

Development of Binocular Vision

Muhammad Syauqie, Sri Handayani Mega Putri

Abstrak

Penglihatan binokular secara harfiah berarti penglihatan dengan 2 mata dan dengan adanya penglihatan binokular, kita dapat melihat dunia dalam 3 dimensi meskipun bayangan yang jatuh pada kedua retina merupakan bayangan 2 dimensi. Penglihatan binokular juga memberikan beberapa keuntungan berupa ketajaman visual, kontras sensitivitas, dan lapangan pandang penglihatan yang lebih baik dibandingkan dengan penglihatan monokular. Penglihatan binokular normal memerlukan aksis visual yang jernih, fusi sensoris, dan fusi motoris. Pada manusia, periode sensitif dari perkembangan penglihatan binokular dimulai pada usia sekitar 3 bulan, mencapai puncaknya pada usia 1 hingga 3 tahun, telah berkembang sempurna pada usia 4 tahun dan secara perlahan menurun hingga berhenti pada usia 9 tahun. Berbagai hambatan, berupa hambatan sensoris, motoris, dan sentral, dalam jalur refleks sangat mungkin akan menghambat perkembangan dari penglihatan binokular terutama pada periode sensitif sewaktu 2 tahun pertama kehidupan.

Kata kunci: penglihatan binokular, perkembangan, fusi, stereopsis

Abstract

Binocular vision literally means vision with two eyes and with binocular vision, we can see the world in three dimensions even though the images that fall on both of the retina were the 2-dimensional images. Binocular vision also provide some advantages included improved visual acuity, contrast sensitivity, and visual field compared with monocular vision. Normal binocular vision requires a clear visual axis, sensory fusion, and motoric fusion. In human, the sensitive period of binocular vision development began at around 3 months of age, reaching its peak at the age of 1 to 3 years, had developed completely at the age of 4 years and gradually declined until it stops at the age of 9 years. Various obstacles, such as sensory, motoric, and central obstacles, within the reflex pathway were very likely to inhibited the development of binocular vision, especially in sensitive period during the first 2 years of life.

Keywords: binocular vision, development, fusion, stereopsis

Afiliasi penulis : Fakultas Kedokteran Universitas Andalas

Korespondensi : Muhammad Syauqie, email : syauqiealmaidani@gmail.com, Telp: 0751-31746

perkembangan penglihatan binokular yang abnormal dengan masalah sensoris yang ditimbulkannya seperti ambliopia, supresi dan diplopia.^{1,5,6}

PENDAHULUAN

Penglihatan binokular secara harfiah berarti penglihatan dengan 2 mata, dan merujuk kepada karakteristik khusus dari penglihatan dengan kedua mata terbuka, daripada hanya satu mata. Persepsi kita mengenai kondisi binokular menyatakan suatu koordinasi kompleks yang sangat tinggi dari proses-proses sensoris dan motoris dan secara signifikan berbeda dari dan lebih canggih daripada penglihatan dengan satu mata saja.^{1,2}

Dengan adanya penglihatan binokular, kita dapat melihat dunia dalam 3 dimensi meskipun bayangan yang jatuh pada kedua retina merupakan bayangan 2 dimensi. Kemampuan visual dasar seperti deteksi, resolusi, dan diskriminasi sedikit lebih baik jika melihat dengan kedua mata. Banyak kemampuan visual kompleks seperti membaca, mendeteksi obyek kamufase, dan koordinasi mata-tangan juga dilakukan dengan lebih efektif dengan kedua mata dibandingkan dengan satu mata, meskipun tampilan visual tidak mengandung persepsi kedalaman.^{3,4}

Perkembangan dari penglihatan binokular telah dimulai sejak usia 3 bulan setelah lahir dan mencapai puncaknya pada umur sekitar 2 tahun. Rentang waktu ini disebut sebagai periode sensitif dari perkembangan penglihatan binokular dimana berbagai penyakit visual yang timbul pada periode ini seperti koordinasi yang tidak tepat dari kedua mata yang dapat menyebabkan strabismus, dapat menimbulkan

Penglihatan Binokular

Penglihatan binokular dapat diartikan sebagai keadaan visual yang simultan, yang didapat dengan penggunaan yang terkoordinasi dari kedua mata, sehingga bayangan yang sedikit berbeda dan terpisah yang timbul di tiap-tiap mata dianggap sebagai suatu bayangan tunggal dengan proses fusi. Dengan demikian penglihatan binokular menyiratkan fusi, menggabungkan penglihatan dari kedua mata untuk membentuk suatu persepsi tunggal.^{2,4,5,7}

Penglihatan binokular dikatakan normal jika bifoveal dan tidak terdapat deviasi yang manifes. Penglihatan binokular dikatakan abnormal ketika bayangan dari obyek yang difiksasi diproyeksikan dari fovea satu mata dan suatu area ektrafovea mata yang lain. Suatu strabismus yang manifes oleh karena itu selalu terdapat pada penglihatan binokular yang abnormal.^{1,4,5}

Penglihatan binokular normal memerlukan (1) aksis visual yang jernih sehingga menghasilkan penglihatan yang jelas pada kedua mata, (2) kemampuan elemen - elemen retinokortikal untuk berfungsi dalam hubungannya dengan satu sama lain untuk mendorong fusi dari dua bayangan yang sedikit berbeda, disebut fusi sensoris, (3) koordinasi yang tepat dari kedua mata untuk semua arah pandangan, sehingga elemen retinokortikal yang berkorespondensi terletak pada suatu posisi untuk mengatur dua bayangan, disebut fusi motoris.^{4,7}

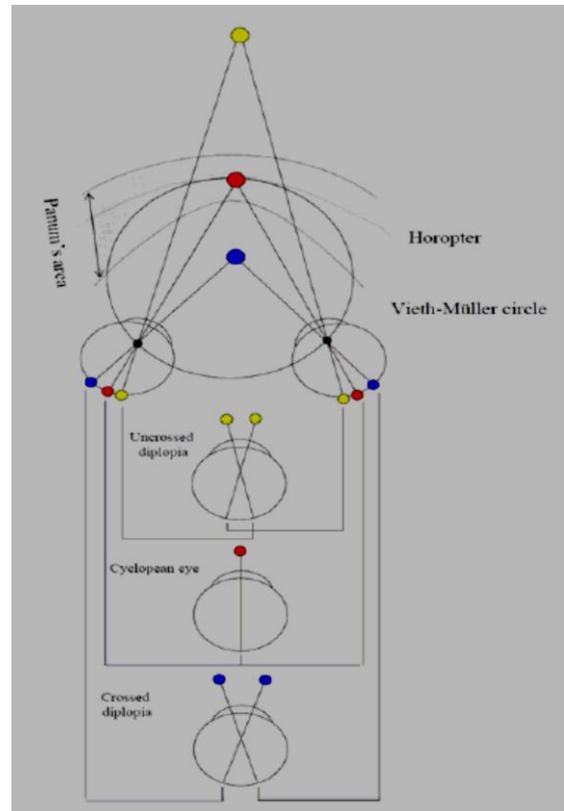
Keuntungan Penglihatan Binokular

Dikatakan bahwa “2 mata lebih baik daripada 1”; dan, memang, 2 mata memberikan beberapa keuntungan dibandingkan hanya satu. Dilaporkan bahwa 80% dari neuron-neuron di korteks visual menerima masukan dari kedua mata, yang memberikan sokongan anatomis untuk pandangan bahwa penglihatan binokular adalah suatu karakteristik dari nilai dan kepentingan yang bermakna. Dengan jelas, penglihatan binokular memiliki sejumlah keuntungan fungsional, yang terutama adalah : 1) *Binocular summation*, yaitu ambang batas deteksi visual untuk suatu stimulus lebih rendah dengan penglihatan binokular daripada dengan penglihatan monokular sehingga kemampuan untuk mendeteksi obyek yang samar-samar meningkat. Ketajaman visual binokular, sebagai contoh, umumnya lebih baik daripada ketajaman visual monokular; dan dua mata memberikan ambang batas deteksi kontras yang lebih baik daripada satu mata. 2) Lapangan pandang penglihatan binokular lebih besar daripada lapangan pandang penglihatan monokular. Kita memiliki lapangan pandang horizontal kira-kira sebesar 200 derajat, di mana kedua lapangan pandang bertumpang tindih sekitar 120 derajat ketika kedua mata digunakan bersama. 3) Kita dapat melihat obyek yang bayangannya terbentuk pada kedua fovea seakan-akan bayangannya jatuh pada suatu titik tunggal di tengah-tengah di antara kedua mata, seperti terlihat oleh suatu mata tunggal imajiner di tengah-tengah dahi kita, disebut suatu “mata Cyclops” sehingga memberikan suatu penglihatan tunggal. 4) Perbedaan yang halus antara bayangan-bayangan yang memasuki tiap-tiap mata memungkinkan bentuk binokular dari persepsi kedalaman, yang merupakan keuntungan sebenarnya dari penglihatan binokular, dan disebut sebagai “stereopsis”.^{1,3,8}

Prinsip Penglihatan Binokular

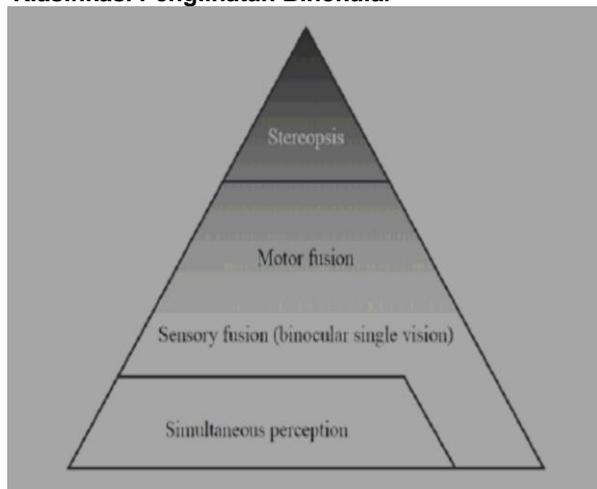
Bayangan dari suatu obyek tunggal yang tidak menstimulasi titik-titik retina yang berkorespondensi pada kedua mata dikatakan sebagai disparitas. Disparitas binokular diartikan sebagai perbedaan dalam posisi dari titik-titik yang berkorespondensi di antara bayangan-bayangan pada kedua mata (Gambar 1). Disparitas binokular dapat diklasifikasikan sebagai menyilang atau tidak menyilang dalam hubungannya terhadap titik dimana kedua mata bertemu (titik fiksasi). Titik-titik yang terlihat lebih dekat daripada titik fiksasi (di dalam lingkaran Vieth-Müller, suatu prediksi teoretik dari obyek dalam ruang yang menstimulasi titik-titik yang berkorespondensi pada kedua mata) umumnya memiliki garis-garis penglihatan yang menyilang di depan titik fiksasi; titik-titik ini dikatakan memiliki disparitas menyilang. Titik-titik yang terlihat lebih jauh daripada titik fiksasi memiliki garis-garis penglihatan yang bertemu dibelakang titik fiksasi, ini disebut disparitas tidak menyilang. Lingkaran Vieth-Müller menyilangi titik fiksasi dan pembukaan pupil dari tiap mata. Diplopia adalah hasil dari suatu disparitas binokular yang besar; bagaimanapun, sistem visual mampu untuk menyatukan dua bayangan ke dalam suatu persepsi tunggal dengan disparitas yang lebih kecil. Pada disparitas binokular yang berhubungan dengan penglihatan binokular normal, hubungan antara fusi motoris dan sensoris adalah lebih kompleks. Area Panum menentukan batas atas dari disparitas yang dapat menghasilkan penglihatan

tunggal. Perbedaan-perbedaan kecil dalam persepsi dari kedua mata menimbulkan stereopsis, suatu persepsi kedalaman 3 dimensi. Karena penglihatan binokular tunggal hanya memerlukan bayangan retina untuk jatuh di dalam area Panum, suatu ketidaksejajaran residual yang kecil dari aksis visual (kesalahan vergens) dapat terjadi, menyebabkan suatu disparitas retina yang konstan dari suatu obyek fiksasi tanpa diplopia.^{1,2,9}



Gambar 1. Suatu titik di dalam area Panum menghasilkan suatu persepsi bayangan tunggal, sementara titik di luar area Panum menghasilkan diplopia.¹

Klasifikasi Penglihatan Binokular



Gambar 2. Model klasik dari fungsi visual binokular tersusun dari tiga tingkat secara hirarki.⁽¹⁾

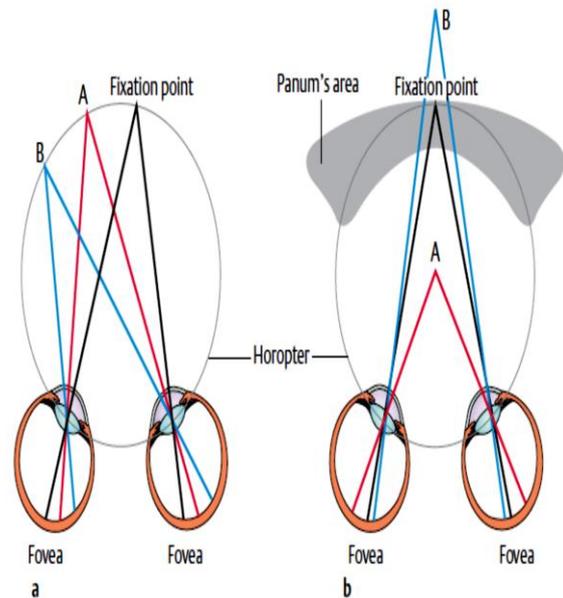
Penglihatan binokular dibagi ke dalam 3 tingkat menurut klasifikasi Worth yang berguna dalam mengidentifikasi derajat penglihatan binokular yang

terdapat yaitu tingkat pertama adalah persepsi simultan, tingkat kedua adalah fusi, dan tingkat ketiga adalah penglihatan stereopsis.^{5,9,10}

1. Persepsi simultan. Kemampuan retina dari kedua mata untuk menerima 2 bayangan yang berbeda secara simultan. Pada penglihatan binokular normal, kedua mata mempunyai titik fiksasi yang sama, yang terletak pada fovea sentralis di tiap-tiap mata. Bayangan dari suatu obyek selalu terletak pada area retina yang identik, disebut sebagai titik-titik yang berkorespondensi pada retina. Obyek yang terletak pada suatu lingkaran imajiner yang disebut horopter geometrik (Gambar 3 a) diproyeksikan ke titik-titik ini pada retina. Bayangan dari kedua retina oleh karena itu akan identik pada penglihatan binokular normal.^{2,10,11}

Istilah persepsi simultan tidak selalu menunjukkan terdapatnya fiksasi bifoveal karena juga terdapat pada korespondensi retina abnormal yaitu suatu keadaan dimana fovea mata yang fiksasi memperoleh suatu arah visual bersama yang abnormal dengan suatu elemen retina perifer pada mata yang deviasi. Persepsi simultan hanya menunjukkan terdapat atau tidaknya suatu supresi.^{2,4}

2. Fusi. Hanya ketika kedua retina menyampaikan gambaran visual yang sama, yaitu mentransmisikan bayangan yang identik ke otak, maka kedua bayangan retina tersebut akan bergabung membentuk suatu persepsi tunggal. Fusi yang terganggu dapat mengakibatkan penglihatan ganda (*horror fusionis* atau diplopia).⁹⁻¹¹
3. Penglihatan stereopsis (persepsi kedalaman). Ini adalah tingkat tertinggi dari kualitas penglihatan binokular dan hanya mungkin ketika beberapa kondisi dijumpai. Bagi suatu obyek untuk diproyeksikan ke titik-titik yang identik atau berkorespondensi pada retina, obyek tersebut harus terletak pada horopter geometrik yang sama. Bagaimanapun, obyek yang terletak di dalam suatu rentang yang sempit di depan atau dibelakang horopter akan difusikan menjadi suatu bayangan tunggal. Daerah ini disebut area Panum. Otak memproses bayangan-bayangan retina yang nonkoresponden di dalam area Panum menjadi suatu persepsi visual 3 dimensi tunggal dan tidak menginterpretasikannya sebagai bayangan ganda (Gambar 3 b).^{2,9-11}



Gambar 3. **a. Horopter geometrik.** Obyek A dan B terletak pada horopter geometrik oleh karena itu diproyeksikan ke titik-titik yang berkorespondensi pada retina. **b. Horopter fisiologik.** Titik A dan B, yang terletak di luar area Panum, diproyeksikan ke titik-titik yang non korespondensi pada retina.¹⁰

Fusi

Fusi diartikan sebagai penyatuan eksitasi visual dari bayangan retina yang berkorespondensi menjadi suatu persepsi visual tunggal. Fusi terjadi bagi bayangan di dalam area Panum dan merupakan suatu refleks sensorimotor otomatis (busur motoris hilang pada penyakit otak atau korespondensi retina abnormal). Persepsi bayangan di luar area Panum menyebabkan diplopia fisiologik, yang dapat secara sadar diabaikan (supresi fisiologik).^{2,11,12}

Fusi mempunyai 2 komponen yaitu: 1) Fusi sensoris, adalah suatu proses kortikal penyatuan bayangan dari tiap mata ke dalam gambaran stereopsis binokular tunggal. Fusi ini terjadi ketika serabut saraf optik dari retina nasal menyilang di kiasma untuk menyatu dengan serabut saraf retina temporal yang tak menyilang dari mata lainnya. Bersama, serabut temporal ipsilateral dan serabut nasal kontralateral menuju ke nukleus genikulatum lateral dan selanjutnya ke korteks striata. Sel-sel kortikal binokular, bersama dengan neuron-neuron di

area asosiasi visual pada otak, menghasilkan penglihatan binokular tunggal dengan penglihatan stereopsis. 2) Fusi motoris, adalah suatu mekanisme yang memungkinkan pengaturan halus dari posisi mata untuk mempertahankan kesejajaran bola mata sehingga fusi sensoris dapat dipertahankan. Fusi motoris ini distimulasi oleh disparitas retina di luar area Panum dan beraksi sebagai suatu mekanisme pengunci untuk menjaga mata sejajar pada target visual ketika target tersebut bergerak dalam ruang. Fusi motoris merupakan fungsi khusus dari retina perifer ektrafovea. Tidak terdapat stimulus untuk fusi motoris ketika bayangan dari suatu obyek visual yang difiksasi jatuh pada fovea tiap-tiap mata.^{2,12-14}

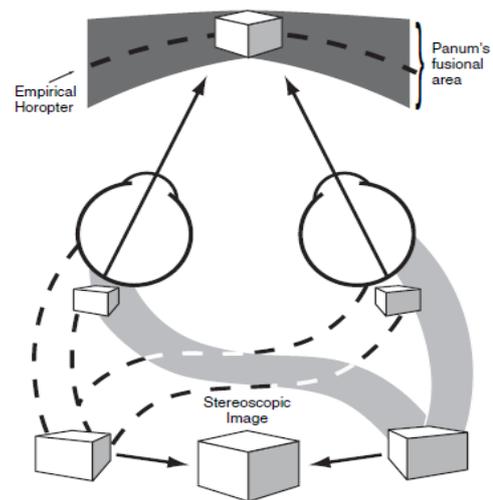
Stereopsis sebagai Tingkat Tertinggi dari Penglihatan Binokular

Tingkat ketiga dan tertinggi dari fungsi penglihatan binokular adalah stereopsis, yaitu persepsi kedalaman 3 dimensi binokular yang dihasilkan dari proses neural akibat stimulasi elemen-elemen retina yang berbeda secara horizontal oleh bayangan yang terletak di dalam area fusional Panum (Gambar 4). Stimulasi elemen-elemen retina yang berbeda secara vertikal tidak akan menghasilkan stereopsis.^{1,3,4,13}

Fusi sensoris merupakan hal yang esensial bagi terbentuknya stereopsis derajat tertinggi, tapi stereopsis derajat rendah masih dapat terjadi pada absennya fusi sensoris bahkan pada terdapatnya heterotropia seperti mikrotropia dan esotropia sudut kecil.¹²⁻¹⁴

Terdapat batasan minimal dari responsivitas terhadap stimulasi elemen-elemen retina yang berbeda. Batasan ini menentukan ketajaman stereoskopis seseorang. Secara umum, rentang 15 hingga 30 detik busur dianggap sebagai ketajaman stereoskopis yang sangat baik. Ketajaman stereoskopis juga berhubungan dengan ketajaman visual seseorang. Ketajaman stereoskopis dapat menurun jika ketajaman visual menurun meskipun hal ini tidak berkorelasi secara linier.^{11,13}

Bagaimanapun, stereopsis bukan satu-satunya cara untuk memperoleh informasi kedalaman; bahkan setelah menutup 1 mata, kita masih dapat menentukan posisi relatif dari obyek-obyek disekitar kita dan memperkirakan hubungan spasial kita dengan obyek-obyek tersebut. Petunjuk-petunjuk yang membolehkan interpretasi kedalaman dengan satu mata saja disebut petunjuk monokular. Petunjuk tersebut dapat termasuk petunjuk yang berkaitan dengan gambar, seperti ukuran dari bayangan retina, perspektif linear, perubahan tekstur, perspektif aerial, dan bayangan, sebaik petunjuk-petunjuk nonstereopsis, seperti akomodasi lensa kristalin, paralaks gerakan, dan struktur dari gerakan.^{1,12,13}



Gambar 4. Suatu obyek 3 dimensi akan melebar melewati horopter empiris dan sebagian dari obyek tersebut akan berada di depan atau dibelakang horopter empiris; hal ini menstimulasi titik-titik retina yang nonkorespondensi yang memberikan penglihatan stereopsis selama obyek 3 dimensi jatuh di dalam area fusional Panum.¹⁴

PERKEMBANGAN PENGLIHATAN BINOKULAR

Penglihatan binokular tunggal adalah suatu refleks bersyarat yang tidak terdapat sejak lahir tapi diperoleh selama 6 bulan pertama kehidupan dan telah sempurna selama beberapa tahun pertama kehidupan. Sistem visual membutuhkan kira-kira 6 minggu untuk menjadi sensitif terhadap deprivasi stimulus visual, dan penglihatan binokular pertama muncul pada usia sekitar 3 bulan. Meskipun tidak pernah secara gradual berkurang seluruhnya, pengalaman visual mempunyai efek terbesarnya pada saat usia 6 bulan, dengan efek tersebut berkurang secara cepat hingga usia sekitar 6 tahun. Selama periode kritis dari perubahan visual yang cepat di antara usia 6 minggu dan 3 bulan setelah kelahiran, bayi dalam resiko yang lebih besar untuk berkembangnya kelainan visual daripada saat fase kehidupan yang lain. Oleh karena itu, bayi teramat rentan terhadap gangguan visual yang berat timbul dari pengalaman visual yang tidak adekuat selama periode kritis.^{1,15,16}

Penglihatan binokular memerlukan beberapa kondisi untuk mencapai perkembangan yang normal yaitu: 1) Mata yang lurus mulai dari periode neonatus dengan koordinasi yang tepat pada semua arah pandangan (mekanisme motoris), 2) Penglihatan yang jelas pada kedua mata sehingga bayangan yang

serupa dipresentasikan ke tiap-tiap retina dari kedua mata (mekanisme sensoris) dan, 3) Kemampuan dari korteks visual untuk menghasilkan penglihatan binokular tunggal (proses mental).^{4,7}

Oleh karena itu, kondisi patologis yang mengganggu salah satu mekanisme di atas sewaktu beberapa tahun pertama kehidupan akan menghambat perkembangan penglihatan binokular tunggal dan dapat menyebabkan strabismus. Susunan organisasi normal dari penglihatan binokular dapat diubah pada strabismus infantil dengan supresi atau korespondensi retina yang abnormal. Oleh karena itu, kebanyakan pasien strabismus tidak mengalami diplopia dan kebingungan visual. Penglihatan tunggal dicapai dengan supresi, yang menyebabkan peniadaan persepsi obyek-obyek yang normalnya terlihat pada mata yang deviasi sewaktu melihat binokular secara simultan.^{1,2,7}

Kondisi anatomis dan fisiologis tertentu turut berperan dalam perkembangan penglihatan binokular pada beberapa tahun pertama kehidupan. Faktor-faktor yang berperan dalam perkembangan penglihatan binokular dan yang memungkinkan kedua mata untuk berfungsi dalam suatu cara yang terkoordinasi adalah:^{4,7}

1. Faktor anatomis: kedua mata terletak di dalam orbita pada suatu posisi tertentu sehingga aksis visual terarah dalam arah yang sama. Hal ini disebabkan oleh bentuk dari orbita dan keberadaan dari ligamen-ligamen disekitar bola mata, otot-otot dan jaringan-jaringan ikat.^{4,7,15}
2. Faktor fisiologis: perkembangan penglihatan binokular bergantung pada refleksi-refleksi binokular fisiologis normal tertentu. Refleksi-refleksi tersebut dapat berupa bawaan atau didapat sebagai hasil dari stimulasi yang tepat. Berbagai refleksi-refleksi binokular adalah:^{4,15}
 - a. Refleksi fiksasi
 - Refleksi fiksasi kompensasi (refleksi gravitasional). Fungsi dari refleksi ini adalah untuk mempertahankan mata dalam suatu posisi tertentu yaitu melihat dalam arah yang diperlukan sebagai kompensasi bagi pergerakan dari tubuh, kepala, tungkai, dan sebagainya.^{4,15}
 - Refleksi fiksasi orientasi. Dapat ditunjukkan dengan mata yang mengikuti suatu obyek atau panorama yang bergerak. Refleksi ini berhubungan dengan aksis horizontal.^{4,15}
 - Refleksi konvergensi akomodasi. Bertujuan agar mata tetap sejajar secara tepat dan menjaganya agar tetap fokus pada obyek.^{4,15}
 - b. Refleksi refiksasi. Berfungsi untuk mengembalikan mata ke titik orientasi awal atau ke titik orientasi baru.^{4,15}

Penelitian elektrofisiologis telah menunjukkan bahwa bayi dapat mendeteksi disparitas retina di antara usia 2-5 bulan tapi sedikit yang diketahui mengenai perkembangan ketajaman stereoskopis di antara usia 6 bulan hingga 3 tahun, ketika anak telah mampu secara adekuat untuk memahami tes-tes subyektif. Bagaimanapun, secara umum telah disepakati bahwa terdapat suatu peningkatan gradual dalam ketajaman stereoskopis hingga usia 9 tahun.^{4,6,15}

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa pada manusia periode sensitif dari perkembangan

penglihatan binokular dimulai pada usia sekitar 3 bulan, mencapai puncaknya pada usia 1 hingga 3 tahun, telah berkembang sempurna pada usia 4 tahun dan secara perlahan menurun hingga berhenti pada usia 9 tahun. Berbagai hambatan dalam jalur refleksi sangat mungkin akan menghambat perkembangan dari penglihatan binokular terutama pada periode sensitif sewaktu 2 tahun pertama kehidupan. Hambatan-hambatan tersebut dapat berupa:^{4,6,16,17}

- a. Hambatan sensoris
 - Hambatan dioptris seperti kekeruhan media, kelainan refraksi yang tidak dikoreksi.^{4,17}
 - Aktivitis uniokular yang lama seperti ptosis berat, anisometropia.^{4,17}
 - Hambatan retinoneural seperti lesi pada retina atau nervus optik.^{4,17}
 - Hambatan proprioseptif.^{4,17}
- b. Hambatan motoris
 - Malformasi kraniofasial kongenital.^{4,17}
 - Kondisi-kondisi yang mempengaruhi otot-otot ekstraokular.^{4,17}
 - Lesi pada sistem saraf pusat termasuk batang saraf dan akar nukleus.^{4,17}
- c. Hambatan sentral, terdapatnya hambatan ini menimbulkan berbagai adaptasi sensoris terhadap disfungsi binokular terutama jika faktor disruptif terdapat dalam periode sensitif. Hal ini dapat dalam bentuk:^{4,16,17}
 - Korespondensi retina abnormal yaitu suatu keadaan dimana titik fovea pada mata yang normal dengan titik ektrafovea pada mata yang strabismus mendapatkan arah visual yang sama (menjadi titik-titik yang berkorespondensi).^{4,7,17}
 - Supresi merupakan inhibisi kortikal aktif yang temporer dari bayangan suatu obyek yang terbentuk pada retina mata yang strabismus. Fenomena ini hanya terjadi sewaktu penglihatan binokular (dengan kedua mata terbuka).^{4,7,17}
 - Ambliopia adalah suatu reduksi unilateral atau, lebih jarang, bilateral dari ketajaman visual dengan koreksi terbaik yang tidak dapat dianggap disebabkan secara langsung oleh suatu abnormalitas struktural dari mata atau dari jalur visual posterior.^{2,4,17}

Perkembangan Sistem Visual

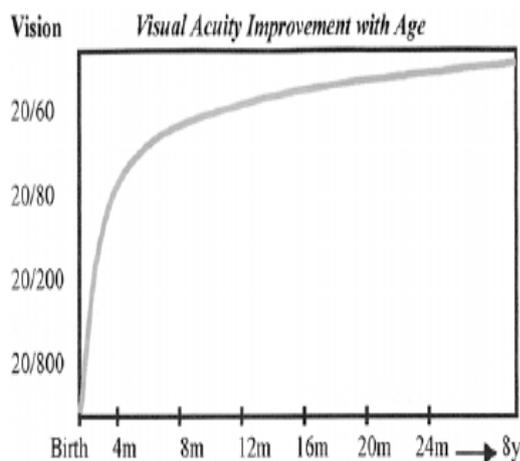
Pada saat kelahiran, ketajaman visual masih buruk, dalam rentang gerakan tangan hingga menghitung jari. Hal ini sebagian besar disebabkan karena imaturitas dari pusat visual di otak yang berperan untuk pemrosesan penglihatan. Ketajaman visual secara cepat meningkat selama beberapa bulan pertama kehidupan ketika bayangan retina yang jelas menstimulasi perkembangan neural dari pusat visual, termasuk nukleus genikulatum lateral dan korteks striatum. Perkembangan visual normal memerlukan stimulasi visual yang sesuai, meliputi bayangan retina yang jelas, dengan kejernihan bayangan yang sama pada kedua mata.^{2,7,15,18}

Perkembangan visual paling aktif dan rentan selama 3 bulan pertama kehidupan, yang diistilahkan sebagai periode kritis perkembangan visual. Gambar 5 menunjukkan suatu kurva dari peningkatan ketajaman visual dibandingkan terhadap usia. Perhatikan bahwa kurva paling curam sewaktu bulan-bulan pertama kehidupan, relatif terhadap periode kritis dari perkembangan visual. Perkembangan ketajaman

visual berlanjut sampai usia 7 hingga 8 tahun, tapi perkembangan lebih lambat dan plastisitas secara progresif berkurang pada masa kanak-kanak akhir. Stimulasi visual abnormal oleh suatu bayangan retina yang kabur atau strabismus selama perkembangan visual awal (contohnya, katarak kongenital, strabismus) dapat mengakibatkan kerusakan permanen terhadap pusat visual di otak. Terapi dini dari penyakit mata pediatrik penting untuk mempertahankan perkembangan visual yang normal.^{16,17,18}

Proses dari perkembangan visual itu sendiri adalah kompleks dan hanya dipahami sebagian. Fase perkembangan yang penting dalam perkembangan visual adalah:^{7,18}

- Saat lahir, tidak terdapat fiksasi sentral dan mata bergerak secara acak.^{7,18}
- Pada bulan pertama kehidupan, refleksi fiksasi mulai berkembang dan telah berkembang sempurna pada saat usia 6 bulan.^{7,18}
- Pada usia 6 bulan, stereopsis makular dan refleksi akomodasi telah berkembang sepenuhnya.^(7,18)
- Pada usia 6 tahun, ketajaman visual penuh (6/6) telah diperoleh dan penglihatan binokular tunggal telah berkembang sempurna.^{7,18}



Gambar 5. Kurva di atas menampilkan peningkatan eksponensial pada ketajaman visual sewaktu periode kritis dari perkembangan visual (dari lahir hingga 3 bulan).¹⁸

Perkembangan penglihatan binokular terjadi bersamaan dengan peningkatan penglihatan monokular. Persyaratan untuk perkembangan penglihatan binokular normal meliputi stimulasi retina yang jelas dan setara dan kesejajaran mata yang tepat. Penglihatan binokular dan fusi telah ditemukan terdapat di antara usia 1,5 dan 2 bulan sementara stereopsis berkembang kemudian, di antara usia 3 dan 6 bulan.^{1,2,18}

Perkembangan Refleksi Fusi

Refleksi fusi adalah refleksi bersyarat, didapat dan dipertahankan oleh aktivitas otak. Refleksi tersebut berkembang pada seseorang berdasarkan pengalaman. Elemen-elemen dari mekanisme fusi adalah:^{4,15}

- Refleksi fiksasi.⁴
- Refleksi refiksasi.⁴

- Refleksi fusal konjugasi yang mempertahankan keparalelan dari kedua mata pada semua posisi pandangan.⁴
- Refleksi disjungtif yaitu refleksi konvergensi dan divergensi.⁴

Saat lahir refleksi fiksasi belum berkembang dengan baik, dengan anak hanya memiliki pergerakan okular yang acak, nonkonjugasi dan tidak bertujuan. Terdapat ketidakmampuan untuk melakukan gerakan pursuits selama beberapa minggu pertama kehidupan. Perkembangan refleksi optomotor pada dasarnya merupakan kejadian postnatal, dengan urutan kejadian adalah:^{4,18}

- Pada usia 2-3 minggu, mengikuti cahaya secara uniokular.^{4,18}
- Pada usia 6 minggu hingga 6 bulan, mengikuti cahaya secara binokular.^{4,18}
- Kemampuan konvergensi yang belum muncul saat lahir mulai berkembang pada usia 1 bulan dan sudah berkembang sempurna pada usia 6 bulan.^{4,18}
- Perkembangan akomodasi mengalami keterlambatan daripada perkembangan konvergensi yang disebabkan keterlambatan dalam perkembangan otot siliar, paralel dengan konvergensi pada usia 6 bulan.^{4,18}

Perkembangan Stereopsis

Sejak era Wheatstone (1838), stereopsis telah menjadi salah satu bidang penelitian penglihatan yang paling populer, dan secara rutin diukur dalam praktik klinis. Penyakit yang mempengaruhi stereopsis termasuk kekaburan, strabismus, dan ambliopia, dan pengukuran klinis dari stereopsis bernilai sebagai suatu metode skrining tidak langsung.^{1,5}

Stereopsis tidak terdapat saat lahir tapi telah ditunjukkan pada saat usia 3 hingga 4 bulan. Stereopsis muncul dengan onset yang tiba-tiba dengan perkembangan selanjutnya yang cepat menuju tingkat dewasa dalam beberapa minggu, dan terjadi lebih awal secara signifikan pada wanita daripada pria. Worth mempostulasikan suatu kemajuan dari satu tingkat dari penglihatan binokular hingga tingkat selanjutnya, dengan stereopsis merupakan tingkat tertinggi. Bagaimanapun, merupakan hal yang mungkin untuk memiliki fusi sensoris dan motoris tanpa stereopsis atau, yang lebih jarang, stereopsis tanpa fusi motoris.^{1,5}

KESIMPULAN

Penglihatan binokular adalah suatu keadaan visual yang simultan, yang didapat dengan penggunaan yang terkoordinasi dari kedua mata, sehingga bayangan yang sedikit berbeda dan terpisah yang timbul di tiap-tiap mata dianggap sebagai suatu bayangan tunggal dengan proses fusi. Penglihatan binokular diklasifikasikan ke dalam 3 tingkat yaitu persepsi simultan, fusi, dan stereopsis. Perkembangan penglihatan binokular dimulai sejak usia 3 bulan setelah lahir, mencapai puncaknya pada umur sekitar 2 tahun, dan berhenti pada usia 9 tahun. Berbagai hambatan dapat mengakibatkan perkembangan penglihatan yang abnormal yang dapat berupa hambatan sensoris, motoris, dan sentral.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Asakawa K, Ishikawa H. Binocular Vision and Depth Perception: Development and Disorders. In: Binocular Vision: Development, Depth

- Perception and Disorders. New York: Nova Science Publishers, Inc.; 2010. p. 139-54.
2. Skuta GL, Cantor LB, Weiss JS. Sensory Physiology and Pathology. In: Pediatric Ophthalmology and Strabismus. San Francisco: American Academy of Ophthalmology; 2011. p. 39-46.
 3. Howard IP, Rogers BJ. Introduction. In: Binocular Vision and Stereopsis. New York: Oxford University Press; 1995. p. 1-30.
 4. Bhola R. Binocular Vision. Available from <http://webeye.ophth.uiowa.edu/eyeforum/tutorials/Bhola-BinocularVision.htm>. Last update Jan 23, 2006.
 5. Ansons AM, Davis H. Binocular Function. In: Diagnosis and Management of Ocular Motility Disorders. Oxford: Blackwell Science Ltd.; 2001. p. 119-42.
 6. Banks MS, Aslin RN, Letson RD. Sensitive Period for the Development of Human Binocular Vision. Science. 1975; vol. 190: 675-7.
 7. Khurana AK. Binocular Single Vision. In: Comprehensive Ophthalmology Fourth Edition. New Delhi: New Age International (P) Ltd.; 2007. p. 318-20.
 8. Huang CB, Zhou J, Zhou Y, Lu ZL. Contrast and Phase Combinaton in Binocular Vision. PloS ONE. 2010; 5(12): 1-6.
 9. Parks MM. Binocular Vision. In: Ocular Motility and Strabismus. Maryland: Harper and Row; 1975. p. 33-46.
 10. Recker D, Lang GK. Ocular Motility and Strabismus. In: Ophthalmology A Pocket Textbook Atlas. New York: Thieme; 2006. p. 473-7.
 11. Goodman RL. Pediatrics and Strabismus. In: Ophtho Notes The Essential Guide. New York: Thieme; 2003. p. 341-4.
 12. Tyler CW. Binocular Vision. In: Duane's Clinical Ophthalmology. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 1-29.
 13. Von Noorden GK, Campos EC. Binocular Vision and Space Perception. In: Binocular Vision and Ocular Motility. Missouri: Mosby; 1928. p. 7-37.
 14. Wright KW. Binocular Vision and Introduction to Strabismus. In: Handbook of Pediatric Strabismus and Amblyopia. New York: Springer; 2006. p. 70-76.
 15. Howard IP, Rogers BJ. Development and Pathology of Binocular Vision. In: Binocular Vision and Stereopsis. New York: Oxford University Press; 1995. p. 603-44.
 16. Mitchell DE, Kind PC, Sengpiel F, Murphy K. Short Periods of Concordant Binocular Vision Prevent the Development of Deprivation Amblyopia. Eur J of Neuroscience. 2006; vol. 23: 2458-66.
 17. Parks MM. Binocular Vision Adaptations in Strabismus. In: Ocular Motility and Strabismus. Maryland: Harper and Row; 1975. p. 67-72.
 18. Wright KW. Visual Development and Amblyopia. In: Handbook of Pediatric Strabismus and Amblyopia. New York: Springer; 2006. p. 103-16