

近見三徴測定装置 —調節の他覚的量的測定への応用—

平岡 満里¹⁾, 諸田麻里子¹⁾, 遠矢ゆかり¹⁾, 袴田 直俊²⁾

¹⁾小金井眼科クリニック, ²⁾浜松ホトニクス

要 約

目 的：近見反応の準静的記録装置(近見三徴測定装置, 仮称)を試用して, 他覚的な調節の定性的・定量的計測を検討した。

方 法：調節視標が定量的に負荷できるように速度が工夫されている定屈折近点計を用いて, それに伴う瞳孔運動と水平眼球運動を両眼同時に連続記録した。20～50歳の正常者42名について, まず50 cmから各被検者の近点に1 diopter(以下, D)加えた距離を前後に移動する調節視標を最大負荷刺激として, 3回往復させた。3回の試行のうち, 最も安定して反応の得られた回(多くは2回目)の50 cm固視時瞳孔径と最接近時瞳孔径から縮瞳率の年齢分布をみた。さらに調節負荷量と縮瞳率の相関をみるため, 18名について負荷Dを段階的に増加させて得られた反応から, 各年代の基準曲線を描いた。それを基に, 最大負荷刺激に対する縮瞳率から最大調節量を算出した。

結 果：調節負荷刺激に対する平均縮瞳率の平均値

は, 20代では7.2 Dの調節負荷量に対して縮瞳率48%, 30代では6.9 D 46%, 40代で3.6 D 35%, 50代で3.1 D 33%であった。これらの縮瞳率を各年代の基準曲線に載せて調節反応量を計測すると, 20代で8.0 D, 30代で9.1 D, 40代で3.4 D, 50代で4.1 Dの最大調節反応が得られた。20代と30代との間には反応量に有意差がなく, 40代と50代の間にも有意差がなかったが, 20～30代と40～50代の間には有意差があり, 調節の年齢変化が定量的に計測できた。

結 論：近見三徴測定計は, 定屈折調節刺激に対して, 輻湊・開散および縮瞳・散瞳のダイナミクスを両眼同時に連続記録する。その曲線の解析により, 調節障害の定性的分析のみならず, 他覚的に得られた最大調節量から, 被検者の保有する総調節力の推測に有用である。(日眼会誌 107: 702–708, 2003)

キーワード：近見三徴記録装置, 調節の定性・定量測定

Near Triad Meter

—Dynamic Measurement of Pupillometry with Horizontal Eye Tracker by Accommodative Stimulation—

Mari Hiraoka¹⁾, Mariko Moroda¹⁾, Yukari Touya¹⁾ and Naotoshi Hakamata²⁾

¹⁾Koganei Eye Infirmary, ²⁾Hamamatsu Photonics

Abstract

Purpose : A newly developed “Near Triad Meter” is a useful tool to record the dynamics of pupils and horizontal eye movements in both eyes simultaneously with the accommodative stimuli. The responses show insufficiency or strain for accommodation. In this study the objective accommodative power (in diopters, D) is calculated by the measurement of pupillary constriction-ratio (CR) and compared in 4 age groups to find the age-related decrement of diopter values.

Method : A clearly visible accommodative target was moved back-and-forth from 50 cm to {near point + 1 D} (maximum accommodative stimulus; MAS). The speed was regulated constant for diopter movement. Pupillometry and eye tracker were recorded simultaneously with MAS in both eyes together. Three trials were done on 42 volunteers in each age group from 20-year-olds to 50-year-olds and the most reliable recording was used to measure the CR. Eighteen well-responding volunteers were selected to make the standard curves of CR by step-by-step accommodative stimuli. The mean CRs of initial tests with MAS were applied to the age-matched standard curves to calculate the maximum accommodative diopter value.

Results : The mean CRs versus MAS in each age group were 48%/7.2 D in the 20-year group, 46%/6.9 D in the 30-year group, 35%/3.6 D in the 40-year group, and 33%/3.1 D in the 50-year group. The mean values of CR were applied to age-matched standard curves to obtain the maximum accommodative power, which was 8.0 D in the 20-year group, 9.1 D in the 30-year group, 3.4 D in the 40-year group, and 4.1 D in the 50-year group. The 20- and 30-year olds showed equal power statistically. The remarkable age-dependent difference was calculated quantitatively.

Conclusion : The dynamics of near response revealed the individual summation of accommodative power including depth of focus, and accommodative vergence objectively and quantitatively. This method is useful for understanding the quality of accommodative insufficiency and also the quantity of accommodative width, including presbyopia. Nippon Ganka Gakkai Zasshi (J Jpn Ophthalmol Soc 107: 702–708, 2003)

Key words : Near response, Near triad meter, Accommodation

別冊請求先：184-0004 小金井市本町5-19-26 小金井眼科クリニック 平岡 満里

(平成14年10月11日受付, 平成15年4月8日改訂受理)

Reprint requests to : Mari Hiraoka, M. D., PhD. Koganei Eye Infirmary, 5-19-26 Honcho, Koganei 184-0004, Japan

(Received October 11, 2002 and accepted in revised form April 8, 2003)

I 緒 言

調節、縮瞳、輻湊は近見反応の三徴である。ネコについての生理学的実験で、大脳ではそれぞれの反応部位は異なっているが、毛様筋、瞳孔括約筋、内直筋の筋電図分析により中脳網様体に統合部位が見出されている¹⁾。ヒトについて、近見反応を他覚的に同時記録するために、近見三徴測定装置(トライアイリス, Tri Iris C 9000, 浜松ホトニクス社製)が開発され、その試用から性能と応用について検討した。この装置では3種類のパラメータのうち、時系列・角膜の角度による測定誤差の修正の困難さなどから、調節量を条件刺激とし、瞳孔水平径(面積も可能)と水平方向眼球運動を両眼連続記録としている。赤外線オプトメータを応用して、調節反応量を片眼で記録する方法があるが、明視を前提とした真の“調節力”と同一ではなく²⁾、より生理的な調節機能を測定するためには明視可能な調節視標を負荷することが最適と考えられるためである。ステップ(動的)刺激と静的刺激に対する調節反応量をオプトメータで測定し、静的刺激の方が約10%大きかったこと²⁾、また、2 diopter(以下、D)のステップ刺激に対して0.8~1.5 Dの反応量を得た報告³⁾などがあり、調節刺激:反応は1:1の対応はしない。今回開発された装置は、近見反応を惹起できる準静的調節刺激を連続3回加え、眼球運動(輻湊・開散)および瞳孔運動(縮瞳・散瞳)を、両眼同時に連続測定する。さらに、外来で簡便に、しかも比較的安定した測定結果が得られることを目的としているので、先発の電子瞳孔計(アイリスコーダ, 浜松ホトニクス社製)にみられる煩雑な測定方法は使わず、顎台式のコンパクトな機器で、かつ半暗室で使用できる。その結果は、調節刺激に対する反応曲線の定性的な分析のみならず、瞳孔の収縮率から、調節の他覚的定量が可能であることを見出し、年齢層と調節量との関係について、ボランティア被検者について検討した。

II 装置の概要と測定方法

本装置は、調節刺激を連続で3回往復させて、それに伴う瞳孔径と眼位の経時的变化を両眼同時に連続記録するものである。

種々の視標距離による屈折度の測定は、両眼開放型レフフラクトメータ(WR-5100 K, グランドセイコー社製)を利用した。近見反応測定の遠方視標距離を決定するため、固視目標を2.5 m, 50 cm, 輻湊近点(この器械の構造上、至近距離約18 cmが限界)におき、それぞれの計測値と自覚的な5 m 遠点・40 cm 近点矯正値を比較した。それらの結果から、50 cm から調節の負荷を加重することが近見反応の刺激条件を満たすことを確認した。

無調節状態の瞳孔径は、周囲の明度や年齢により差があり、測定時間や精神状態によっても変動するため、同じ条件を作るのが困難な場合もあるが、半暗室の装置で方法の説明をしながら緊張がとれるのを待って、瞳孔径がモニターにより安定したところで測定を開始した。

被検者は動く調節視標を両眼で追従する。まず、調節刺激の負荷量を決めるために、手で内部視標を50 cmから自覚的な近点まで移動し、それを基に近点までの調節量に1 D加えた距離移動を最大負荷刺激量とした。視標の動く速度は、定屈折で移動するD'Acomo(ワック社)の可変機能を利用して0.2 D/秒(Medium)を標準とし、移動距離の短いときにはLow(0.15 D/秒)を、長いときにはHigh(0.3 D/秒)を採用し、瞳孔運動が視標の動きに追従していることを確認しながら、Manual ボタンを操作した。視標の後方は開放し、周囲は不透明として、外部視標に近い条件で、50 cm から近接し、1秒停止した後、同様の速度で離れる方向に動かした。画面で瞳孔の動きと眼位をモニターし、固視が正確に保持できていることを確認しながら記録した。瞬目は固視を維持するのに必要で、やや制限する程度とし、近点では少なく、50 cmに戻ったときには十分瞬目をさせた。被検者は50 cmの視標が明視できる矯正眼鏡またはコンタクトレンズを装用し、瞳孔運動を1 CCDカメラ2機で2値化画像処理計測し、眼球運動を赤外線TVカメラ2機により角膜の第一プルキンエ像で同時測定した。モニター上で顎台の調整を行い両眼の水平位置を合わせた。

装置の目的を良く理解している正常ボランティア54名(20~50代)について、インフォームド・コンセントを得て、環境をできるだけ同じにして同一被検者により計測した。被検者には、自動屈折計の他に、自覚的視力矯正、眼位、両眼視機能、細隙灯検査、非散瞳後極部眼底検査を行い、何らかの屈折刺激に影響する疾患、対光反応異常、瞬目過多などのために、波形分析の困難な8名は除外した。また4名については、3回の往復刺激に対して波形の変動があり、定性的分析とした。

視標の往復に安定して追従できたのは42名で、年齢別に定量的分析を行った。最大調節負荷量に対する縮瞳率は、3回の試行のうちで最も安定した波形の得られた回(多くは2回目)から計算した。その中で特に安定した結果の得られた被検者18名については、2 Dステップで調節負荷を増加したときの縮瞳率について、日を変えて複数回計測した。その負荷Dを対数にとり、平均縮瞳率を点描して相関をとり、各年代の平均から年齢別基準直線を得た。

記録はコンピュータ上の記録メディアに保存し、市販ソフト(Excel)を利用して解析を行った(製品ではペン書きで出力される)。

表 1 視距離による自覚および他覚屈折値(D)の年代差

年代	人数	a	b	c	d	e
20	8	0	-0.2±0.3	-0.3±0.5	+0.5±0.6	-1.7±1.3
30	14	+0.2±0.2	-0.2±0.3	-0.5±0.4	+0.9±0.5	-2.0±1.3
40	9	+1.2±0.3	-0.2±0.3	-0.1±0.4	+1.5±0.5	-0.3±0.6
50	11	+1.9±0.4	-0.1±0.3	-0.1±0.3	+1.9±0.5	-0.1±0.2

(平均 diopter±standard deviation)

a : (5 m 遠見矯正値) - (40 cm 近見矯正値)

b : (2.5 m レフ値) - (5 m 遠見矯正値)

c : (2.5 m レフ値) - (50 cm レフ値)

d : (50 cm レフ値) - (40 cm 近見矯正値)

e : (50 cm レフ値) - (輻湊近点レフ値)

III 結 果

1. 年代別に平均したレフラクトメータ(以下, レフ)による屈折値と自覚矯正屈折値の差

両眼開放型レフにより開放空間の 2.5 m, 50, 18 cm に裸眼で判別できる(自覚的には調節を少なくして)視標をおき, 片眼ずつ計測した屈折値と 5 m, 40 cm における自覚的屈折矯正値(片眼遮蔽して測定)との差を年代別にまとめて表 1 に示した。

1) 自覚的遠見(5 m)矯正値に対する自覚的近見(40 cm)矯正値(近見加入度): 20~30 代ではほとんど差がないが, 40 代で+1 D, 50 代で+2 D の近見矯正加入を必要とした(a 欄)。

2) 2.5 m レフ値に対する自覚的遠見(5 m)矯正値: 各年代とも有意の差はなく, 2.5 m レフ値は器械近視が少なかった(b 欄)。

3) 2.5 m レフ値に対する 50 cm レフ値: 若年者で 2.5 m の方が近視化の傾向であったが, 各年代間で有意の差はなかった(c 欄)。

4) 50 cm レフ値に対する自覚的遠見(40 cm)矯正値: 40~50 代で a の差と近似値を示した。すなわち, 50 cm レフ値に加入する近見度数は自覚的な 5 m~40 cm の加入度と近似していた(d 欄)。a~d 欄の結果が, 本装置の負荷刺激の開始点を 50 cm とすることの根拠となった。

5) 50 cm レフ値に対する輻湊近点レフ値: 輻湊近点(多くは 18 cm であったが, 50 代では 30 cm もあった)におけるレフ値は, 50 cm レフ値に比較して, 50 代ではほとんど変化なく, 20~30 代では個人差が大きい, かなりの近視化を示した(e 欄)。両眼開放時の器械近視は, 近点で起こっていた。

2. 年代別にみた調節負荷量と瞳孔収縮率

本装置を熟知した著者らが交代で被検者となり, 負荷する調節量を 2 D ステップで, 順次変化させたときの瞳孔曲線を記録し, 器械の特性を理解し, その手技を把握した。そのうちの 20 代の例を図 1 に示した。負荷調節

表 2 調節負荷量と縮瞳率の年代差

代	20(n=8)	30(n=14)	40(n=9)	50(n=11)
平均値				
年齢(歳)	26	35	47	53
負荷量(D)	7.2	6.9	3.6	3.1
縮瞳率(%)	48	46	35	33

量を 2, 4, 10 D で順次変化させたときの, 視標の動き, 輻湊・開散運動, 縮瞳・散瞳を連続で 3 回記録した。視標の移動距離によって計測に要する時間が異なるため重ね合わせはできないが, 調節負荷による 3 回の曲線は再現性があり, 両眼の変化量も近似していた。その波形は連続しており, 固視微動, 瞳孔微動と瞬目による介入波はあるが, 固視を失わない程度のもので, 眼球運動の波形からみても調節刺激の連続性が保たれていた。3 回の記録のうちで最も安定した記録の得られた初期瞳孔径と最小瞳孔径から, 縮瞳率を計測した。

次に, 正常成人 42 名について, 3 回の記録の中から, 調節負荷量(近点+1 D)と, 最も安定して曲線の得られた試行の縮瞳率を年代ごとに集計し平均した(表 2)。20 代 8 名についてみると, 平均 7.2 D の調節負荷により, 56~35%(平均 48%)の縮瞳率を示した。30 代 14 名では平均 6.9 D の負荷量に対して 57~36%(平均 46%)であり, 20 代と有意差がなかった($p \leq 0.05$)。それに比較して, 40 代(n=9)になると, 3.6 D の負荷に対して 55~14%(平均 35%)と変動幅が大きくなった。さらに 50 代(n=11)では, 平均 3.1 D の負荷に対して 44~22%(平均 33%)と低下したが, 40 代と有意差はなかった。これらの調節負荷 D(対数)と縮瞳率(%)を点描してみると, 20~30 代の群と 40~50 代の 2 群に偏りがみられた両群の間には有意差があった。さらに年齢が増加すると, 近点が遠ざかることにより負荷量が減ることから, 縮瞳率・輻湊角も減少し個体差も大きくなった(図 2)。

3. 縮瞳率から調節量の算定

調節負荷量と瞳孔収縮率の各年代基準直線を描くため

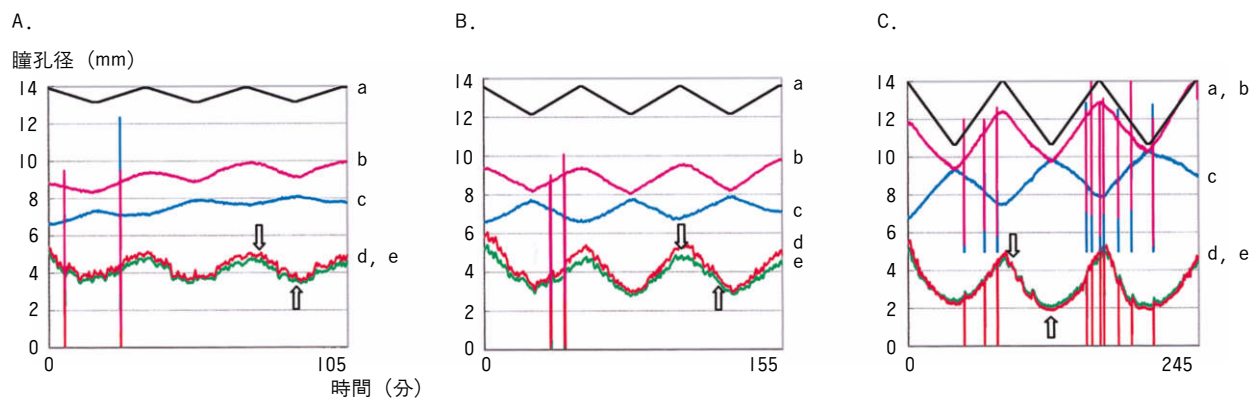


図 1 調節負荷量と近見反応曲線(20代).

A: 2 D, B: 6 D, C: 10 D の調節負荷により輻湊角と縮瞳量が漸増する. a: 視標の動き, b: 左(桃)・c: 右(青)輻湊反応, d: 左(赤)・e: 右(緑)瞳孔反応, ↓-↑: 縮瞳率計測点, 垂直方向の不規則な直線は瞬目によるもの: 負荷が大きくなると瞬目が増加する.

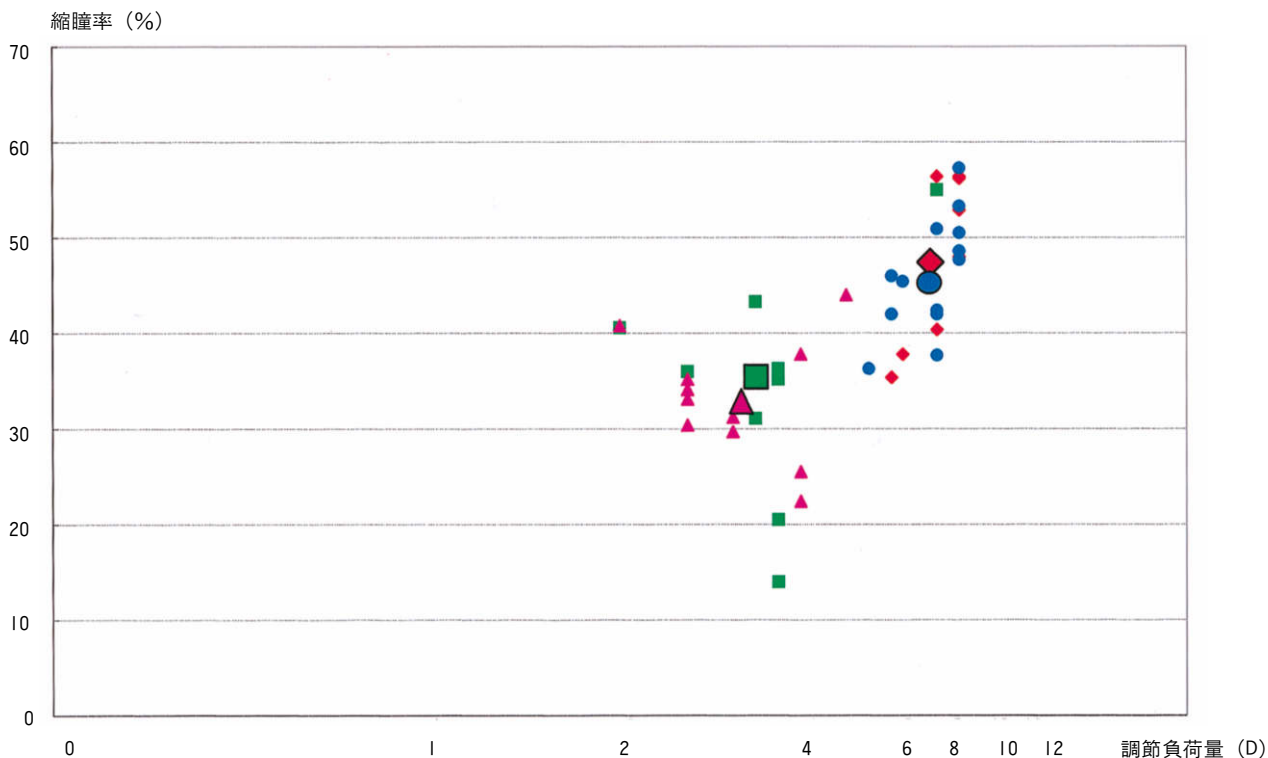


図 2 年代別に点描した調節負荷量(D)と縮瞳率(%)の分布.

◆(赤); 20代, ●(青); 30代, ■(緑); 40代, ▲(桃); 50代, 各年代の平均を同色・同型の拡大で示す.

に, さきに計測をした被検者の中から安定して反応の得られた, 20代4名, 30代4名, 40代5名, 50代5名について, 条件を可能な限り同一にして(反応が不安定なときには日を変えて)測定した. 負荷調節量(D)は1Dから1~2Dステップで, 疲労を起こさないように適当に間隔をおきながら加えた. 各被検者の縮瞳率を点描し, 平均値を折れ線で示した(図3). 各年代により最大負荷量が異なるが, とともに負荷増加に応じて縮瞳率が増加しているが, 20代では1Dの負荷は調節刺激となっておらず, 50代では4D以上の負荷に対して縮瞳率が

増加しなかった. 近点に1D付加した過重負荷に対する調節量を測定しているの, 最近接時に視標固視に加える被検者の集中力が縮瞳率に影響するが, 比較的安定した反応が得られた.

これらの平均値曲線を同一座標で比較し, 各年代の基準曲線 standard curve(以下, SC)を描出すると, 20~30代は4D以上の負荷で反応が急峻となり, 10~12Dまで追従できたが, 40~50代では負荷増加に対する変化量が少なく, 5~6D以上は追従できず, くだらかな上昇であった(図4).

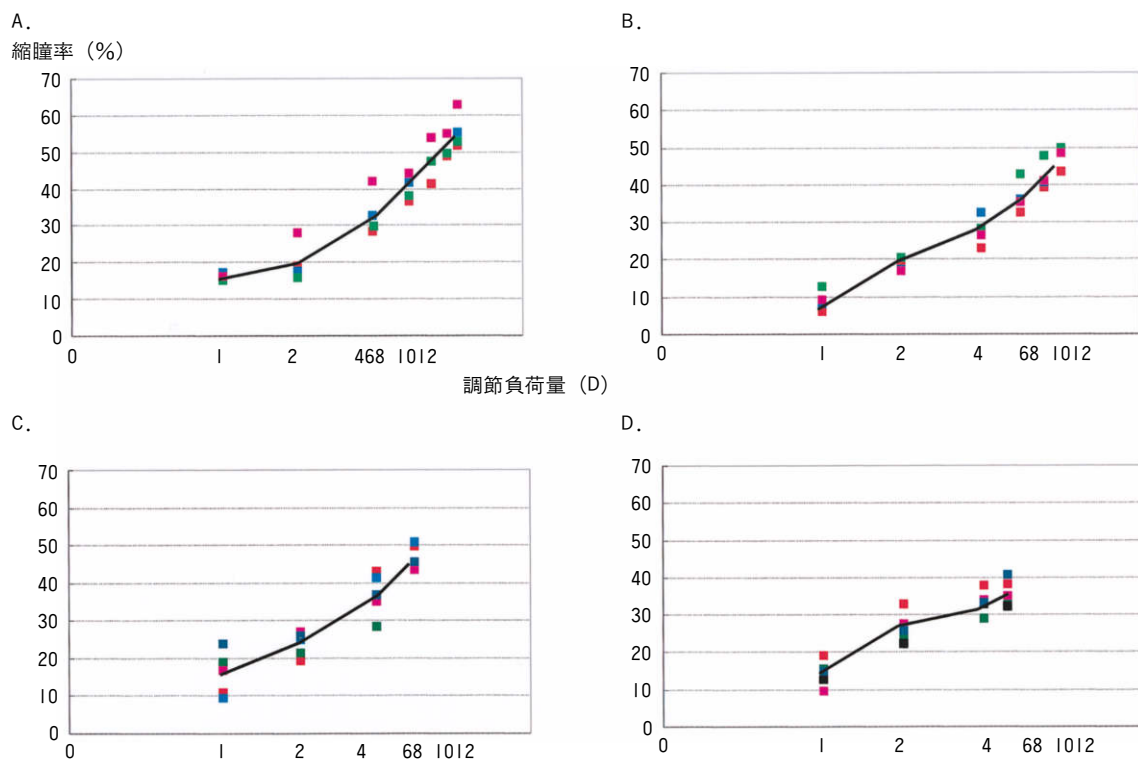


図 3 年代別調節基準曲線(SC).

各被検者の測定値の分布とそれらの平均値を結んだ折れ線. A: 20 代, B: 30 代, C: 40 代, D: 50 代.

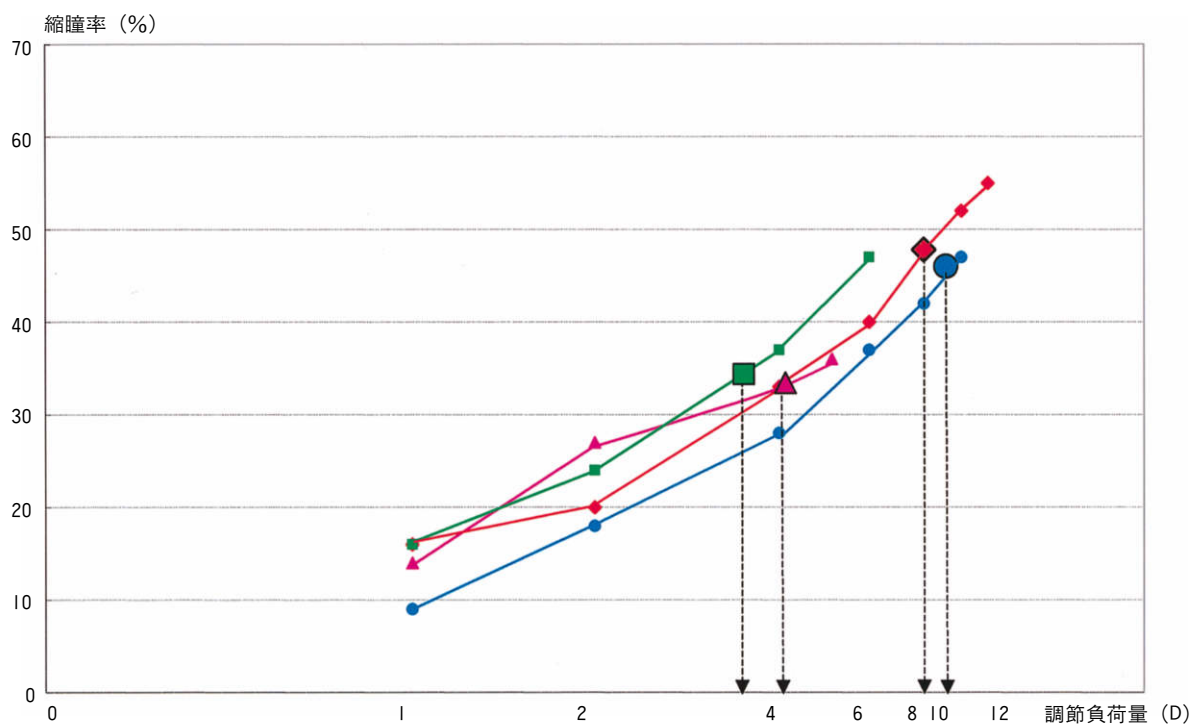


図 4 平均縮腫率(%)と基準曲線(SC)から最大調節量の算出.

各年代の SC は◆(赤): 20 代, ●(青): 30 代, ■(緑): 40 代, ▲(桃): 50 代に載せて, 平均縮腫率から算定した調節量を下向き点線(↓)で示す.

前項で計測した 42 名の各年代の平均縮瞳率を、これらの SC に当てはめて他覚的最大調節量を算出すると、20 代で 8.0 D, 30 代で 9.1 D, 40 代で 3.4 D, 50 代で 4.1 D であった(図 4 の下向き点線の D)。20~30 代と 40~50 代の間に乖離があった。

IV 考 按

調節のメカニズムについて、Helmholtz, Fincham らの水晶体囊弛緩による受動的レンズ厚の変動説が今も強く支持されている。両者の違いは、毛様小帯が弛緩すると、Helmholtz 派はレンズ内容の弾力性により元来の凸状に戻るとするのに対して、Fincham⁴⁾は haploscope により輻湊イメージ刺激を加え 100 cm から近接させたときの、輻湊負荷による調節 D の変化をオプトメータにより計測し、最大調節量が eserine 点眼により約 2 D 増加し、homoatropine により減少したことを観察し、調節は毛様筋の筋力に依存するものであるとした。近年老視に関する著書⁵⁾が発表されて、毛様小帯の前・赤道部・後囊附着部位における機能的な差異に注目しているが、解剖学的な裏づけがされていない。サルについて免疫染色法を利用し、結合織を個々に同定した報告⁶⁾からみると、Shachar が提唱している赤道部に附着している小帯の牽引が近方調節の主力であるという説は成立しない。すなわち、赤道部には小帯が接着しておらず、前囊が主で、後囊は細くまばらな附着がみられるのみである。毛様小帯の密度分布、結合織の分布からみると、毛様筋の輪状収縮により前囊が弾力をもった小帯によって前方に牽引されることにより、IV 型コラーゲン、エラスチンなどの弾力物質の移動が水晶体の形状を変化させていると考えられる(dynamic connective tissue theory)⁶⁾。

調節負荷(D)に対する輻湊(accommodative convergence/accommodative stimuli, AC/A ratio)、調節負荷に対する縮瞳(pupillary miosis/accommodative stimuli, P/A ratio)、さらに輻湊負荷に対する縮瞳(pupillary miosis/accommodative convergence, P/AC ratio)について、最大 5 D の調節と 25 度の輻湊の動的刺激に対する反応が、個体差、主に年齢差によるとされている⁸⁾。5~55 歳の P/A ratio を 4 D の調節刺激に対して点描すると、10 歳以下では反応がほとんどなく、20~35 歳では縮瞳の分布が年齢につれて増加し、40 歳以上では反応が 2 倍にも達しているのは計算の誤り(calculation artifact)としている報告⁹⁾がある。本報告では調節負荷量を各被検者の {近点+1 D} とすることにより、十分な調節刺激となるように設定した。その結果からすると、20 歳でも 2 D 以上の負荷が必要であり、10 歳以下で 4 D の調節刺激が縮瞳反応を引き起こさなかったのは、調節刺激にならない負荷量であったことによると考えられる。近見反応の不随意反応を正確に記録

するには、閾値上刺激が必須である。

年齢が増加するにつれて調節力が低下することに異論はないが、そのメカニズムについて、毛様筋の筋力低下、水晶体のレンズ質の硬化、小帯の劣化などが考えられている。Duane's standard curve は調節力を距離から理論的に換算した曲線であるが、50 歳までは年齢に反比例してほぼ直線で低下し、50 歳以上は 1~2 D の平行線となっている。オプトメータと電子瞳孔計を連携記録した土屋ら¹⁰⁾の報告で、調節刺激 D と調節反応 D は 20 歳代で 7 D くらいまでは相関があるが、それ以上では反応 D が低下した。また、縮瞳率でみると +12.5 D の刺激に対して 52 ± 18 (平均値 $\pm$ 標準偏差) % であった。本報の基準曲線でみると 12 D で 64 % であり、異なる瞳孔計でも同様の結果が得られた(図 2)。視標を追従する輻湊・調節刺激が縮瞳を引き起こすのであるから、瞳孔の連続記録が調節のダイナミクスを表現しているといえる。しかも、その変化量が与えた刺激量とよく対応していたことから、健常瞳孔については近見反応の縮瞳率から調節を量定できることが明らかになった。

調節には水晶体前後径の増加のみならず、前房深度の減少もあり、さらに縮瞳による焦点深度の増大も 0.3~0.9 D²⁾あり、器械負荷量に加算されていると推定される。近接視標による縮瞳率は、両眼開放で輻湊運動を起こしたときの方が片眼遮蔽して近接させたときよりも増加する。今回の方法では、最大調節量を測定するために輻湊運動を維持した状態で測定している。年齢増加につれて初期瞳孔が縮小しているが、変化分(率)について比較したので、客観的に把握できた。

調節の安静位について、無限遠方、暗所、無視標における屈折とする概念⁸⁾もあるが、ここでは種々の距離によるレフラクトメータ屈折値を比較して、他覚的な測定値と自覚的な測定値が近似していた距離をとることとした。すなわち、調節遠点を矯正により 50 cm と設定して、それより近方の負荷に対する反応を記録したことにより、変化分をより大きく測定できた。

オプトメータによって準静的刺激による屈折の変化を連続記録するのは困難であり、現在までに簡便に使用できる器械は見当たらない。

本装置では {近点+1 D} の調節負荷に対して、最大の縮瞳率を測定しているので、この縮瞳率から計算した最大調節量が日常生活の近見における“調節維持力”と同一ではない。すなわち、縮瞳による焦点深度、輻湊に伴う調節の加重、調節ラグを含む総調節力についてすべての要素を網羅してはいないが、かなりの部分において年齢差、個体差を他覚的に測定している。この結果を応用して近用眼鏡の処方については、最大調節量の 1/2 を残余調節力とし、作業距離に応じた加入度にとると良い。例えば最大調節量 4 D であれば、33 cm の作業に必要な 3 D のうち 2 D は残余調節力を利用し、1 D の近用

眼鏡処方をするのと快適に使用できる。さらに調節衰弱・緊張や眼精疲労の定量・定性ができ、visual display terminal (VDT) 症候群などの経過観察についても広く応用ができる。

眼内レンズ挿入眼に調節があることから偽調節という概念が用いられている。調節のメカニズムについて、水晶体嚢説で解釈しようとするために眼内レンズには調節が起こり得ないと考えられていたが、毛様小帯および弾力性結合組織の機能から、水晶体嚢が前方に牽引されレンズが前房内で移動することは十分考えられる。本装置を応用して、材質の異なるレンズによって調節量に差が出るか否かなど今後検討をすることにより、白内障手術法やレンズの開発に本装置の寄与するところ大なりと思われる。老視のメカニズムについて、水晶体レンズ線維の硬化とともに弾力性結合組織の減少が主な原因で、毛様筋の収縮力はあまり低下していないことが推測されるが、詳細は不明である。にもかかわらず外科的に矯正する試みがなされているのは危惧を禁じえない⁵⁾。

文 献

- 1) **Hiraoka M, Shimamura M** : The midbrain reticular formation as an integration center for the "near reflex" in the cat. *Neurosci Res* 7 : 1—12, 1989.
- 2) **加藤桂一郎** : 屈折・調節の基礎と応用 調節機能とその臨床評価. *日眼会誌* 98 : 1238—1255, 1994.
- 3) **橋本佳三** : 視覚伝達系 I. 調節・輻湊. 澤 充, 他(編) : 先端医療シリーズ 3・眼科 眼科の最先端先端医療技術研究所, 東京, 84—88, 1999.
- 4) **Fincham EF** : The proportion of ciliary muscular force required for accommodation. *J Physiol* 128 : 99—112, 1955.
- 5) **Shachar RA** : The mechanism of accommodation and presbyopia. In : Agarwal A (Ed) : Presbyopia. A surgical textbook. Slack Incorporated Thorofare, NJ, USA, 37—49, 2002.
- 6) **平岡満里, 小島直介, 妹尾春樹** : 調節機構—免疫組織学による研究—. *日眼会誌* 106 : 565—573, 2002.
- 7) **土屋邦彦, 鵜飼一彦, 石川 哲** : 調節準静的特性記録時の瞳孔反応同時測定. *日眼会誌* 92 : 336—343, 1988.
- 8) **Oyster CW** : The ciliary body and the choroids. In : The human eye : Structure and function. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Mass, USA, 447—490, 1999.
- 9) **Rosenfield M, Ciuffreda KJ, Hung GK, Gilmartin B** : Tonic accommodation : A review I. Basic aspects. *Ophthal Physiol Opt* 13 : 266—284, 1993.