYOPIC MACULOPATHY IN PATIENTS WITH MYOPIC TRACTION MACULOPATHY AFTER VITRECTOMY*. Retina, 2023. **43**(1): p. 81-87.