

近視眼における s-cone の感度低下

川端 秀仁, 村山耕一郎, 安達恵美子

千葉大学医学部眼科学教室

要 約

強度近視眼における視機能の初期変化を調べるため、Ganzfeld 刺激を用いたフラッシュ視覚誘発電位(FVECP)および網膜電図(ERG)により short wavelength sensitive cone (s-cone) の波長感度特性を測定し、併せて測定した屈折値および眼軸長との関係について検討した。被験者は 37 歳以下で矯正視力は 1.0 以上、かつパネル D-15 および SPPII で色覚異常のないものとし、正視-弱度近視群(Sph-3.00 D 以下)、中等度近視群(Sph-3.25 D 以上 Sph-6.00 D 以下)、強度近視群(Sph-6.25 D 以上 Sph-18.00 D 以下)の 3 群に分

け検討した。近視群の眼底所見は検眼鏡的に豹紋状眼底までの変化を有するものとした。その結果、s-cone 波長感度は眼軸長および屈折度に有意に相関($p < 0.001$)し、中等度、強度近視群では正視-弱度近視群に対し、矯正視力良好な初期の眼底変化(豹紋状眼底)の段階でも有意の低下を認め($p < 0.001$)、感度低下は網膜レベルに起因することが推察された。(日眼会誌 100 : 868-876, 1996)

キーワード：近視, S-cone 波長感度, 豹紋状眼底, フラッシュ視覚誘発電位, 網膜電図

Sensitivity Loss in Short Wavelength Sensitive Cones in Myopic Eyes

Hidehito Kawabata, Koichiro Murayama and Emiko Adachi-Usami

Department of Ophthalmology, Chiba University School of Medicine

Abstract

To investigate early changes of visual function in high myopic eyes, the relative sensitivity of the short-wavelength sensitive cones (s-cones) was measured by flash-evoked cortical potentials and electroretinograms and their relation with refractive error and axial length of the eyes was studied. A Ganzfeld stimulus was employed. The subjects were all under 37 years of age and were divided into 3 groups according to the magnitude of the refractive error as follows; 1) emmetropia/low myopia group (10 eyes), between +0.50 D and -3.00 D; 2) medium myopia group (8 eyes), between -3.25 D and -6.00 D; and 3) high myopia group (10 eyes), over -6.25 D. Their corrected visual acuities were

better than 1.0 and their color vision was normal according to Panel D-15 and SPPII. They had no other ophthalmological abnormalities except tigroid fundus. The s-cone sensitivity was significantly correlated with the refractive error and axial length ($p < 0.001$) and was reduced prior to ophthalmoscopic retinal changes in the medium and high myopia groups. This indicates that the site of s-cone sensitivity loss in myopia is in the retinal. (J Jpn Ophthalmol Soc 100 : 868-876, 1996)

Key words: Myopia, S-cone sensitivity, Tigroid fundus, Flash-visually evoked cortical potentials, Electroretinogram

I 緒 言

Short wavelength sensitive cone(以下, s-cone)は糖尿病, 中心性漿液性網脈絡膜症, 緑内障, 網膜剥離など網脈絡膜疾患で早期に侵されやすいことが報告¹⁾²⁾されている。強度近視では, 眼軸延長および網脈絡膜萎縮を来し, 視機能に様々な障害を起すことが知られていて³⁾,

網膜錐体細胞の波長感度についても, 心理物理的測定により s-cone が関与する領域の波長感度低下が報告⁴⁾されている。我々は, すでに Maxwell 視刺激を用いたフラッシュ視覚誘発電位(flash visually evoked cortical potentials: 以下, FVECP)により明所視波長感度曲線および s-cone 波長感度曲線を測定し, 強度近視群では正視-弱度近視群に比較し, 矯正視力良好な初期の眼底変化(豹紋

別刷請求先: 260 千葉県千葉市中央区亥鼻 1-8-1 千葉大学医学部眼科学教室 川端 秀仁

(平成 7 年 12 月 28 日受付, 平成 8 年 6 月 17 日改訂受理)

Reprint requests to: Hidehito Kawabata, M.D. Department of Ophthalmology, Chiba University School of Medicine, 1-8-1 Inohana, Chuo-ku, Chiba-shi, Chiba-ken 260, Japan

(Received December 28, 1995 and accepted in revised form June 17, 1996)

状眼底)の段階でも, s-cone に感度低下のあることが他覚的に認められることを報告⁵⁾した. 今回我々は, 近視眼の s-cone 波長感度評価を, 被験者にとってより負担の少ない Ganzfeld 刺激を用い, 白色背景光および黄色背景光下で, FVECP および網膜電図(ectroretinogram: 以下, ERG)を測定し, 併せて各被験者について右眼の他覚屈折値, 自覚完全矯正値および A-モード超音波を用いて眼軸長を測定し検討した. その結果, s-cone の波長感度は眼軸長および屈折度に有意に相関し, 近視群では眼底所見として豹紋状眼底のみを有する初期の段階から正視-弱度近視群に対し有意の低下を認めたので以下に報告する.

II 実験方法

1. 被験者

被験者は正視-弱度近視群(S-3.00 D 以下), 中等度近視群(S-3.25 D 以上, S-6.00 D 以下), 強度近視群(S-6.25~S-18.00 D)の3群に分け, FVECP および ERG 測定における各群の症例数および屈折度, 平均年齢は表1に示すとおりである. 水晶体黄色化の影響をできるだけ排除するため, FVECP では37歳以下, ERG では27歳以下で矯正視力は1.0以上, かつパネル D-15 および SPPII では色覚異常はなく, 近視各群の眼底所見は検眼鏡的に豹紋状眼底までの変化を有するものとした,

2. 刺激条件, 記録条件

実験は明室で行い, 背景光(μ)の輝度は130 cd/m²(白色光), 105 cd/m²(黄色光)である. 黄色背景光は Wratten filter No. 15(T_{50} =520 nm)を用いた. 刺激光(λ)は Ganzfeld Globe(ドーム直径40.6 cm, 開口部直径27.9 cm, Model 2503 B, LKC Technologies, Inc. Gaithersburg)上部から200 W(EJL 24 V)Xe ランプ光源を電磁シャッター(PXJ 43 B 1 コパル社)で制御した. 刺激光強度は2枚の中性フィルター(NDF)(log scaleで0, 0.2, 0.5, 0.8 および 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0)を組み合わせて20段階に変化できる. 用いた刺激光用の干渉フィルタ(IF)は460 nm, 560 nm, 640 nmの3種である. 各々の最高エネルギー強度は, 460 nm で28.9 μ W/cm², 560 nm で50.2 μ W/cm², 640 nm では46.6 μ W/cm²で, それぞれ NDF により強度を数段階変化させ記録した. 記録条件は, FVECP では刺激光呈示時間20 msec, 刺激頻度3.3 Hz, ERG では刺激光呈示時間150 msec, 刺激頻度2.5 Hz と設定した. 電極は FVECP では銀板皿状電極を使用し, Oz に関電極, 両耳朶に不関電極およびアース電極を取り付けた. ERG では角膜上の関電極に Burian-Allen contact lens 電極を用い, 右耳朶に銀板皿状電極の接地電極を取り付けた. 誘導された電位はともに前置増幅器(SEN-3301, 日本光電)で, 電気フィルタは1~100 Hz で増幅し, 加算平均器(Neuropac MEM-7202, 日本光電)を用い, FVECP では解析時間200 msec, 加算回数

100~300回で, ERG では解析時間300 msec, 加算回数50~100回で記録した.

3. 測定および解析方法

FVECP, ERG の測定は背景光に5分間の順応後, 各 IF 毎に振幅が減衰~消失するよう2~4段階 NDF を変化させ記録した. 計測した振幅は, FVECP では P_{100} に相当すると思われる波形の直前の底点から P_{100} 頂点までの振幅, ERG では b 波振幅である. これらのデータから各刺激光波長に対し一定振幅を与える放射エネルギー強度(E_{λ} μ W/cm²とする)を求めた. 各刺激光波長に対する相対感度(RS_{λ} とする)は, 各波長の最小エネルギー強度(E_{min} μ W/cm²とする)を相対強度0(log)とし, $RS_{\lambda} = \text{Log}_{10}(E_{min}/E_{\lambda})$ として求めた. まず, 黄色背景光で9種の波長に対し, FVECP では正視-弱度近視群, 強度近視群各2例2眼について, ERG では各1例1眼について s-cone の波長感度を測定した(μ =yellow, λ =420 nm, 440 nm, 460 nm, 480 nm, 500 nm, 520 nm, 540 nm, 560 nm, 640 nm). 次に, 各被験者に対し, 3種の網膜錐体系の感度の代表波長とした3つの刺激光波長(460 nm, 560 nm, 640 nm)について白色背景光および黄色背景光で FVECP を測定した. また, 各群4名の被験者に対し同様の刺激光波長で ERG を測定した. S-cone 系感度特性を解析するため, 3つの刺激光に対しそれぞれ同一振幅を与える放射エネルギー強度(μ W/cm²)を S 値(E_{λ} : λ =460 nm), M 値(E_{λ} : λ =560 nm), L 値(E_{λ} : λ =640 nm)とした. また, 個人差の大きい振幅を標準化するため, Log_{10} (M 値/S 値)を S/M 比, Log_{10} (L 値/M 値)を M/L 比として検討した. 測定は各被験者とも右眼をミドリリン P®(参天製薬)で瞳孔径8 mm 以上に散瞳し明室内で行った. また, オートレフラクトメーター(AR 1100, NIDEK)により右眼の他覚的屈折値を求め, これを基に求めた自覚完全矯正値を各被験者の屈折値とし, A-モード超音波(A/B SCAN AI 510, TOMOY)を用いて眼軸長を測定した.

III 結果

1. 測定記録例

図1に FVECP 測定記録例, 図2に ERG 測定記録例を示す. 各図とも上から460 nm, 560 nm, 640 nm の波形である. 測定は各 IF 毎に2~4段階 NDF を変化させ波形を記録し, このデータから, 各刺激波長に対し一定振幅を得るに必要な放射エネルギー強度を求めた. 図1-1は正視-弱度近視眼の例で, 図1-1-1は白色背景光 FVECP, 図1-1-2は黄色背景光 FVECP である. 図1-2は強度近視眼の例で, 図1-2-1は白色背景光 FVECP, 図1-2-2は黄色背景光 FVECP である. 各反応とも λ =460 nm では130~140 msec 付近に, λ =560 nm, 640 nm では100~110 msec 付近に頂点を持ち, 刺激光強度が増すにつれて振幅が増大する波形を示している. 正視-弱度

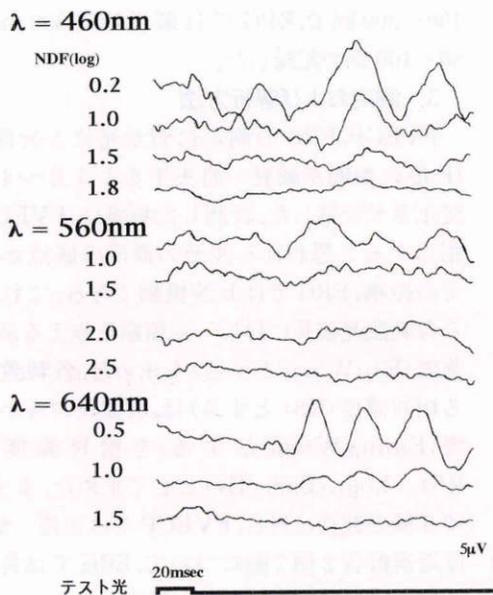


図 1-1-1 白色背景光.

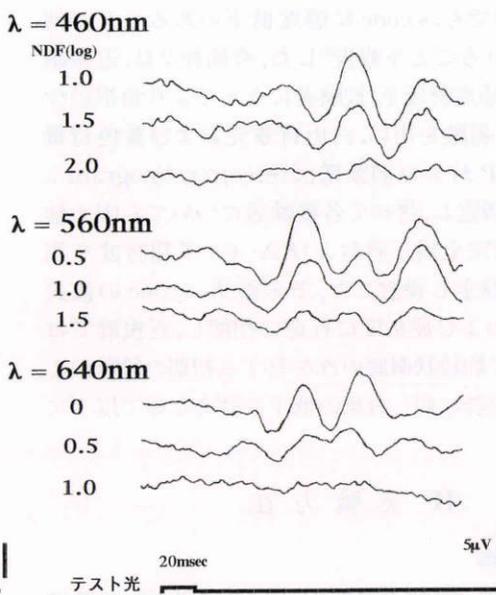


図 1-1-2 黄色背景光.

図 1-1 視覚誘発電位(VECP)測定記録例.
正視—弱度近視群, FY, 女性, 23 歳.

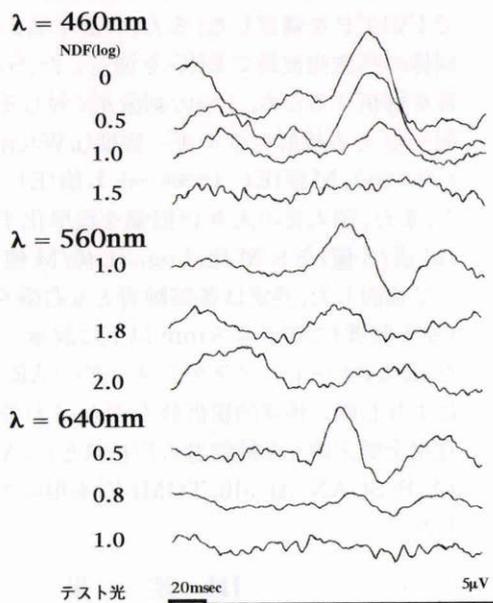


図 1-2-1 白色背景光.

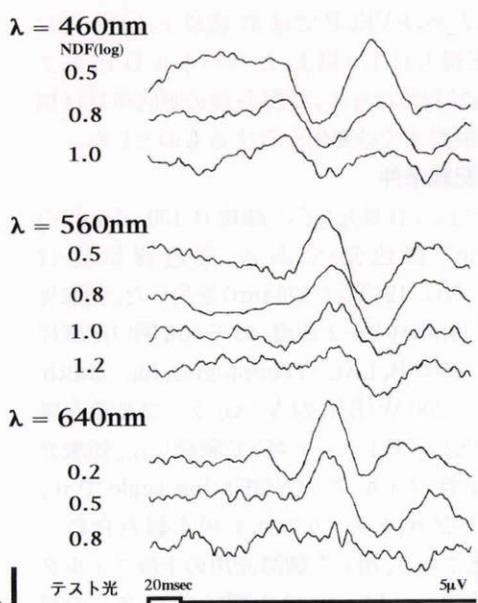


図 1-2-2 黄色背景光.

図 1-2 VECP 測定記録例.
強度近視群, TY, 女性, 30 歳.

近視例での白色背景光と黄色背景光下の波形を比較すると、黄色背景光では白色背景光に比べ 460 nm の反応が増し、560 nm、640 nm の中長波長側での反応が抑制され、s-cone 系の感度上昇がみられた。強度近視眼例では、黄色背景光でも白色背景光に比べ 460 nm の反応は増大せず、s-cone 系の感度上昇がみられなかった。

図 2-1 は正視—弱度近視群, 黄色背景光 ERG, 図 2-2 は強度近視群, 黄色背景光 ERG の記録例である。各 b 波は、 $\lambda = 460 \text{ nm}$ で 55~65 msec, $\lambda = 560 \text{ nm}$, 640 nm で

45~55 msec 付近に頂点を持ち、FVECP と同様刺激光強度に比例して振幅が増大する波形を示している。560 nm、640 nm の中長波長で Off 反応がみられたが、短波長の 460 nm では明らかな Off 反応はみられなかった。

図 3 に正視—弱度近視群, 強度近視群各 2 例の FVECP の振幅から得られた黄色背景光波長感度曲線測定例を、図 4 に正視—弱度近視群, 強度近視群各 1 例の ERG b 波振幅から得られた黄色背景光波長感度曲線測定例を示す。それぞれの波長感度曲線は、各刺激波長に対

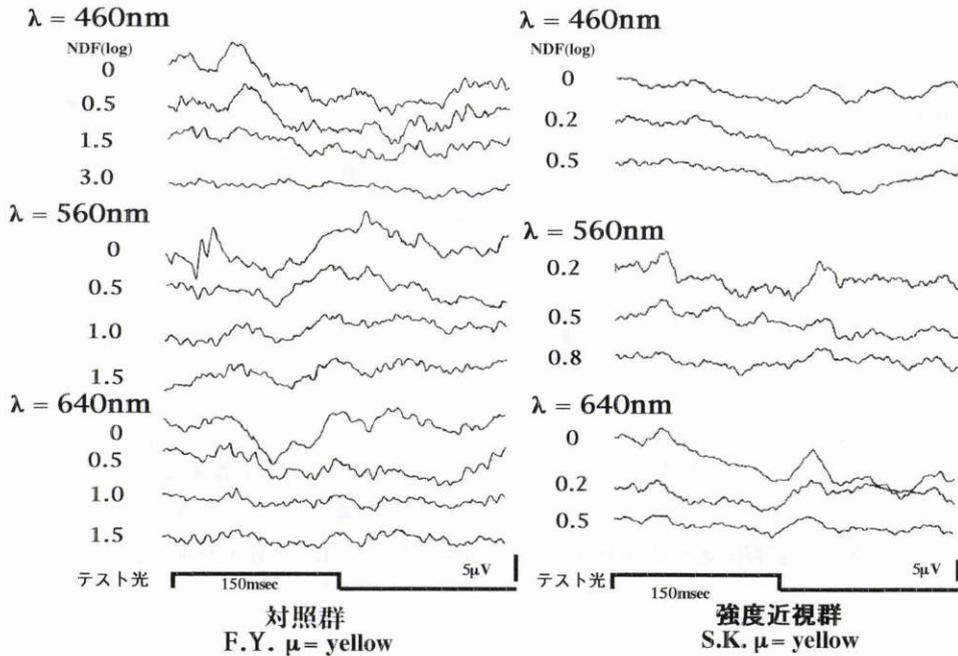


図 2-1 正視一弱度近視群 (FY, 女性, 23 歳). 図 2-2 強度近視群 (SK, 男性, 27 歳).
 図 2 網膜電図 (ERG) 測定記録例 (黄色背景光).

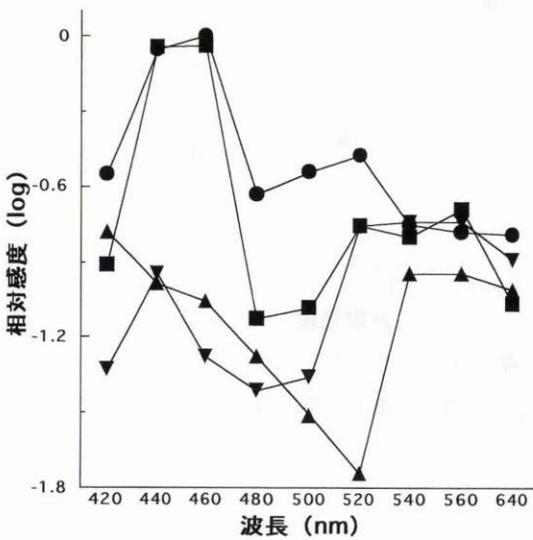


図 3 VECP の P₁₀₀ 振幅から求めた黄色背景光における波長感度曲線。
 ●：正視一弱度近視眼 1 (FY, 女性, 23 歳), ■：正視一弱度近視眼 2 (SK, 女性, 25 歳), ▲：強度近視眼 1 (NH, 男性, 26 歳), ▼：強度近視眼 2 (ON, 男性, 28 歳)。

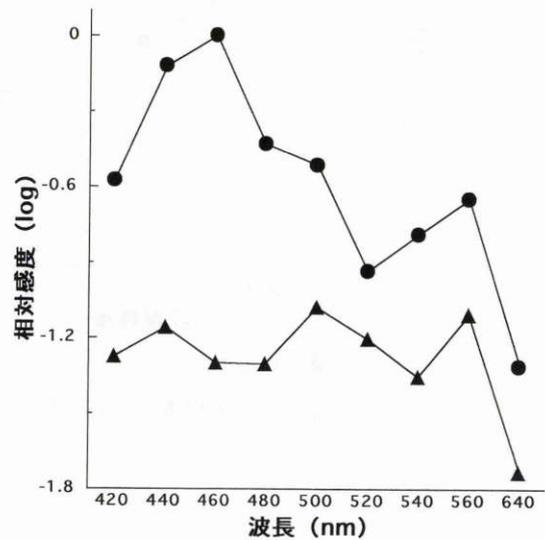
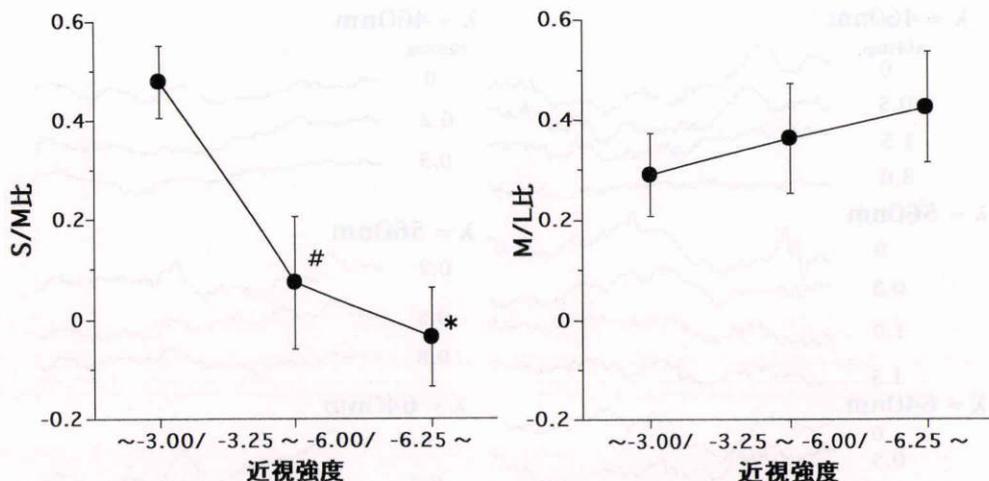


図 4 ERG b 波振幅から求めた黄色背景光における波長感度曲線。
 ●：正視一弱度近視眼 (FY, 女性, 23 歳), ▲：強度近視眼 (SK, 男性, 27 歳)。

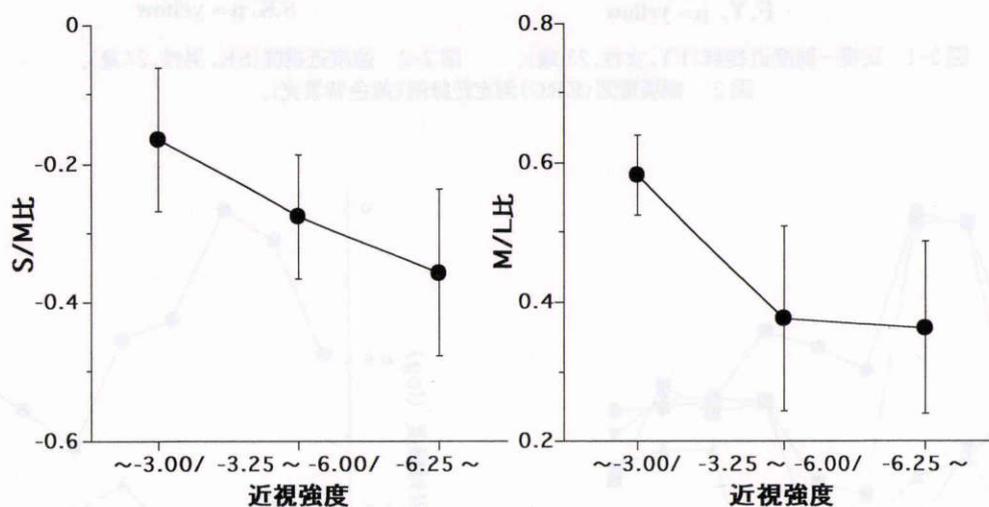
しその相対感度 ($RS_{\lambda} = \text{Log}_{10}(E_{\text{min}}/E_{\lambda})$) をプロットして求め、さらに、正視一弱度近視眼に対する強度近視眼の感度差が反映されるように、各被験者の、 E_{λ} (それぞれの刺激光波長に対し一定振幅を与える放射エネルギー強度) を考慮し上下に平行移動して同一グラフに表示した。各グラフの縦軸の目盛りは最も上方に位置する波長感度曲線に対するものである。下方に位置する波長感度曲線

は、上方に位置する波長感度曲線と比較し相対的に感度が悪いことを示している。FVECP, ERG とも正視一弱度近視眼の波長感度曲線の頂点は 440~460 nm にあり、中長波長側の感度が押さえられていて短波長側で s-cone の波長感度曲線を反映していると考えられる。これに対し、強度近視眼の各波長感度曲線の頂点は必ずしも短波長側になく、いずれも正視一弱度近視眼の波長感度曲線の短波長部分の下方に位置して、黄色背景光における s-cone の感度上昇は認められなかった。



● : 黄色背景光 S/M 比平均, * : p<0.001, # : p<0.01 ● : 黄色背景光 M/L 比平均

図 5-1 近視強度と VECP から求めた黄色背景光 S/M 比, M/L 比平均値。
(エラーバーは, 上下それぞれ 1 標準誤差を示す.)



● : 白色背景光 S/M 比平均 ● : 白色背景光 M/L 比平均

図 5-2 近視強度と VECP から求めた白色背景光 S/M 比, M/L 比平均値。
(エラーバーは, 上下それぞれ 1 標準誤差を示す.)

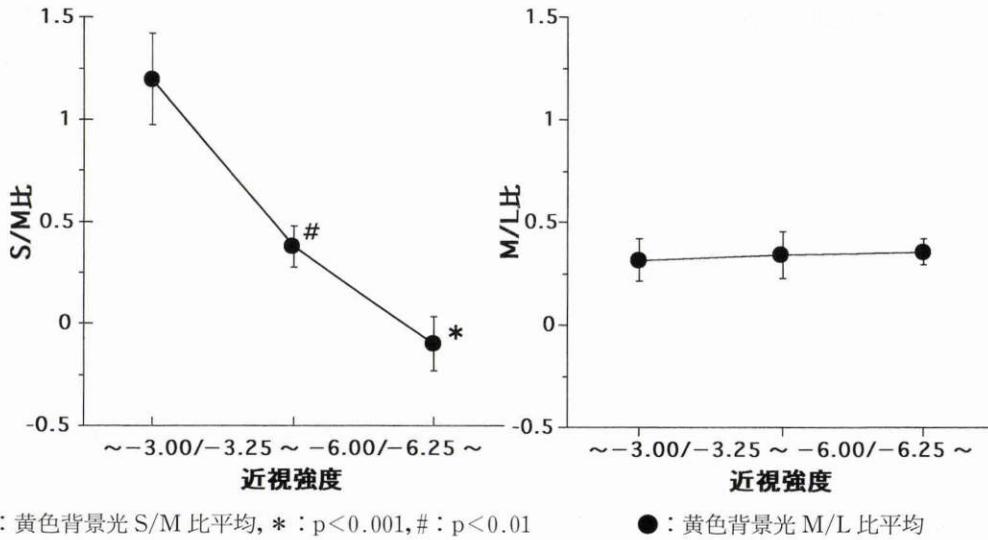
表 1 被験者

視覚誘発電位	屈折度(Diopter)	人数(男性:女性)	年齢(平均)歳
正視-弱度近視群	~-3.00	10(4:6)	21~37(26.8)
中等度近視	-3.25~-6.00	8(3:5)	16~33(25.3)
強度近視	-6.25~	10(5:5)	22~32(27.5)
網膜電図	屈折度(Diopter)	人数(男性:女性)	年齢(平均)歳
正視-弱度近視群	~-3.00	4(2:2)	24~26(25)
中等度近視	-3.25~-6.00	4(2:2)	24~27(26)
強度近視	-6.25~	4(2:2)	23~30(26.75)

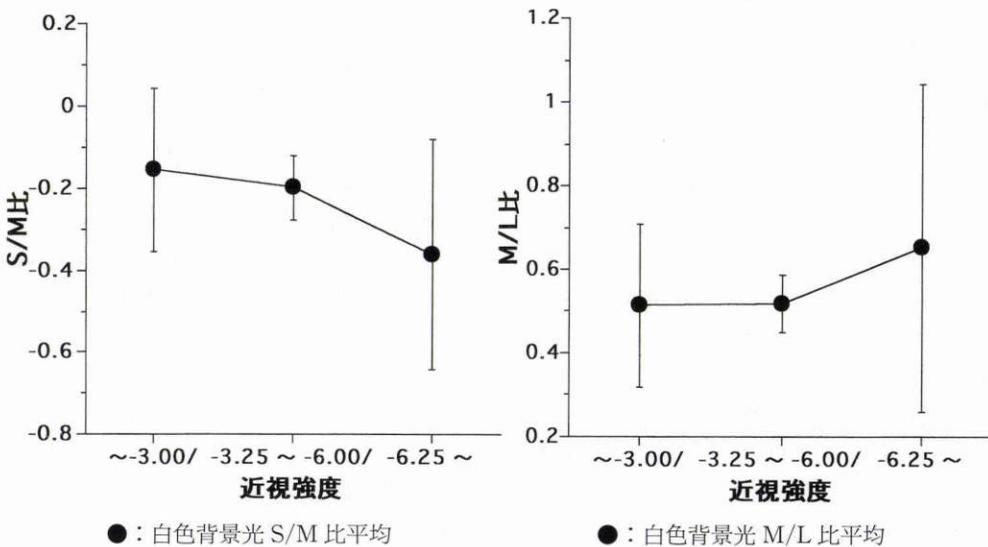
2. S, M, L 3 刺激値測定結果

各被験者について FVECP および ERG から求めた 3 つの刺激光波長(460 nm, 560 nm, 640 nm)に対応する S/M 比, M/L 比の各群での値を図 5, 6 に示す。黄色背景

光における S/M 比は, 正視-弱度近視群では平均 0.478(FVECP), 1.196(ERG), 中程度近視群では平均 0.073(FVECP), 0.376(ERG), 強度近視群では平均 -0.036(FVECP), -0.099(ERG)となり, FVECP, ERG



●：黄色背景光 S/M 比平均, *： $p < 0.001$, #： $p < 0.01$ ●：黄色背景光 M/L 比平均
 図 6-1 近視強度と ERG から求めた黄色背景光 S/M 比, M/L 比平均値。
 (エラーバーは, 上下それぞれ 1 標準誤差を示す.)



●：白色背景光 S/M 比平均 ●：白色背景光 M/L 比平均
 図 6-2 近視強度と ERG から求めた白色背景光 S/M 比, M/L 比平均値。
 (エラーバーは, 上下それぞれ 1 標準誤差を示す.)

とも強度近視群および中程度近視群のいずれも正視一弱度近視群に対し有意の低下(順に $p < 0.001, p < 0.01$)を認めた(図 5-1, 6-1). 各刺激光に対しそれぞれ同一振幅を与える放射エネルギー強度($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)を示す S 値は, 正視一弱度近視群では平均 5.449 (FVECP), 0.909 (ERG), 中程度近視群では平均 2.902 (FVECP), 3.338 (ERG), 強度近視群では平均 2.741 (FVECP), 12.114 (ERG) となり, 近視強度が増大するにつれ, 平均値は低下していた. しかし, FVECP では各群に有意差を認めず, ERG において強度近視群で正視一弱度近視群に対し有意の低下 ($p < 0.05$) を認めた. FVECP, ERG とも白色背景光 S 値では, 各群の間に有意の差を認めず, S/M 比は各群の屈折度の強度に準じて平均値は低下するが, 各群の間に有意の差は認められなかった(図 5-2, 6-2). また, M/L 比では FVECP, ERG とも黄色背景光, 白色背

景光, いずれも各群に有意の差は認められなかった(図 5, 6).

3. 屈折度および眼軸長測定結果

表 2-1 に FVECP 測定眼, 表 2-2 に ERG 測定眼の各群屈折度, 眼軸長の平均値, 標準偏差を示す. 屈折度と眼軸長は有意に高い相関を示した ($p < 0.0001$) ため, 以下屈折度について考察する. 図 7 に屈折度と黄色背景光における FVECP および ERG から求めた S/M 比の関係をグラフに示す. 相関係数はそれぞれ $r = 0.636$ と $r = 0.811$ であり, FVECP および ERG から求めた黄色背景光 S/M はともに屈折度に有意の相関を示した (各々 $p < 0.001, p = 0.0014$). 図には示していないが, 屈折度と黄色背景光における FVECP および ERG から求めた S 値の相関係数はそれぞれ $r = 0.290$ と $r = 0.473$ となり, 統計的に有意な相関は認められなかった (各々 $p = 0.134$,

表 2-1 近視強度各群の屈折度,眼軸長(VECP)

	眼数	平均年齢 (標準偏差) 歳	平均屈折度 (標準偏差) Dioptre	平均眼軸長 (標準偏差) mm
正視-弱度近視群	10	26.8 (4.686)	-1.075 (1.100)	24.230 (0.765)
中等度近視	8	25.3 (5.285)	-4.969 (0.737)	25.770 (0.632)
強度近視	10	27.5 (3.274)	-9.925 (3.285)	27.641 (1.261)

VECP: 視覚誘発電位

表 2-2 近視強度各群の屈折度,眼軸長(ERG)

	眼数	平均年齢 (標準偏差) 歳	平均屈折度 (標準偏差) Dioptre	平均眼軸長 (標準偏差) mm
正視-弱度近視群	4	25.0 (0.82)	-0.875 (0.629)	24.577 (0.699)
中等度近視	4	26.0 (1.41)	-5.125 (0.433)	25.768 (0.384)
強度近視	4	26.75 (2.87)	-9.875 (1.127)	27.835 (0.863)

ERG: 網膜電図

p=0.1206). また, 白色背景光における FVECP および ERG から求めた S/M 比では, 相関係数はそれぞれ $r=0.299$ と $r=0.355$ となり, 統計的に有意な相関は認められなかった(各々 $p=0.063, p=0.326$). また, M/L 比では FVECP および ERG とも黄色背景光, 白色背景光いずれにおいても相関係数は 0.22 以下で有意の相関は認められなかった(いずれも $p>0.250$).

IV 考 按

強度近視眼における視機能の低下については従来から多くの研究がなされている. 検眼鏡的に網脈絡膜萎縮を伴う場合, 視機能の低下がみられるのは当然と考えられるが, 矯正視力良好な初期の眼底変化(豹紋状眼底)の段階でも既に感度低下の認められることが Fundus perimeter や Octopus を用いた自覚的検査法⁶⁷⁾で報告されており, s-cone 系の感度低下についても心理物理的手法を用いた研究で報告⁴⁾されている. また, 強度近視の電気生理学的所見として網膜のびまん性萎縮を認める場合の electrooculogram ratio (以下, EOG 比)の低下, ERG b 波振幅の低下, ERG c 波の所見が報告^{8)~10)}されている. しかし, 豹紋状眼底の段階に限ると機能低下を認める研究は少なく, 局所 ERG における a 波, b 波, op 波振幅の

低下が報告¹¹⁾されているのみであったが, 当教室でも, Maxwell 視刺激を用いた FVECP で明所視波長感度曲線および s-cone 系波長感度曲線を測定し, 強度近視群では正視-弱度近視群に比較し矯正視力良好な初期の眼底変化(豹紋状眼底)の段階でも, s-cone 系に感度低下のあることが他覚的に認められることを報告⁹⁾した. 強度近視眼では眼軸延長および加齢に伴い網脈絡膜萎縮が生じると考えられているが, 網膜の機能低下が眼軸長または屈折度と相関して低下するかについては測定する網膜機能の内容, 測定方法などにより異なる結果が報告されている. 今回我々は, 被験者を比較的若年者に限り, 被験者にとってより固視の容易な負担の少ない Ganzfeld 刺激を用いて白色背景光, および黄色背景光下で FVECP, 他覚屈折値および自覚完全矯正値, A-mode 超音波を用いて眼軸長を測定し, 屈折度, 眼軸長と s-cone 系感度との相関について検討した. 併せて各群数名の被験者について ERG を測定し併せて検討した.

FVECP は一般に波形が複雑で個人差が大きいため, 臨床への応用は少なく視神経疾患に限られている¹²⁾¹³⁾. FVECP は波形が複雑であるが, 前回の実験で再確認されたように, 選択された条件下では正確に波長感度を反映するデータを得ることができる. Ganzfeld 刺激を用い

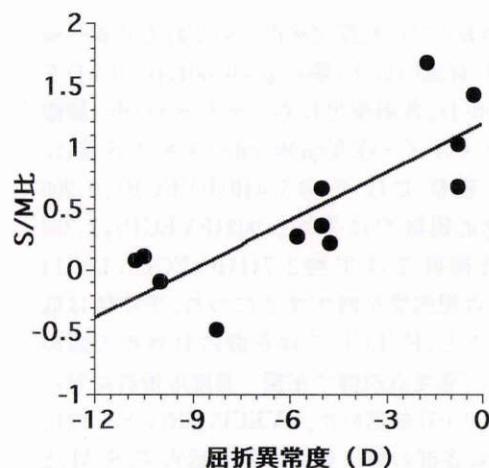
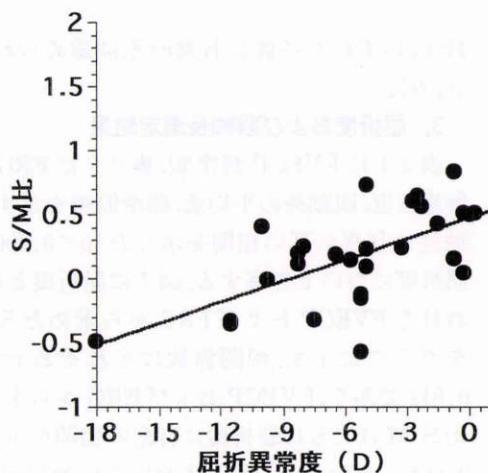


図 7-1 VECP から求めた S/M 比と屈折度数. 図 7-2 ERG から求めた S/M 比と屈折度数.

●: S/M 比(黄色背景光), $r=0.636, p=0.0003$ ●: S/M 比(黄色背景光), $r=0.811, p=0.0014$

図 7 屈折度数と黄色背景光 S/M 比.

た今回の実験でも黄色背景光下の測定で、正視一弱度近視群で測定された波長感度曲線は440~460 nmに頂点を持ち、500 nm以上の中長波長の相対感度がかなり抑えられた曲線を示した(図3)。このことから、黄色背景光下の測定では long and medium wavelength sensitivity cone(以下、LM-cone)および500~510 nm付近に最高感度を持つ桿体の影響も考えられるが、主としてs-cone系の波長感度を反映した反応が得られていると考えられる。強度近視群では、Maxwell視刺激を用いた前回の結果と同様、短波長側の感度低下を示す波長感度曲線が得られた(図3)。黄色背景光の下で記録されたERGのb波潜時は $\lambda=460$ nmで約55~65 msec、 $\lambda=560$ nm、640 nmで約45~55 msecであり、従来の報告¹⁴⁾のごとく、短波長側で中長波長側に比較し遅くなっている。また、刺激光呈示の終わる150 msec付近に560 nm(緑色光)、640 nm(赤色光)でOff反応がみられたが、460 nm(青色光)で明らかなOff反応はみられず、従来のOff反応の報告¹⁵⁾と一致している。我々の実験条件では520 nm以下の波長が大幅に遮断されるため、500~510 nmに波長感度の頂点をもつ桿体の反応が混入することが考えられるが、黄色背景光の下で記録された正視一弱度近視群のERG b波振幅から得られた波長感度曲線は、FVECPと同様、440~460 nmに頂点を持ち500 nmの相対感度がかなり抑えられた曲線を示している(図4)、主としてs-cone系の波長感度を反映した反応が記録されていると考えられる。強度近視群のERG b波振幅から得られた波長感度曲線はFVECPから得られたものと同様、短波長側の感度低下を示す形状となった(図4)。近視強度とs-cone系感度低下の関係について、従来の報告では強度近視眼におけるs-cone系の感度低下は屈折度、年齢、性別、眼軸長、近視性眼底変化の程度に無関係であったと報告⁹⁾されている。一方、s-cone系の感度に関するものではないが、Octopus自動視野計を用いた研究⁷⁾では、屈折度が強く、眼軸長が長いほど感度低下は強いと報告されている。我々の実験では、白色背景光S/M比では従来の報告のごとく各群に明らかな相関は認められなかったが、LM-cone系が抑制され、s-coneの波長感度をより強く反映すると考えられる黄色背景光でのS/M比は眼軸長ならびに屈折度に有意に相関し、強度近視群では正視一弱度近視群に対し有意の低下を認めた($p<0.001$)。以上のFVECPおよびERGの結果から、強度近視におけるs-cone系の感度低下は、網膜神経節細胞より末梢レベルに障害があると考えするのが妥当であろう。強度近視においてFVECP、ERG b波の振幅に影響を与える因子として眼軸長延長による網膜面照度の低下が考えられるが、我々の刺激光はGanzfeld刺激で与えられているため網膜視細胞に与えるトータルエネルギーの変化は小さいと考えられる。短波長域の波長感度に影響を与える因子として、①水晶体の黄色化と、②黄斑色素の存在が考えら

れる。水晶体の黄色化は加齢とともに進み、無水晶体眼と比較すれば若年者といえども黄色化がみられる。今回の実験では被験者はFVECPで37歳以下、ERGで27歳以下とし細隙灯顕微鏡で水晶体に明らかな黄色化を認めず、近視強度に応じて分けた3群で年齢をマッチングさせてあるため、第一の因子の影響は除外できると思われる。第二の因子である黄斑色素の網膜感度への影響は個人差は大きい、平均0.258 log(Foveaにおける467 nm光と551 nm光の感度差と中心外10度perifoveaにおけるこの2波長に対する感度差の比較)と報告¹⁶⁾されている。今回我々は、個々の黄斑色素濃度を測定していないが、本実験における黄色背景光下の460 nm光と560 nm光の感度差は0.523(FVECP)、1.295(ERG)であり、黄斑色素の影響を考慮しても強度近視におけるs-cone系の感度低下が認められる。近視眼でs-cone系の感度が眼鏡的網脈絡膜萎縮や視力低下に先んじて低下することは近視の視機能の初期変化所見として重要であり、この評価において黄色背景光のもとで電気生理学的に測定したS/M比、M/L比は有効であると思われた。

文 献

- 1) 横山 実：眼病と青の感覚。臨眼 33：111—125, 1979.
- 2) 阿部春樹, 守田 潔：Maxwell視により分離される青錐体の眼底疾患における選択的障害と色光視野。日眼会誌 84：1591—1602, 1980.
- 3) 所 敬, 林 一彦, 佐藤公子, 打田昭子, 伊藤百合子：強度近視の視機能障害とその病態に関する研究。日眼会誌 81：330—339, 1977.
- 4) 小池明彦, 所 敬：強度近視眼における網膜スペクトル感度測定。日眼会誌 90：556—560, 1986.
- 5) 川端秀仁, 村山耕一郎, 安達恵美子：flash VECPによる青錐体の波長感度測定とその臨床応用。眼紀 46：535—539, 1995.
- 6) 滝澤恵美子：Fundus perimeterによる乳頭黄斑間の網膜感度、強度近視眼について。臨眼 37：495—501, 1983.
- 7) 黄 世俊：強度近視の視機能の初期変化—Octopus自動視野計による測定分析—。日眼会誌 97：881—887, 1993.
- 8) Prijot E, Colmant I, Marechal-Courtois C：Electroretinography and myopia. In: François J (Ed): Proc Vth Internal Soc Clin ERG Symp, Ghent, 1966. The Clinical Value of Electroretinography. Karger Basel 440—443, 1968.
- 9) 打田昭子：強度近視の電気生理学的検討。日眼会誌 81：1328—1350, 1977.
- 10) 星 兵仁, 高橋洋司, 笠森秀文, 米良博量, 田沢 豊：強度近視眼における網膜色素上皮の機能的検索。眼紀 30：86—94, 1979.
- 11) 石川 恵, 三宅養三, 城山敬康：強度近視眼の黄斑部局所ERGの分析。日眼会誌 94：1040—1047, 1990.
- 12) Adachi-Usami E, Kellermann FJ, Makabe R：Clinical evaluation of the visual evoked response

in a case of optic neuritis. *Ophthalmic Res* 4: 343-354, 1972/73.

13) **Adachi-Usami E, Kellermann FJ, Makabe R:** VER threshold in different stages of optic neuritis. *Ophthalmic Res* 4: 284-297, 1972/73.

14) **Gouras P, Mackay CJ, Roy M, Yamamoto S.:** Brain responses of short-wavelength cones. *Clin*

Vision Sci 8: 519-527, 1993.

15) **Evers HU, Gouras P:** Three cone mechanisms in the primate electroretinogram: two with, one without off-center bipolar responses. *Vision Res* 26: 245-254, 1986.

16) **安間哲史, 鳥井文恵, 市川 宏:** 黄斑色素および視感度の加齢について. *臨眼* 35: 945-949, 1981.

結 文

1970年代には、視覚の生理学的研究が、主に視覚野の電気生理学的研究を中心として行われていた。近年、視覚野の電気生理学的研究は、主に視覚野の電気生理学的研究を中心として行われていた。近年、視覚野の電気生理学的研究は、主に視覚野の電気生理学的研究を中心として行われていた。

近年、視覚野の電気生理学的研究は、主に視覚野の電気生理学的研究を中心として行われていた。近年、視覚野の電気生理学的研究は、主に視覚野の電気生理学的研究を中心として行われていた。

近年、視覚野の電気生理学的研究は、主に視覚野の電気生理学的研究を中心として行われていた。近年、視覚野の電気生理学的研究は、主に視覚野の電気生理学的研究を中心として行われていた。