

偽水晶体眼における偽調節に関する研究

奈良県立医科大学眼科学教室

植 村 佐知子

APPARENT ACCOMMODATION IN PSEUDOPHAKIC EYES

SACHIKO UEMURA

Department of Ophthalmology, Nara Medical University

Received September 27, 1989

Summary: Aphakic and pseudophakic eyes have an ability to see from distant to near objects clearly without any refractive corrections. This phenomenon is known as apparent accommodation, or pseudoaccommodation.

Apparent accommodation was measured in 43 artificially pseudophakic eyes (33 patients) after posterior chamber IOL implantation. The mean apparent accommodation assessed with a constant dioptric stimulus near-point ruler was 1.69 ± 1.03 diopters. There was a negative correlation between apparent accommodation and pupil diameter, corrected visual acuity in near vision, and a positive correlation between apparent accommodation and cylindrical power, and size of visual target. No significant difference was found in apparent accommodation between measurements done with a near-point ruler and those done with 70 and 80% threshold method of visual acuity test using lens addition. These results show that the amount of apparent accommodation will be strongly affected by the assessment method and examination method. Therefore, we should strive for the proper assessment of apparent accommodation in pseudophakic eyes.

Index Terms

ocular accommodation, pseudophakia, intraocular lens, apparent accommodation, visual acuity

1. 緒 言

白内障術後の人工的無水晶体眼では、本来の意味での調節作用は存在しないと考えられるが、眼鏡で遠用矯正されているにもかかわらず近方視も可能な例があり、古くより見かけの調節または偽調節 (apparent accommodation, pseudoaccommodation) と呼ばれている¹⁾。

一方、眼内レンズ挿入眼、いわゆる偽水晶体眼でも同様の現象が指摘され、2 から 3D に及ぶ自覚的な調節力が²⁻⁸⁾、また最近の VEP を用いた他覚的な方法では約 5D もの偽調節力が存在すると言われている⁹⁾。ところで、本来調節とは、最も鮮明に網膜像を得るための眼の

屈折力の変化 (動的屈折) であるから、偽調節においても、網膜像がかなり鮮明に結像できている範囲を評価すべきであると思われる。しかし、従来の報告では、調節や偽調節についての定義が曖昧で必ずしも正しい評価が出来ていると言えない。そこで本研究では、偽水晶体眼における明視域 (偽調節) について再検討を試み、偽調節のメカニズムについても検討を加えた。

2. 対象及び方法

2-1) 対象

対象は、奈良県立医科大学附属病院において、計画的囊外法と PMMA 後房レンズ挿入術を施行した 33 例 43

眼で、術中術後に合併症を認めず、矯正視力が0.6以上のものである。年齢は、47から79歳(平均65歳)に及び、術後最低1ヵ月以上経過して検査をおこなった。

2-2) 検査項目

検査項目は、通常の屈折、視力検査以外に近距離標準精密視力表¹⁰⁾を用いた30cmでの視力検査、定屈折刺激近点計¹¹⁾とパターンVEPを用いた調節検査を施行した。また瞳孔径は、オートレフラクトメーターによって屈折度の変動を測定する際、レフラクトメーターに併設されている赤外線電子瞳孔計により測定した。遠方視力は5m視力表(日点製、RS視力表)を、近見視力(30cm)は近距離標準精密視力表(日点製)を用いて裸眼および矯正下で測定した。

2-3) 偽調節の評価法

自覚的な偽調節の評価には、近距離標準精密視力表の0.9および0.5のランドルト環を視標とし、定屈折刺激近点計を用いて、視標を前後に移動したときボケ始める範囲を測定し、これよりジオプターに換算して明視範囲(偽調節力)を求めた。

また、もう一つの自覚的な方法として、球面レンズ負荷による近距離視力検査と視標移動に伴う近距離視力検査による方法を用いた。レンズ負荷や視標移動にともなう視力値の変化から、最高視力値の70および80%まで低下した幅より偽調節力を評価した。その視力測定の際に、オートレフラクトメーター(キヤノン社製R-1^{a)})を用いて屈折値を他覚的にモニターした。

一方他覚的な偽調節の評価には、山本らの方法⁹⁾に準拠したパターンVEPによる方法を用いたが、偽調節力の評価に当たっては、相対振幅が最大振幅の70から80%に低下する範囲を採用した。

3. 結 果

3-1) 自覚的な偽調節力

各種の方法で求めた偽調節力の平均値とその分散の一覧をTab.1に示す。定屈折近点計より算出した自覚的な偽調節力は、平均で1.69D±1.03D(標準偏差)であった。次に球面レンズを負荷して測定した自覚的な明視域(偽調節)は、Fig.1に代表的な例を示すが、近距離視力を縦軸に、負荷レンズ度数を横軸に片対数グラフにプロットしたものから、最高視力の70および80%の幅より求めた。平均値は、それぞれ1.89D、および1.32Dであった(Tab.1)。

同様に視標移動による視力検査法での代表的な例をFig.2に示すが、70および80%幅で評価した偽調節は、それぞれ3.16Dおよび2.39Dであった(Tab.1)。

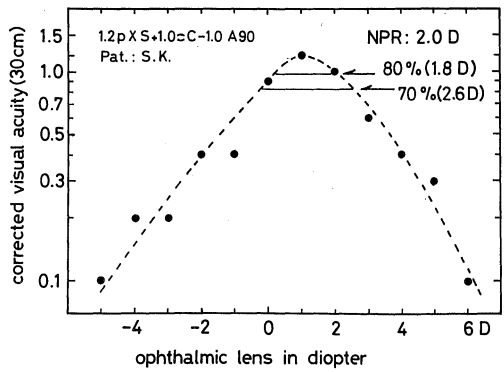


Fig. 1. Variation of near visual acuity due to ophthalmic lens addition.

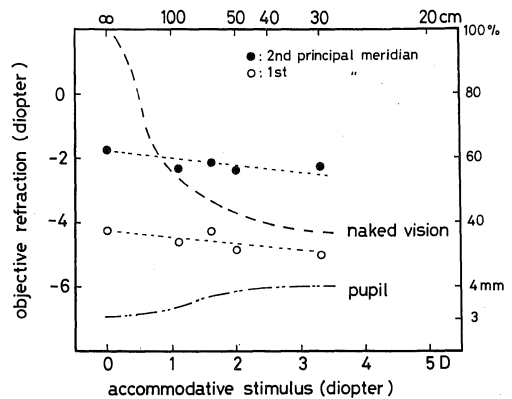


Fig. 2. Variation of naked visual acuity in near vision, pupil diameter, and objective refraction due to the movement of visual target.

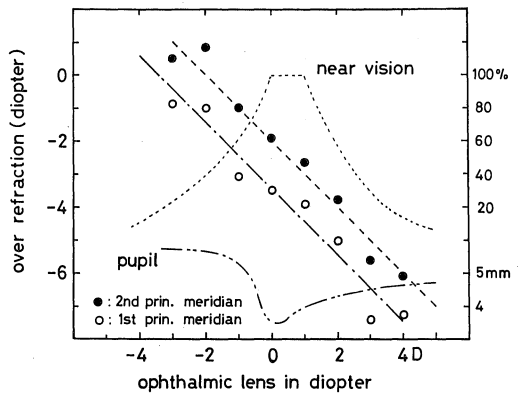


Fig. 3. Variation of corrected visual acuity in near vision, pupil diameter, and objective refraction due to ophthalmic lens addition.

3-2) 他覚的偽調節力

VEPの相対振幅が最高振幅から70および80%に低下する負荷レンズ度数の範囲は、それぞれ4.62Dおよび3.24Dであった(Tab. 1).

なお、オートレフラクトメーターによる他覚的な屈折の変化や瞳孔径をも測定したが、Fig. 3にその一例を示

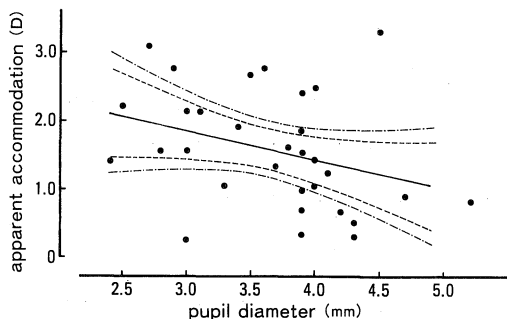


Fig. 4. Relation between pupil diameter and subjective apparent accommodation. — : regression line, — — : 95% confidence limit, - - - - : 99% confidence limit

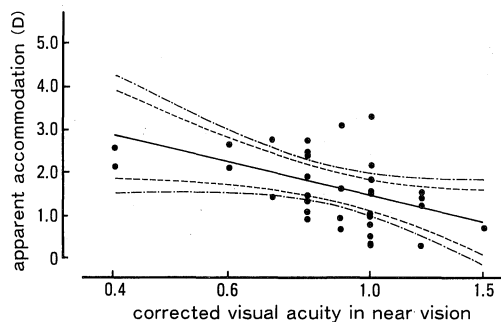


Fig. 5. Relation between corrected visual acuity in near vision and subjective apparent accommodation. — : regression line, — — : 95% confidence limit, - - - - : 99% confidence limit

す。ここでは、負荷レンズ装用下でオーバーレフラクションする必要から、乱視度数は未矯正状態で屈折をモニターした。いずれの症例でも、明かな屈折の変動を検出することは出来なかった。

3-3) 相関関係

定屈折近点計や視力表から求めた自覚的な偽調節は、

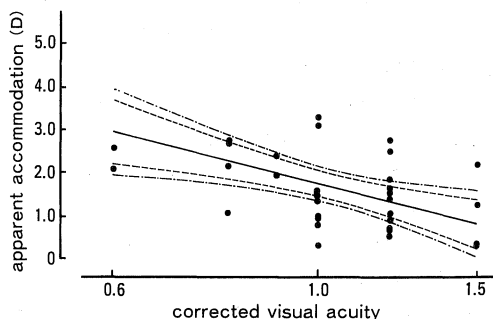


Fig. 6. Relation between corrected visual acuity in distance vision and subjective apparent accommodation. — : regression line, — — : 95% confidence limit, - - - - : 99% confidence limit

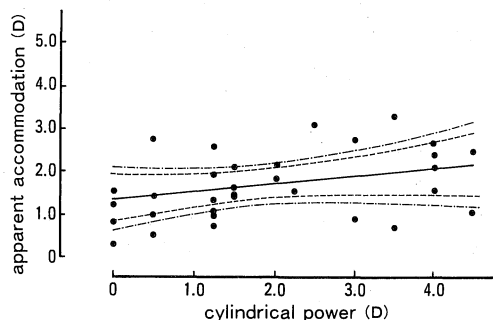


Fig. 7. Relation between cylindrical power and subjective apparent accommodation. — : regression line, — — : 95% confidence limit, - - - - : 99% confidence limit

Table 1. Comparison of apparent accommodation in pseudophakic eyes obtained with various assessment methods

	NPR ^{+))}		Lens Addit.		Target Mov.		VEP	
	Large	Small	70%	80%	70%	80%	70%	80%
MEAN	1.69	1.09	1.89	1.32	3.16	2.89	4.62	3.24
S.D.	1.03	0.64	0.70	0.56	1.34	1.05	1.89	1.39

(Mean and S.D. of apparent accommodation in diopters)

+) NPR: Near-point ruler

瞳孔径、遠見矯正視力および近見矯正視力とそれぞれ負の相関が、また乱視度数とは正の相関が認められた (Figs. 4, 5, 6, 7). そのなかでも定屈折近点計により求めた偽調節は最も相関が高く、相関係数はそれぞれ、 -0.59 (瞳孔径), -0.48 (遠見矯正視力), -0.56 (近見矯正視力), 0.35 (乱視度数) であった。

一方、VEP や視標移動による評価法では、各々の相関係数は低く、統計的に有意な相関関係は認められなかった。

4. 考 察

4-1) 自覚的方法

白内障術後の人工的無水晶体眼では、本来の意味での調節作用はないが、眼鏡で遠用矯正されているのにもかかわらず、近方視も可能な症例をよく経験する。また、眼内レンズを移植された偽水晶体眼でも、遠くも近くもよく見える症例があり、偽調節の存在が推測される。従来から、杉谷ら²⁾、星ら³⁾により前房レンズ挿入眼の自覚的な偽調節は約2から3D、また Nakazawa⁴⁾¹⁴⁾、渡辺ら⁵⁾により、後房レンズ挿入眼の自覚的な偽調節は約2D前後と報告されている。

しかし、従来の検査や評価法は、測定精度や再現性の乏しい石原式の近点計やアコモドポリレコーダーを用いていることと、測定に用いた視標がランドルト環視標の0.5程度の比較的大きな視標で被検眼の視力をもあまり考慮していないことがあげられる。そのため、偽調節を評価する場合、鮮明にピントがっている範囲ではなくかなりボケを含んだ範囲を採用しているものと思われる。

今回近点計で測定された自覚的な偽調節力は、Tab. 1 に示すように平均で $1.69D \pm 1.03D$ (S.D.) で、従来の自覚的方法による報告より小さかった。このことは、定屈折刺激近点計を用いて刺激スピードを一定にしたため、より鮮明な網膜像を得る範囲を偽調節力 (明視域) として求められた結果と思われる。また、この偽調節は、最高の近見視力値の70%および80%の視力を得られる球

面レンズ負荷度数 (相関係数: 0.44 及び 0.37) と相関を示し、t-検定の1%危険率では有意の差を認めなかった。このことは、定屈折近点計で求められた偽調節力は、負荷レンズでの視力検査の70—80%幅で評価した明視域とはほぼ同じ程度と言える。

一方、最高視力の70%、80%に相当する視標移動負荷ではそれぞれ $3.16D \pm 1.34D$ および $2.39D \pm 1.05D$ で、球面レンズ負荷によるものより大きい値となった。これは、屈折をオートレフでモニターする必要性から未矯正下で実験を行ったために乱視が影響し、また最高視力が低くなり負荷による反応があいまいになったことが原因として考えられた。

また、近点計より求めた自覚的な明視域は、矯正視力、特に近見の矯正視力が良い程、狭くなる傾向を示した。これは、遠方視力と偽調節に有意な相関がないという従来の報告⁴⁾ に一致しなかった。今回0.6以上と比較的矯正視力の高い症例を選んだため、相関が認められた可能性があるが、視力が高いほど視標のボケを許容できる範囲が狭く、視力が低いと視標のボケを検出する能力が低いためにこのように傾向が現れたものと考えられる。また、近点計に用いる視標の大きさを0.5ランドルト環にすると、偽調節は約1.5倍ほど大きく測定され、両者の間には有意差が認められた (Tab. 2)。そのため、近点計での視標の移動速度や視標の大きさのみならず、視標のボケを検出したり許容する中枢での能力が測定される偽調節に大きく関与しているものと推察される。

4-2) 他覚的方法

他覚的方法として、パターンVEPによる測定では偽調節は約5Dも存在すると報告されている⁹⁾。しかし、チェックサイズが視角で約14分ときわめて大きなものを用いていることと、VEP振幅がゼロになる領域を外挿する方法を取っていることなどにより^{16,19)}、偽調節とは程遠いものを評価している可能性が考えられる。偽調節というからには、網膜像がかなり鮮明に結像できる範囲を取るべきと思われる。そのため今回、相対振幅が70および80%まで低下する範囲を採用したが、これから得られ

Table 2. Effect of target size on apparent accommodation

Target size	Apparent accomm.(D)		Significant difference
	Mean	S.D.	
Large (0.9)	1.38	0.9	P<<0.01*)
Small (0.5)	1.07	0.5	

*) Paired T-analysis (Number : 18 eyes)

た調節幅でも自覚的な調節幅よりも有意に大きく過大評価されているものと考えられた。

同様に、VEPによる検査では最大振幅の70%及び80%の振幅が得られる球面レンズ負荷度数を求めたところ、それぞれ $4.62D \pm 1.78$ および $3.24D \pm 1.39D$ (Tab. 1)で、かなり大きい値となった。パターンVEPの相対振幅がゼロになる点を外挿してもとめる方法では、さらに大きな偽調節力を評価してしまうことになる。このようなゼロ外挿する方法でチェックサイズの刺激による網膜像がさらにボヤけ、あるいは像を結ばなくなる範囲を偽調節として求めたために、鮮明に明視できない範囲も偽調節の範囲に含まれ、自覚的な偽調節と異なったものと考えられる。

偽水晶体眼は固定焦点の人工水晶体 (PMMA 製) が移植されているため、基本には調節は働かないと考えられる。真に他覚的な方法である赤外線オプテーターやレフラクトメーターの屈折検査⁹⁾では偽水晶体眼の調節の存在は認められておらず、今回も Fig. 2 および Fig. 3 に示すように明確な変化は検出されなかった。Fig. 2 では、視標の移動に伴う偽水晶体眼の屈折度をオートレフでモニターしたもので、測定された屈折度は弱および強主経線ともほぼ水平であった。調節に伴う屈折の変動があれば、右下がりの変化が認められるはずである。また Fig. 3 は、レンズ負荷に伴う屈折度をオートレフでモニターしたものであるが、レンズ負荷度数につれてほぼ45°の右下がりの変化を示している。この場合は、調節が存在すれば、横軸に平行な変化が現れるべきである。そのため、基本的には、偽水晶体眼の屈折の変化はほとんどの症例で認められなかった。但し、Fig. 2, 3 に示したように、一部屈折の変化が想像される例もわずかながら認められた。今回充分な検討ができなかったが、調節作用によって眼内レンズが水晶体嚢内でその位置が変化し眼の全屈折力が変動する^{12,13,18)} 可能性があるものと推測された。

4-3) 偽調節のメカニズム

偽水晶体眼の偽調節の原因として従来より、遠方矯正視力が良好なこと、乱視による前後焦線間の幅、瞳孔径による焦点深度、眼瞼圧や外眼筋、毛様体筋の収縮による角膜曲率半径の変化、前房に接する硝子体面の変化、網膜の前方移動、角膜の球面収差などがあげられているほか¹⁻⁹⁾、眼内レンズの水晶体嚢内での動きに伴う屈折の変化^{12,13,18)}の他、視中枢でのボケ検出やボケ許容の能力などが複合的に関与していると思われる。

しかし、偽調節の主たる原因は、おもに瞳孔径による焦点深度 (または被写体深度) と乱視による前後焦線間

の広がりであるとの考え方が従来から支配的であった。

瞳孔の縮小による焦点深度の増大が偽調節の主たる因子であることは多くの報告²⁻⁵⁾で一致を見ている。今回の赤外線電子瞳孔計による測定の結果もこれに一致していた。また、偽水晶体眼の屈折状態が軽度の近視性単乱視であると強弱主経線による2焦線のため散光圏効果は増し、調節類似効果もたらされるという^{15,17)}。今回、近点計より求めた偽調節力は乱視度数と正の相関を示し、上記の報告と一致していた。

A) 瞳孔径の影響

Figure 4 に示したように、偽調節力と瞳孔径の間には正の相関が認められ、瞳孔径が小さいほど、偽調節は大きく評価された。一般に、焦点深度は瞳孔径に逆比例して大きくなるので、瞳孔径が小さいと焦点深度は大きくなり、その結果偽調節も大きくなる。しかし、通常の大さきの瞳孔径、つまり3-4mm程度では、焦点深度の大きさは高々0.5D程度しかなく、焦点深度だけで偽調節を説明することは困難である。眼内レンズ移植の対象は一般的に高齢者が多いため、老人性縮瞳が多く、年齢と共に瞳孔径は小さくなり、偽調節が年齢と共に大きくなる傾向が認められた。このことは、加齢と共に瞳孔径が小さくなって視力や調節力の減退を補う一種の防御機構が作用しているものと考えられる。

B) 乱視の影響

乱視の偽調節への影響は、Fig. 7 に示したように、正の相関が認められ、乱視度数が大きいほど偽調節は大きく評価された。今回の実験では、乱視度数を矯正下で偽調節を測定したが、乱視が完全矯正されている保証は少なく、また遠用矯正下での乱視度数矯正では近用視標を明視している場合にはある程度の乱視度数が未矯正であるため、相関係数は低い両者間の相関が認められたものと思われる。もちろん乱視未矯正下では、両者の間にはかなりの相関が認められることは言うまでもない¹⁷⁾。乱視度数があまり大きくなると前焦線と後焦線間の間隔が大きくなり過ぎ、はっきり明視できる領域が二峰性で現れ、偽調節はかえって小さくなるものと思われる。従って、偽調節を得るため人為的に乱視度数を残存させる場合には、その上限が存在するものと考えられる。今回の症例からも約2-3D程度の乱視度数が、明視域 (偽調節) 拡大の限界と考えられた。それ以上の残存乱視は、かえって視機能を低下させ、明視域の拡大加果は低下すると言ってよいと思われる。

C) 視力の影響

偽調節の要因の一つとして、視力などの視機能が大きく関与するであろう事はすでに指摘したが、特に矯正視

力と、近見での矯正視力が相関しており、裸眼視力はほとんど相関が認められなかった。

Figs. 5, 6 に示すように、遠見および近見の矯正視力と偽調節の間にはそれぞれ正の相関が認められ、矯正視力が高いほど、偽調節は小さく測定されている。逆に言えば、矯正視力が低いと、偽調節は大きく評価される。これは、網膜の共役点付近の視標でも元々はっきりと見えておらずかなりのボケを含んでおり、それより前後の像もかなりピンボケ状態であるが、このようなボケをかなり含んだものを偽調節と評価していることが大きな原因と考えられる。

年齢と視力の関係は、裸眼視力との相関は認められなかったが、矯正視力と負の相関が認められ、高齢者ほど矯正視力は低かった。

D) 視標サイズの影響

定屈折近点計を用いた偽調節の評価では、視標の大きなものと小さなものによる比較を行った。それぞれ0.9と0.5のランドルト環視標を用いた。両者で得られた偽調節の平均値と分散の比較を Tab. 2 に示す。対応のある場合の t-検定の結果、1%の危険率で有意差が認められ、用いる視標サイズが大きいほど偽調節は大きく評価された。このことは、前述の視力と関係して、矯正視力の低い人を大きな視標サイズを用いて評価する場合、かなりボケを含んだ領域を偽調節力として過大評価する危険性があると考えられる。従って、偽調節をかなりはっきりと明視出来る範囲として評価するためには、矯正視力のみならず、用いる視標サイズも矯正視力に近いものを用いる必要があると思われた。

本来調節とは、最も鮮明な網膜像を得るための眼の屈

折系の調整作用であるが、調節がない無水晶体眼または偽水晶体眼においても、遠くも近くも明視できる効果が臨床的に認められ、偽調節と呼ばれている。しかし、どの程度はっきり見える範囲を採用するかによって評価される偽調節の大きさも変化する (Fig. 8)¹⁸⁾。また、これを偽調節と呼んでよいか否かは問題であり、例えば明視域とか明視幅などを用いるほうが妥当だと思われる。臨床的に偽調節を評価する上では、より正確な方法で測定された比較的鮮明に明視できる範囲を評価の対象とすることが適当と考える。このような諸点を踏まえた上で、偽調節のメカニズムをさらに検討・解明して行く必要があると思われた。

5. 結 論

今回偽水晶体眼における見かけの調節 (偽調節) を再検討した結果、自覚的な評価では、約1—2Dと推定された。また評価法によっては、従来の報告のように2—3Dの偽調節が得られた。VEPを用いた他覚的な方法では、自覚法よりも大きな偽調節が測定されたが、相対振幅から偽調節を評価する方法によっては、自覚法に近い3D程度の偽調節が評価できることが判明した。

今回の偽調節に関する再検討で、従来から言われているように、瞳孔径による焦点深度や乱視による拡大効果が偽調節の主たる原因であることは勿論であるが、それ以外に、偽水晶体眼の矯正視力や用いる視標サイズによっても評価される偽調節力が大きく影響されることが判明した。このことは、視標のボケをどの程度許容出来るか、またどの程度のボケを検出できるかなどの、いわゆる中枢での機能が大きく関与していることを示唆している。従って、真のメカニズムを考究するためには、さらに心理物理的な手法で偽調節の解明が今後望まれる。

A: normal phakia, B: presbyopia, C: pseudophakia

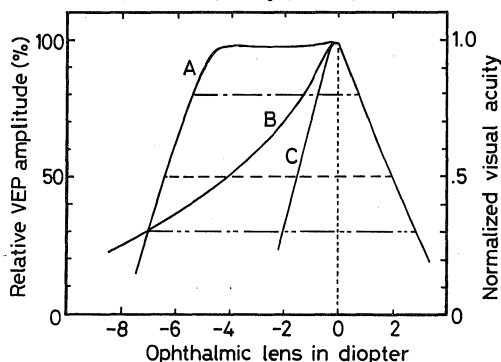


Fig. 8. Schematic diagram of difference in assessment of accommodation and apparent accommodation. (A) Normal phakic eye, (B) Presbyopic eye, (C) Pseudophakic eye.

(本論文の一部は、第27回北日本眼科学会(平成1年7月14—16日/札幌市)および第55回日本中部眼科学会(平成1年9月8—10日/徳島市)にて講演した。)

謝辞:本研究を実施するに当たり、終始かわらぬご指導、ご鞭達を賜った恩師西信元嗣教授に深く感謝の意を表します。また、本論文をまとめるに当たり、有益なるご校閲ならびにご助言を賜りました第2外科学教室内海庄三郎教授ならびに公衆衛生学教室森山忠重教授に厚く御礼申し上げます。

さらに、本研究実施に当り絶えず有益なご助言、ご討論を頂き直接ご指導頂いた眼科学教室魚里博講師に衷心より厚く御礼申し上げるとともに、ご協力下さいました教室諸兄に感謝致します。

文 献

- 1) Bettman, J.W.: Apparent accommodation in aphakic eyes. *Am. J. Ophthalmol.* **33**: 921, 1950.
- 2) 杉谷幸彦, 小森敏郎, 鬼頭練次郎, 早野三郎: 眼内レンズ(人工水晶体)挿入眼の偽調節について. *日本眼科紀要* **30**: 326, 1979.
- 3) 星 兵仁, 亀ヶ沢アメリカ, 筑田 真, 根元龍司, 今泉信一郎: 眼内レンズ挿入眼(偽水晶体眼)の視機能一特に偽調節について. *日本眼科紀要* **31**: 1409, 1980.
- 4) Nakazawa, M. and Ohtsuki, K.: Apparent accommodation in pseudophakic eyes after implantation of posterior chamber intraocular lenses. *Am. J. Ophthalmol.* **96**: 435, 1983.
- 5) 渡辺清敬, 河合憲司, 天野 肇, 杉谷幸彦, 早野三郎: 人工水晶体挿入眼の偽調節と近距離明視域について. *臨床眼科* **38**: 161, 1984.
- 6) 新美勝彦: 偽水晶体眼の偽調節. *眼科* **31**: 733, 1989.
- 7) 新美勝彦, 江崎淳次, 野川秀利: 眼内レンズ挿入眼の視機能. *日本眼光学学会誌* **5**: 137, 1984.
- 8) 木方伸一郎, 高橋捷允: 人工的無水晶体眼の明視域と屈折矯正について. *日本眼光学学会誌* **10**: 148, 1989.
- 9) 山本修一, 安達恵美子: 眼内レンズ挿入眼における偽調節—パターン視覚誘発電位による他覚的解析. *日本眼科学会雑誌* **93**: 363, 1989.
- 10) 筒井一夫, 魚里 博, 西信元嗣, 神谷貞義: 近距離標準精密試視力表. *日本眼光学学会誌* **10**: 144, 1989.
- 11) 魚里 博, 中川皓夫, 平井宏明, 西信元嗣: 定屈折刺激による新しい近点計について. *日本眼科紀要* **39**: 1247, 1988.
- 12) 魚里 博, Wisnicki, H.J., Guyton, D.L.: 移植眼内レンズの傾きと偏心の非散瞳下迅速決定法. *日本眼科紀要* **39**: 2155, 1988.
- 13) 魚里 博, Guyton, D. L.: Purkinje 第3及び第4像を用いた眼用レンズの傾きと偏心の臨床的検査法. *日本眼光学学会誌* **8**: 110, 1987.
- 14) Nakazawa, M. and Ohtuki, K.: Apparent accommodation in pseudophakic eyes after implantation of posterior chamber intraocular lenses: optical analysis. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* **25**: 1458, 1984.
- 15) Huber, C.: Planned myopic astigmatism as a substitute for accommodation in pseudophakia. *J. Am. Intraocular Implant Soc.* **7**: 244, 1981.
- 16) 山本修一, 安達恵美子, 黒田紀子: パターン視覚誘発電位による調節力の他覚的検討—正常人における加齢による変化. *日本眼科学会雑誌* **92**: 981, 1988.
- 17) 小峯輝男: 人工水晶体挿入眼における屈折要素分析; 特に近方視との関連について. *日本眼科学会雑誌* **89**: 368, 1985.
- 18) 魚里 博: 偽水晶体眼における光学. *眼科手術* **2**: 279, 1989.
- 19) Millodot, M. and Newton, I.: VEP measurement of the amplitude of accommodation. *Brit. J. Ophthalmol.* **65**: 294, 1981.