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―(図6，表2)

山本　修一・安達恵美子（千葉大学医学部眼科学教室）

要　約

眼内レンズ挿入眼における偽調節について，パターン視覚誘発電位（PVECP）を用いた他覚的調節力測定法によって解析を行なった．その結果，眼内レンズ挿入眼においてPVECPによって測定した他覚的調節力は同年齢の正常者に比べて有意差が認められず，偽調節の存在が他覚的に証明された．また偽調節の幅と，年齢，術後矯正視力，術後残余屈折異常との間に相関関係は存在しなかった．一方瞳孔径を拡大すると，PVECPによって測定した偽調節幅は減弱し，偽調節に対する瞳孔の関与の大きいことが示された（日眼会誌 93：363—368，1989）

キーワード：眼内レンズ，偽調節，他覚的調節力，パターン視覚誘発電位

Subjective Measurement of Apparent Accommodation in Pseudophakic Eyes with Pattern VECPs

Shuichi Yamamoto and Emiko Adachi-Usami

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Chiba University

Abstract

Apparent accommodation was measured subjectively with pattern reversal visually evoked cortical potentials (PVECPs) in 22 pseudophakic eyes (20 patients, 47～83 years of age) after implantation of posterior chamber intraocular lenses. No significant difference was found in the obtained amplitude of accommodation measured with PVECPs between pseudophakic eyes and normal phakic eyes. Moreover this amplitude was independent from the age of patients, corrected visual acuity, or refractive errors. In one case, however, the amplitude of apprent accommodation was reduced with artificial dilating of the pupil diameter and contribution of the depth of focus to the apparent accommodation was indicated. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93 : 363—368, 1989)

Key words : Pseudophakic eyes, Apparent accommodation, Pattern VECP

I 緒　言

本来は調節作用が存在しないはずの無水晶体眼において，遠見視力も近見視力も良好な症例が存在することは古くから知られており，この現象は偽調節と呼ばれている[1]．さらに同様の現象が眼内レンズ挿入眼でも認められることが報告されている[2]．しかしいずれも自覚的手法によって報告されているにすぎない．

一方我々はこれまでに，パターン視覚誘発電位（PVECP）による新しい他覚的調節力測定法の確立を

別刷請求先：280　千葉市亥鼻1－8－1　千葉大学医学部眼科学教室　山本　修一
（昭和64年1月6日受付，平成元年2月3日改訂受理）
Reprint requests to : Shuichi Yamamoto, M.D.　Dept. of Ophthalmol., School of Med., Chiba Univ.
1-8-1 Inohana, Chiba 280, Japan
(Received January 6, 1989 and accepted in revised form February 3, 1989)

試み，高齢者や糖尿病患者を対象として，その臨床的有用性を報告している[3)4)]．本研究では，この手法を眼内レンズ挿入眼に応用，偽調節の他覚的解析を試みた．

II 対象および方法

対象は，千葉大学付属病院眼科において後房レンズ挿入術を施行した20例22眼である．全例とも同一の術者によって手術を施行しており，術中術後に特に合併症を認めず，また瞳孔の異常も認めないものである．実験施行時までの術後経過期間は1から28カ月の平均7.2カ月であり，矯正視力は0.6から1.5である．年齢分布は表1に示すごとく47歳から83歳の平均61.8歳であり，年齢分布の等しい正常者28眼をコントロールとした．

実験条件はこれまでの報告と同様である．すなわち，Pattern generator（TPS7900クレアクト社製）により発生させた白黒市松反転模様を，眼前42.5cmのTVモニター画面上に提示，刺激として用いた．反転頻度は3rev/sec，コントラスト80%，平均輝度39cd/m²に設定した．また観察距離を42.5cmとし，この距離において画面視野は27°×39°，一片のチェックサイズは14′である．

関電極として頭皮上Ozの位置に脳波用銀板皿電極を装着，不関電極は両耳朶を短絡して用いた．誘導された電位は1.5～100Hzの帯域に絞って増幅し（AVB-9，日本光電社製），加算回数は100回，解析時間は200msecとした（ATAC350，日本光電社製）．Oz電極からの電位が上向きに振れる成分を陽性としてXYレコーダー（RW-21S，理化電器社製）に記録した．

被検者は5mの距離において屈折異常を完全に矯正した後，自然瞳孔下で眼前にまず+2Dの球面レンズを装着させてPVECPを記録，その後レンズパワーを1D刻みにマイナス方向に強めていきこれを調節刺激として，PVECPが記録されなくなるまで負荷を重ねた．

以上のような実験条件下にて得られたPVECPの100msec付近の陽性波，P_{100}波の振幅を測定，眼前のレンズパワーがODのときのP_{100}振幅を100%として各々のレンズ負荷時の相対振幅を算出し，さらに眼前のレンズパワーをX軸に，相対振幅をY軸にとってプロットした．次に各プロットに対する回帰直線を求め，外挿法によって相対振幅0%となるレンズパワーを算出，その絶対値に観察距離42.5cmに相当する2Dを加えてこれをPVECPによって測定した調節力の指標とした．

表1 眼内レンズ挿入患者（IOL患者）および正常者の年齢分布．

年齢	IOL患者	正常者
40―49歳	3眼	6眼
50―	19	22
計	22	28

表2 73歳女性の眼内レンズ挿入患者における瞳孔径による偽調節幅の変化．瞳孔径の拡大による偽調節幅の減少が認められる．

73歳 女性

瞳孔径	偽調節幅
2mm	3.4D
4	2.4
6	1.5

III 結 果

1）眼内レンズ挿入眼における調節刺激に対するPVECPの変化

図1に59歳女性の眼内レンズ挿入患者のPVECPを示す．術後18カ月における記録であり，矯正視力は1.5である．−2Dのレンズ負荷まで誘発電位は認められ，外挿法によって算出した他覚的調節力は5.2Dとなった．

2）眼内レンズ挿入眼における他覚的調節力

PVECPにより測定した眼内レンズ挿入後の22眼における他覚的調節力の平均は，5.14±0.32D（Mean±SE）となり，正常者の5.87±0.40D（Mean±SE）に比して低い値を示すものの，統計学的には有意差を認めない結果となった（図2）．

3）同一個人における眼内レンズ挿入眼と正常他眼の比較

片眼のみに眼内レンズを挿入し，他眼の視力が良好な8症例を対象として，眼内レンズ挿入眼と有水晶体眼の他覚的調節力を比較した．その結果，2例では有水晶体眼で高い値を示したものの，3例では左右で調節力に差は認められず，また残り3例ではむしろ眼内レンズ挿入眼のほうが良好な調節力を有する結果となった．したがって前述した統計学的な結果とあわせて，眼内レンズ挿入眼においても同年代の有水晶体眼と同程度の調節力が保たれている，すなわち偽調節が存在するという結果となった（図3）．

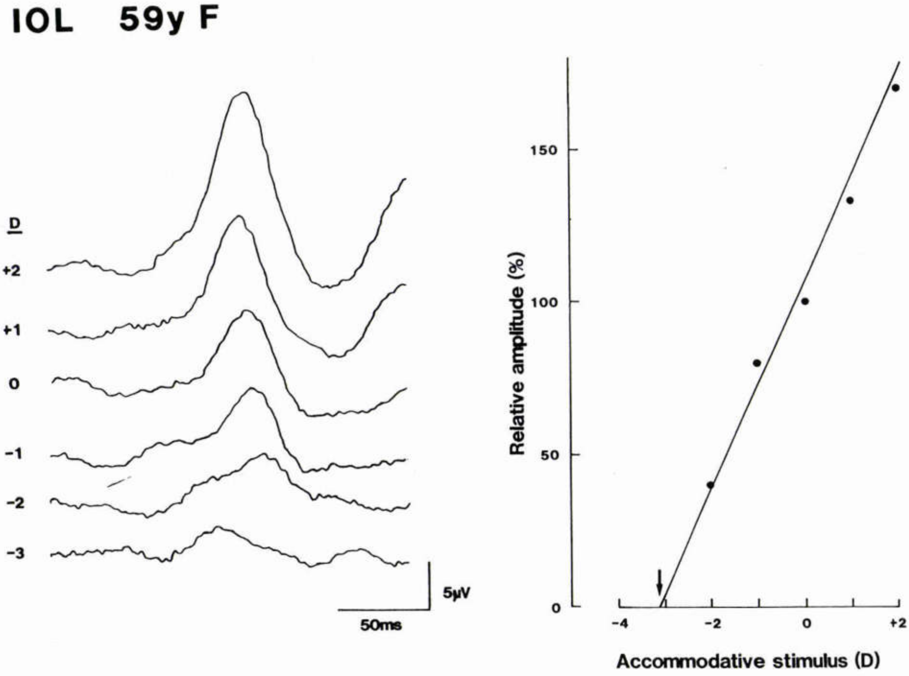

図１　眼内レンズ(IOL)挿入患者における PVECPs(左)および相対振幅の変化(右).
回帰直線を外挿，相対振幅０％となるレンズパワー（矢印）を求めた.

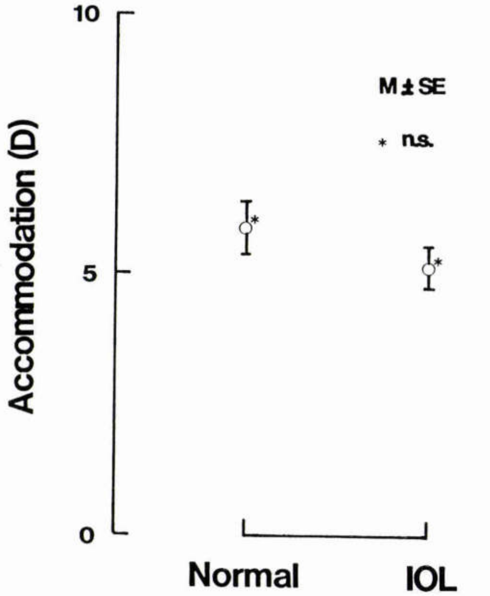

図２　PVECP により算出した他覚的調節力の比較.
眼内レンズ挿入眼（IOL）は正常眼（Normal）に比してやや低い値を示すが，統計学的有意差は認めない.

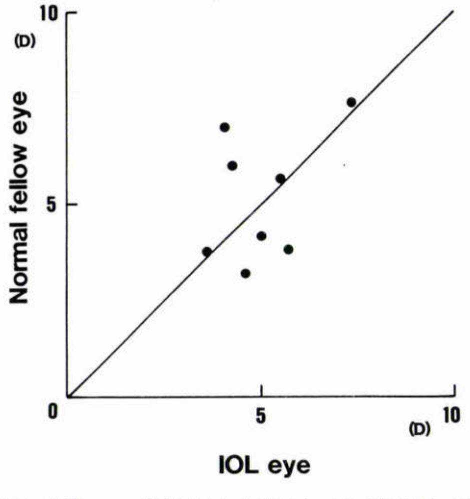

図３　眼内レンズ挿入眼と水晶体を有する他眼との他覚的調節力の比較．横軸に眼内レンズ挿入眼（IOL）を縦軸に正常眼を示す.

4）年齢と偽調節幅の関係

偽調節の幅を年齢により比較した結果を図４に示す．83歳で5.4D の調節力を示す症例がある一方で，47歳で2.5D と低い値を示す症例もあり，年齢との間には

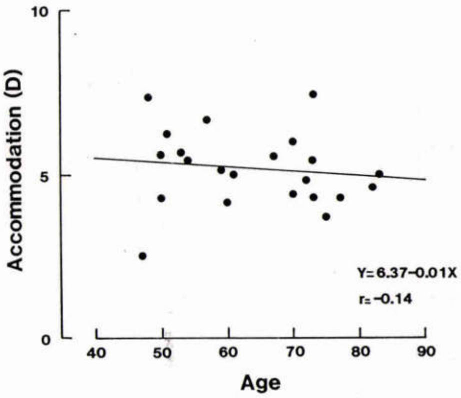

図4 偽調節幅と年齢の関係．横軸に年齢を縦軸に偽調節幅を示す．

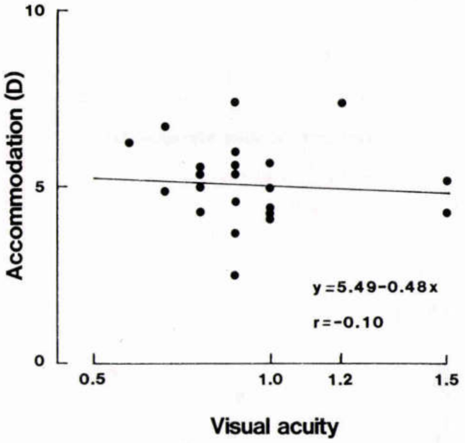

図5 偽調節幅と術後矯正視力の関係．横軸に視力を縦軸に偽調節幅を示す．

有意な相関は認められず，本実験で対象とした年齢間では，偽調節に加齢による影響は認められなかった．

5）偽調節幅と術後矯正視力，術後残余屈折異常との関係

本実験で対象とした症例は全例矯正視力が0.6以上であるが，この範囲内では偽調節の幅と視力との間に相関は認められなかった（図5）．また残余屈折異常との間にも相関は認められなかった（図6）．

6）瞳孔径による偽調節幅の変化

74歳女性の眼内レンズ挿入眼においてその瞳孔径を変化させて，偽調節幅の変動を他覚的に検討した．1％サイクロペントレート点眼により散瞳後，眼前12mmにおいた人工瞳孔により瞳孔径を2mm, 4mm, 6mmに設定したところ，2mmでは3.4Dであった調節力が4mmでは2.4D, 6mmでは1.5Dとなり，瞳孔径1mmの拡大につきおよそ0.5Dの割合で偽調節の幅が減少する結果となった（表2）．

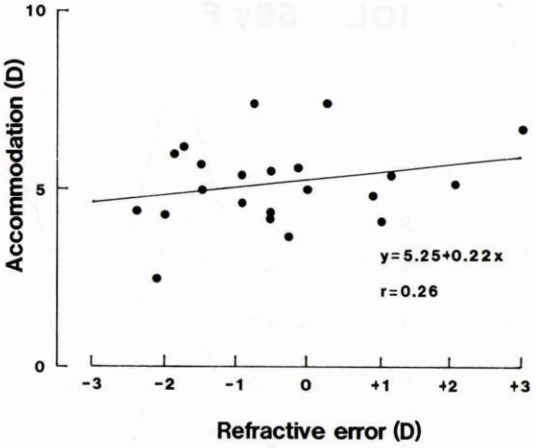

図6 偽調節幅と術後残余屈折異常の関係．横軸に屈折異常を縦軸に偽調節幅を示す．

IV 考 按

調節作用は，毛様筋の作用による水晶体の屈折率の変化がその主体であるため，元来，無水晶体眼には調節は存在しないとされており，事実日常の臨床において白内障術後の無水晶体眼の矯正には，遠方視用の眼鏡のほかに近用にはより強い凸レンズを処方している．しかしながら遠用眼鏡にて近方視も可能な症例の報告もなされており，水晶体は摘出されているため本来の意味での調節作用の存在は考えられないことから，この現象は偽調節（apparent accommodation, pseudoaccommodation）と呼ばれている．

1919年 Davis[5]は，白内障術後の無水晶体眼で近方視も可能な症例をはじめて報告した．このほか Horton[6]，Hoare[7]なども同様な報告をしているが，1950年 Bettman[1]は無水晶体眼の1例について詳細な検討を行ない，偽調節の原因として次のような機序を推定した．すなわち，1）近方視にさいして眼鏡をずらして眼から離して使うため凸レンズの効果が増強されること，2）強い凸レンズにより網膜像が約30％拡大すること，3）遠方視における矯正視力が良好なこと，4）小瞳孔によるピンホール効果，5）眼瞼圧や外眼筋，毛様筋の収縮による角膜曲率半径の変化，6）前硝子体膜の変化，7）毛様筋あるいは外眼筋の収縮による眼軸長の変化，8）網膜の前方移動，9）有水晶体時には水晶

体により補正されていた角膜の球面収差，などをあげている．そしてなかでもピンホール効果，角膜球面収差，良好な遠方視力，眼鏡による拡大効果を主因としている．その後も無水晶体眼における偽調節に関する報告はなされている[8]ものの，依然として原因に対する定説はない．

一方眼内レンズ，特に後房レンズは摘出された水晶体の位置に挿入されるため，光学的には有水晶体眼に近い状態ではあるが，現在までのところ弾性のあるレンズは開発途上にあり，広く使用されている眼内レンズでは無水晶体眼同様に調節作用は存在しないはずである．しかし臨床的にはきわめて少数ながら，遠見視力も近見視力も良好な症例もあり，眼内レンズ挿入眼にも偽調節が存在することが推定される．

1979年，杉谷ら[2]は前房レンズ挿入眼30眼を対象として調節力を自覚的に測定，平均1.9Dの偽調節が存在することをはじめて報告した．また星ら[9]も前房レンズ挿入眼に平均2.75Dの偽調節が認められることを報告している．後房レンズにおける偽調節については，Nakazawaら[10]による42眼で平均2.03D，渡辺ら[11]による2.19Dの報告がなされており，ほぼ2D前後で一致を見ている．しかしながらこれらの報告はいずれも自覚的手法によるものであり，渡辺ら[11]はその報告のなかで赤外線オプトメーターによる他覚的測定を試みているが，縮瞳反応は記録されるものの調節運動の記録は得られていない．赤外線オプトメーターを始めとする他覚的調節力測定装置は，すべて水晶体の屈折率変化をその測定対象としている以上，当然のことながら偽調節の測定は不可能である．

調節力は遠方および近方の対象に焦点を合わせるための屈折力の差である．この際自覚的にはボケが基準として用いられているが，どの程度のボケを基準とするかは被検者に頼らざるをえない．一方PVECPは自覚的な視力と一致することが知られており[12)~14)]，凹レンズによって調節負荷を増強すると自覚的にも視力低下が生じ，PVECPの振幅は低下，ついには反応が得られなくなる．このとき最初の数diopterまでは振幅の変化は小さいが，その後急激な低下を見る．この下降脚の肩の値をもって調節の限界とするか，あるいは本研究のようにPVECPの反応が完全に消失する点を採るかについては議論のあるところと考えられる．しかし我々の一連の研究において，下降脚起始部による検討では加齢による影響が認められず，むしろそれ以上に負荷を増強した部分における直線的変化の係数にその影響が著明に認められている．したがって従来の眼球の光学系における調節の定義から逸脱する危険はあるものの，調節反応をより総括的に検討することを目的に，本研究では振幅が0％となる点をもって調節力と定めている．このため水晶体がその因子から除外される偽調節において，他覚的解析手法としての有用性が期待されるものである．

さて眼内レンズ挿入眼における偽調節の原因としては，Bettman[1]が述べた要因のうち，1) 2)を除くすべての場合が想定されるほかに，眼内レンズの前後方向の移動による屈折率の変化も考慮に入れなければならない．前房レンズの場合，1mm前後すると全屈折力が0.5D変化することが光学的計算から判明している[15]．したがって，後房レンズにおいても頭位の変換あるいは毛様筋の作用によってレンズが前方に移動すれば，屈折力は増加し，偽調節に寄与すると考えられる．杉谷ら[2]は前房深度と偽調節の間に相関は認められないとしているが，一方Nakazawaら[10]はこの両者の間には負の相関関係が存在することを報告しており，一致を見ない．

後房レンズが嚢内に固定されている場合には，解剖学的に毛様筋の作用の及ぶ位置にあり，その作用を無視できない．毛様筋は加齢により線維組織の増加などによってその機能が低下することが知られている．本研究では偽調節と年齢の関係について検討したが，残念ながら有意な相関は得られず，加齢による影響を証明しえなかった．しかしこの毛様筋の作用についてはさらに検討を加える必要があると考えられる．

遠方視力と偽調節の関係については，Nakazawaら[10]が自覚的手法を用いて有意な相関はないとしており，本研究でも同様の結果が得られた．しかし本研究ではPVECP測定の必要上，矯正視力0.6以上の症例を対象としており，視力が不良な症例をも対象に含めれば，何らかの相関が得られる可能性も否定しえない．また術後の残余屈折異常との関係についても，同様に相関は見出せず，これもNakazawaら[10]の報告を他覚的に追試する結果となった．

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で一致を見ている[2)9)~11)16)]．有水晶体眼においても，眼を調節してある一点に正しく焦点を合わせると，光学的には一点のみが対応するはずであるが，実際にはその点の前後のある範囲内の物体も同時に鮮明に見ることが可能であり，またこの焦点深度には瞳孔径が大きな影響をもつ

ことが知られている．本研究において，1症例ながらも瞳孔径の拡大による偽調節の減弱を定量的に観察しえたことは，これまでの報告を強く裏付けるものと考えられる．しかしながら前述したように，偽調節にはこのほかに多くの因子の複合的な関与が想定されており，今後のさらなる研究が必要と考えられる．

本研究は文部省科学研究費一般研究 B63480392（安達）の援助を受けた．記して謝意を表します．

文　献

1）**Bettman JW**: Apparent accommodation in aphakic eyes. Am J Ophthalmol 33: 921—928, 1950.

2）**杉谷幸彦，小森敏郎，鬼頭練次郎**他：眼内レンズ（人工水晶体）挿入眼の偽調節について．眼紀　30: 326—331, 1979.

3）**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—．日眼　92: 981—986, 1988.

4）**山本修一，安達恵美子，黒田紀子**他：パターン視覚誘発電位による糖尿病患者の調節力の他覚的検討．日眼　92: 1359—1362, 1988.

5）**Davis AE**: Accommodation in the lensless eye. JAMA 2: 860, 1919.

6）**Horton JJ**: Apparent accommodation in the aphakic eye. Am J Ophthalmol 12: 489—490, 1929.

7）**Hoare WW**: Accommodation in aphakia. M J Australia 1: 205—206, 1936.

8）**大村　博**：無水晶体眼の調節作用．眼臨　45: 515, 1951.

9）**星　兵仁，亀ケ沢アメリア，筑田　真**他：眼内レンズ挿入眼（偽水晶体眼）の視機能—特に偽調節について—．眼紀　31: 1409—1419, 1980.

10）**Nakazawa M, Ohtsuki K**: Apparent accommodation in pseudophakic eyes after implantation of posterior chamber intraocular lenses. Am J Ophthalmol 96: 435—438, 1983.

11）**渡辺清敬，河合憲司，天野　肇**他：人工水晶体挿入眼の偽調節と近距離明視域について．臨眼　38: 161—164, 1984.

12）**安達恵美子**：Pattern Reversal VECP による屈折検査—Lock-in Amplifier と Averager による記録結果の比較—．眼紀　29: 787—789, 1987.

13）**Chiba Y, Adachi-Usami E, Asanagi K**: Visual acuity as obtained by the VECP in responses to checkerboard pattern reversal stimuli. Proc 16th ISCEV Symp, Morioka, 1978, 215—220, Jpn J Ophthalmol, Tokyo, 1979.

14）**Regan D**: Rapid objective refraction using evoked brain potentials. Invest Ophthalmol 12: 669—679, 1973.

15）**早野三郎**：前房レンズ挿入術について．手術　14: 833—839, 1960.

16）**Nakazawa M, Ohtsuki K**: Apparent accommodation in pseudophakic eyes after implantation of posterior chamber intraocular lenses: Optical analysis. Invest Ophthalmol Vis Sci 25: 1458—1460, 1984.