

ERG

by Habibah Muhiddin

Submission date: 11-Mar-2021 01:50AM (UTC-0800)

Submission ID: 1530123938

File name: ERG.pdf (1.81M)

Word count: 9967

Character count: 62334

ELEKTRORETINOGRAFI

ELEKTRORETINOGRAFI

Penulis:

Dian Furqani Ibrahim
Habibah S Muhiddin
Buduh
Andi Muhammad Ichsan

Editor

Muhammad Abrar Ismail
Noro Waspodo
Batari Todja Umar
Yunita

Cetakan Pertama 2019

ISBN : 9786022693307

Desai cover & layout isi:

Halaman Moeka Publishing

Penerbit:

Halaman Moeka Publishing

Alamat Penerbit:

Jalan Manggis IV no.2, Tanjung Duren Selatan, Grogol
Petamburan, Jakarta Pusat

Hak Cipta © Dian Furqani Ibrahim

All rights reserved. HakCipta dilindungi Undang-Undang

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Buku “Elektroretinografi” telah dapat diselesaikan. Buku ini diharapkan mampu menjadi bahan acuan dalam memahami mekanisme elektroretinografi dan juga aspek klinis secara lebih terperinci sehingga mampu menjadi pengantar dalam memahami elektroretinografi secara lebih komprehensif.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada Tim Penyusun dan pihak-pihak yang membantu terselesainya buku ini. Semoga amalnya di terima Allah sebagai amal jariyah dan buku ini dapat bermanfaat dalam dunia pendidikan.

Demikian sedikit kata sambutan dan pengantar untuk para pembaca. Kami mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun, sehingga kami dapat menjadi semakin baik.

Makassar, Mei 2019

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
PENDAHULUAN	1
FOTOTRANSDUKSI.....	2
FOTORESEPTOR.....	3
CIRCADIAN RHYTHM	10
ELEKTRORETINOGRAPHY.....	13
STANDARD FULL FIELD ERG	17
INTENSITAS STIMULUS VS RESPON ERG + KOMPONEN ...	19
KOMPONEN ERG: GELOMBANG-A	21
KOMPONEN ERG: GELOMBANG-B.....	21
KOMPONEN ERG: GELOMBANG-I.....	22
PHOTOPIC NEGATIVE RESPONSE	23
OSCILLATORY POTENTIALS	23
BRIGHT FLASH MIXED ROD-CONE ERG	24
MEMISAHKAN KOMPONEN ROD DAN CONE PADA STANDARDIZED ERG.....	31
ERG FOKAL	40
TIPE-TIPE ELEKTRODA PADA ERG	44
PERSIAPAN SEBELUM PEMERIKSAAN	47
PENUTUP	52
DAFTAR ISI	53

PENDAHULUAN

Elektroretinogram merupakan suatu pemeriksaan yang dilakukan pada manusia dan pada binatang (penelitian) sejak tahun 1940an oleh 2 ilmuan Swedia Holmgren dan Granit. Secara umum, pemeriksaan elektroretinogram adalah untuk menilai fungsi retina serta kerusakan dan penyakit-penyakit pada retina. Elektroretinogram merupakan rekaman dari retina setelah dilakukan stimulasi cahaya yang terang. Cahaya yang diberikan mengakibatkan suatu respon yang dapat diukur dengan satuan voltase yang akan menjadi penilaian pada elektroretinogram (ERG).¹

ERG merekam respon elektrik yang dibentuk oleh sel sel yang berada dalam retina. Respon ini memperlihatkan gambaran aljabar dari beberapa komponen dari gelombang, yang terjadi akibat pergerakan ion-ion natrium dan kalium di retina. Pada tahun 1877, pengukuran respon listrik pada manusia dilakukan oleh Dower. Sampai tahun 1941, pemeriksaan ini lebih sering dilakukan pada binatang percobaan, hingga tahun 1941 Riggs menemukan elektroda yang dapat digunakan untuk mengukur reaksi listrik pada mata manusia.²

Retina merupakan bagian perifer dari otak dan termasuk dalam susunan saraf pusat. Retina terbentuk dari neuron dan glia yang berfungsi dengan metode yang kompleks dan bukan dalam suatu proses perputaran signal yang sederhana maupun seperti suatu kamera yang mengambil gambar saja. Melainkan sensor khusus berupa fotoreseptor akan melakukan transmisi yang diinisiasi oleh cahaya dalam suatu sistem fungsional dari 60 tipe neuron yang terstruktur, menjadikan cahaya sebagai sumber informasi untuk menentukan intensitas, kromatik, kontras, pergerakan dan posisi. Sebagian besar informasi yang ditangkap akan disalurkan ke pusat visual di otak oleh nervus optik menggunakan kode kompleks khusus yang sebagian darinya belum dapat dipecahkan. Cahaya yang sampai ke

fotoreseptor dan neuron retina yang fotosensitif merupakan informasi yang terkode sebagai informasi temporal terhadap perubahan waktu siang dan malam serta perubahan musim. Informasi ini akan diteruskan ke “jam sentral” yang ada di otak yang mengatur ritme biologis seperti suhu tubuh, denyut nadi, fertilitas dan sebagainya yang bergantung pada siklus terang-gelap dari lingkungan. Siklus ini akan mempengaruhi ritme sirkadian yang merupakan konsekuensi dari kemampuan retina memberikan informasi ke otak mengenai perubahan cahaya pada waktu-waktu tertentu.³

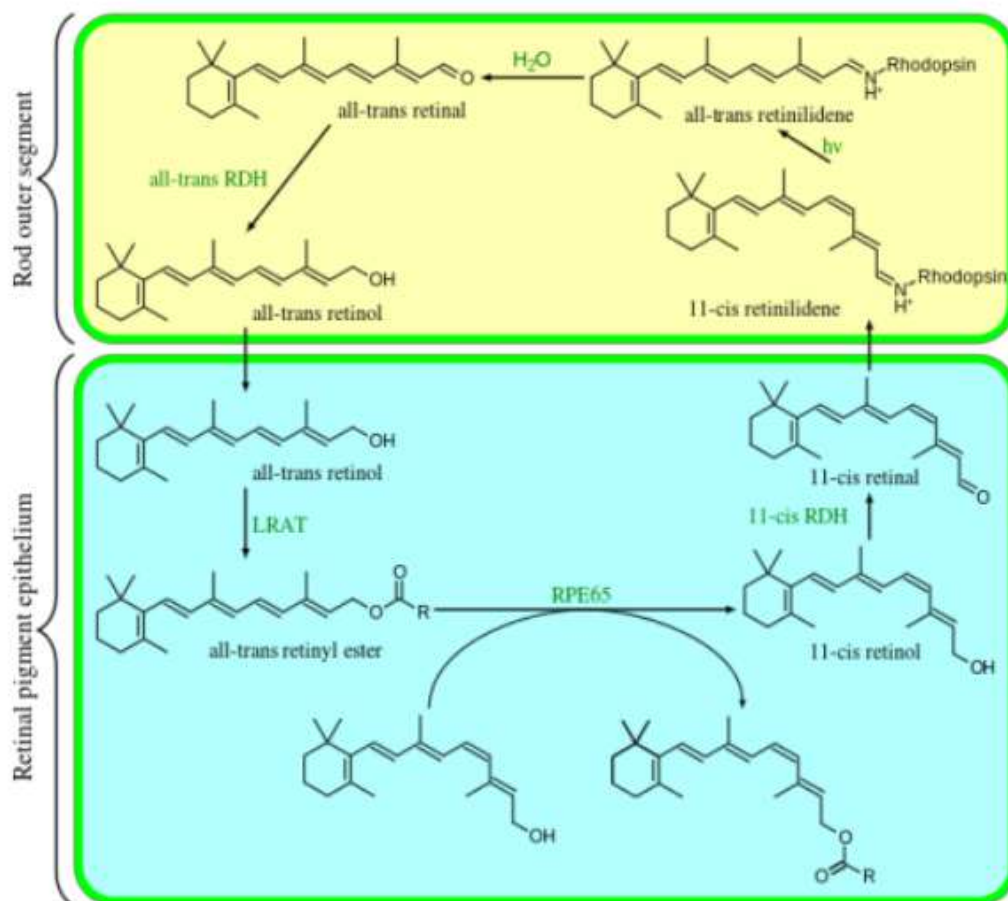
FOTOTRANSDUKSI

Fototransduksi visual merupakan suatu proses transduksi sensoris pada sistem visual. Fototransduksi merupakan suatu proses dimana cahaya diubah menjadi sinyal listrik pada sel batang, sel kerucut, dan sel ganglion fotosensitif pada retina. Siklus ini pertama kali diperlihatkan oleh George Wald (1906 – 1997) dan menerima penghargaan Nobel pada tahun 1967. Proses ini disebut sebagai “Siklus Visual Wald” sesuai dengan namanya.^{4,5}

Siklus visual merupakan suatu proses konversi biologis dari foton menjadi sebuah sinyal listrik di retina. Proses tersebut terjadi melalui reseptor G – protein ganda yang disebut opsin yang mengandung kromofor 11 – cis retinal. 11 – cis retinal berikatan kovalen dengan reseptor opsin melalui basa Schiff membentuk protein retinilidene. Ketika terhantam oleh foton, maka 11 – cis retinal akan mengalami fotoisomerisasi menjadi all – trans retinal yang akan mengubah konformasi dari GPCR opsin yang menyebabkan terjadinya kaskade transduksi sinyal yang menyebabkan penutupan dari siklus kanal kation teraktivasi GMP, dan menyebabkan terjadinya hiperpolarisasi dari sel fotoreseptor.^{4,5}

Setelah terjadi isomerisasi dan pelepasan dari protein opsin, maka all – trans retinal akan direduksi menjadi all – trans retinol dan akan berjalan kembali ke epitel pigmen retina untuk

“di isi ulang”. Proses ini pertama kali di esterifikasi oleh lecithin retinol acyltransferase (LRAT) dan kemudian dikonversikan menjadi 11 – cis retinol oleh isomerohidrolase RPE65. Aktivitas isomerase dari RPE65 juga telah diperlihatkan; tetapi sampai saat ini masih belum jelas apakah juga dapat bertindak sebagai hidrolase. Akhirnya, molekul tersebut juga akan teroksidasi menjadi 11 – cis retinal sebelum berjalan kembali ke segmen batang bagian luar dimana kembali akan terkonjugasi menjadi opsin untuk membentuk suatu pigmen visual fungsional yang baru (rodopsin).^{4,5,6}



Gambar 1 : Siklus Visual.⁷

FOTORESEPTOR

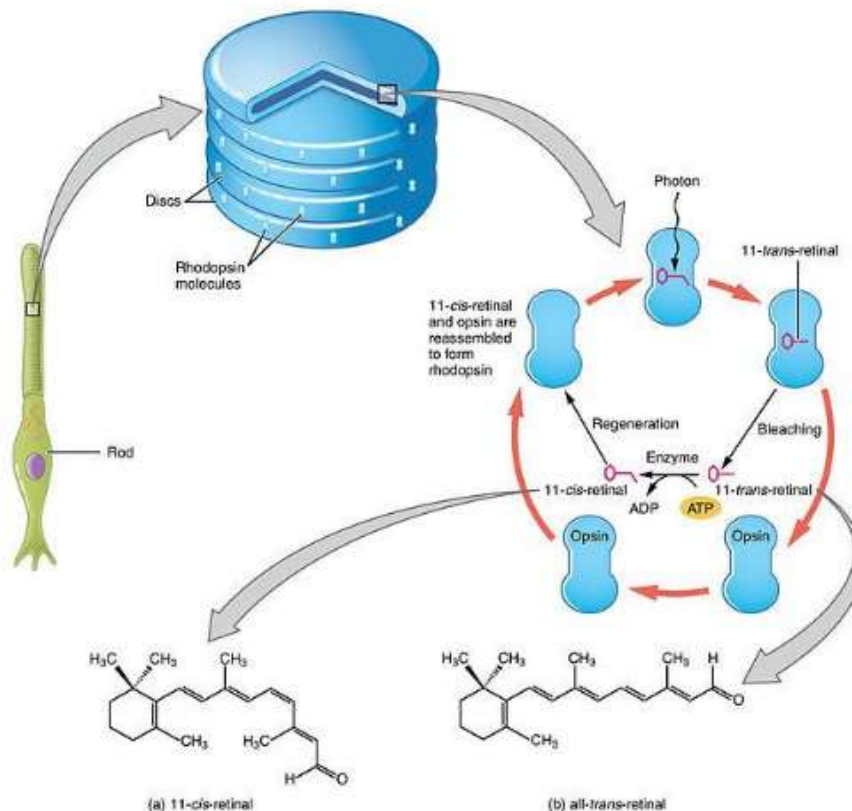
Sel – sel fotoreseptor yang juga turut terlibat dalam proses penglihatan adalah sel batang dan kerucut. Sel – sel tersebut mengandung kromopor (11 – cis retinal, yang merupakan

aldehid dari vitamin A1 dan bagian yang menyerap cahaya) yang terikat dengan protein membran sel, yaitu opsin. Sel batang bertugas untuk kondisi cahaya yang rendah dan tidak memediasi penglihatan warna. Disisi lain, sel kerucut, dapat mengkode warna dari suatu gambar dengan cara membandingkan hasil yang didapatkan dari tiga jenis sel kerucut yang berbeda. Setiap tipe sel kerucut berespon dengan baik pada beberapa panjang gelombang tertentu, atau warna, dari cahaya oleh karena setiap jenis cahaya memiliki opsin yang sedikit berbeda. Tiga jenis sel kerucut tersebut adalah L-cone, M-cone, dan S-cone yang akan berespon secara optimal dengan gelombang panjang (warna kemerahan), panjang gelombang sedang (warna kehijauan) dan panjang gelombang pendek (warna kebiruan) secara berturut-turut. Manusia memiliki sistem penglihatan trikromatik yang terdiri atas tiga sistem yang unik, sel batang, sel kerucut yang sensitif terhadap panjang gelombang cahaya sedang dan panjang (merah dan hijau) serta sel kerucut yang sensitif terhadap panjang gelombang yang pendek (biru).¹

Untuk dapat memahami perilaku fotoreseptor terhadap intensitas cahaya, maka kita harus memahami peran dari arus yang berbeda. Terdapat suatu arus kalium kearah luar yang terus berlangsung melalui kanal tak teraktivasi K^+ selektif. Arus mengarah keluar tersebut cenderung menyebabkan hiperpolarisasi fotoreseptor yaitu sekitar -70 mV (potensial keseimbangan untuk K^+).^{4,5,3}

Juga terdapat suatu arus natrium yang mengarah kedalam diangkut oleh kanal natrium teraktivasi cGMP. Proses “arus gelap” tersebut akan menyebabkan depolarisasi sel sekitar -40 mV. Perhatikan bahwa proses depolarisasi ini jauh lebih signifikan dibandingkan dengan sebagian besar neuron lainnya.⁴

Densitas pompa $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ memungkinkan fotoreseptor untuk dapat mempertahankan konsentrasi intraseluler Na^+ dan K^+ yang seimbang.^{4,5}



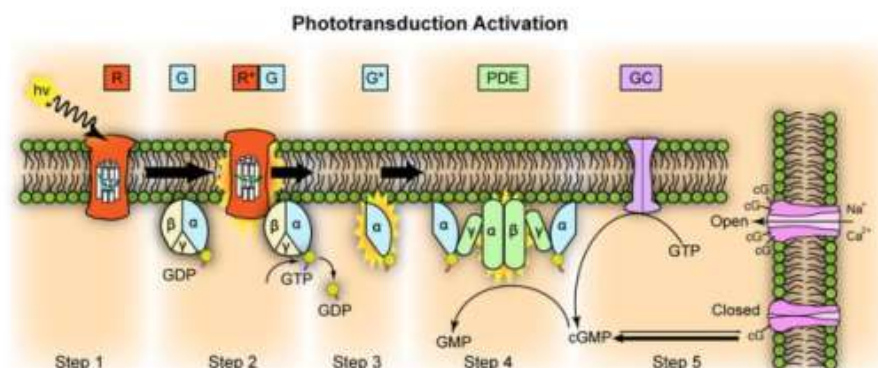
Gambar 2. Penyerapan cahaya akan menyebabkan perubahan isomerik pada molekul retina.⁷

Dalam keadaan gelap

Sel – sel fotoreseptor merupakan sel yang tidak sama dengan sel lainnya dimana sel – sel ini mengalami depolarisasi sebagai respon terhadap tidak adanya stimulus atau kondisi skotopik (gelap). Pada kondisi fotopik (terang), maka fotoreseptor akan mengalami hiperpolarisasi hingga mencapai potensial – 60 mV. Proses inilah yang menyebabkan teraktivasinya sel selanjutnya dan mengirimkan suatu sinyal eksitatorik hingga ke jalur saraf.^{3,4}

Dalam kegelapan, kadar cGMP sangatlah tinggi dan keadaan ini akan menjaga kanal natrium teraktivasi cGMP tetap

terbuka sehingga memungkinkan terjadinya arus kearah dalam yang stabil, yang disebut juga dengan arus gelap. Arus gelap tersebut akan tetap menjaga sel tetap terdepolarisasi pada sekitar -40 mV.^{4,5}



Gambar 3: Ilustrasi dari langkah – langkah molekuler pada proses fotoaktiasi (dimodifikasi dari Leskov et al., 2000²). Proses ini memperlihatkan suatu lapisan membran bagian luar dari sel batang. Langkah 1 : Foton insiden (hv) akan diserap dan mengaktifasi suatu rhodopsin dengan melakukan perubahan konformasional pada lapisan membran ke R*. Langkah 2 : Selanjutnya, R* akan melakukan kontak berulang dengan molekul transducin, mengkatalisis aktivasi tersebut menjadi G* dengan melepaskan ikatan GDP sebagai ganti terhadap GTP sitoplasma, yang akan mengeluarkan subunit beta dan gamma. Langkah 3 : G* akan mengikat subunit gamma inhibitorik pada fosfodiesterase (PDE) yang akan mengaktifasi subunit alfa dan beta. Langkah 4 : PDE yang teraktivasi akan menghidrolasi cGMP. Langkah 5 : Guanilil Siklase (GC) akan mensintesis cGMP, yang merupakan second messenger pada kaskade fototransduksi. Penurunan kadar cGMP sitosol akan menyebabkan kanal teraktivasi siklik nukleotida untuk menutup dan mencegah masuknya ion Natrium dan kalsium lebih lanjut.⁷

Depolarisasi dari membran sel pada kondisi skotopik akan membukakan kanal kalsium teraktivasi voltase. Peningkatan dari konsentrasi Ca^{2+} intraseluler akan menyebabkan vesikel-vesikel yang mengandung glutamat, yang merupakan suatu neurotransmitter, menyatu dengan membran sel, oleh karena itu akan melepaskan glutamat kedalam celah sinaps, yang merupakan suatu daerah antara bagian akhir dari salah satu sel dan bagian awal dari neuron lainnya. Glutamat, meskipun

biasanya merupakan neurotransmiter eksitatorik, fungsinya dalam penglihatan bertindak sebagai suatu neurotransmiter inhibitorik.^{4,5}

Pada glumatat jalur kerucut :

1. Hiperpolarisasi pada bagian tengah dari sel bipolar. Glutamat yang dikeluarkan dari fotoreseptor didalam kegalapan akan terikat pada reseptor glutamat metabotropik (mGluR6), yang mana, melalui mekanisme G-protein ganda, akan menyebabkan kanal kation non-spesifik pada sel menutup, dan oleh karena itu akan menyebabkan hiperpolarisasi pada sel-sel bipolar.⁵
2. Depolarisasi diluar bagian tengah sel bipolar. Ikatan glutamat terhadap reseptor glutamat ionotropik akan menyebabkan terjadinya arus kation kearah dalam yang menyebabkan terjadinya depolarisasi pada sel sel bipolar.^{4,5}

Dalam keadaan terang

1. Foton cahaya akan berinteraksi dengan retinal pada suatu sel fotoreseptor. Retina akan mengalami proses isomerisasi, mengubah konfigurasi 11 – cis menjadi all – trans.
2. Retina tidak lagi cocok didalam tempat ikatan opsin.
3. Opsin oleh karena itu akan mengalami suatu perubahan konformasional menjadi metarhodopsin II.
4. Metarhodopsin II merupakan suatu bentuk yang tidak stabil dan terbelah, memperlihatkan opsin dan all – trans retinal.
5. Opsin akan mengaktivasi protein regulatorik transducin. Hal tersebut akan menyebabkan transducin mengalami disosiasi dari ikatannya dengan GDP dan akan mengikat GTP, kemudian subunit alfa dari transducin akan mengalami disosiasi dari subunit beta dan gamma, dengan GTP tetap terikat pada subunit alfa.
6. Kompleks Subunit alfa – GTP akan mengaktivasi fosfodiesterase atau PDE.

7. PDE akan memecahkan cGMP menjadi 5' – GMP. Hal tersebut akan menurunkan konsentrasi dari cGMP dan oleh karena itu akan menyebabkan penutupan kanal natrium.
8. Penutupan dari kanal natrium akan menyebabkan hiperpolarisasi dari sel yang disebabkan oleh karena proses efluks ion kalium yang sedang berlangsung.
9. Hiperpolarisasi dari sel akan menyebabkan kanal kalsium teraktivasi voltase menutup.
10. Seiring dengan semakin menurunnya kadar dari kalsium didalam sel fotoreseptor, maka jumlah dari neurotransmitter glutamat yang dikeluarkan oleh sel juga akan semakin menurun. Hal tersebut disebabkan oleh karena kalsium dibutuhkan untuk vesikel – vesikel yang mengandung glutamat agar dapat bergabung dengan membran sel dan dan mengeluarkan isi yang dikandung vesikel tersebut.
11. Penurunan dari jumlah glutamat yang dikeluarkan oleh fotoreseptor akan menyebabkan terjadinya depolarisasi pada bagian pusat dari sel bipolar (sel batang dan kerucut pada sel bipolar) dan hiperpolarisasi diluar bagian pusat sel bipolar.⁵

Deaktivasi kaskade fototransduksi

Protein Akselerasi GTPase (GAP) akan berinteraksi dengan subunit alfa dari transducin, dan menyebabkan terjadinya hidrolase pada ikatan GTP menjadi GDP, dan oleh karena itu akan menghambat kerja dari fosfodiesterase, menghentikan transformasi dari cGMP menjadi GMP.^{4,5}

Guanylate Cyclase Activating Protein (GCAP) merupakan protein pengikat kalsium, dan seiring dengan kadar kalsium didalam sel yang seakin menurun, GCAP akan mengalami disosiasi dari ikatan ion kalsium, dan akan berinteraksi dengan Guanilat Siklase, untuk mengaktifkannya. Guanilat Siklase kemudian akan terus berlanjut mengubah GTP menjadi cGMP, sehingga mengisi kembali kadar cGMP sel dan oleh karena itu

akan membuka kembali kanal natrium yang telah tertutup selama proses fototransduksi.^{4,5}

Pada akhirnya, metarhodopsin II kemudian akan terdeaktivasi. Recoverin, yang merupakan protein pengikat kalsium lainnya, secara normal akan terikat dengan Rhodopsin Kinase ketika terdapat kalsium. Ketika kadar kalsium menurun selama proses fototransduksi, maka kalsium akan terdisosiasi dari recoverin, dan rhodopsin kinase akan dilepaskan, ketika proses berlanjut menjadi fosforilat metarhodopsin II, yang akan menurunkan afinitas terhadap transducin. Akhirnya, arrestin, yang merupakan protein lain, akan mengikat methardopsin II yang terfosforilasi, yang betul-betul mendeaktivasinya. Oleh karena itu, pada akhirnya, fototransduksi akan terdeaktivasi, dan arus gelap serta pengeluaran glutamat akan dikembalikan. Pada jalur inilah, dimana Metarhodopsin II akan difosforilasikan dan akan terikat dengan arrestin dan pada akhirnya akan terdeaktivasi, dimana proses ini diyakini juga bertanggung jawab untuk adaptasi kegelapan untuk komponen S2. Komponen S2 merupakan suatu bagian linier dari fungsi adaptasi kegelapan yang muncul pada permulaan adaptasi kegelapan untuk semua intensitas pemutihan.^{4,5}

All-trans retinal kemudian akan diangkut ke sel epitel pigmen untuk direduksi menjadi all-trans retinol, yang merupakan prekursor dari 11- cis retinal. Kemudian akan diangkut kembali ke sel batang. All-trans retinal tidak dapat disintesis kembali oleh manusia dan harus dipasok kembali oleh Vitamin A dalam pola makannya. Defisiensi all-rans retinal dapat menyebabkan terjadinya buta senja. Hal tersebut merupakan bagian dari proses pemutihan dan daur ulang dari retinoid pada fotoreseptor dan epitel pigmen retina.^{4,5}

Fototransduksi yang merupakan fungsi dari sel-sel neuron retina dapat diukur dengan pemeriksaan ERG karena dalam penjalani fungsinya, retina akan membuat suatu arus listrik (radial current). Perubahan-perubahan konduksi pada proses yang telah dijelaskan diatas akan menghasilkan suatu

perubahan pada membran sel yang teraktivasi dan juga pada ruang diantara sel (extracellular space) dan akan membentuk "extracellular potential." Disaat neuro-neuron yang tersusun secara radier melakukan fototransduksi, terjadi perubahan arus listrik ekstraseluler ke satu arah yang tersinkronisasi, maka akan terjadi perubahan pada "extracellular potential" yang dinamakan "field potential." Jika field potential ini cukup besar, maka proses transduksi ini dapat diukur dari jarak yang cukup jauh, yaitu di tempat pemasangan elektroda ERG di kornea.^{4,5}

CIRCADIAN RYTHM

Circadian rythm merupakan keunikan dari makhluk hidup. Secara umum, ritme ini bukan siklus pasif yang mengikuti fluktuasi dari lingkungan, tetapi diatur oleh organisme itu sendiri. Pada mamalia termasuk manusia, pacemaker ini berada pada *suprachiasmatic nuclei (SCN)* dari hipotalamus dan mengatur ritme selama 24 jam dan berkesinambungan. Jam sirkadian ini bertanggung jawab atas banyak hal termasuk tidur, makan, suhu tubuh, denyut nadi, dan pelepasan hormon. Retina memiliki peran penting dalam mengatur sistem sirkadia dengan cara melakukan sinkronisasi antara jam sentral dari otak dengan situasi pencahayaan dari lingkungan melalui transduksi siklus *light/dark*.³

Retina mamalia memiliki ketebalan 200 μ m, cahaya harus menembusnya secara sempurna dengan distorsi minimal untuk mencapai elemen fotosensitif. Network neuron retina (unit fungsional) tersusun rapih dan berulang untuk memastikan wilayah cakupan yang adekuat pada permukaan retina sehingga signal dari dunia luar adekuat pula. Terdapat 5 tipe neuron retina yaitu: fotoreseptor (kerucut dan batang); sel horisontal (terdapat 2 tipe utama); sel bipolar (terbagi atas bipolar tipe batang yang hanya terdapat satu tipe, bipolar tipe kerucut yang terdiri dari 12 tipe yang berbeda); sel amakrin (terdiri dari 30 tipe); dan sel ganglion (terdiri dari 20 tipe yang berbeda). Neuron-neuron retina memiliki fungsi yang berbeda

sesuai dengan kelas dan klasifikasinya menurut susunan hierarkinya; setelah cahaya terabsorpsi dan eksitasi dari sel batang dan kerucut, signal visual harus melalui suatu kaskade neuron lainnya (pertama sel bipolar dan horisontal, kemudian sel amakrin), untuk mencapai titik akhir dari transmisi di retina, yaitu sel ganglion dimana aksonnya berkumpul membentuk nervus optik dan membawa signal ke sentral visual di otak. Ilmu terdahulu menyatakan bahwa sel fotoreseptor, sel bipolar dan sel ganglion dianggap sebagai modulator interneuron dengan susunan horizontal. Tetapi terdapat pengecualian terhadap pengetahuan ini, sel amakrin terbagi dalam 2 kategori yaitu neuron "wide-field" dan "small-field." Kategori *wide-field* dikatakan demikian karena susunannya secara lateral dan lebih luas dan melakukan "*lateral integration*," sementara *small-field* dimasukkan sebagai komponen inti dari *vertical retinal pathway*.³

Setiap tahapan dari pathway retina (contohnya dari fotoreseptor hingga sel bipolar) tidak hanya mengindikasikan suatu konduksi dan transfer informasi tetapi menggambarkan suatu integrasi, elaborasi dan proses yang dilakukan oleh suatu network neuron. Elaborasi bergantung pada kelas sel yang melakukan tugas yang berbeda disaat yang berbeda dan dalam satu kelas terdapat neuron yang berbeda dari segi morfologi dan fungsi. Tipe sel retina terdefinisi berdasarkan fitur yang spesifik, yaitu morfologi, ukuran, susunannya pada lapisan plexiform dalam, densitasnya di permukaan retina, dan ciri khas molekuler yang sangat berbeda satu sama lain. Setiap tipe melakukan tugasnya yang berbeda dalam suatu fungsional unit yang biasanya paralel, sehingga jika ada signal cahaya yang masuk di suatu jalur paralel, maka masing masing tipe akan terstimulus terhadap rangsangan cahaya. tipe dari sel retina ini akan bekerja sesuai dengan pembagian fungsionalnya dalam menilai properti tertentu dari stimulus cahaya; yaitu komposisi kromatik, intensitas kecerahan, kontras, dll.³

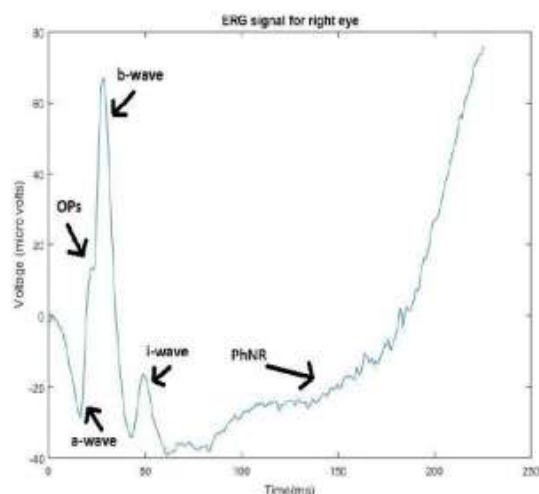
Terdapat dua jaras paralel untuk penglihatan; satu bermula dari segmen luar retina yang berdasarkan fotoreseptor kerucut dan batang dan yang lainnya dari segmen dalam retina yang mendeteksi kecerahan visual. Dapat disimpulkan bahwa sel ganglion dapat berkontribusi terhadap fungsi *non-image-forming* seperti ritme sirkadia, perilaku, reaksi pupil dan dan visus mesopik.³

ELEKTRORETINOGRAPHY

Retina merupakan bagian perifer dari otak dan termasuk dalam susunan saraf pusat. Retina terbentuk dari neuron dan glia yang berfungsi dengan metode yang kompleks dan bukan dalam suatu proses perputaran signal yang sederhana maupun seperti suatu kamera yang mengambil gambar saja. Melainkan sensor khusus berupa fotoreseptor akan melakukan transmisi yang diinisiasi oleh cahaya dalam suatu fungsional dari 60 tipe neuron yang terstruktur, menjadikan cahaya sebagai sumber informasi untuk menentukan intensitas, kromatik, kontras, pergerakan dan posisi. Sebagian besar informasi yang ditangkap akan disalurkan ke pusat visual di otak oleh nervus optik menggunakan kode kompleks khusus yang sebagian darinya belum dapat dipecahkan. Cahaya yang sampai ke fotoreseptor dan neuron retina yang fotosensitif merupakan informasi yang terkode sebagai informasi temporal terhadap perubahan waktu siang dan malam serta perubahan musim.^{3,4}

ERG merupakan representasi grafis dari perubahan *field potential* pada mata oleh suatu rangsangan cahaya. secara klinis biasanya digunakan sebagai alat untuk menilai integritas fisiologis dari retina tetapi sering kali digunakan untuk kepentingan penelitian pada manusia dan hewan. Proses perekaman ERG tidak invasif dan mudah, sebuah elektroda dipasang pada kornea atau daerah dekat kornea dan elektroda lainnya diletakkan dimana saja pada tubuh pasien. Perubahan *field potential* yang berhubungan dengan arus ekstraseluler pada retina yang disebabkan oleh stimulus visual direkam. Beberapa tipe sel yang ada di retina akan memberikan respon yang berbeda pula sehingga ERG memiliki potensi diagnostik yang tinggi. Panjang signal ERG biasanya 200 milidetik, 80 milidetik pertama yang paling esensial karena mencakup komponen ERG yang terbanyak. Retina memiliki sekitar 120 juta sel batang dan 6 juta sel kerucut, sehingga dapat diartikan bahwa ERG merupakan respon yang didominasi oleh sel

batang. Respon sel batang dan sel kerucut dapat dipisahkan menggunakan settingan pemeriksaan yang berberda seperti warna, amplitudo, dan intensitas dari cahaya stumulator saat pemeriksaan.⁸



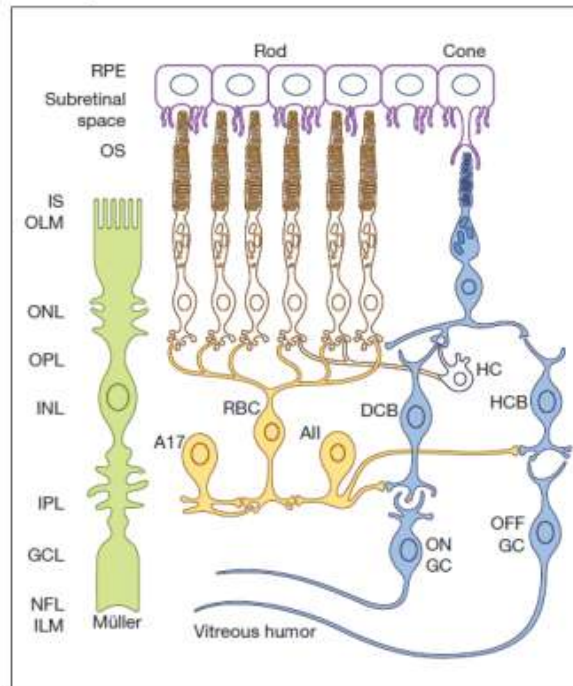
Gambar 4. Grafik pada pemeriksaan elektoretinogram.⁸

Secara umum, ERG dapat dibagi menjadi 3 komponen, dan di tiap komponen tersebut dihubungkan dengan tahapan dari transferya informasi visual yang melewati retina. Ragnar Granit mengkategorikan ERG setelah diberikan anestesia sebagai PI, PII, dan PIII. Granit melakukan penelitiannya dengan memberikan level anestesia yang berbeda terhadap kucing dan untuknya, beliau memenangkan Hadiah Nobel untuk *Physiology and Medicine* tahun 1967. Esensinya ERG menilai amplitudo, dan keterlambatan dari munculnya komponen tersebut sehingga dapat ditentukan aspek kualitatif dan kuantitatif dari gelombang ERG. Terminologi PI-PIII masih digunakan hingga hari ini, tetapi komponen ERG lebih dikenal dengan gelombang-a, gelombang-b dan seterusnya, dan masing masing punya equivalen terhadap PI-PIII.^{2,4}

Saat dilakukan pemisahan pada respon retina karena setiap respon dapat memberikan pengukuran yang akurat dari amplitudo gelombang A dan gelombang b dan puncak (peak) waktu dan pemeriksaan ini dapat diambil dengan memisahkan respon sel batang dan sel kerucut. Salah satu cara dalam

9

memisahkan respon sel batang dan sel kerucut adalah dengan mengganti warna dari cahaya yang menjadi stimulator. Sensitivitas panjang gelombang tertinggi dari sel batang adalah 510 nm, dan diketahui sebagai respon *skotopik*, dan sensitivitas tertinggi dari sel kerucut adalah 560 nm dan didefinisikan sebagai respon *photopic*.^{4,5}



Gambar 5. Skematik dari jalur batang dan kerucut pada retina mamalia. Sel-sel yang berwarna biru merupakan jalur cone pathway; sel-sel kuning merupakan jalur rod pathway primer.⁴

ERG terbentuk akibat arus radial dari neuron retina atau efek dari perubahan konsentrasi Kalium (K⁺) ekstraseluler yang dipengaruhi oleh sel glia retina. ERG merupakan hasil dari perubahan konduksi lokal pada membran sel yang teraktivasi yang menyebabkan masuknya dan keluarnya arus listrik. Arus listrik ini menjalar hingga ruang ekstraseluler dan menghasilkan "extracellular potential." Disaat terjadi aktivasi sel yang bersamaan (sinkronisasi) ke arah yang sama, maka akan membuat perubahan "extracellular potential" yang disebut "field potential" yang cukup kuat sehingga dapat direkam dari jarak yang relatif jauh (kornea). Secara prinsipil, semua neuron di retina menghasilkan arus listrik yang bersumber dari cahaya,

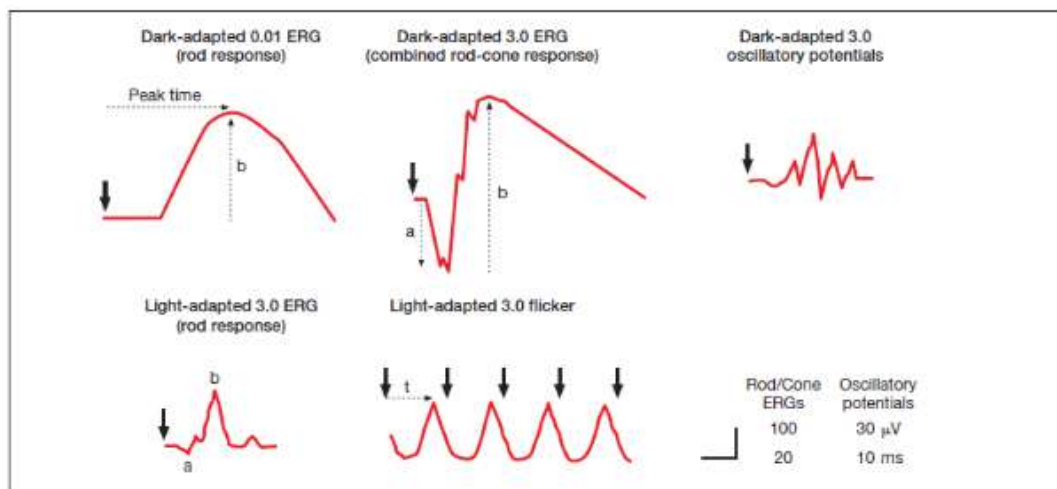
maka otomatis akan membuat “retinal field potential.” Akan tetapi beberapa faktor memengaruhi besar kecilnya kontribusi suatu sel terhadap “field potential”.^{4,5}

Faktor penting yang mempengaruhi efek suatu sel terhadap stimulus pada pemeriksaan ERG adalah orientasinya di retina. Neuron yang tersusun secara radial (fotoreseptor dan sel bipolar) serta sel glia (sel muller dan retinal pigmen epitelium (RPE)) memberikan kontribusi yang besar pada pemeriksaan ERG dibandingkan dengan sel yang berorientasi lateral atau irreguler (sel horisontal dan sel amakrin). Arus listrik yang terbentuk dan terbaca oleh ERG memasuki “extra cellular space” atau ESC pada suatu kedalaman retina (current source) dan akan kembali ke sel pada kedalaman lainnya (current sink), sehingga terbentuk aliran *dipole*. Sebagian besar dari arus berpindah dari *source* ke *sink* di dalam retina, tetapi sebagian dari arus tersebut berpindah hingga extra-retina melalui vitreus humor, jaringan ekstraokuler, sklera, koroid dan RPE dan kembali ke neural retina.^{4,8,9}

Polaritas dan amplitudo dari rekaman ERG akan bergantung pada lokasi dari elektroda. Elektroda yang letakkan pada kornea memberikan signal yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda yang dipasang pada kulit. Faktor lain yang mempengaruhi magnitude dari kontribusi sel terhadap rekaman ERG adalah stimulus yang diberikan, contohnya kekuatan dari stimulus dan panjang gelombang (wavelength), iluminasi dari latar (menentukan kemampuan adaptasi retina), durasi dan selang waktu antar stimulus, dan lokasi dari stimulus dihubungkan dengan lapang pandangan. Perbedaan sifat dari stimulus diatas akan menentukan efek yang berbeda pula terhadap sel-sel yang ada di retina. Contohnya, kontribusi dari tiap sel di retina terhadap rekaman ERG akan berbeda pada kondisi ruangan gelap (scotopik) maupun ruangan terang (photopic).^{4,8,9}

Buffering di ruang ekstraseluler dari ion Kalium pada sel Muller, sel RPE dan astrosit pada papil nervus optik yang

tersusun secara radier merupakan mekanisme penting dalam memulai arus listrik pada beberapa komponen ERG.⁴



Gambar. 6. ERG standar dengan stimulasi full field yang direkomendasikan oleh Internal Society for the Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV) untuk standarisasi klinik internasional. Panah tebal menunjukkan waktu saat stimulus cahaya diberikan. Panah titik menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai puncak dan juga menggambarkan tinggi dari amplitudo.¹⁰

STANDARD FULL FIELD ERG

ERG pada manusia direkam pada kornea dan distimulasi oleh stimulus *full field* merupakan suatu respon yang dilakukan oleh sel dari keseluruhan retina. Untuk mendapatkan amplitudo dan waktu dari respon tersebut, perlu dilakukan stimulus dan latar cahaya yang homogen dan mencakup seluruh retina, sehingga seluruh reseptor terstimulasi dan beradaptasi secara homogen. Stimulator Ganzfeld atau full field memberikan stimulator homogen. Pemeriksaan ini menggunakan kubah hemisferis berukuran 40 cm dengan lampu stroboskopik xenon yang ditempatkan di atas kubah. Stimulus seperti ini dianjurkan oleh Society of Clinical Electrophysiology for Vision (ISCEV) Standards committee secara internasional.^{4,10}

Kontribusi sel-sel retina terhadap elektroretinogram flash dan flicker pada pemeriksaan standar

Gelombang – a	Fotoreseptor Adaptasi gelap: sel cones, Adaptasi terang: sel cones Kontribusi postreceptoral yang terlambat berasal dari off Cone (hiperpolarisasi), sel bipolar (HCB) dan sel yang lebih proximal dari OFF pathway
Gelombang – b	Bipolar Adaptasi gelap: rod bipolar cell (RBC) Adaptasi terang: ON cone (depolarizing bipolar cells: DCB), OFF cone bipolar cells, dan horizontal (Hz) sel feedback melalui cones
Gelombang – d	Sel bipolar Sebagian besar adalah respon dari adaptasi terang: OFF cone bipolar cell, offset of cone photoreseptor dan offset dari ON cone bipolar cells
Oscillatory Potentials (OPs)	Amacrine dan ganglion, sel bipolar terminal
"30 Hz" fast flicker	Sel bipolar ON dan OFF cone bipolar sel, dan sedikit kontribusi dari cone photoreceptor

Kontribusi sel-sel retina terhadap elektroretinogram khusus	
Scotopic threshold response	Inner retinal neurons
pSTR	Sel Amakrin (monyet) Sel ganglion retina (tikus)
nSTR	Sel ganglion retina (monyet) Parsial dari sel ganglion retina (tikus, manusia?) Sel Amacrine Parsial dari sel amakrin Tegangan arus dari sel Glia
Photopic negative respos (PhNR)	Ganglion sel retina (manusia, monyet) Sel amakrin (tikus) Tegangan arus sel Glia
PatternERG (PERG)	Sel ganglion retina (manusia, monyet, tikus) Tegangan arus sel glia (transient PERG)
Multifocal ERG	Gelombang negatif dan positif memiliki asal yang serupa dengan gelombang a dan b pada ERG photopic (monyet, dan mungkin saja manusia)

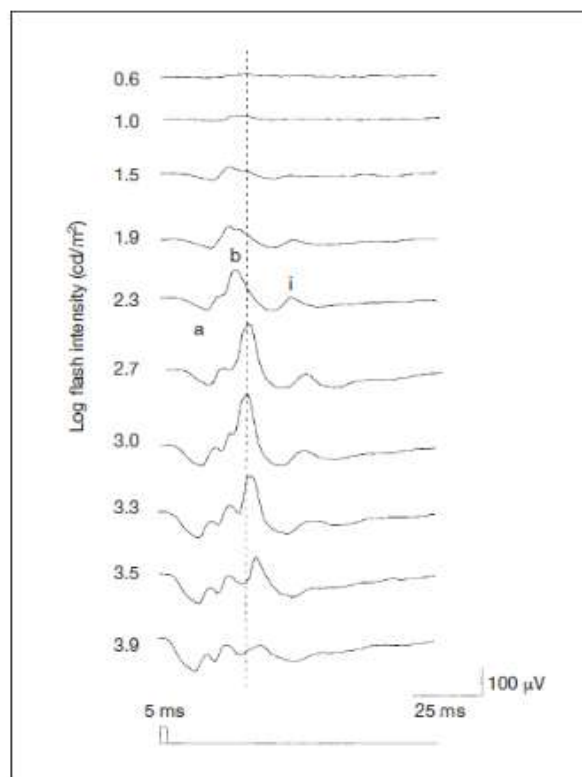
INTENSITAS STIMULUS VS RESPON ERG + KOMPONEN

Kondisi Skotopik

Pemeriksaan *full-field ERG* dilakukan dengan meningkatkan intensitas stimulus dari subjek yang normal setelah adaptasi dalam ruang gelap selama 1 jam. Kalibrasi untuk amplitudo dan waktu berbeda pada stimulus lemah dan kuat pada ERG. Iluminasi maksimal dari stimulus adalah (0 log unit) adalah 44.2 cd.m²/s

Kondisi Fotopik

ERG dengan kondisi fotopik dengan *short flash* distimulasi oleh peningkatan intensitas stimulus pada satu objek normal terlihat pada gambar dibawah. Pada stimulus rendah, amplitudo dari gelombang b meningkat dengan peningkatan stimulus hingga mencapai maksimal pada intensitas stimulus $3.0 \log \text{cd/m}^2$. Peningkatan yang lebih besar akan menghasilkan penurunan pada amplitudo gelombang b. Karena gelombang b memiliki bentuk huruf 'U' terbalik, maka fenomena tersebut disebut juga dengan *photopic hill phenomenon*.^{4.9}



Gambar 7. ERG fotopik dengan short flash yang tereksitasi dengan intensitas stimulus yang bervariasi dari subyek normal. durasi stimulus adalah 5 ms dan kontras iluminasi latar adalah 40 c/m^2 .

Garis vertikal merupakan titik 30 ms. Amplitudo b-wave akan meningkat sampai intensitas stimulus mencapai $3.0 \log \text{cd/m}^2$.

Amplitudo b-wave akan menurun dengan peningkatan intensitas stimulus yang melebihi $3.0 \log \text{cd/m}^2$, akan terbentuk gunung terbalik (huruf U); hal ini dinamakan *photopic hill phenomenon*.¹¹

KOMPONEN ERG: GELOMBANG-A

Gelombang-a berasal dari sel kerucut dan sel batang dari retina dan merupakan respon visual pertama dari signal ERG. Gelombang-a biasanya menunjukkan fisiologi normal dari fotoreseptor retina. Gambaran gelombang dari ERG merupakan gambaran negatif dimulai dari baseline (pre-stimulus) hingga selesainya gelombang-a. Bentuk dari gelombang-A sangat bergantung pada tipe respon ERG. Pada respon *photopic*, gelombang-a merupakan pengukuran dari lapisan terluar dari retina.^{3,12,13}

Light adapted a-wave (Photopic)

a-wave pada ERG photopik lebih kecil dibandingkan dengan ERG scotopik, sehingga menunjukkan perbedaan jumlah densitas sel batang dan kerucut. Pada manusia (5% dari fotoreseptor adalah kerucut). Amplitudo dari a-wave berkurang oleh ionotropic glutamate reseptor antagonis PDA (cis 2,3-piperidine dicarboxyl acid) yang akan menghambat kainate dan reseptor AMPA dari bipolar tipe OFF, sel horizontal dan sel retina di lapisan dalam. APB (L-2-amino-4-phosphobutyric acid) akan mengeliminasi b-wave, tetapi tidak mengurangi amplitudo pada a-wave.¹⁴

KOMPONEN ERG: GELOMBANG-B

Gelombang-a akan diikuti oleh defleksi positif dari kornea (komponen Granit's PII) yang disebut juga dengan gelombang-b. Kedua sel batang dan kerucut dapat memberikan gambaran gelombang-b, dan semua sel bipolar untuk sel batang dan beberapa sel bipolar untuk kerucut (tipe ON). Sel bipolar yang hiperpolarisasi (OFF) dan sel horizontal juga berperan dalam membentuk bagian menurun setelah puncak gelombang-b. Gelombang-b diukur dari selesainya gelombang-a, hingga ke bagian puncak dari gelombang-b, dan waktu dari diberikannya stimulus cahaya, hingga puncak dari gelombang-b. Stimulus cahaya yang redup akan memberikan amplitudo yang kecil, dan

waktu implicit yang lama. Stimulus cahaya yang terang memberikan amplitudo yang kecil dan waktu implicit yang pendek.^{15,16,17,18}

Gelombang-b terbentuk oleh sel ON bipolar dari retina, tetapi terdapat penelitian yang menunjukkan bahwa gelombang-b juga merupakan respon dari sel Muller. Gelombang-b menggambarkan kesehatan dari lapisan dalam retina. Tidak seperti gelombang-a, gelombang-b tidak berubah bentuk secara bermakna terhadap tipe stimulus yang dilakukan saat pemeriksaan.^{9,12,19}

Hiperpolarisasi dari fotoreseptor menyebabkan penurunan neurotransmitter yang dilepaskan, yang pada akhirnya menyebabkan depolarisasi dari sel bipolar post sinaptik. Depolarisasi sel bipolar menyebabkan peningkatan kadar kalium ekstraseluler dan membuat arus yang transien. Arus transien inilah yang akan menjadikan sel Muller yang tersusun secara radial untuk membuat defleksi positif kornea.^{4,14}

KOMPONEN ERG: GELOMBANG-I

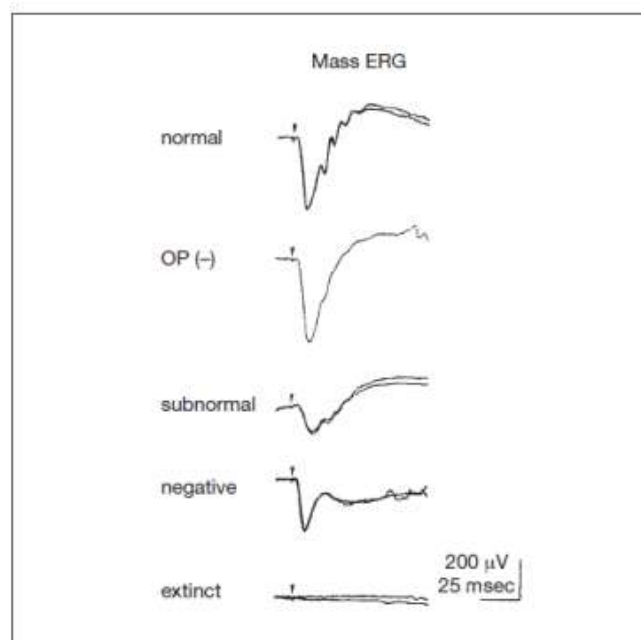
Gelombang-i adalah komponen ERG yang menunjukkan peningkatan positif setelah gelombang-b, dan muncul terhadap respon ERG. Gelombang-i tidak muncul di semua settingan ERG, sehingga bisa disimpulkan bahwa ia merupakan suatu respon yang menyangkut sel kerucut. Gelombang-i terinisiasi saat respon ERG *photopic* saat intensitas cahaya disetting untuk mengoptimalkan respon dari sel kerucut. Bagian ini muncul sebagai gundukan positif kecil yang muncul sekitar 50 ms yang akan menurun setelahnya dan PhNR akan mulai muncul setelah gelombang-i. Gelombang-i diduga berasal dari bagian dalam retina terutama dari sel ganglion.^{4,5}

1

PHOTOPIC NEGATIVE RESPONSE

Photopic negative response (PhNR) dalam sebuah ERG adalah gelombang negatif yang muncul setelah gelombang-b. PhNR merupakan respon dari sel ganglion retina. Analisa dari

respon negatif ini menentukan penyakit-penyakit retina yang mengenai sel ganglion. Pada pasien glaukoma terdapat penurunan amplitudo PhNR yang meningkatkan gelombang-i dan membuatnya lebih mudah terdeteksi. PhNR muncul pada "light-adapted ERG." PhNR diduga muncul akibat aktivitas sel ganglion retina yang meningkat.^{4,5}



Gambar 8. Hasil dari mixed rod-cone ERG dapat berupa 5 hal: normal, OP(-) yaitu penurunan oscillatory potential; subnormal dimana a- b-wave melandai dengan intensitas yang sama; negatif, dimana amplitudo b-wave lebih rendah dari amplitudo a-wave; extinct, dimana tidak didapatkan a- dan b-wave.⁴

OSCILLATORY POTENTIALS

Oscillatory potentials (OPs) terbentuk oleh sel amakrin di lapisan dalam retina. pontesi nya mengikuti setelah gelombang-b, biasanya merupakan frekuensi tertinggi dari seluruh komponen ERG dan kurang dari sisi amplitudo. OPs terbentuk pada beberapa penyakit retina seperti Retinitis Pigmentosa, retinopati diabetik dan kondisi lainnya. Wavelets yang muncul dapat sejumlah 4 sampai 10 tergantung kondisi dan stimulus. Dalam suatu observasi, sel amakrin diduga dapat menginduksi Oscillatory Potential, tetapi kematian sel amakrin tidak

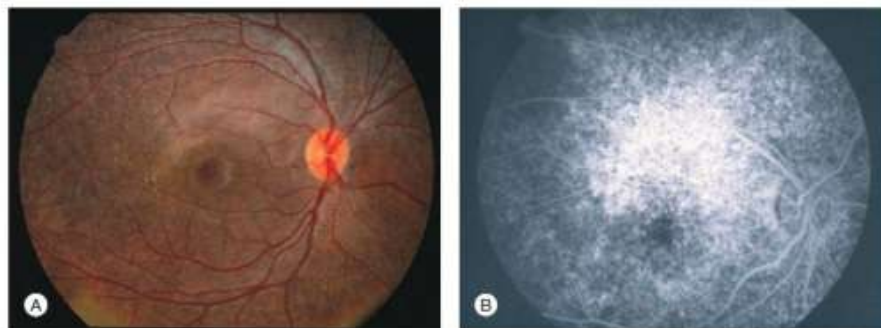
memberikan OPs loss sehingga pengaruhnya terhadap OPs masih dipertanyakan.^{4,5}

BRIGHT FLASH MIXED ROD-CONE ERG

ERG yang diukur menggunakan cahaya yang terang setelah adaptasi di ruang gelap selama 30 menit atau lebih menunjukkan respon dari sel batang dan kerucut, yang kemudian akan memberikan informasi mengenai patologi pada retina dan memiliki nilai diagnostik yang tinggi.^{4,5}

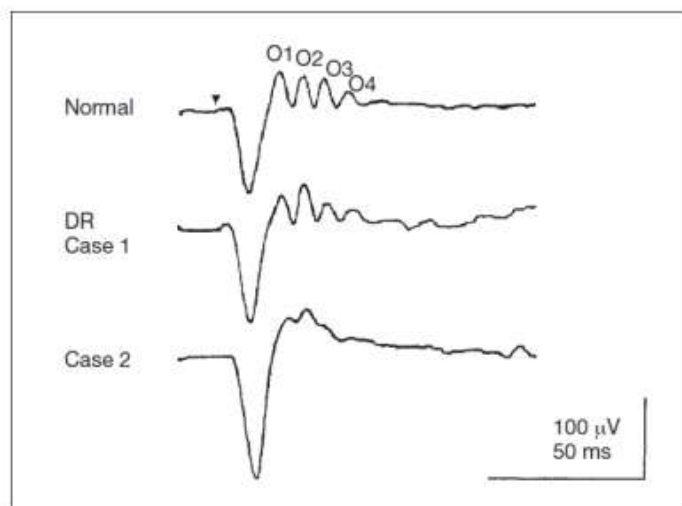
Sekitar 70% dari informasi yang diperlukan dari ERG didapatkan dari pemeriksaan mixed rod cone ERG. Terdapat 5 gambaran hasil ERG mixed rod-cone ERG¹⁹ yaitu:⁴

1. Normal. gambaran normal ERG dari bright flash mixed rod-cone ERG menunjukkan a-wave, b-wave dan Ops. Amplitudo dar b-wave lebih tinggi dari a-wave pada stimulus normal. gambaran ERG normal dapat terlihat pada kondisi localized macular dysfunction, penyakit-penyakit di nervus optik, dan penyakit central nervous system (CNS) seperti ambliopia. Gambaran abnormal pada funduskopi seperti pada pasien rubella retinopathy, ocular albino pada carrier perempuan dan choroideremia dapat menunjukkan ERG yang normal.⁴



Gambar 9. Foto fundus (A) dan FFA (B) pasien dengan rubella retinitis. ERG pasien tersebut normal.²⁰

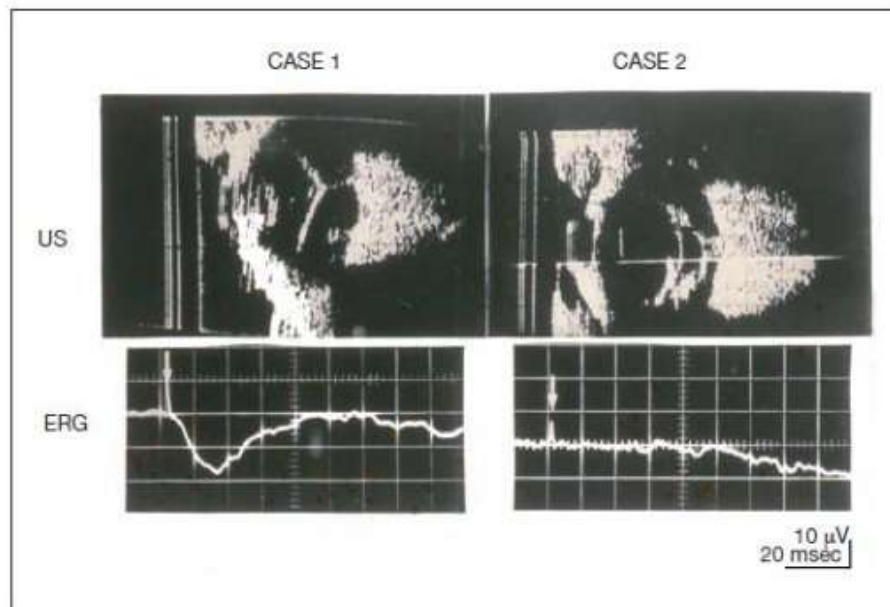
- Oscillatory potential yang abnormal. OP yang abnormal dapat berupa reduksi dari amplitudo atau keterlambatan dalam implicit time, atau keduanya. OP abnormal didapatkan pada kasus awal diabetik retinopathy, atau pada kondisi awal gangguan sirkulasi di retina seperti CRVO.^{4,5}



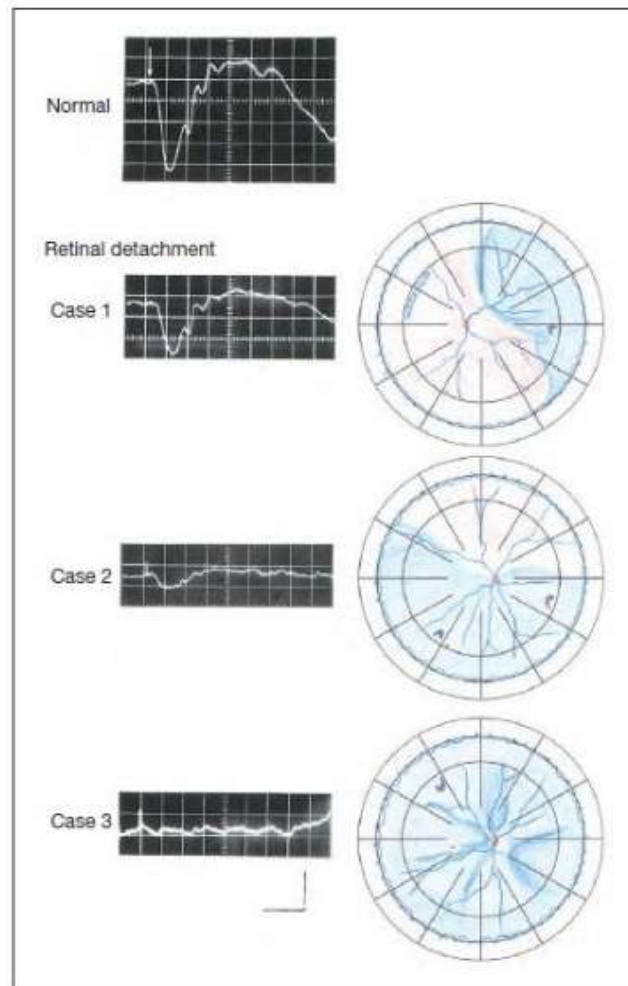
Gambar 10. Oscillatory potential pada pemeriksaan ERG full-field dari orang normal (atas) dan dua pasien dengan diabetik retinopathy (case 1 dan case 2). Pada case 1 OPs terlihat memiliki delayed implicit time dan pada case 2 didapatkan penurunan amplitudo.²⁰

- Subnormal. Amplitudo dari semua komponen ERG berkurang hingga amplitudonya serupa. Kondisi ini terlihat pada pasien-pasien dengan kerusakan fotoreseptor lokal, seperti retinal detachment atau retinal degeneration sektoral. Hal ini juga terlihat pada mata yang telah dilakukan panretinal fotokoagulasi. Setelah PRP, amplitudo komponen ERG akan berkurang hingga 40-45%, tetapi rasio b-wave: a-wave (b/a) tidak berubah secara signifikan. Saat media refrakta keruh akibat perdarahan vitreus dan fundus tidak dapat dilihat, menentukan ada tidaknya retinal detachment perlu dilakukan sebelum operasi. Dengan menggabungkan

ERG dan USG, maka retina yang terlepas dan membran vitreus yang tebal dapat dibedakan.^{4,5}



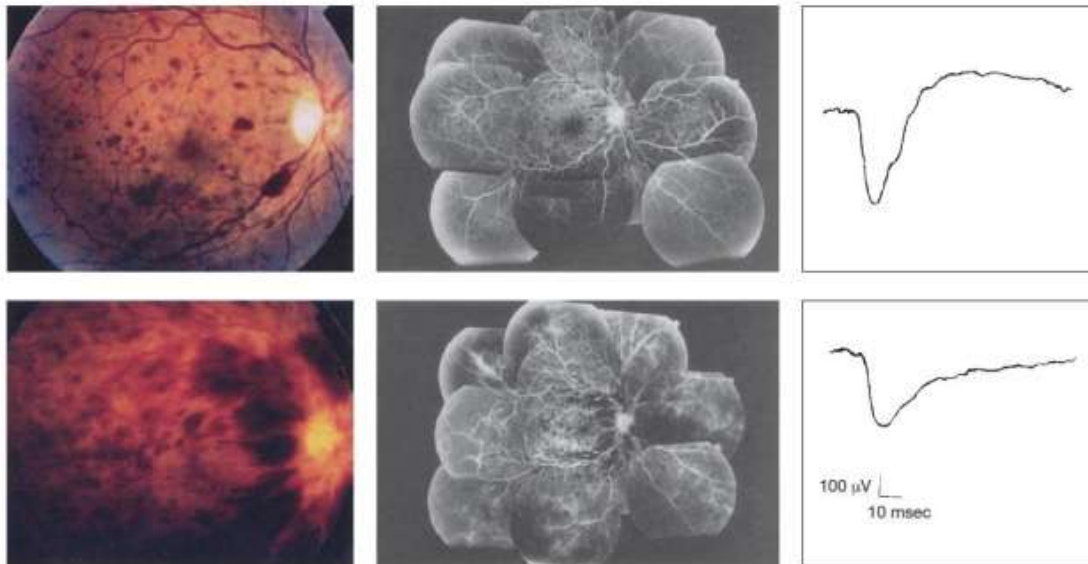
Gambar 11. USG pada gambar atas dan mixed rod-cone ERG di bawah pada dua mata yang berbeda dengan perdarahan vitreus. Kedua USG menggambarkan seperti adanya membran tebal di cavum vitreus. Saat ERG dilakukan, kasus satu menggambarkan adanya amplitudo walaupun sedikit yang berarti membran tersebut kemungkinan tidak sepenuhnya retinal detachment. Pada kasus 2, ERG yang muncul tidak ada amplitudo yang mengindikasikan bahwa membran tebal tersebut kemungkinan besar adalah retinal detachment total.⁴



Gambar 12. Mixed rod-cone (bright flash) ERG di sebelah kiri dan gambaran fundus di sebelah kanan dari 3 pasien dengan rhegmatogenous retinal detachment. Penurunan amplitudo ERG berkoresponden dengan luasnya retinal detachment.⁴

4. Negative. ERG negative memberikan gambaran amplitudo b-wave yang lebih kecil dari a-wave (b/a ratio <1.0). Negative ERG merupakan alat diagnostik yang sangat membantu untuk prognostik dan diagnostik pada penyakit-penyakit retina. ERG negative dapat ditemukan pada kondisi retina dengan gangguan sirkulasi, contohnya CRVO, atau diabetik retinopathy. Pada CRVO tipe iskemik lebih sering menghasilkan ERG negative dibandingkan tipe noniskemik,

yang menandakan bahwa b/a ratio adalah hal penting dalam menentukan prognosis.^{4,5,}

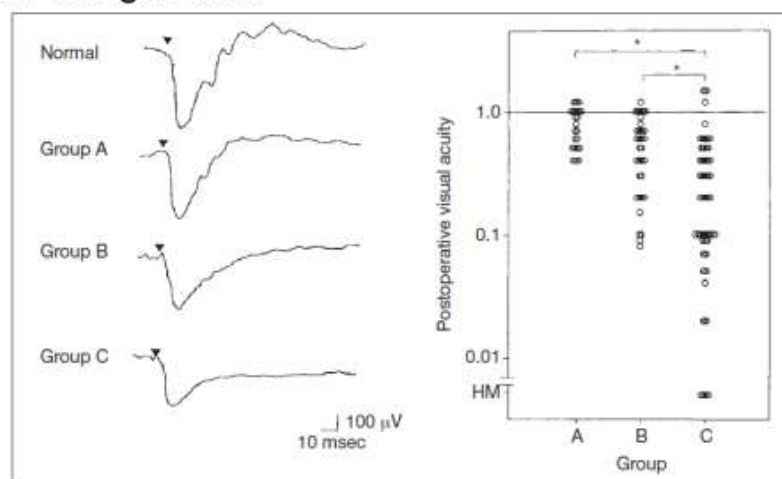


Gambar 13. Gambar diatas diambil dari pasien dengan CRVO. Foto fundus di sebelah kiri, FFA di tengah dan ERG di kanan. Saat kunjungan pertama (atas) didapatkan tidak ada pola noniskemik di foto fundus maupun FFA. Sebulan kemudian setelah pasien kontrol, terdapat area nonperfusi di pemeriksaan FFA dan gambaran ERG menjadi gelombang yang negatif.²⁰

Pada pasien dengan perdarahan vitreus sulit untuk dilakukan pemeriksaan funduskopi, maka akan sulit pula untuk memprediksi prognosis visual setelah operasi. pada pasien tersebut, amplitudo ERG dapat menurun akibat dari patologi yang disebabkan oleh penyakit itu sendiri, riwayat PRP, dan perdarahan vitreus. Kembali lagi bahwa b/a ratio merupakan indikator penting dalam menilai prognosis pasien setelah vitrektomi. Semakin rendah b/a ratio nya, maka semakin rendah juga prognosis visual post op.⁴

Telah dilakukan suatu penelitian mengenai hasil mixed rod-cone ERG dengan visual outcome pasien dengan perdarahan vitreus akibat diabetik retinopathy. Kelompok A adalah pasien dengan b/a ratio >1.0 dan OPs dapat terdeteksi.

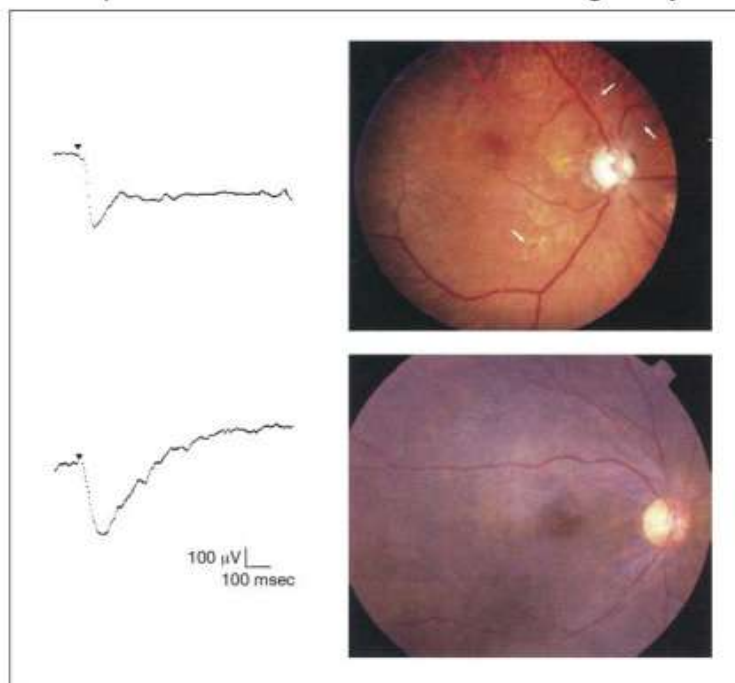
Kelompok B adalah pasien dengan b/a ratio >1.0 tetapi OPs tidak terdeteksi. Kelompok C adalah pasien dengan b/a ratio <1.0 dan OPs tidak terdeteksi. Intraop didapatkan jaringan proliferasif yang tebal di diskus optik pada 36% pasien kelompok A, 67% pasien di kelompok B dan 90% pasien di kelompok C. Diduga bahwa jaringan proliferasif fibrous ini mengkompresi arteri retina sentralis sehingga mengganggu perfusi retina. Didapatkan pula persentase prognosis visual lebih baik pada kelompok A dibandingkan dengan kelompok B dan C, walaupun ada pula pasien dengan visual outcome yang baik pada kelompok C yang mengindikasikan bahwa b/a ratio < 1.0 bukan suatu kontraindikasi untuk dilakukan vitrektomi. Perlu diketahui juga bahwa pada pasien perdarahan vitreus, cahaya yang sampai di retina akan berkurang, maka intensitas cahaya untuk stimulasi ERG perlu ditingkatkan.⁴



Gambar 14. Full-field ERG preoperative dilakukan pada kontrol orang normal, dan 3 pasien dengan perdarahan vitreus dan dikategorikan ke 3 kelompok. Visual outcome pasien pada kelompok C lebih buruk dibandingkan dengan pasien di kelompok A dan B.¹¹

Prognosis visual dengan ERG juga dapat digunakan pada pasien dengan endoftalmitis setelah dilakukan implantasi intraokuler. Mata dengan endoftalmitis onset awal (1 minggu)

dengan b/a ratio <1.0 memiliki prognosis visual yang lebih buruk dibandingkan dengan endoftalmitis dengan onset lambat dengan b/a ratio >1.0 . Hasil ERG ini akan menentukan urgensi untuk dilakukan tindakan vitrektomi. Jika ratio b/a <1.0 maka vitrektomi perlu dilakukan segera, dan jika ratio b/a >1.0 maka vitrektomi tidak perlu dilakukan secara emergency.⁴



Gambar 15. Kedua kasus diatas merupakan pasien dengan endoftalmitis setela pemasangan IOL. Kasus pertama memiliki gambaran ERG negatif dan dihubungkan dengan prognosis visual yang buruk post operasi. ERG dilakukan pre op sedangkan foto fundus dilakukan post operatif. Hasilnya pada pasien dengan ERG negatif, didapatkan oklusi pembuluh darah retina (panah putih), dan pasien tersebut memiliki visus yang rendah.²¹

ERG negatif didapatkan pada penyakit retina herediter, terutama jika amplitudo a-wave normal. secara diagnostik dapat pula ditemukan pada pasien dengan complete congenital stationary night blindness (CSNB), incomplete stationary night blindness, juvenile onset neuronal ceroid lipofuscinosis, dan infantile Refsum disease. CSNB memiliki gambaran fundus yang normal, tetapi visusnya buruk, sehingga dengan

pemeriksaan ERG dapat ditemukan kelainan dan memiliki nilai diagnostik tinggi. Gambaran ERG negative dapat membantu untuk membedakan penyakit CSNB dengan penyakit dengan fundus normal lainnya seperti amliopia, penyakit nervus optik, gangguan pada susunan saraf pusat atau occult macular dystrophy (OMD).^{4,5}

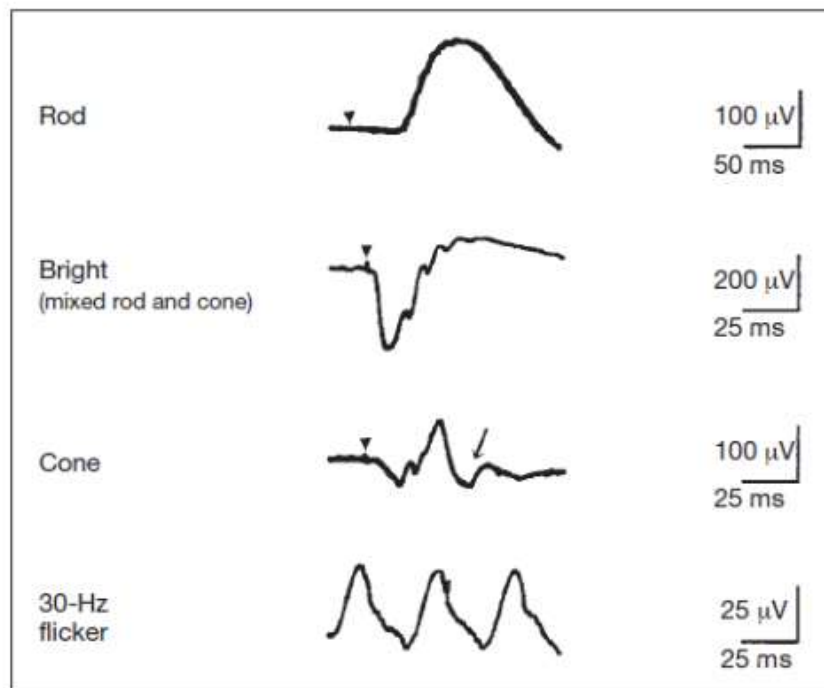
Jika terdapat amplitudo a-wave yang normal tetapi b/a ratio <1.0, maka kerusakan biasanya terjadi pada neuron lapis kedua. Jika amplitudo a-wave berkurang dan b/a ratio <1.0 maka terdapat dua interpretasi, pertama terjadi kerusakan pada bagian fotoreseptor disertai dengan kerusakan pada lapisan tengah neuron retina, contohnya pada retinitis pigmentosa, atau terjadi photopic hill phenomenon contohnya pada pasien dengan Oguchi disease atau fundus albipunctatus. Pada penyakit non hereditas, ERG negatif dapat muncul pada pasien dengan melanoma associated retinopathy, birdshot choroidopathy, ocular siderosis, quinine retinopathy dan keracunan methanol.⁴

5. Extinct ERG extinct dapat ditemukan pada stadium akhir dari rod-cone dystrophy, termasuk retinitis pigmentosa, gyrate atrophy atau choroideremia dan retinal detachment total. Pada kasus di atas walaupun makula masih baik, gambaran ERG akan tetap extinct. Retinopathy akibat kanker dan autoimun dapat pula menggambarkan ERG yang extinct.⁴

MEMISAHKAN KOMPONEN ROD DAN CONE PADA STANDARDIZED ERG

Walaupun jumlah sel batang 13 kali lebih banyak dari sel kerucut, sel batang memberikan kontribusi 20-25% pada amplitudo ERG. Agar signifikan secara diagnosis, perlu dilakukan pemeriksaan untuk melihat kedua fungsi fotoreseptor secara terpisah. Setelah 30 menit adaptasi di ruang gelap, rod (skotopik) ERG direkam dengan stimulasi cahaya yang rendah

sekitar -3.9 log unit. Mixed rod-cone ERG menggunakan intensitas cahaya 0 log unit. Cone dan 30-Hz flicker ERG direkam menggunakan stimulus cahaya dengan intensitas 3.3 log unit dengan latar iluminasi 40 cd.m^2 yang cukup adekuat untuk menekan fungsi sel rod/ batang. Pemeriksaan fotopik (cone dan 30 Hz flicker) dilakukan setelah 10 menit adaptasi di ruang terang (40 cd.m^2).⁴



Gambar 16. ERG standard full field dengan memisahkan komponen rod dan cone. Kepala panah menunjukkan onset stimulus. Panah menunjukkan photopic negative response.⁴

Cone Photoreceptor Dysfunction

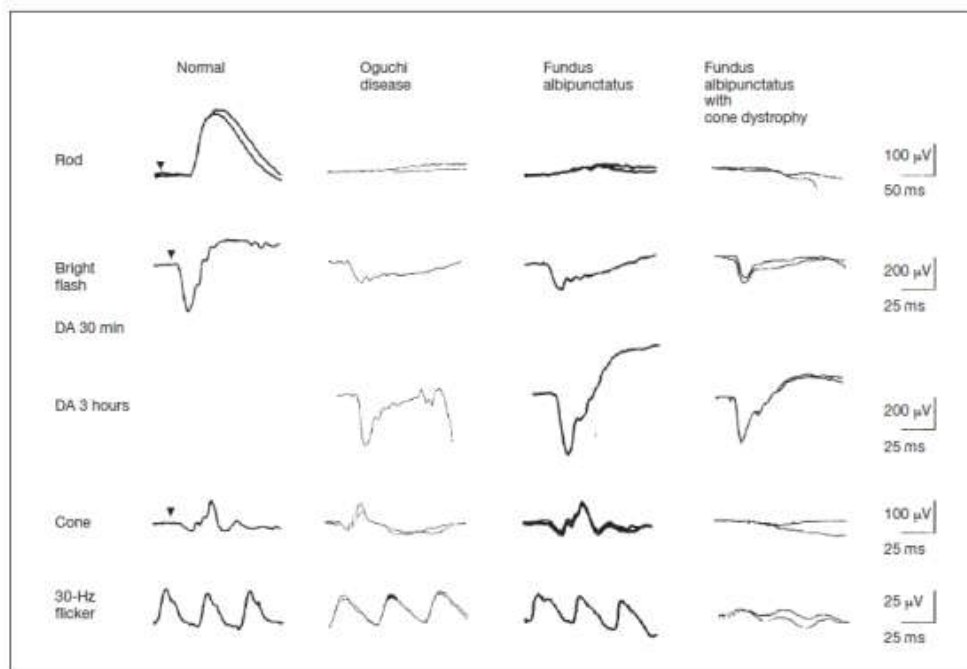
Gangguan congenital stationary berupa cone dysfunction dapat direpresentasikan dengan monokromatik rod yang diturunkan dengan gen autosomal resesif. Ditandai dengan hilangnya penglihatan warna, penurunan tajam penglihatan, nystagmus dan fotofobia. Terdapat pula bentuk inkomplit dari penyakit ini dimana penglihatan warna dan tajam penglihatan tidak terlalu buruk. Pada kedua tipe penyakit tersebut,

gambaran fundus dan FFA normal, dan cara mendiagnosis penyakit adalah hanya dengan melihat penurunan atau hilangnya komponen fotopik tapi komponen skotopik masih baik pada pemeriksaan ERG.^{4,5}

Rod Photoreceptor Dysfunction

Penyakit dengan disfungsi fotoreseptor rod kongenital adalah Oguchi disease dan FA, keduanya dikategorikan sebagai CSNB. Oguchi disease memiliki gambaran fundus yang berwarna putih keabuan. Gambaran fundus ini akan hilang setelah dilakukan adaptasi di ruang gelap, yang dinamakan fenomena Mizuo-Nakamura. Hanya fungsi sel batang yang abnormal dan akan terlihat setelah adaptasi ruang gelap selama 30 menit, tetapi gambaran ERG normal dapat ditemukan setelah adaptasi ruang gelap selama 2-3 jam. Pada Oguchi disease didapatkan a-wave dibawah normal dan EOG yang abnormal pula yang mengindikasikan adanya gangguan pada fototransduksi.^{4,5}

Fundus Albipunctatus (FA) digolongkan ke dalam tipe CSNB yang diturunkan dengan autosomal recessive. Gambaran fundusnya memiliki karakteristik berupa bagian-bagian putih kekuningan yang kecil tetapi banyak berbentuk bulat atau lonjong di lapisan RPE. Fungsi penglihatan terganggu saat melihat dalam kondisi adaptasi gelap. Pasien FA memerlukan waktu 2-3 jam adaptasi di ruang gelap untuk mencapai threshold atau respon fotopik maksimal.⁴



Gambar 17. Full field ERG pada pasien normal, **oguchi disease**, **fundus albipunctatus (FA)**, dan **FA disertai cone dystrophy**. Bright flash ERG direkam setelah adaptasi di ruang gelap selama 30 menit dan 3 jam.

Pada pasien dengan Oguchi disease, pengukuran full field ERG yg direkam setelah 30 menit adaptasi ruang gelap memperlihatkan hilangnya rod ERG dengan respon cone yang normal. mixed rod-cone ERG memberikan gambaran ERG negative dengan penurunan amplitudo a-wave dengan OPs yang normal. karena fungsi rod tidak ada, maka tampak photopic hill phenomenon. Konfigurasi negatif dengan a-wave yang normal setelah adaptasi ruang gelap selama 3 jam menunjukkan adanya kerusakan pada fungsi sel bipolar.

Pada pasien fundus albipunctatus, rod ERG tidak ada setelah adaptasi ruang gelap selama 30 menit tetapi menjadi normal setelah adaptasi ruang gelap selama 3 jam. Mixed rod-cone ERG setelah 30 menit adaptasi gelap menunjukkan konfigurasi negatif dengan a-wave yang rendah, seperti yang didapatkan pada pasien Oguchi, tetapi akan membaik setelah 3 jam adaptasi ruang gelap.¹¹

3

Rod-Cone atau Cone-Rod Photoreceptor Dysfunction

Pasien dengan cone-rod atau rod-cone dystrophy masuk secara klinis dan genetik ke dalam kelompok pasien dengan inherited retinal dystrophy dan penyakitnya progresif. Karakteristiknya berupa degenerasi yang luas yang mayoritasnya adalah cone (cone dystrophy) atau rod (rod dystrophy) pada stadium awal, dan pada tahap akhir penyakit menjadi degenerasi dari fotoreseptor yang tersisa (jika awalnya cone, tahap akhir rod juga akan degenerasi). Foto fundus pasien dengan penyakit cone atau cone-rod dystrophy tampak normal atau perubahan yang minimal pada tahap awal penyakit. Pada tahap ini pasien biasa terdiagnosa dengan penyakit lain seperti penyakit nervus optik, gangguan susunan saraf pusat, atau ambliopia. Perubahan ini akan berprogres menjadi bull's eye makulopati dan atrofi difus dari RPE pada stadium akhir. Pasien dengan rod-cone dystrofi memberikan gambaran abnormal pada penglihatan skotopik terlebih dahulu dan kemudian penglihatan fotopik. Penyakitnya termasuk retinitis pigmentosa, choroideremia, gyrate atrophy. Full-field ERG dibutuhkan untuk mendiferensiasikan antara cone-rod dan rod-cone distrofi, terutama pada stadium awal.⁴

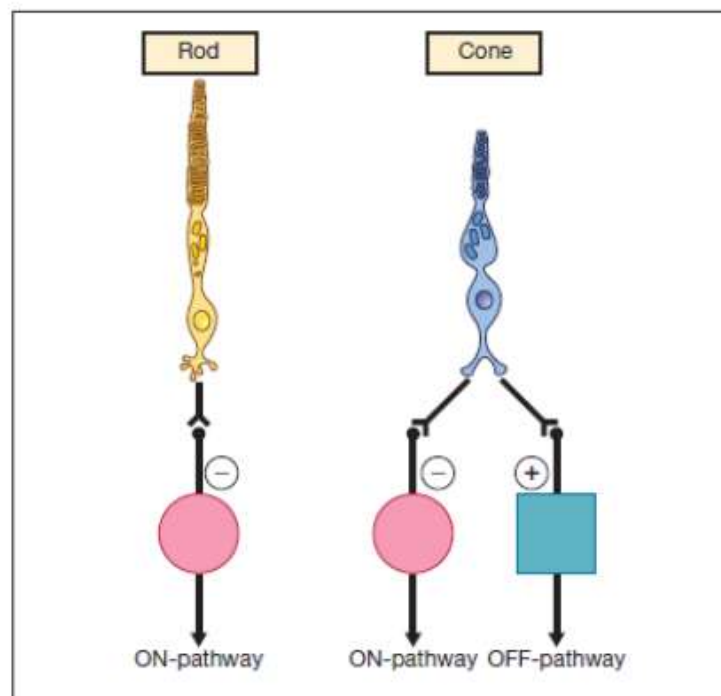
Second Order Neuron Dysfunction

Fotoreseptor mentransmisi informasi visual ke sel bipolar yang merupakan "second order neuron". Rod hanya akan menghantarkan impuls ke depolarizing bipolar sel (DBC), yang membuat ON visual pathway. Cone memiliki koneksi post sinaptik yang lebih bervariasi, ia akan bersinaps dengan DBC dan juga sel bipolar hiperpolarisasi OFF.⁴

CSNB complete dan incomplete merupakan penyakit dengan kelainan dari ON atau ON-OFF bipolar sel. X-linked CSNB memiliki gangguan produksi protein yang dibutuhkan pada jaras ON bipolar sel pada bagian postsinaptik. Protein tersebut dibutuhkan untuk proses depolarisasi. Hasil ERG nya akan menampilkan hambatan pada transmisi ON synaptik dari

fotoreseptor ke sel bipolar pada jaras rod dan cone, tetapi mempertahankan OFF pathway.⁴

Pada x-linked incomplete CSNB terjadi mutasi pada gen pembuat channel kalsium, sehingga terjadi gangguan pada saat terjadinya influx kalsium di rod dan cone. Kerusakan channel calcium ini akan mengganggu pelepasan dari neurotransmitter dari terminal presinaptik. Dapat disimpulkan bahwa pada incomplete CSNB terdapat defek inkomplit pada sinaps di jaras ON dan OFF bipolar pada sel rod dan cone.⁴



Gambar 18. Skema jaras rod dan cone. Fotoreseptor mentransmisi informasi visual ke sel bipolar yang merupakan *second order neuron*.

Rods hanya akan berhubungan dengan sel bipolar depolarising (DBC), dan membentuk ON visual pathway. Sedangkan cone memiliki koneksi post sinaps yang lebih luas, yaitu ke DBC dan juga ke hiperpolarizing OFF bipolar cells (HBC)⁴

Mixed rod-cone ERG menunjukkan konfigurasi negatif dengan a-wave yang normal pada kedua tipe CSNB dengan a-wave yang normal pada kedua tipe, tetapi OPs dapat direkam

dengan lebih baik pada tipe incomplete. Normal a-wave dan b-wave yang berkurang menggambarkan kedua tipe CSNB memiliki kelainan pada second-order neuron atau sinapsnya dalam jaras visual rod, dan bukan pada fotoreseptor rod itu sendiri. Rod ERG tidak terdeteksi pada CSNB complete tetapi ada pada tipe incomplete walaupun amplitudo berkurang. ERG cone dan flicker tampak normal pada CSNB complete kecuali a-wave dari cone ERG memiliki dasar yang plateau. Pada cone dan flicker ERG pasien incomplete CSNB, gambaran ERG nya menurun dan merupakan karakteristik penting dan memiliki signifikansi untuk mendiagnosa penyakit tersebut.⁴

X-linked retinoschisis (XLRS) merupakan distrofi vitreoretina yang bermanifestasi di awal kehidupan. XLRS merupakan penyebab sering dari penyakit makular degeneration juvenil pada laki-laki. Terbentuk kista intraretina di makula dan terjadi perpecahan dari lapisan retina di retina perifer. Pasien XLRS memiliki visus yang jelek dan akan memburuk seiring usia. Hipermetropia merupakan gejala yang sering mengikuti penyakit tersebut, dan banyak pasien XLRS terdiagnosa dengan ambliopia hipermetropia atau heterotropia saat usia muda. Mixed rod-cone ERG memiliki nilai diagnostik yang tinggi dengan konfigurasi negatif. ERG negatif akan muncul jika retinoschisis didapatkan di daerah fovea. Gambaran full field ERG yang didapatkan akan serupa dengan CSNB incomplete menggambarkan adanya kelainan pada fungsi jaras sel bipolar ON dan OFF pada jaras rod dan cone. Kelainan pada retinoschisis terjadi pada hubungan antara nerve fiber layer dan lapisan ganglion retina.⁴

ERG Fokal

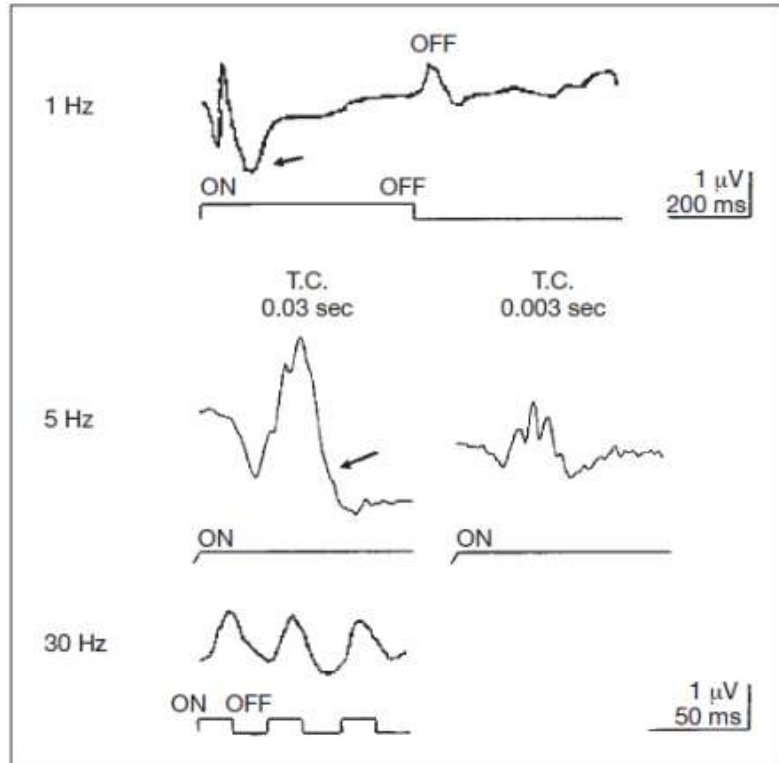
Untuk merekam respon ERG dengan stimulus focal, terdapat dua metode yang dapat dilakukan. Metode konvensional yaitu metode focal macular ERG yang memberikan gambaran gelombang yang serupa dengan ERG fotopik

konvensional dari suatu area khusus di makula. Keuntungan dari metode ini adalah analisis komponen ERG dapat dilakukan menggunakan konsep yang sama dengan full field fotopic ERG. dengan menganalisa beberapa komponen, lapis demi lapis dari fungsi retina dapat dievaluasi. Metode lain adalah multifocal ERG (mfERG) dimana focal ERG dapat direkam secara bersamaan dari lokasi retina yang berbeda.^{4,5}

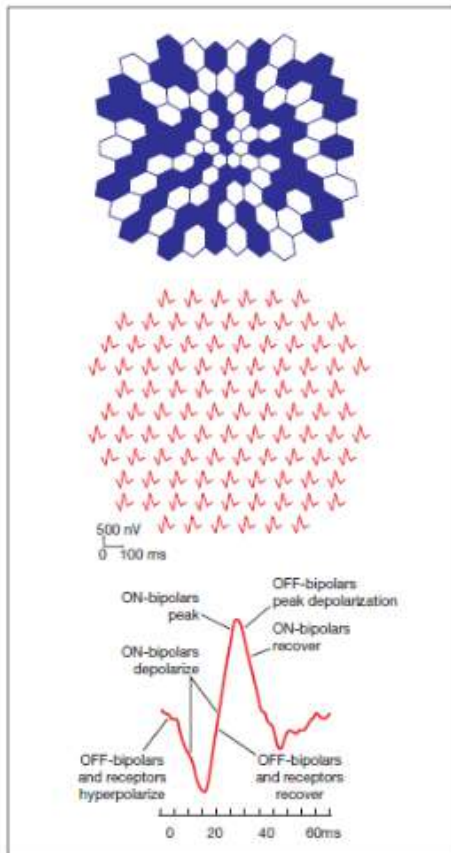
Focal macular ERG digunakan untuk mengevaluasi fungsi makula. Full-field ERG tidak dapat mendeteksi lesi kecil atau patogenesis di retina dan biasanya dengan gambaran normal pada penyakit-penyakit makula. Di sisi lain full field ERG bisa saja tidak terdeteksi saat hanya fungsi makula yang tersisa seperti pada retinitis pigmentosa.^{4,5}

Prinsip dari perekaman focal macular ERG adalah memberikan stimulus kecil pada makula dan merekam respon dari daerah yang terstimulasi menggunakan komputer. Untuk mengeliminasi cahaya yang terbias, iluminasi latar perlu digunakan untuk menekan sensitifitas dari area sekeliling stimulus. Dengan mengkombinasi stimulus focal dan iluminasi latar, respon focal dapat direkam. Penting juga untuk memonitor lokasi dari stimulus pada fundus saat perekaman, terutama pada mata dengan skotoma sentral, agar yakin bahwa hanya daerah makula yang terstimulasi. Pemeriksa akan merekam ERG sambil memonitor fundus dengan kamera fundus infrared di televisi. Semua komponen dari ERG fotopik dapat direkam; a-wave, b-wave OPs, PhNR, ON dan OFF serta 30-Hz flicker respons.^{4,5}

mfERG menggunakan stimulus sebanyak 64 atau 103 hexagon di atas $30\text{-}40^\circ$ dari lapang pandangan sentral. Dalam pemeriksaan tersebut, setiap hexagon akan berubah kontarsnya mengikuti pola random "m-sequence". mfERG biasanya direkam dalam kondisi fotopik dimana fungsi respon foveal sangat tinggi, dan penting untuk mendeteksi perubahan lokal dari fungsi retina yang tidak dapat terdeteksi dari full-field ERG, seperti pada pasien distrofi makula.^{4,5}



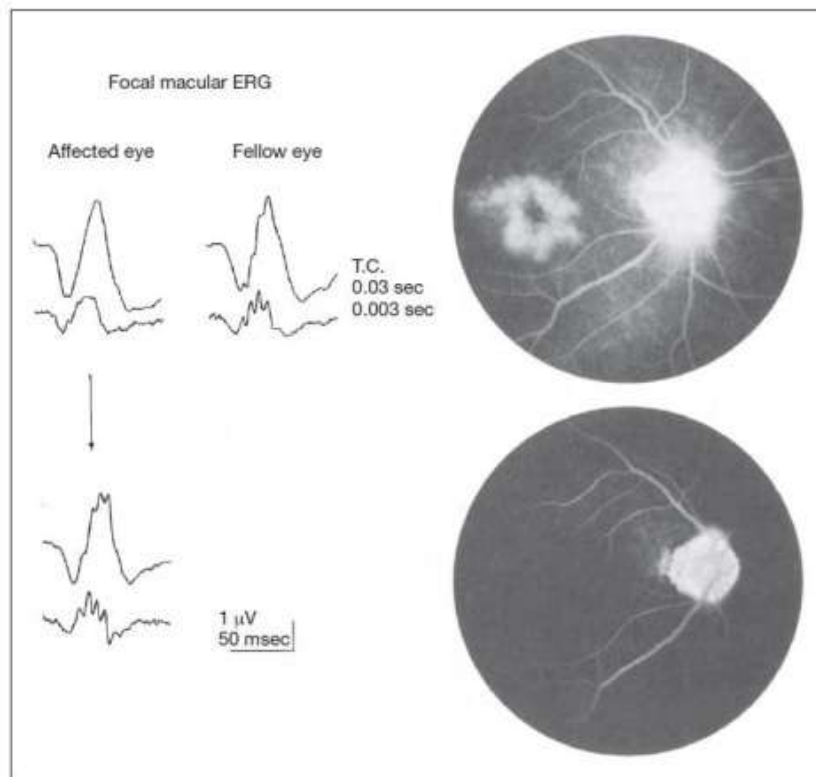
Gambar 19. Komponend dari fokal macular ERG yang direkam dari subjek normal. respon ON dan OFF direkam menggunakan stimulus berfrekuensi 1-HZ (atas). a-wave, b-wave, oscillatory potential yang direkam dengan 5-Hz (tengah). 30-Hz flicker respons (bawah). Tanda panah menunjukkan photopic negative respons.²⁰



Gambar 20. Komponen utama dari multifocal electroretinogram (mfERG). mfERF trace array (field view) menggunakan 103 hexagon dan akan merepresentasikan 35° lapang pandangan. Setiap stimulasi yg muncul pada hexagon akan mendapatkan reaksi yang akan dipetakan. Gambar paling bawah adalah contoh mfERG normal. ²²

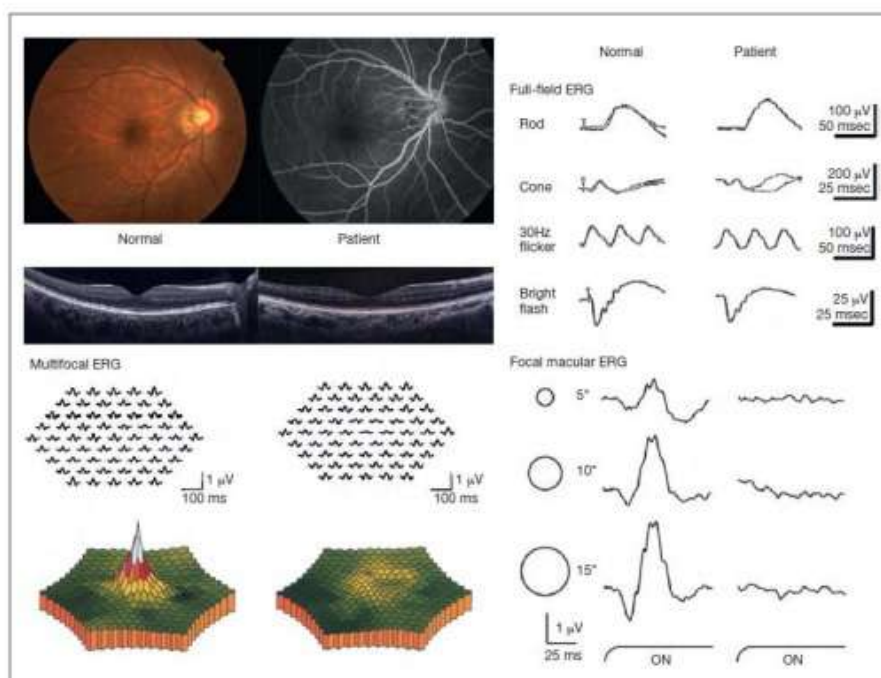
Aplikasi Klinis

Pada focal macular ERG, macular OPs merupakan indikator paling sensitif terhadap penyakit-penyakit retina. Penurunan amplitudo macular OP terlihat pada tahap awal dari edema makula, membran epimakula, dan central serous chorioretinopathy (CSC) dalam masa penyembuhan. Pada pasien Cystoid macular edema (CME) memiliki gambaran OPs dari focal macular ERG yang berkurang dibandingkan dengan mata normal.⁴



Gambar 22. Focal macular ERG (kiri) dan FFA (kanan) pada pasien umur 51 tahun dengan pseudofakia custoid macular edema (CME) dan setelah resolusi (bawah). Oscillatory potential dari focal macular ERG tampak berkurang dibandingkan dengan mata normal. tajam penglihatan pasien saat CME adalah 20/30. Setelah penyembuhan spontan, focal ERG kembali normal dengan amplitudo dari oscillatory potential yang serupa dengan mata normal.²⁰

Occult macular dystrofi (OMD) merupakan suatu penyakit yang hanya dapat terdeteksi dengan focal ERG atau multifocal ERG. OMD memiliki gejala berupa penurunan penglihatan progresif tetapi memiliki foto fundus, FFA, dan full-field ERG yang normal. pasien dengan OMD biasanya di diagnosa mengidap penyakit lain seperti psikologis, gangguan nervus optik, gangguan susunan saraf pusat atau ambliopia.⁴



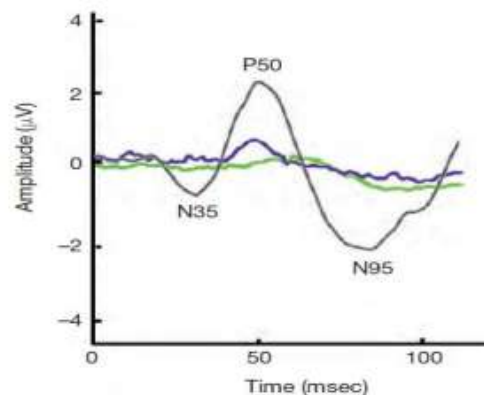
Gambar 23. Gambaran dari pasien occult macular dystrophy. Kiri atas menunjukkan gambaran fundus dan FFA yang normal; kiri tengah menunjukkan OCT dari pasien normal dan pasien dengan occult macular dystrophy. Bagian horizontal yang melalui fovea menunjukkan suatu abnormalitas, terutama pada bagian retina luar dari fovea pasien. Kiri bawah, topografi 3 dimensi dan multifokal ERG trace array dari orang normal dan pasien, menunjukkan penurunan respon yang bermakna pada 7^o sentral dari retina. Kanan atas, full field ERG menunjukkan respon normal; kanan bawah focal macular ERG menunjukkan respon abnormal pada pasien. ⁴

Respon dan Teknik Lain dalam ERG

1. Pattern ERG

Pattern ERG (PERG) merupakan respon retina dengan stimulus yang terstruktur, seperti papan catur hitam putih atau grating. Biasanya respon pada ERG disebabkan oleh perubahan pada iluminasi stimulusnya, sedangkan pada PERG digunakan perubahan kontras dari stimulus. Yang berespon terhadap stimulus pada PERG sebagian besar adalah sel ganglion, sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi sel ganglion dapat dinilai dari PERG. ^{4,5}

Gelombang pada PERG dimulai dengan cornea positive response (P50), diikuti dengan corneal negative respons (N59). Holder melaporkan bahwa PERG dari 520 mata dengan P50 yang menurun menunjukkan adanya disfungsi sel preganglion tetapi tidak disertai dengan gangguan nervus optik. Sedangkan pada mata dengan penurunan P59 dihubungkan dengan kerusakan nervus optik.^{4,5,}



Gambar 24. Respon dari Pattern ERG (PERG) dilakukan pada orang normal (abu-abu), pada pasien dengan disfungsi makula (green) dan pasien dengan disfungsi nervus optik (biru).⁴

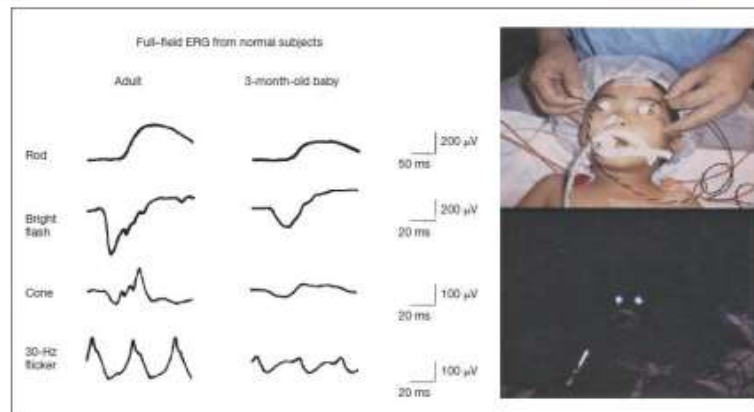
2. Photopic negative response

Photopic negative response (PhNR) merupakan gelombang (wave) negative pada photopic ERG yang muncul setelah b-wave. elektrogenesis dari PhNR adalah sel ganglion retina. Penurunan signifikan dari PhNR dilaporkan pada pasien dengan glaucoma sudut terbuka dan beberapa kondisi dengan optik neuropati. Analisis terbaru dari PhNR pada focal macular ERG dan mfERG telah membantu dalam menilai kerusakan sel ganglion pada kasus glaukoma, penyakit nervus optik dan penyakit vaskuler retina.^{4,23}

3. ERG recording dengan LED

Light emitting diodes (LED) digunakan pada pemeriksaan ERG terhadap pasien anak yang digeneral anestesia. ERG dengan LED juga digunakan saat dilakuan operasi vitrektomi. Seiring dengan berkembangnya operasi vitreoretina,

pengukuran fungsi retina saat operasi terkadang perlu dilakukan. Hal ini terkadang sulit dilakukan karena tidak boleh mengganggu operator. Elektroda yang digunakan juga harus steril karena di pasang pada area operasi. contoh pemeriksaan ada pada gambar di bawah.^{4,20}



Gambar 25. Full field ERG yang direkam menggunakan stimulus white light emitting diode (LED) dari lensa kontak dari subyek dewasa dan pada bayi berumur 3 bulan. Elektroda di pasang setelah anestesi general. Foto kanan bawah menunjukkan iluminasi dari kontak lensa yang digunakan pada fotopik ERG dalam ruang gelap.²⁰

4. S-cone ERG

Mengukur short wavelength cone (S-cone) ERG akan bermakna secara klinis karena dapat mengevaluasi sistem visual S-cone. Rekamannya menggunakan stimlus biru yang kuat pada latar belakang kuning yang akan menghambat middle dan long-wavelength cone system. LED akan memancarkan cahaya biru dari lensa kontak. Amplitudo akan lebih kecil dan implicit time akan memanjang dibandingkan dengan long-wavelength cone ERG. S-cone ERG dihubungkan dengan jarak sistem visual ON.⁴

TIPE-TIPE ELEKTRODA PADA ERG

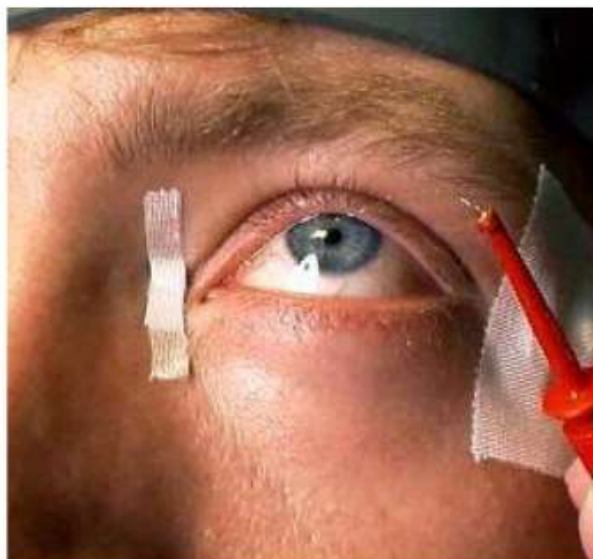
1. Elektroda Burian-Allen. Elektroda ini lazim digunakan untuk flash ERG, memiliki ukuran lensa yang bervariasi yang terdiri dari cincin annular terbuat dari besi stainless yang

mengelilingi bagian sentral lensa kontak yang terbuat dari PMMA (polymethylmethacrylate) serta terdapat eyelid spekulum.^{4,5,14}



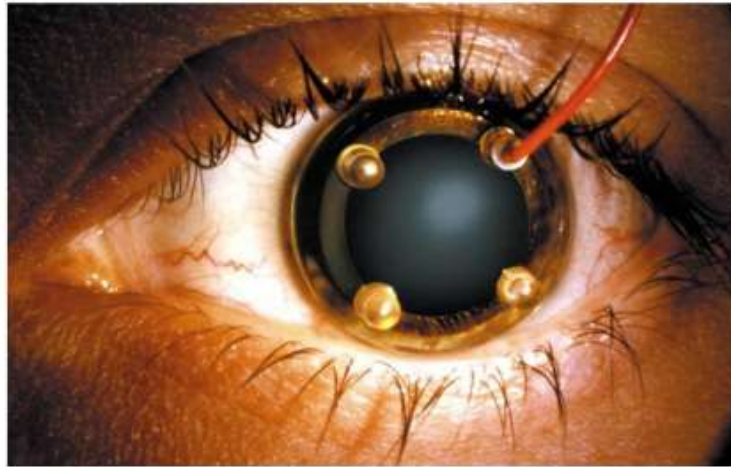
Gambar 26. Elektroda Burian-Allen

2. Elektroda Trick-Litzkow. Merupakan elektroda dengan benang Mylar terdiri dari fiber tunggal yang diisi dengan perak, memiliki sifat konduktif yang low-mass.^{4,5,14}



Gambar 27. Trick-Litzkow

3. Elektroda ERG-Jet. Merupakan elektroda sekali pakai dengan lensa plastik yang terlapisi emas pada sirkumferensial perifernya.^{4,5,14}



Gambar 28. Elektroda ERG-Jet

4. Elektroda Mylar. Elektroda dimana Mylar dilapisi aluminium atau emas.⁴
5. Elektroda kulit. Merupakan elektroda yang dipakai tidak pada kornea, melainkan pada kulit di daerah infraorbital rige dekat palpebra inferior; hasilnya akan sangat bervariasi dan amplitudo yang dihasilkan akan berkurang, sehingga elektroda kulit biasanya digunakan untuk skrining.^{4,5,14}



Gambar 29. Elektroda Kulit

6. Elektroda Cotton-Wick. Merupakan elektroda yang memiliki cangkang yang ditutupi dengan cotton-wick yang sangat berguna untuk mengurangi artefak yang disebabkan oleh cahaya.^{5,14}



Gambar 30. Electroda Cotton Wick

7. Elektroda Hawlina-Konec. Merupakan elektroda yang terbuat dari kawat emas, perak maupun platinum yang terinsulasi dengan teflon dan memiliki 3 jendela sentral, ukurannya 3 mm dan dibentuk untuk mengisi saccus konjungtiva inferior

PERSIAPAN SEBELUM PEMERIKSAAN

Menurut ISCEV, ada beberapa persiapan yang perlu dilaksanakan sebelum pemeriksaan ERG dilakukan, persiapan tersebut adalah sebagai berikut:⁵

1. Dilatasi maksimal dari pupil
2. Sebelum pemeriksaan "dark adapted" maka pasien di berikan 20 menit untuk beradaptasi di ruangan gelap
3. Sebelum pemeriksaan "light adapted" maka pasien di berikan 10 menit untuk beradaptasi di ruangan terang
4. Lakukan pemeriksaan dengan intensitas cahaya yang rendah kemudian dinaikkan
5. Pasang elektroda kontak pada kornea pada keadaan redup dengan cahaya merah setelah masa adaptasi ruang gelap. Hindari lampu merah yang teralau terang. Berikan waktu 5 menit lagi untuk adaptasi setelah elektroda di pasang

6. Berikan waktu 30 menit untuk mengistirahatkan mata pada ruang dengan iluminasi biasa setelah melakukan pemeriksaan dengan pencahayaan dengan intensitas tinggi seperti foto fundus, FFA dan lainnya
7. Minta pasien untuk tidak menggerakkan mata. Pergerakan bola mata dapat mengubah posisi elektroda, dan menyebabkan tertutupnya cahaya lampu oleh palpebra maupun elektroda dan menyebabkan adanya artefak listrik.

GAMBARAN ERG DARI BERBAGAI PENYAKIT

Nama penyakit	Gambaran full-field ERG
24 Multiple evanescent white dot syndrome (MEWDS)	Awalnya muncul gelombang a dan b yg depresi kemudian menjadi normal
Defisiensi vitamin A	Disfungsi sel batang yang bermakna dan peningkatan threshold dari sel batang dan kerucut pada adaptasi gelap
Cone dystrophy	Respon photopik yang depresi dan respon skotopik normal
Cancer associated retinopathy (CAR)	Amplitudo a- dan b- yang berkurang secara signifikan
Melanoma associated retinopathy (MAR)	Respon rod yang hilang, a-wave normal, penurunan b-wave (ERG elektronegatif)
Retinitis pigmentosa	Amplitudo a- dan b-wave yang minimal atau subnormal (utamanya pada sistem cone)

Congenital Achromatopsia (typical (rod) monochromat) 7	Respon sel kerucut tidak dapat terdeteksi, respon sel batang normal
Congenital Achromatopsia (atypical (cone) monochromat)	ERG Normal
Congenital Red-Green color deficiency	ERG Normal
Congenital Hereditary Stationary Night Blindness	Normal a-wave skotopik dengan penurunan selektif dari b-wave; implicit time dari b-wave relatif sama pada kondisi skotopik dan fotopik
Oguchi Disease	Respon fotopik yang normal dengan penurunan amplitudo b-wave pada kondisi skotopik
Fundus Albipunctatus	Penurunan amplitudo skotopik yang akan membaik setelah adaptasi gelap
Fleck Retina of Kandori	Penurunan amplitudo b-wave dibandingkan a-wave pada kondisi skotopik dan fotopik
Stargardt Macular Dystrophy (Fundus Flavimaculatus) 7	Penurunan amplitudo a- dan b-wave
Best vitelliform Macular Dystrophy	ERG Normal
North Carolina Macular Dystrophy	ERG Normal
Progressive Bifocal Chorioretinal Atrophy 20	Respon 30-HZ flicker dan sigle flash skotopik yang subnormal
Fenestrated Sheen Macular Dystrophy	Awalnya ERG normal,
Familial Internal Limiting Membrane Dystrophy	Penurunan amplitudo b-wave
Gyrate Atrophy	Penurunan yang signifikan atau hilangnya respon rod dan cone
Choroideremia	Penurunan amplitudo gelombang a- dan b-wave pada kondisi skotopik dan fotopik, peningkatan implicit time rod dan cone b-wave
X-linked Juvenile Retinoschisis	Penurunan amplitudo b-wave fotopik dan skotopik

Goldmann-Favre Syndrome	Tidak ada respon ERG
Wagner Disease	Penurunan respon fotopik dan skotopik yang ringan (tergantung pada keterlibatan fundus)
Autosomal Dominant Neovascular Inflammatory Vitreoretinopathy	Penurunan amplitudo b-wave
Autosomal Dominant Vitreoretinopathy	Awalnya normal ERG dengan penurunan amplitudo moderat atau ringan pada pasien tua yang
Familial Exudative Vitreoretinopathy	Normal ERG, tetapi oscillatory potential dapat hilang
Bordshot Retinopathy	Penurunan amplitudo b-wave lebih terlihat pada kondisi skotopik dibandingkan fotopik, penundaan b-wave fotopik dan skotopik
Acute zonal Occult Outer Retinopathy	Amplitudo ERG bervariasi dari normal ke subnormal dengan b-wave yang memanjang
Pseudo-Presumed Ocular Histoplasmosis syndrome (multifocal choroiditis)	Penurunan respon sel batang dan kerucut secara moderat atau berat
Bechet Disease	Awalnya penurunan oscillatory potential pada flash ERG dan akhirnya penurunan amplitudo b-wave
Sickle Cell Retinopathy	ERG normal tanpa adanya neovaskularisasi retina perifer, penurunan amplitudo komponen ERG saat terjadi neovaskularisasi di perifer
Takayasu Disease	Awalnya penurunan oscillatory potential, stadium akhir penurunan amplitudo a- dan b-wave
Carotid Artery Occlusion	Penurunan b-wave lebih besar dari amplitudo a-wave tergantung dari keparahan

Central and Branch Artery and Vein Occlusions	Penurunan b-wave pada CRAO dan CRVO; penurunan b-wave yang kecil atau ERG normal pada BRAO atau BRVO
Hipertensi dan Arteriosklerosis	Awalnya terjadi penurunan oscillatory potentials kemudian penurunan amplitudo a- dan b-wave
Toksisitas Chloroquine dan Hdroxychloroquine	Respon ERG normal kecuali terdapat retinopathy yang berat. Fungsi sel cone terpengaruh terlebih dahulu lalu fungsi sel rod
Thioridazine	Penurunan respon a- dan b-wave pada kondisi fotopik dan skotopik tergantung dari derajat kerusakan
Quinine	Penurunan amplitudo a- dan b-wave secara transien pada kondisi skotopik dan fotopik dan membaik dalam 24 jam
Methanol	Penurunan amplitudo a- dan b-wave
Gentamicin	Penurunan amplitudo ERG yang signifikan
Defisiensi Vitamin A	Penurunan amplitudo ERG terutama pada kondisi skotopik
Sindrom Kearns-Sayre	Penurunan amplitudo ERG
siderosis	Awalnya respon supernormal dibandingkan dengan pola negatif, diikuti oleh respon yang tidak dapat terdeteksi pada kasus berat (fungsi batang lebih terpengaruhi dibanding sel kerucut; penurunan amplitudo b-wave melebihi gelombang a.

PENUTUP

ERG merekam respon elektrik yang dibentuk oleh sel sel yang berada dalam retina. Sifatnya yang non-invasif membuatnya mudah untuk dilakukan. Terdapat beberapa tipe elektroretinografi yang dapat dibagi menurut zona stimulus (full field ERG dan Focal ERG), menurut tipe stimulus (single flash, Flicker fusion, Red flash, Blue filter, pattern) dan menurut adaptasi retina (scotopic, mesopic dan photopic). Berbagai komponen ERG menggambarkan fungsi dari sel-sel yang ada di retina dan dapat membantu untuk mengetahui kelainan-kelainan apa saja yang ada pada retina di tingkat seluler. Indikasi pemeriksaan electroretinogram adalah untuk mengevaluasi fungsi retina saat pemeriksaan funduskopi meragukan, mengevaluasi progresivitas penyakit retina atau toksisitas suatu obat terhadap retina, dan sebagai alat untuk mengestimasi prognosis dari penyakit hereditier.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ala-Laurila P, Cornwall MC, Crouch RK, Kono M. The action of 11-cis-retinol on cone opsins and intact cone photoreceptors. *J Biol Chem.* 2009;284:16492-16500.
2. Fisherman,G. Basic Prinsicles of clinical electroretinography on Retina. J.B. Lippincott.Co. 1985; 123, 139-185
3. Tosini G, Luvone PM, McMahon DG, Collin SP. The retina and circadian rythms. Springer. 2014. 1, 4-5, 148.
4. Ryan SJ. Retinal Imaging and Diagnostic in Retina. Elsevier. 2013; 177-199, 202-222
5. Cantor LB, Rapuano CJ, Cioffi GA. Retinal physiology and psychophysics in Retina and Vitreus. *American Academy of Ophthalmology.* 2014. 33-41
6. Arden GB, Barrada A, Kelsy JH. New clinical test of retinal function based on the standing potential of the eye. *Br J Ophthalmol.* 1962;46:449–467.
7. Eyewiki:
https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_phototransduction
8. Alaql AM. Analysis and Processing of Human Electroretinogram. Scholar Commons. 2016. 4-6
9. Cobb WA, Morton HB. A new component of the human electroretinogram. *J Physiol.* 1954;123:36P–37P.
10. Marmor MF, Fulton AB, Holder GE, et al. ISCEV standard for full-field clinical electroretinography. 2009; *Doc Ophthalmol.* 69-77
11. Kondo M, Piao CH, Tanikawa A, et al. *Japanese Journal of Ophthalmology* 2000; 44; 20-8
12. Granit R. The components of the retinal action potential in mammals and their relation to the discharge in the optic nerve. *J Physiol.* 1933;77:207–239.
13. Hartzell HC, Zhiqiang Q, Kuai Y, Xiao Q, and Chien LT (2008) Molecular physiology of bestrophins: multifunctional membrane proteins linked to Best Disease and other retinopathies. *Physiol. Rev.* 88: 639-672.

14. Frishman LJ, Wang MH. Electroretinogram of human, monkey and mouse in Adlers physiology of the eye. Elsevier. 2011; 480-498
15. Stockton RA, Slaughter MM. B-wave of the electroretinogram. A reflection of ON bipolar cell activity. J Gen Physiol. 1989;93(1):122.
16. Sterling P, Smith RG, Rao R, Vardi N. Functional architecture of mammalian outer retina and bipolar cells. In: Archer S, Djamgoz MBA, Vallergera S, editors. Neurobiology and clinical aspects of the outer retina. London: Chapman & Hall; 1995. p. 325–48.
17. Bush RA, Sieving PA. A proximal retinal component in the primate photopic ERG a-wave. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1994;35(2):635–45.
18. Alexander KR, Raghuram A, Rajagopalan AS. Cone phototransduction and growth of the ERG b-wave during light adaptation. Vision Res. 2006;46(22):3941–8.
19. Rosolen SG, Rigaudiere F, LeGargasson JF, Chalier C, Rufiange M, Racine J, Joly S, Lachapelle P (2004) Comparing the photopic ERG.
20. Miyake Y. Electrodiagnosis of retinal disease. Tokyo: Springer-Verlag; 2006
21. Horio N, Terasaki H, Yamamoto E, et al. Am J Ophthalmol 2001; 132-258-9
22. Hood DC, Frishman LJ, Saszik S, et al. Retinal origins of the primate multifocal ERG: implications for the human response. Invest Ophthalmol Vis Sci 2002; 43: 1673-85
23. Vet Viswanathan S, Frishman LJ, Robson JG, Walters JW. The photopic negative response of the flash electroretinogram in primary open angle glaucoma. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2001. 42(2):514–522

ERG

ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

scholarcommons.usf.edu

Internet Source

2%

2

[The Retina and Circadian Rhythms, 2014.](#)

Publication

1%

3

coek.info

Internet Source

1%

4

www.scribd.com

Internet Source

<1%

5

repository.akperkyogja.ac.id

Internet Source

<1%

6

[Frishman, Laura J.. "Electrogenesis of the Electretinogram", Retina, 2013.](#)

Publication

<1%

7

[Submitted to Deakin University](#)

Student Paper

<1%

8

bjo.bmj.com

Internet Source

<1%

9

doku.pub

Internet Source

<1%

10

radiologykey.com

Internet Source

<1%

11

dwiayathi.wordpress.com

Internet Source

<1%

12

synapse.koreamed.org

Internet Source

<1%

13	Husnaini Husnaini, Getry Sukmawati, Andri Ariesti. "HUBUNGAN LAMA PAPARAN INHALASI ORGANICSOLVENT TERHADAP PENURUNAN PENGLIHATAN WARNA DAN SENSITIVITAS KONTRAS", Human Care Journal, 2020 Publication	<1%
14	iovs.arvojournals.org Internet Source	<1%
15	ratnawahyu36.wordpress.com Internet Source	<1%
16	Yujin Mochizuki, Kei Shinoda, Celso Soiti Matsumoto, Gerd Klose, Emiko Watanabe, Keisuke Seki, Itaru Kimura, Atsushi Mizota. "Case of Unilateral Peripheral Cone Dysfunction", Case Reports in Ophthalmology, 2012 Publication	<1%
17	mencobaberbagi.wordpress.com Internet Source	<1%
18	"Full-Field Electroretinograms", Electrodiagnosis of Retinal Diseases, 2006 Publication	<1%
19	Anthony Kriss. "Pediatric Visual Electrophysiology", Handbook of Pediatric Retinal Disease, 2006 Publication	<1%
20	Lam, . "Macular Disorders", Electrophysiology of Vision Clinical Testing and Applications, 2005. Publication	<1%
21	med.unhas.ac.id Internet Source	<1%
22	yasmui.wordpress.com Internet Source	<1%

23	"Vertebrate Photoreceptors", Springer Science and Business Media LLC, 2014 Publication	<1%
24	Grant T. Liu, Nicholas J. Volpe, Steven L. Galetta. "Vision loss", Elsevier BV, 2010 Publication	<1%
25	Miyake, Yozo, and Kei Shinoda. "Clinical Electrophysiology", Retina, 2013. Publication	<1%
26	hal.univ-lorraine.fr Internet Source	<1%
27	repository.its.ac.id Internet Source	<1%
28	fembrisma.wordpress.com Internet Source	<1%

Exclude quotes Off
Exclude bibliography Off

Exclude matches Off