

# 実験的網膜剥離眼より記録された ERGc 波

—振幅と剥離範囲—

森 敏郎\*, 亀井 俊也\*, 田澤 豊\*, Michael F. Marmor\*\*

\*岩手医科大学眼科学教室, \*\*スタンフォード大学眼科学教室

## 要 約

ウサギの実験的網膜剥離眼より記録された ERG b, c 波の振幅と剥離面積との関係について検討した。剥離範囲が眼底の20, 60, 100%の3群(各3眼)とも剥離後1時間では b, c 波ともに振幅は著明に減弱した。振幅は6時間後には回復傾向を示したが、剥離範囲に対応する大きさであった。12時間後では、b 波振幅は6時間後とほぼ同一であったが、c 波振幅は6時間後よりも減弱する傾向にあった。これらの結果と過去の報告より、網膜剥離の急性期では非剥離部網膜の網膜色素上皮(RPE)の機能は正常に維持されているが、時間の経過にしたがって、RPE を主体とした異常が感覚網膜に先行して出現することが考えられた。(日眼会誌 94: 582—585, 1990)

キーワード: 網膜剥離, ERG c 波, 剥離面積, 網膜色素上皮細胞, ウサギ

## The Relationship Between Amplitude and Extent of Detachment Indicated by the ERG c-wave of Rabbit Eyes with Experimental Retinal Detachment

Toshiro Mori\*, Shunya Kamei\*, Yutaka Tazawa\*  
and Michael F. Marmor\*\*

\*Department of Ophthalmology, Iwate Medical University

\*\*Department of Ophthalmology, Stanford University

### Abstract

We recorded ERG b- and c-waves from rabbit eyes with experimental retinal detachment and investigated the relationship between amplitude of the ERG and extent of the detachment. Three different extents of detachment (20, 60, 100% of the fundus) were made in three different groups of rabbits. In all 3 groups, the amplitude of both b- and c-waves remarkably decreased 1 hour after detachment and recovered at 6 hours to values corresponding to the extent of detachment. At 12 hours, the b-wave amplitude remained at almost the same values at 6 hours, whereas the c-wave amplitude showed further reduction. It was suggested that functional disorder in undetached retina occurred earlier in the retinal pigment epithelium than in the sensory retina of the eyes in the acute stage of the retinal detachment. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 94: 582—585, 1990)

Key words: Retinal detachment, ERG c-wave, Detachment area, Retinal pigment epithelium, Rabbit

別刷請求先: 020 盛岡市内丸19-1 岩手医科大学眼科学教室 森 敏郎  
(平成元年10月6日受付, 平成元年12月11日改訂受理)

Reprint requests to: Toshiro Mori, M.D. Dept. of Ophthalmol., School of Med., Iwate Med. Univ.  
19-1 Uchimarui, Morioka 020, Japan

(Received October 6, 1989 and accepted in revised form December 11, 1989)

## I 緒 言

ヒトの網膜剥離眼より記録される ERG a, b 波, 律動様小波, ERP など感覚網膜を起源とする電気応答は, 剥離範囲に対応した振幅の減弱が報告されている<sup>1)~3)</sup>. 一方, ERG c 波<sup>4)~6)</sup>, EOG light rise<sup>7)</sup>, 薬物誘発応答<sup>8)</sup>といった網膜色素上皮 (RPE) を主な発生源とする応答では, 剥離面積を上まわる振幅の減弱あるいは変化率の低下がみられ, 感覚網膜の機能を反映する検査では発見することのできない検眼鏡的非剥離網膜の異常を鋭敏に把え得ることが推察されている. しかしながら臨床例からは, 網膜電気応答の増減に影響を与える剥離期間や剥離範囲を正確に把握することが困難な場合があり, 剥離と ERG の関係については不明な点も残されている.

そこで今回, ウサギ眼にそれぞれ剥離範囲の異なる実験的網膜剥離を作製した後に ERG を記録し, 特に剥離後の急性期における剥離面積と c 波振幅との関係について調査したので報告する.

## II 実験方法

実験には Dutch rabbit (体重1.5~2.0kg) 9 匹を用いた. 両眼の瞳孔を10%フェニレフリンと塩酸トロピカミドで極大散瞳させ, ウレタンの腹腔内注射 (1.4g/kg) と塩酸ケタミンの筋肉内注射 (30mg/kg) で麻酔した後, 右眼に以下の方法で網膜剥離を作製した. すなわち, 手術顕微鏡下に, 直径40 $\mu$ m のガラス管ビベットを角膜輪部より1~2mm 後極寄りの強膜創より硝子体腔内に挿入し, 先端が網膜を穿孔して網膜下腔に達した時に, ハンクス液を注入することによって, 限局性の網膜剥離を作製した. 網膜全体に対する剥離範囲の大きさによって, 約20%の小剥離群 (I 群), 約60%の中等度剥離群 (II 群) および100%剥離群 (III 群) を各3眼ずつ作製した. ただし100%剥離群は, 眼底中央部を水平に走る神経線維束より上半分の網膜全面をアルゴン光凝固して壊死させた後, その1週後に下半分の残された網膜を全剥離させたものを用いた. これは, ウサギでは神経線維束の存在が下方から上方までの全網膜剥離の作製を困難にしているためである.

対照としてそれぞれの左眼を用い, ガラス管ビベットを網膜を穿孔せずに硝子体腔までの刺入にとどめ, それぞれの群とはほぼ同量のハンクス液を硝子体腔内に注入した. この操作によっても, 網膜剥離の各群および対照群に眼圧の異常な上昇は認められなかった.

ERG 記録終了後に眼球を摘出し, 展開した網膜の写真撮影することによって剥離範囲を確認した.

ERG の記録には, 銀-塩化銀電極を用いて関電極を角膜上に, 不関電極を強膜上に設置した. 光刺激は100 W のハロゲンランプの光をファイバーオプティクスでウサギの眼前1cm まで誘導し, 角膜面上の照度を560mW/cm<sup>2</sup>とした. 刺激持続時間は1秒とした. 誘導された電気応答を直流増幅 (Tektronix 5A22N) した後, ペンレコーダー (Brush Model 2400) で記録した.

ERG は剥離作製前の暗順応30分の時点と, 剥離作製時に用いた顕微鏡の光による影響を考慮して, 剥離後1, 6あるいは12時間の暗順応の後に, 両眼ほぼ同時に記録した.

## III 結 果

各群について得られた ERG の実際の波形の代表例を Fig. 1, 2 および 3 に示した. b 波, c 波の振幅はすべての群で剥離眼, 対照眼ともに手術後1時間では減弱していた. その後は, 対照眼の ERG は徐々に回復し, 6時間後では術前の値にほぼ回復し, 12時間後では術前より振幅が増大する例もあった. 一方, 剥離眼は6時間後に振幅が一旦回復したが, 12時間後には6時間後と同様に再び減弱する傾向がみられた.

各剥離群の b 波振幅について, 同時点で記録した対照眼の振幅を100%としたときの経時的变化を Fig. 4 に示した. I, II, III 群各3眼の平均値は, 1時間後でそれぞれ59, 52, 20%, 6時間後で94, 65, 22%, 12時間後で87, 66, 15%であった. I, II, III 群とも, b 波振幅は1時間後に著明に減弱した後, 6時間後で

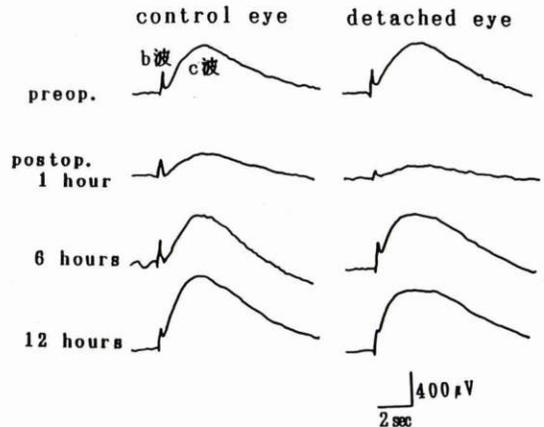


Fig. 1 I 群 (全網膜の20%が剥離) の ERG の波形の一例.

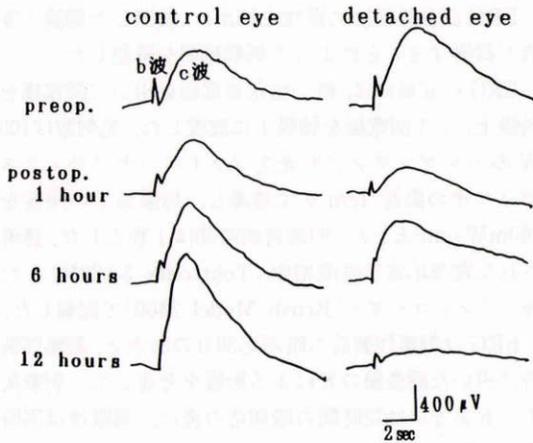


Fig. 2 II群(全網膜の60%が剝離)のERGの波形の一例.

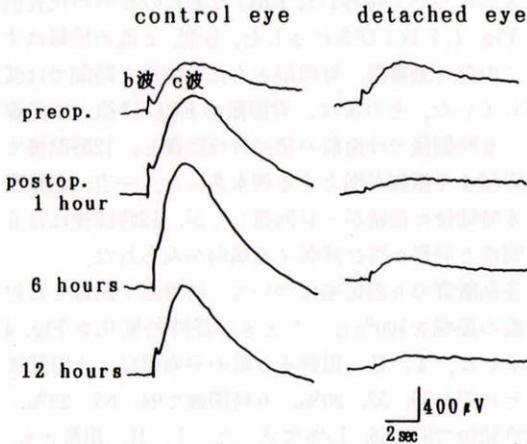


Fig. 3 III群(全網膜剝離)のERGの波形の一例.

回復傾向を示したが、この回復の程度は剝離範囲が大きい程不良であり、いずれも剝離面積にほぼ対応した減弱となった。12時間後でも6時間後の振幅とほぼ同様であった。

c波振幅についても、b波と同様に対照眼に対する割合でFig. 5に示したが、I, II, III群各3眼の剝離後1時間の平均値はそれぞれ66, 61, 15%, 6時間後は82, 59, 10%, 12時間後では66, 33, 10%であった。I, II, III群ともにc波振幅も剝離範囲にはほぼ対応して減弱したが、剝離後1時間と6時間の振幅はほぼ同じ値であった。また、12時間後には、I, II群においてb波と異なり、振幅の減弱傾向がみられた。

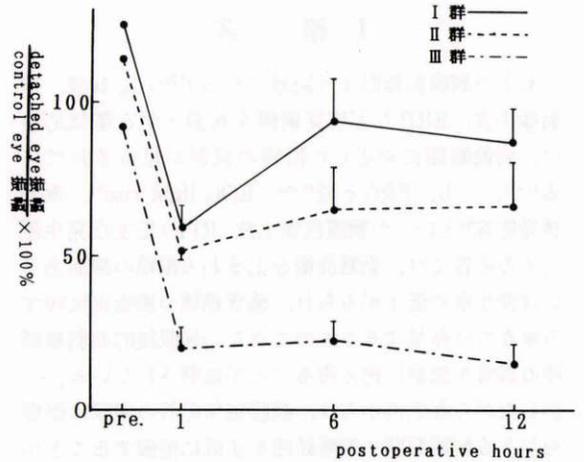


Fig. 4 I, II, III群の平均b波振幅の平均値および標準偏差の経時的変化.

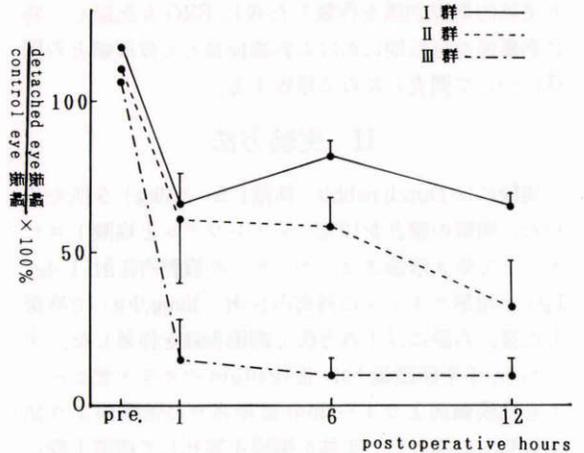


Fig. 5 I, II, III群の平均c波振幅の平均値および標準偏差の経時的変化.

#### IV 考 按

網膜剝離に対するERGは、眼底透視が困難な症例に、あるいは剝離の範囲や術後の視機能の推定、術後の復位状態の確認などの客観的検査法として臨床において広く普及している。剝離発生を予知する手段としても古くから研究され<sup>9)~11)</sup>、最近では局所ERGを用いて黄斑円孔を予知し得ることも報告され<sup>12)</sup>、本疾患におけるERGの有用性はさらに高くなりつつある。

中でも、RPE機能を反映する電気生理学的検査では、前述したごとくいずれも剝離範囲を上まわる異常所見を呈することが臨床例で報告されている。このこ

とは、検眼鏡的に剥離がおこっていない網膜での網膜下腔のイオン動態の変化、あるいはRPE内の神経伝達物質やcyclic-GMPの異常などを把えている可能性があり、興味のもたれるところである。

今回の結果はこれら臨床の報告とは異なり、剥離6時間後のc波振幅は、b波よりも減弱の程度は強い傾向はみられたものの、剥離範囲にはほぼ対応した減弱を示していた。このc波の今回の結果と臨床研究における各種RPE検査の結果との相異の原因としては、今回の実験では、急性期の網膜剥離が対象であったことが考えられる。すなわち、剥離の急性期では、非剥離部の網膜は未だ正常な機能を維持していることが推察される。しかしながら、剥離12時間後では、c波の減弱がb波より強くなる傾向がみられた。このことは、時間経過とともに非剥離部網膜のRPEの異常が、感覚網膜に先行して生じるためと思われる。剥離後に時間を経過している症例の多い臨床研究の結果と一致するものと思われた。

ERG c波はEOGのlight riseや薬物誘発応答などの検査とは異なり、検査中の眼球の安静が保たれ、更に記録に要する時間が短いことから、患者の負担が少ないなどの利点も多い。今後、長期間にわたる網膜剥離を作製し、剥離期間とc波の相関を更に検討する必要がある。

今回の実験で対照眼において術前と術後のERG振幅に大きな相違が認められた。術後1時間での対照眼のERG振幅の減弱は、手術操作中の一時的低眼圧によってひきおこされた網膜血流動態の変化、あるいはハックス液自体の網膜への可逆的な影響などが考えられた。また、その後のERG振幅の増大は、暗順応時間が長くなることや麻酔薬による影響などがその原因と思われた。

また我々の結果では、100%の網膜剥離眼からも振幅の小さなb、c波が記録された。Fouldsら<sup>13)</sup>も同様に、2日経過したウサギの全網膜剥離眼からERGが記録されたと述べており、角膜電極でも剥離網膜からの電位を記録することは可能なことかも知れない。しかしながら、その電位は極めて小さく、剥離されずにわずかに残った網膜からの電位を記録している可能性もある。従って、現在臨床に用いられているERG記録方法は剥離網膜自体の病態を把えることは困難であると思

われる。著者らは、ウサギの実験的網膜剥離眼の剥離網膜から、2筒型のガラス管電極を用いて局所ERGを記録し得たことを既に報告した<sup>14)</sup>。将来、臨床的にも剥離網膜の機能を局所ERG法を用いて調査し、手術予後の推定を行うなど、網膜剥離の診断に新たな応用が可能と思われる。

#### 文 献

- 1) 米村大蔵, 河崎一夫, 川崎千鈴, 他: 網膜剥離のERG所見. 日眼会誌 76: 267-270, 1972.
- 2) 都筑幸哉: ERGに現われる律動様小波の臨床観察. 第II報. 網膜剥離を中心とした考察. 日眼会誌 66: 69-77, 1962.
- 3) 玉井嗣彦: 人眼ERP (Early Receptor Potential)の臨床的研究. 第5報. 網膜剥離のERP. 臨眼 28: 85-96, 1974.
- 4) 田澤 豊: 人眼ERG・c波の特性と臨床応用. 眼紀 31: 1223-1248, 1980.
- 5) 森 敏郎, 田澤 豊, 高橋洋司, 他: 網膜剥離眼のERG・c波. 眼紀 32: 1487-1492, 1981.
- 6) 森 敏郎: 網膜剥離の電気生理学的研究. 日眼会誌 86: 1772-1782, 1982.
- 7) Black RK, Behrman J: The electrical activity of the eye in retinal detachment. Trans Ophthalmol Soc Unit King 89: 263-266, 1967.
- 8) 真館幸子: 眼球常存電位におよぼす高浸透圧負荷の効果とその臨床応用. (III) 数種の眼底疾患における検討. 日眼会誌 86: 396-413, 1982.
- 9) Karpe G, Rendahl I: The clinical electroretinogram: VI. The electroretinogram in detachment of the retina. Acta Ophthalmol 30: 303-316, 1952.
- 10) 玉井嗣彦: 人眼ERP (Early Receptor Potential)の臨床的研究. 第7報. 網膜剥離患者他眼(いわゆる健眼)のERP. 眼紀 27: 334-336, 1976.
- 11) 森 敏郎, 田澤 豊, 小原喜隆, 他: 網膜剥離 Fellow eyeのERG・c波. 眼紀 33: 1578-1584, 1982.
- 12) Birch DG, Jost BF, Fish GE: The focal ERG in fellow eyes of patients with idiopathic macular holes. Arch Ophthalmol 106: 1558-1563, 1988.
- 13) Foulds WS, Ikeda H: The effects of detachment of the retina on the induced and resting ocular potentials in the rabbit. Invest Ophthalmol 5: 93-108, 1966.
- 14) Mori T, Tsue TT, Marmor MF: Electrical responses from detached retina inside the intact rabbit eye. Invest Ophthalmol Vis Sci 29: 1040-1043, 1988.