

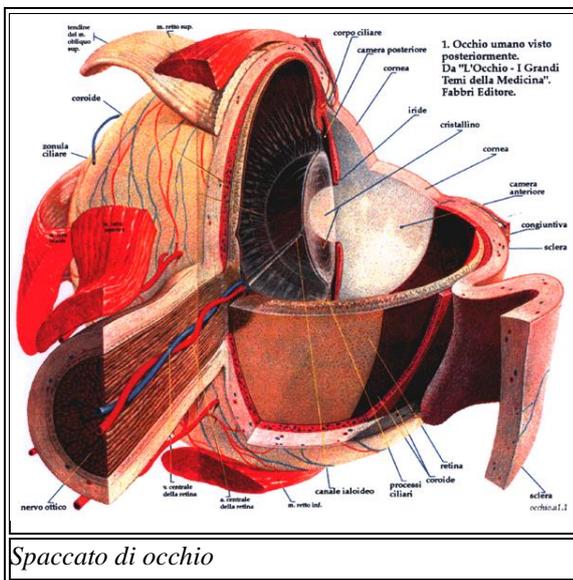
CENNI DI ANATOMIA

L'apparato della vista consta, essenzialmente, di tre formazioni:

- 1) l'occhio o bulbo oculare, o globo oculare;
- 2) il nervo ottico;
- 3) gli annessi oculari: pareti della cavità orbitaria, muscoli estrinseci dell'occhio, fascia del bulbo, corpo adiposo dell'orbita, sopracciglia e palpebre, congiuntiva, apparato lacrimale.

OCCHIO

GENERALITA'



L'occhio è un organo dalla forma sferoidale, alloggiato nella cavità orbitaria, protetto dalle palpebre e da altri annessi oculari. La sua funzione è quella di captare le radiazioni luminose provenienti dal mondo esterno e di trasformarle in impulsi nervosi che saranno utilizzati a scopi percettivi (visione) e riflessi.

Vi si considerano due poli, uno anteriore, al centro della cornea (che ne è il punto di maggior sporgenza, detto anche vertice), ed uno posteriore; un asse anatomico o asse ottico, che li congiunge, un equatore (circonferenza sul piano frontale,

equidistante tra i due poli), che lo divide in due emisferi (o segmenti anteriore e posteriore) di dimensioni pressoché uguali. Si considerano anche i meridiani: grandi cerchi passanti per i due poli; di questi i più importanti sono il meridiano orizzontale ed il meridiano verticale, che dividono l'occhio in quattro quadranti. Come detto, l'asse anatomico, o asse geometrico, è la linea sagittale che congiunge i due poli; nella sua totalità prende il nome di asse esterno, mentre per asse interno se ne intende il segmento che decorre all'interno dell'occhio, fra la cornea e la retina. Quest'ultimo prende anche il nome di asse ottico che, passando per il centro della pupilla (se questa è centrata), incontra il punto nodale, che è il centro ottico dell'occhio, situato internamente al cristallino (?). L'asse anatomico non coincide con l'asse visivo (o linea della visione), che congiunge un oggetto esterno, fissato con lo sguardo, con la fovea, passando per il punto nodale. La fovea, infatti, si trova spostata 4 mm lateralmente e 1 mm inferiormente rispetto al polo posteriore.

Anteriormente, l'occhio è in rapporto con le palpebre ed è coperto, fino al margine corneale, dalla congiuntiva che da queste si riflette sopra di esso. E' accolto in una specie di capsula formata dalla fascia del bulbo o di Tenone, che arriva fino alla cornea e che si fissa, mediante una sua espansione, al margine orbitario. L'occhio è separato dalla capsula mediante una

fessura che ne rende possibile la mobilità. Dietro la fascia si trova una massa di tessuto adiposo, il corpo adiposo dell'orbita, che contribuisce, insieme alla fascia ed alle sue dipendenze, a mantenere il bulbo in posizione e nel giusto grado di sporgenza.

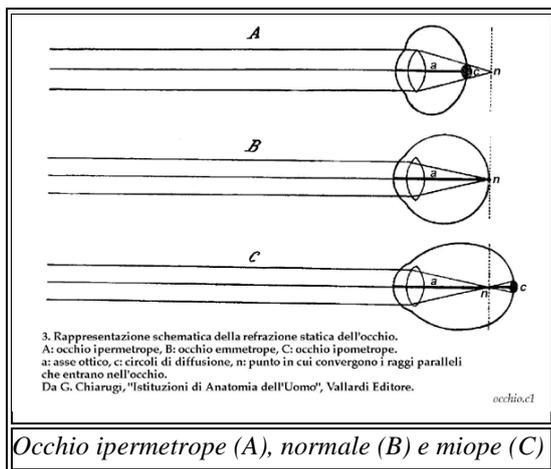
Il bulbo oculare è costituito da tre membrane sovrapposte: membrane oculari, e da un contenuto: nucleo del bulbo oculare. La membrana più superficiale è la tonaca fibrosa, che in un piccolo segmento anteriore, a contorno circolare, è trasparente e prende il nome di cornea; nella rimanente parte è opaca e si chiama sclera o sclerotica; le due zone sono separate da un solco anulare superficiale: il solco della sclera, sito a livello del sesto anteriore dell'occhio. All'interno della tonaca fibrosa è applicata la tonaca vascolare, ricca di vasi sanguigni e di pigmento scuro, e contenente elementi muscolari lisci. Questa, nella parte posteriore, la più estesa, ha una disposizione semplice e regolare e prende il nome di coroide; anteriormente ha una struttura più complicata e forma, unendosi alla retina, il corpo ciliare e, più avanti, l'iride. L'iride è un diaframma con un forame centrale circolare, la pupilla, posta posteriormente ed a una certa distanza dalla cornea; la sua funzione è quella di regolare la quantità di luce che entra nell'occhio. La più profonda delle tre membrane, la retina, è di natura nervosa e da essa origina il nervo ottico. La sua faccia posteriore, la più estesa, è disposta regolarmente sulla faccia profonda della coroide e prende il nome di parte ottica della retina, essendo responsabile della funzione visiva. La parte anteriore, invece, non contiene elementi di natura nervosa, non partecipa alla formazione del nervo ottico e prende il nome di parte cieca della retina. Aderisce alla faccia profonda del corpo ciliare e dell'iride e concorre alla formazione di questi organi, distinguendosi in parte ciliare e parte iridea. Le due parti sono separate da un avvallamento, noto come ora serrata.

Occhio: principali misure (valori medi)

Diametro antero-posteriore o sagittale (mm)	24,1-24,2
Diametro verticale (mm)	23,2-23,5
Diametro trasversale (mm)	23,0-23,6
Distanza interpupillare (cm)	6
Peso (g)	7-9
Pressione intraoculare (mmHg)	18-20
Angolo fra asse anatomico ed asse visivo (°)	5-7
Angolo fra gli assi anatomici dei due occhi (°)	10
Angolo fra asse anatomico ed asse dell'orbita (°)	18
Angolo fra gli assi delle due orbite (°)	46

All'interno del globo oculare, fra la cornea e l'iride, si trova uno spazio, camera anteriore, riempito di un liquido incolore, trasparente e fluido come l'acqua, che prende il nome di umor acqueo. Posteriormente alla camera anteriore, dietro l'iride e la pupilla, si trova il cristallino (o

lente cristallina o semplicemente lente): un corpo trasparente e biconvesso connesso, per mezzo di un particolare apparato di sospensione, la zonula ciliare, con la regione ciliare. Tra l'iride, il corpo ciliare ed il cristallino è compreso uno spazio anulare, la camera posteriore, comunicante con la camera anteriore lungo il margine della pupilla, ripiena anch'essa dello stesso umor acqueo. Il rimanente, ampio spazio del bulbo oculare, limitato dal cristallino col suo apparato sospensore e dalla retina, è occupato dal corpo vitreo, formato da sostanza di consistenza gelatinosa, incolore e trasparente.



Occhio ipermetrope (A), normale (B) e miope (C)

Cornea, umor acqueo, cristallino e corpo vitreo costituiscono i mezzi diottrici (o sistema o apparato diottrico) dell'occhio, che può essere considerato come una lente convergente dotata di un notevole potere refrattivo: circa 60 diottrie. I punti nodali vengono a trovarsi a circa 7 mm dalla cornea, mentre il punto dove convergono i raggi luminosi paralleli (fovea), si trova a 24 mm dalla cornea.

In un occhio perfettamente conformato ed a riposo (con l'apparato di accomodazione inattivo), la lunghezza dell'asse ottico ed il potere di refrazione dell'apparato diottrico sono tali che gli oggetti posti a distanza infinita proiettano la loro immagine nella parte ottica della retina: in queste condizioni, l'occhio si dice emmetrope. Quando non esiste un giusto rapporto fra potere refrattivo e lunghezza dell'asse ottico si parla di ametropie: ipermetropia quando l'immagine si forma dietro la retina e miopia quando l'immagine si forma davanti alla retina.

TONACA FIBROSA DELL'OCCHIO

Sclera o sclerotica

La sclera forma, con la cornea, la tonaca fibrosa dell'occhio e ne costituisce i cinque sesti posteriori. E' opaca, bianca e splendente. In vicinanza del nervo ottico ha lo spessore maggiore: 1-2 mm, si assottiglia anteriormente ed all'equatore misura 0,4-0,5 mm. E' costituita principalmente da fasci di fibre connettivali, strettamente unite, che si sovrappongono in molti strati e si intrecciano in ogni senso, anche se decorrono prevalentemente in direzione meridiana ed equatoriale. Contribuiscono alla sua formazione le fibre tendinee dei muscoli oculari. Vi si trovano anche molte fibre elastiche sottili che decorrono lungo i fasci connettivali e sono più abbondanti negli strati più superficiali.

La superficie esterna, convessa, è in rapporto con la capsula fibrosa formata dalla fascia o capsula di Tenone e ne è separata (tranne che in una stretta zona pericorneale) da una fessura attraversata da numerose trabecole connettivali che passano da una membrana all'altra senza per questo impedire i movimenti di rotazione del bulbo rispetto alla fascia.

Anteriormente sulla sclera si applica, con l'intermezzo della fascia del bulbo, la congiuntiva del bulbo; in questa regione la sclerotica è visibile fra le palpebre, formando il bianco dell'occhio. La superficie interna è per la maggior parte addossata alla coroide ed in avanti al corpo ciliare ed al contorno dell'iride. L'unione fra sclera e tonaca vascolare si attua per mezzo di tessuto connettivo lasso, pigmentato e costituito da trabecole che limitano lacune comunicanti che costituiscono, nel loro insieme, una fessura contenente liquido trasparente: lo spazio pericoroideo, attraversato dai vasi e dai nervi che vanno da una membrana all'altra. Data questa struttura, la sclera si può facilmente distaccare dalla coroide; quando ciò si verifica, rimane addossato alla sclera uno straterello di tessuto fiocoso e pigmentato che le conferisce un colore brunastro: la lamina fusca.

A livello dell'orifizio del nervo ottico, fasci di fibre che provengono dalle lamelle interne della sclera attraversano il foro in varie direzioni, incrociandosi fra loro e formando una lamina con molti piccoli orifizi, la lamina cribrosa della sclera, attraverso la quale passano i fascetti di fibre del nervo ottico. Intorno all'emergenza del nervo ottico, la sclera forma un canale che questo attraversa.

A molti livelli la sclera è attraversata da piccoli orifizi per il passaggio di vasi e nervi.

CORNEA

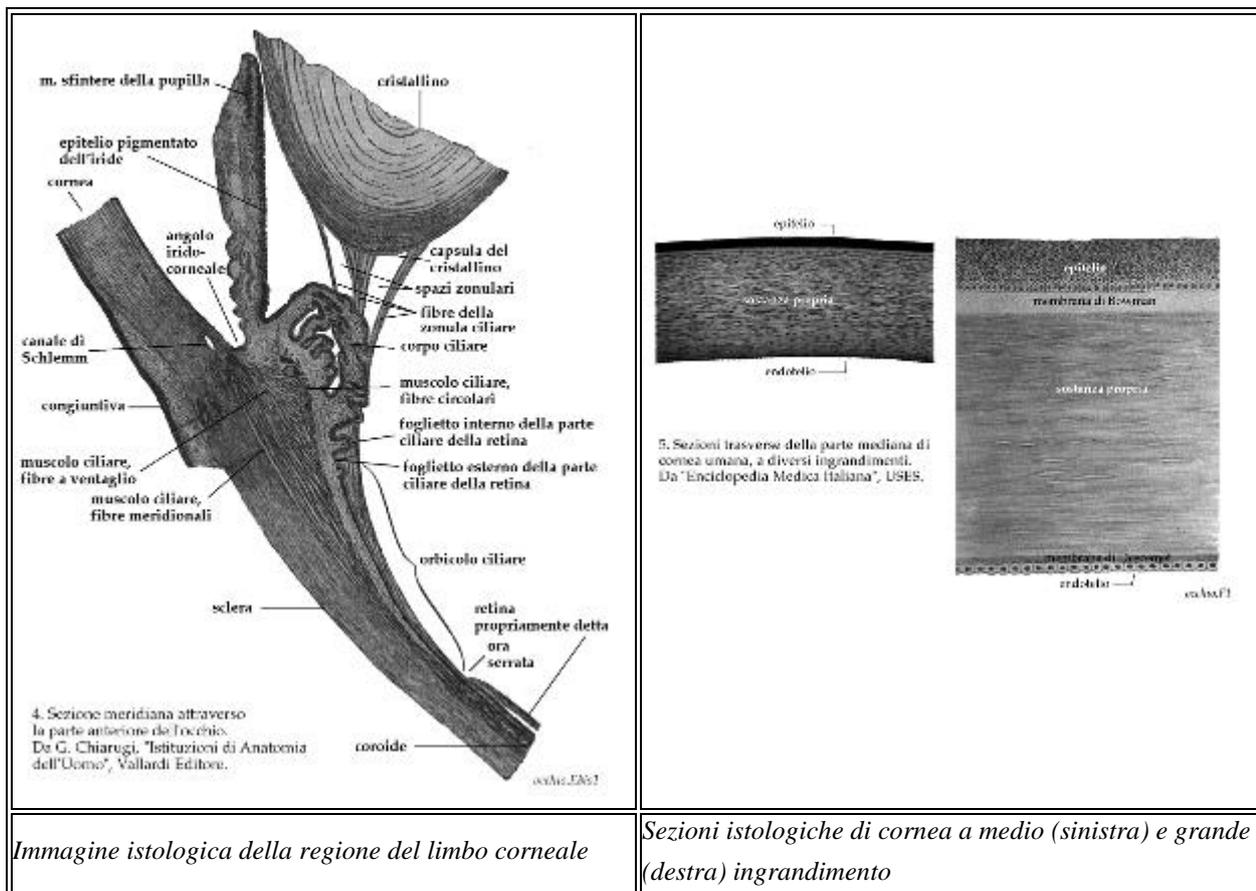
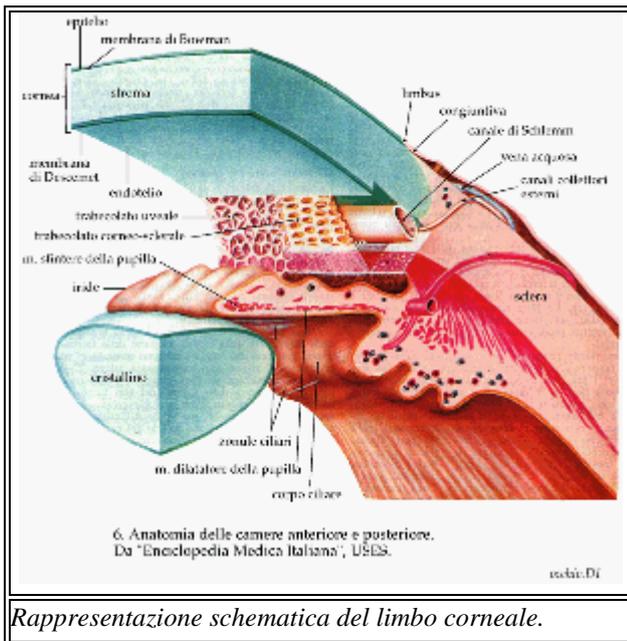


Immagine istologica della regione del limbo corneale

Sezioni istologiche di cornea a medio (sinistra) e grande (destra) ingrandimento



Rappresentazione schematica del limbo corneale.

E' il segmento anteriore della tonaca fibrosa dell'occhio, di cui costituisce circa un sesto. E' separata dalla sclera da una limitata area di transizione, il limbus sclerocorneale o orlo corneale. Ha l'aspetto di una calotta sferica, trasparente, e fa parte dell'apparato diottrico dell'occhio.

La superficie anteriore, di forma ellissoidale, ha un'estensione alquanto minore di quella posteriore ed è meno incurvata, avendo un raggio di curvatura maggiore. La congiuntiva bulbare, che è applicata sulla parte anteriore della sclera, si continua senza limiti netti sulla superficie anteriore della cornea col suo

epitelio, che diventa parte integrante della cornea stessa.

La superficie posteriore è regolarmente circolare, più estesa, più fortemente e più regolarmente incurvata della superficie anteriore.

La cornea ha proprietà speculare, per cui riflette gli oggetti del mondo esterno (1a immagine di Purkinje-Sanson) e, soprattutto, funzione diottrica, con un potere convergente di 41-45 diottrie; tale potere, però, non è uguale su tutti i meridiani, in quanto il loro raggio di curvatura è variabile anche in condizioni fisiologiche (da cui la genesi dell'astigmatismo corneale fisiologico e patologico); solo nei 4 mm più centrali la curvatura sarebbe perfettamente sferica. La cornea è costituita da diversi strati sovrapposti che, dalla superficie anteriore a quella posteriore, sono: epitelio corneale, lamina elastica anteriore (di Bowmann), sostanza propria, lamina elastica posteriore (di Demours o di Descemet), endotelio. Lo strato della sostanza propria è il più spesso, costituisce effettivamente la parte anteriore della tonaca fibrosa dell'occhio e rappresenta la parte sclerale della cornea.

Cornea: principali misure (valori medi, mm)

Diametro esterno trasversale all'orlo	12
Diametro esterno verticale all'orlo	11
Raggio di curvatura del meridiano verticale	7,75
Raggio di curvatura del meridiano orizzontale	7,7
Diametro interno	13
Raggio di curvatura posteriore	6,5
Spessore al margine sclerale	1,1
Spessore al vertice	0,7
Indice di rifrazione	1,3771

La cornea non possiede vasi ematici, se non per un'estensione di 1-2 mm a livello dell'orlo sclero-corneale. La nutrizione è assicurata solo dalla sua permeabilità. E' dotata di una ricca innervazione, che le conferisce intensa sensibilità dolorifica.

TONACA VASCOLARE DELL'OCCHIO (UVEA)

La tonaca vascolare dell'occhio (uvea o tratto uveale) è interposta fra la tonaca fibrosa, all'esterno, e la retina, all'interno. E' caratterizzata dalla ricchezza di vasi sanguigni, dalla forte pigmentazione e dalla presenza di tessuto muscolare. Può essere nettamente suddivisa in tre zone che, in direzione antero-posteriore, sono l'iride, il corpo ciliare e la coroide.

Iride

E' formato(a) dal segmento anteriore della tonaca vascolare e dalla parte iridea della retina, che gli si unisce posteriormente. Ha la forma di un disco circolare, posto sul piano frontale, davanti al cristallino ed a contatto di questo con la sua parte centrale. Inizia a circa un millimetro dal margine corneale e si dirige trasversalmente sul piano frontale, rimanendo separato dalla cornea tramite la camera anteriore, contenente umor acqueo. Presenta, nella parte centrale, un foro circolare, che è la pupilla. Il diametro totale è di circa 12 mm e lo spessore medio è di 0,3 mm, raggiungendo un massimo in vicinanza della pupilla.

La pupilla non ha sempre una posizione perfettamente centrale, ma può essere leggermente spostata, il più spesso in basso e in dentro. Normalmente è circolare, ma può anche essere ellittica, variamente orientata. Nel vivente, il diametro, mediamente di 3-4 mm, varia molto in condizioni di diversa illuminazione, stress, azioni farmacologiche, ecc.

Il muscolo sfintere della pupilla è un anello appiattito costituito da fascetti di muscolatura liscia che decorrono parallelamente al margine pupillare, della larghezza di 1 mm e dello spessore di 40-80 μm . La sua contrazione determina il restringimento della pupilla (miosi).

Lo strato esterno è in continuazione dello strato esterno della parte ciliare della retina, ma le sue cellule sono molto diverse, essendosi trasformate in epitelio-muscolari. Queste, di aspetto fusiforme, costituiscono una membranella dello spesso di 2-3 μm e formano così il muscolo dilatatore della pupilla. La sua contrazione provoca dilatazione della pupilla (midriasi).

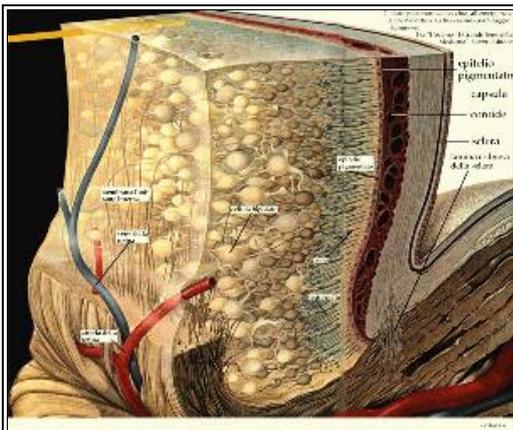
Corpo ciliare

Il corpo, o processo ciliare, è la zona media della tonaca vascolare dell'occhio che, facendo seguito all'iride, si estende fino alla coroide, da cui è separata da un solco anulare che prende il nome di ora serrata.

Il muscolo ciliare serve all'accomodazione, o adattamento refrattivo. Quando i vari ordini di fibre che lo compongono si contraggono, la regione ciliare si sposta in avanti verso la cornea (prevalentemente per azione delle fibre meridionali) ed in dentro, verso l'asse dell'occhio

(prevalentemente per azione delle fibre circolari). Ciò provoca il rilassamento dell'apparato sospensore del cristallino, cioè della zonula ciliare; il cristallino non è più sottoposto alla trazione della zonula (che lo distende in senso radiale e ne mantiene le superfici alquanto schiacciate) e, obbedendo alla sua elasticità, accorcia il suo diametro equatoriale e si ingrossa in direzione sagittale, aumentando la curvatura delle sue facce, particolarmente di quella anteriore. Questa condizione, che rende maggiore il potere refrangente del cristallino, è necessaria per la visione distinta degli oggetti vicini.

COROIDE



Parte posteriore dell'occhio, all'emergenza del nervo ottico

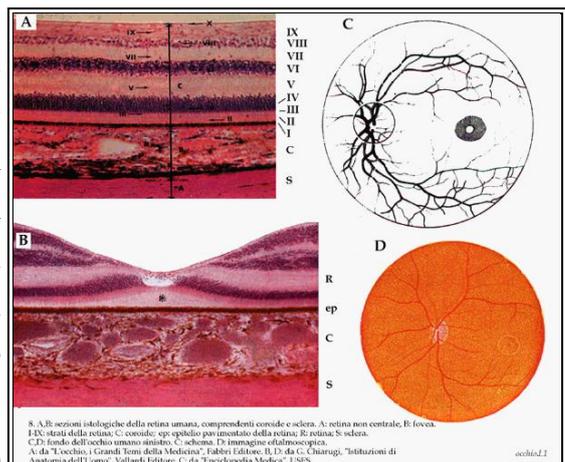
E' una membrana a forma di sfera cava, che si estende nei due terzi posteriori del bulbo, dall'entrata del nervo ottico all'ora serrata della retina, ove si continua gradualmente col corpo ciliare. E' riccamente vascolarizzata, e serve alla nutrizione dell'epitelio pigmentato e degli strati esterni della retina. Insieme all'epitelio pigmentato della retina, concorre col proprio pigmento ad assorbire i raggi luminosi che hanno attraversato la retina, impedendone la riflessione sulla sclerotica.

Ha colore rugginoso bruno scuro; per la ricchezza di vasi, nel vivente il suo spessore sarebbe di 200-300 μm . E' delicata e facilmente lacerabile.

RETINA

La retina è la più interna delle tre membrane che formano le pareti del globo oculare e si estende dal punto di entrata del nervo ottico fino al margine pupillare dell'iride. Per la sua origine, per la struttura della sua parte principale e per le sue connessioni con il nervo ottico, deve essere considerata come di natura nervosa. Risulta, in tutta la sua estensione, di due foglietti sovrapposti, che al margine pupillare dell'iride si riflettono e si continuano l'uno nell'altro: un foglietto esterno ed un foglietto interno. Considerata nel suo insieme, può essere suddivisa in due parti.

La zona posteriore, parte ottica, è la più estesa: dall'entrata del nervo ottico arriva fino all'ora serrata, cioè alla linea circolare festonata che si trova un po' davanti all'equatore ottico; il suo foglietto interno ha conseguito, nello sviluppo, una struttura complicatissima e serve alle funzioni visive. Il foglietto esterno, o strato



A sinistra: sezioni istologiche di retina periferica (in alto) e centrale (in basso). A destra: fondo dell'occhio

pigmentato, è rappresentato da un unico strato di speciali cellule con caratteristiche epiteliali, applicate sulla membrana basale della coroide e ricche di pigmento scuro (fucsina). Su tagli perpendicolari alla superficie della retina, queste cellule si mostrano a sezione esagonale e sono provviste, dalla parte rivolta verso la retina, di numerosi e sottili prolungamenti, o frange, che si insinuano fra i coni ed i bastoncelli.

RETINA PROPRIAMENTE DETTA

La retina propriamente detta, o foglietto interno della parte ottica della retina, è una membrana regolarmente applicata, mediante la sua superficie convessa, alla faccia profonda dello strato pigmentato, con l'intermezzo del quale è in rapporto con la coroide; è a contatto, mediante la sua superficie profonda, col corpo vitreo.

E' una membrana delicata, che facilmente si lacera e che, dopo la morte, si altera con grande rapidità.

In vita è trasparente. All'esame oftalmoscopico del fondo dell'occhio lascia vedere attraverso di essa una superficie rosso-brunastra dovuta allo strato pigmentato ed alla coroide; si vedono anche i vasi retinici, che decorrono negli strati interni della membrana.

Lo spessore della retina va lentamente diminuendo da dietro in avanti: sul contorno della papilla del nervo ottico misura 0,4 mm, diventando, all'ora serrata, di 0,1 mm.

Vi si descrivono tre regioni particolari: la papilla del nervo ottico, la macula lutea e l'ora serrata. La papilla del nervo ottico corrisponde al punto dove si raccolgono, convergendo da ogni parte, le fibre nervose che hanno preso origine nella retina e che vanno a costituire il nervo ottico. La papilla appare come un piccolo disco di color biancastro, circolare o leggermente ellittico con l'asse maggiore trasversale, del diametro di 1,5-1,7 mm.

E' situata a 3-4 mm dal polo posteriore del bulbo, 1 mm più in basso. Non è prominente ma, situata sullo stesso piano della retina, presenta al centro una depressione, più o meno estesa e profonda, nota come escavazione fisiologica, dalla quale emergono i vasi retinici. E' insensibile alla luce e costituisce la localizzazione anatomica dello scotoma fisiologico.

La macula lutea è una piccola regione della retina che si trova presso il polo posteriore dell'occhio, lateralmente ad esso. Il suo centro si trova a 3,91 mm lateralmente al centro della papilla e 0,78 mm più in basso; al suo centro corrisponde l'estremità posteriore della linea della visione.

Ha forma leggermente ellittica, a grand'asse orizzontale; i limiti sono indistinti ed il diametro medio è di circa 2 mm. La sua parte periferica è rilevata a cercine, mentre centralmente presenta una fossetta, la fovea centrale, lunga 0,2-0,4 mm, dove la retina è molto sottile (0,1-0,08 mm). Nella fovea, lo strato delle cellule visive, che è il più profondo, a causa della riduzione degli strati antistanti è quasi allo scoperto, ed è perciò più accessibile all'azione diretta dei raggi luminosi; la fovea è la regione della visione distinta. L'ora serrata segna il margine anteriore della parte ottica della retina che, assottigliandosi bruscamente e modificandosi nella struttura, si continua nella parte ciliare. E' situata anteriormente all'equatore, circa 7 mm dietro la cornea.

Appare come una linea circolare, formata da una serie di festoni le cui sporgenze corrispondono agli intervalli fra i processi ciliari.

STRUTTURA DELLA RETINA

La retina è composta da molti strati sovrapposti che, andando dalla superficie esterna (applicata allo strato pigmentato) fino alla superficie interna (applicata al corpo vitreo) sono:

- 1°: strato: dei coni e dei bastoncelli
- 2°: membrana limitante esterna
- 3°: dei granuli esterni
- 4°: plessi forme esterno
- 5°: dei granuli interni
- 6°: plessiforme interno
- 7°: delle cellule multipolari
- 8°: delle fibre nervose
- 9°: membrana limitante interna.

1.- Strato dei coni e dei bastoncelli. I coni ed i bastoncelli, cellule altamente specializzate che prendono il nome dalla forma del loro segmento esterno, sono gli elementi recettoriali del sistema visivo deputati alla trasduzione dell'energia luminosa in potenziali elettrici.

I bastoncelli sono disposti in una file semplice, a palizzata, perpendicolarmente alla membrana limitante esterna, sulla quale sembrano come impiantati ed in corrispondenza della quale ha luogo la loro continuazione con la rispettiva fibra; la loro estremità libera è volta verso l'epitelio pigmentato, arrivando a contatto delle cellule che lo compongono; i coni terminano un po' prima. Nella maggior parte della retina si vedono gruppi di bastoncelli, rigorosamente paralleli ed accostati gli uni agli altri, e ad ogni intervallo fra questi gruppi si trova un cono. Complessivamente, i bastoncelli sono in numero di 75 milioni, i coni di 3 milioni. Nella fovea centrale, fino a 0,25 mm dal suo centro, non esistono che coni; al di là cominciano ad intercalarsi i bastoncelli che aumentano progressivamente, fino a che, a 3-4 mm dal centro della fovea, sono divenuti venti volte più numerosi dei coni. Questa proporzione rimane sensibilmente costante fino alle immediate vicinanze dell'ora serrata, dove i bastoncelli diminuiscono di numero, senza che aumenti quello dei coni; qui gli uni e gli altri non sono più a stretto contatti fra loro, ma spazieggiati.

2.- Membrana limitante esterna. E' una linea sottile, netta e molto regolare che separa i segmenti esterni dei recettori da quelli interni. Terminano nella sua faccia profonda, e concorrono a formarla, le cellule di Muller.

3.- Strato dei granuli esterni. E' grosso (30-40 μm) e costituito dai corpi cellulari dei recettori con i loro nuclei (granuli, da cui deriva il nome dello strato) e le loro espansioni. I prolungamenti lamellari delle cellule di Muller separano fra loro i corpi cellulari delle cellule visive.

4.- Strato plessiforme esterno. E' sottile e formato da un intreccio di sottili fibre decorrenti in vario senso. Vi si incontrano i rigonfiamenti terminali delle cellule recettoriali e quelli delle cellule bipolari. E' attraversato dalle cellule di Muller e vi si può trovare il corpo di qualche cellula orizzontale.

5.- Strato dei granuli interni. E' spesso e caratterizzato dalla presenza di un gran numero di nuclei (granuli interni), che appartengono alle cellule orizzontali (disposte in doppia fila), alle cellule bipolari, più numerose, alle cellule di Muller ed alle cellule amacrine.

6.- Strato plessiforme interno. Grosso, è costituito da fibre intrecciate in tutti i sensi. Contiene le terminazioni delle cellule bipolari, delle cellule gangliari, delle cellule amacrine, delle cellule orizzontali.

7.- Strato delle cellule gangliari. Contiene, disposte in fila semplice e vicine l'una all'altra, le cellule gangliari (o multipolari) con la grossa origine dei loro prolungamenti. Vi si trovano anche il corpo e le espansioni di parte degli astrociti ed i soliti prolungamenti delle cellule di Muller.

8.- Strato delle fibre nervose. Inizia sottilissimo al limite anteriore della parte ottica della retina e, per aggiunta delle fibre nervose nate dalle cellule gangliari, ingrossa gradualmente nella direzione della papilla, dove arriva al suo massimo di 20 μm . La direzione delle fibre, in genere meridiana, si complica dal lato temporale, per la presenza della macula, che le costringe a compiere archi concentrici intorno ad essa. I fasci che provengono dalle parti più periferiche della retina si portano alla parte centrale della papilla, quelli dalle porzioni più vicine entrano nella sua parte periferica.

9.- Membrana limitante interna. E' formata dalla superficie di base delle cellule di Muller, tra loro riunite in uno strato continuo, con l'interposizione di sostanza cementante.

Le cellule radiali di Muller si estendono in altezza come sottili pilastri che si dispongono radialmente e riempiono praticamente tutto il volume non occupato dalle cellule nervose. Esse inoltre formano, con estensioni specializzate dei loro prolungamenti, le membrane limitanti della retina. Questi elementi, detti di sostegno, sono stati per lungo tempo considerati elementi passivi. Ma sono, in realtà, sede di fenomeni elettrici concomitanti con l'attività dei neuroni retinici (cfr. elettroretinogramma).

CAMERA ANTERIORE

La camera anteriore è lo spazio limitato in avanti dalla faccia posteriore della cornea e dall'orlo sclero-corneale; in dietro dalla faccia anteriore dell'iride e dalla parte della faccia anteriore del cristallino che si affaccia alla pupilla. Convessa in avanti, leggermente concava in dietro, la sua profondità va diminuendo dalla parte centrale verso la periferia; termina lungo di questa con un angolo diedro, l'angolo dell'iride o irido-corneale, cui corrispondono il sistema trabecolare sclero-corneale ed il margine ciliare dell'iride, connesso col corpo ciliare. Il contorno è circolare, quindi i suoi diametri verticale ed orizzontale si equivalgono.

Poiché l'iride è applicata solo leggermente alla faccia anteriore del cristallino, rimane fra le due strutture una fessura capillare talché la camera anteriore comunica, attraverso la pupilla, con la camera posteriore, disposizione importante per la circolazione dell'umor acqueo.

UMOR ACQUEO

L'umor acqueo, che riempie le due camere dell'occhio, è un liquido scorrevole come acqua, trasparente, incolore, senza elementi morfologici o, al più, con qualche raro linfocita.

Umor acqueo: caratteristiche fisico-chimiche

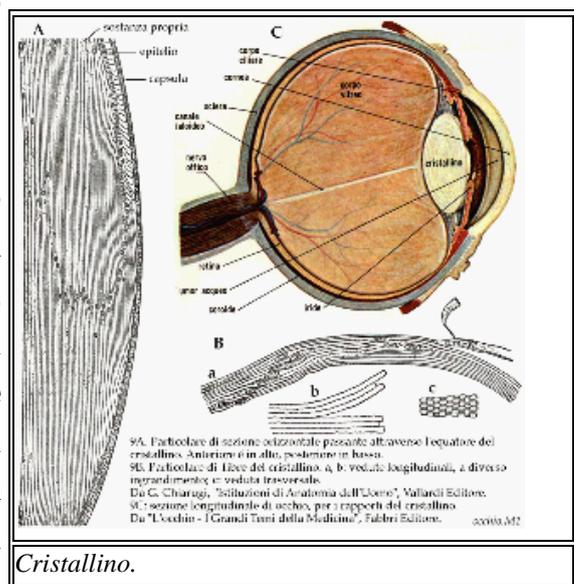
Peso specifico	1,008-1,009
Indice di rifrazione	1,337
Acqua (%)	98-98,5
Cloruro di Sodio (%)	1-1,3
Albumine ed altro	tracce
Pressione (mmHg)	14 - 20

L'umor acqueo si forma per secrezione dall'epitelio dei processi ciliari, forse anche con la partecipazione dell'epitelio dell'iride. Quindi si versa nella camera posteriore e da questa passa, scorrendo fra iride e cristallino, attraverso la pupilla, nella camera anteriore, dove è riassorbito. Il riassorbimento ha luogo principalmente all'angolo dell'iride; qui, sollecitato da una pressione endoculare che normalmente si aggira sui 14-20 mmHg, attraversa un filtro (trabecolato sclerocorneale) e si immette nel canale di Schlemm, dal quale fuoriesce tramite le vene acquose o episclerali, tributarie delle vene ciliari anteriori.

L'umor acqueo è uno dei mezzi refrattivi dell'occhio e contribuisce alla nutrizione degli elementi che bagna, particolarmente del cristallino e della cornea

CRISTALLINO

Il cristallino, o lente cristallina che fa parte dell'apparato diottrico dell'occhio, è un organo a forma di lente biconvessa ed a contorno circolare, situato dietro l'iride e davanti al corpo vitreo. Si affaccia anteriormente nella camera anteriore mentre con la sua parte marginale si discosta gradatamente dall'iride e contribuisce a limitare la camera posteriore. Il polo anteriore è a distanza variabile dal vertice della cornea: in media, la distanza è di 3,5 mm. La faccia posteriore è accolta esattamente nella fossa ialoidea della



Cristallino.

superficie anteriore del corpo vitreo. Il polo posteriore dista circa 16 mm dalla fovea centrale della retina. L'equatore, situato nel piano del corpo ciliare, è a questo collegato mediante uno speciale apparato sospensore, la zonula ciliare (di Zinn), distando dai processi ciliari 1 mm o più.

In relazione alla sua forma, si considerano due facce: una anteriore ed una posteriore, ambedue convesse, separate da un margine arrotondato detto equatore, situato su un piano parallelo ed anteriore a quello dell'equatore dell'occhio. L'equatore del cristallino presenta lievi intaccature, dipendenti dall'azione delle fibre della zonula. Il punto centrale della faccia anteriore dicesi polo anteriore, quello della faccia posteriore, polo posteriore. L'asse è la linea ideale che congiunge i due poli.

Le due facce del cristallino non sono ugualmente incurvate: l'anteriore è paragonabile ad un ellissoide, la posteriore ad un paraboloide. La faccia anteriore è meno incurvata della posteriore; entrambe sono più incurvate nel bambino e meno nell'anziano. La curvatura delle facce cambia (maggiormente quella anteriore) secondo le condizioni della visione: nell'occhio a riposo o nella visione da lontano sono meno incurvate che durante l'accomodamento per la visione degli oggetti vicini.

In vita, il cristallino è trasparente, incolore ed elastico. Nel feto è molto molle, ma già nel neonato gli strati profondi contengono meno acqua e sono più consistenti dei superficiali; soltanto al 30° anno, però, si può parlare di un corpo interno più consistente (nucleo). Nucleo e strato corticale trapassano insensibilmente l'uno nell'altro e sono in proporzione variabile secondo i soggetti. Nel vecchio, il processo di indurimento finisce con l'interessare tutto l'organo e la lente perde definitivamente la sua plasticità. Alla perdita di acqua è associata una lieve opalescenza, che inizia nel nucleo e diffonde verso l'equatore. La plasticità del cristallino è condizione indispensabile per i cambiamenti di curvatura che si hanno nell'accomodazione; il nucleo è troppo rigido per parteciparvi e, quando si estende agli strati superficiali, l'organo diventa del tutto rigido. Da ciò dipende la presbiopia.

Il cristallino è formato da una capsula, da un epitelio semplice posto sotto la capsula, nella faccia anteriore, e da una massa principale, la sostanza del cristallino.

La capsula del cristallino, o cristalloide, è una membrana perfettamente continua che circonda da ogni lato il cristallino. È trasparente, molto elastica e friabile. A scopo topografico, può essere suddivisa in una cristalloide anteriore ed in una posteriore, dove la sua grossezza gradatamente si assottiglia dalla periferia al centro. Globalmente, lo spessore va da 20-25 μm anteriormente ad un minimo di 5 μm posteriormente. Dà inserzione alle fibre della zonula ciliare di Zinn.

L'epitelio del cristallino, posto dietro la faccia profonda della cristalloide anteriore, risulta di uno strato semplice di cellule chiare, di contorno poligonale, unite da ponti citoplasmatici e da cemento intercellulare. Nella regione equatoriale, le cellule crescono molto in altezza e si dispongono in file radiali; da questi elementi così modificati, attraverso forme di transizione si passa alle vere e proprie fibre cristalline.

La sostanza del cristallino, che rappresenta la quasi totalità dell'organo, è formata dalle fibre cristalline, cellule epiteliali che hanno subito una particolare evoluzione; sono caratterizzate dalla notevole lunghezza (fino a 8 mm, quelle più superficiali), dalla struttura e dal modo di aggrupparsi. Sono dirette in senso meridiano, dalla parte anteriore a quella posteriore dell'organo. Sono chiare, trasparenti, molli e molto flessibili; il citoplasma è ricchissimo di acqua. Sono unite fra loro da sostanza cementante. A seconda della posizione che occupano, vengono classificate in fondamentali, che formano il grosso strato corticale, intermedie, di transizione, e centrali, che formano il nucleo ed hanno forma prismatica, più corte e sottili delle precedenti.

Il cristallino manca di nervi, vasi sanguigni e linfatici. Alla sua nutrizione provvede l'umor acqueo.

Cristallino: misure e proprietà fisiche

Diametro (mm)	9-10
Peso (g)	0,2-0,25
Peso specifico	1,067
Raggi di curvatura (mm)	
Faccia anteriore, a riposo	10
Faccia anteriore, nell'accomodazione (7D)	6
Faccia posteriore, a riposo	6
Faccia posteriore, nell'accomodazione (7D)	5,5
Lunghezza dell'asse (mm)	
A riposo	3,6
Nell'accomodazione (7D)	4
Composizione (%)	
Acqua	58
Proteine (in particolare cristallina o facoalbumina)	35,9
Indici di rifrazione	
Nella capsula	1,3599
Negli strati periferici	1,3880
Negli strati medi	1,4060
Nel nucleo	1,4107

ZONULA CILIARE (DI ZINN)

Col nome di zonula ciliare (di Zinn) o di apparato sospensore del cristallino si intende un complicato sistema di fibre, le fibre zonulari, tese fra il corpo ciliare ed il cristallino. Nel suo insieme, è un anello a forma di prisma triangolare: la base è alla zona equatoriale del cristallino ed i lati, che gradatamente si incurvano come il bulbo oculare, si uniscono in un angolo

acutissimo, che raggiunge l'ora serrata. Occupa la parte posteriore della camera posteriore e negli interstizi fra le fibre, spazi zonulari, è contenuto umor acqueo.

La maggior parte delle fibre prende origine nella zona media del corpo ciliare, che comprende la parte anteriore dell'orbicolo e la parte posteriore della corona ciliare. In quest'ultima, gli attacchi delle fibre si hanno principalmente sulle facce laterali dei processi ciliari e nel fondo delle vallecule. Sul cristallino, le fibre zonulari si inseriscono all'equatore e sulle parti prossime delle due facce.

La zonula serve a fissare il cristallino e, durante il riposo del muscolo ciliare, trovandosi in stato di tensione, mantiene il cristallino disteso in senso radiale ed alquanto schiacciato. Quando il muscolo ciliare si contrae, le fibre si rilasciano e la convessità del cristallino aumenta.

CAMERA POSTERIORE

La camera posteriore è limitata in avanti dalla faccia posteriore dell'iride, in dietro dalla faccia anteriore del cristallino e dalla parte periferica della superficie anteriore del corpo vitreo, in fuori dal corpo ciliare ed in particolare dai processi ciliari. E' una cavità a forma anulare, piccola ed a superficie in parte assai irregolare. In dietro, la camera posteriore è attraversata in tutti sensi dalle fibre della zonula ciliare, quindi gli spazi zonulari ne fanno parte, ed anch'essi contengono umor acqueo.

CORPO VITREO

Il corpo vitreo è l'organo che occupa l'ampio scompartimento posteriore della cavità del globo oculare, quella che rimane dietro il cristallino e che è limitata dal cristallino stesso col suo apparato sospensore e dalla retina. Ha nell'insieme forma sferoidale, con un infossamento nella parte anteriore, la fossa ialoidea, che si modella esattamente sulla convessità della faccia posteriore del cristallino.

E' costituito da sostanza incolore, trasparente, gelatinosa e vischiosa. Il peso specifico è di 1,005, l'indice di rifrazione 1,338 e contiene il 98,4% di acqua.

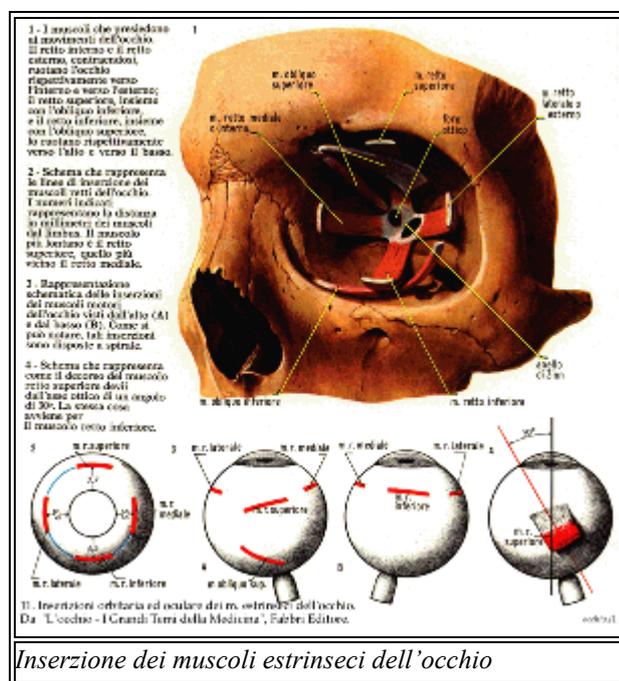
NERVO OTTICO

Il nervo ottico è un cordone di fibre nervose (circa un milione, per lo più di 2 mm di diametro), spettante al diencefalo e sviluppatosi nel peduncolo della vescicola oculare, che ha acquistato le apparenze di un nervo periferico. Va dalla retina al chiasma ottico. Emerge 3-4 mm medialmente rispetto al polo posteriore, circa 1 mm più in basso e percorre in direzione pressoché sagittale la cavità orbitaria; attraversa il forame ottico ed entra nella cavità cranica dove, volgendo in dentro ed in dietro, raggiunge l'angolo antero-laterale del chiasma, dove si continua. Ha una lunghezza di circa 5 cm ed un diametro di 3-4 mm.

Nell'orbita, il nervo, che qui è lungo circa 3 cm, non è rettilineo, ma incurvato ad S, descrivendo due curve: una anteriore a convessità mediale, l'altra posteriore a convessità laterale, permettendo al globo oculare di eseguire liberamente, senza che il nervo venga stirato, i suoi movimenti di rotazione. Avvolto da una sottile membrana, fornita dalla capsula del bulbo ed immerso nel corpo adiposo, il nervo percorre l'asse della piramide formata dai muscoli retti e, all'apice dell'orbita, si trova contornato dalla loro origine e dal loro anello tendineo, che aderisce alla sua guaina durale; ad essa aderisce anche il tendine di origine del muscolo obliquo superiore.

ANNESI OCULARI

MUSCOLI ESTRINSECI DELL'OCCHIO



I muscoli striati che presiedono ai movimenti oculari sono tutti contenuti nella cavità orbitaria e vengono classificati in due gruppi: muscoli retti (superiore, inferiore, laterale e mediale) ed obliqui (superiore ed inferiore). Alcuni Autori annoverano fra questi muscoli anche l'elevatore della palpebra superiore, essendo anch'esso contenuto nella cavità orbitaria. Data la sua diversa funzione, però, questo muscolo verrà trattato insieme alle palpebre.

I muscoli della cavità orbitaria contraggono particolari rapporti con la fascia del bulbo che forma, per ciascuno di loro, una guaina completa.

Inserzione dei muscoli estrinseci dell'occhio

Tutti i muscoli retti traggono origine da un'unica

formazione tendinea posta sul fondo dell'orbita: l'anello tendineo comune di Zinn. Si tratta di un anello imbutoforme che contorna il tratto mediale e superiore del margine del forame ottico e lateralmente si attacca ad una sporgenza della faccia orbitaria della grande ala dello sfenoide. Il margine anteriore dell'anello, svasato, si prolunga nei tendini di origine dei muscoli retti.

I muscoli retti hanno anche altri caratteri in comune. Sono allungati, nastriformi, più stretti in dietro e più larghi in avanti. Scorrendo in prossimità delle pareti dell'orbita, si portano in avanti divergendo fino all'equatore dell'occhio; poi si incurvano sul segmento anteriore di questo e, per mezzo di un tendine lungo, appiattito, sottile, più largo del corpo muscolare, si attaccano alla sclera, a breve distanza dalla cornea. Nell'insieme, descrivono un cono con l'apice posteriore e la base aperta in avanti, che abbraccia il globo oculare ed è attraversato dal nervo ottico. Inizialmente decorrono sulla superficie del corpo adiposo dell'orbita, per poi immergersi quando si accostano al bulbo oculare. Considerati insieme, il corpo ed il tendine hanno mediamente la stessa lunghezza, che è circa di 40 mm, ma la lunghezza del tendine varia

per ciascun muscolo, essendo massima nel retto mediale (8,8 mm), minima nel retto laterale (3,7 mm) ed intermedia negli altri due (5,5-5,8 mm). Il più grosso e robusto è il retto mediale.

Muscolo retto superiore.

Nasce dalla parte superiore dell'anello tendineo. E' posto immediatamente al di sotto ed accollato al muscolo elevatore della palpebra superiore. Anteriormente è incrociato, obliquamente e dal di sotto, dalla porzione riflessa del tendine del muscolo obliquo superiore. La linea di inserzione sull'occhio è lunga mediamente 10,6 mm, leggermente convessa in avanti ed obliqua; rispetto al meridiano verticale, è più estesa lateralmente. E' innervato dal nervo oculomotore. Contraendosi, determina un movimento di sola elevazione soltanto quando l'occhio è abdotto di 23°; ha pura funzione di rotatore interno quando l'occhio è abdotto; in tutte le posizioni intermedie ha una funzione mista di rotatore ed elevatore.

Muscolo retto mediale.

Nasce dalla parte mediale dell'anello tendineo e termina inserendosi sulla sclera con una linea di inserzione mediamente lunga 10,3 mm, leggermente convessa in avanti, parallela all'equatore e per lo più simmetrica rispetto al meridiano orizzontale. Decorre fra il muscolo obliquo superiore, in alto, ed il retto inferiore, in basso. E' innervato dal nervo oculomotore. Contraendosi, fa ruotare il globo all'interno, portando la cornea medialmente, nel piano orizzontale (adduzione).

Muscolo retto inferiore.

Nasce dalla parte inferiore dell'anello tendineo e termina sulla sclera con una linea di inserzione lunga 9,8 mm, per lo più molto convessa in avanti, leggermente obliqua e simmetrica rispetto al meridiano verticale. Anteriormente è separato dalla parete inferiore dell'orbita dal muscolo obliquo inferiore, che lo accoglie nella sua concavità. E' innervato dal nervo oculomotore. Contraendosi, fa ruotare l'occhio in basso quando è abdotto; è un puro ruotatore esterno quando l'occhio è addotto ed ha una funzione mista nelle posizioni intermedie.

Muscolo retto laterale.

Il principale capo d'origine nasce dalla parte laterale dell'anello tendineo. Termina inserendosi mediamente a 6,9 mm dal tratto laterale del margine corneale; la linea di inserzione è lunga 9,2 mm, leggermente convessa in avanti, leggermente obliqua e per lo più simmetrica rispetto al meridiano orizzontale. E' innervato dal nervo abducente. Contraendosi, fa ruotare soprattutto il globo all'esterno, portando la cornea lateralmente, sul piano orizzontale (abduzione).

Muscolo obliquo superiore.

E' il più lungo e sottile dei muscoli oculari. Nasce, per mezzo di un breve tendine, sul contorno mediale del forame ottico, in immediato rapporto in alto con la inserzione del m. elevatore della

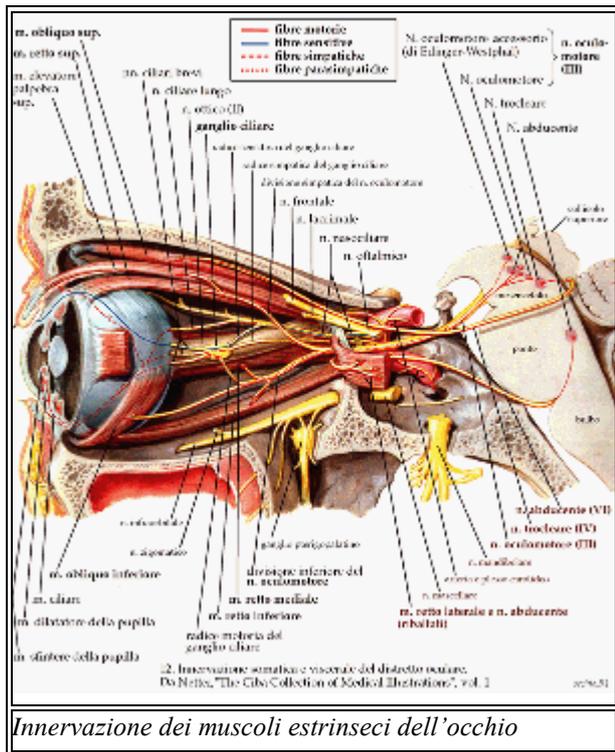
palpebra superiore. Si porta col suo ventre, leggermente appiattito, in avanti, occupando l'angolo supero-mediale dell'orbita. In prossimità della base dell'orbita, si trasforma in un tendine cilindrico che si immette subito in un occhiello fibro-cartilagineo, la troclea, fissato alla fossetta o alla spina trocleare dell'osso frontale, dove è contornato da una piccola borsa mucosa, la borsa trocleare. Il tendine attraversa la troclea, si riflette su di essa e si dirige lateralmente ed in dietro verso il bulbo oculare, slargandosi a ventaglio man mano che vi si accosta. Termina inserendosi sulla sclera, nella parte supero-laterale dell'emisfero posteriore dell'occhio. La linea di inserzione, larga circa 11 mm, è convessa indietro e lateralmente, obliqua e rimane più di mezzo centimetro dietro l'inserzione del muscolo retto superiore. E' innervato dal nervo trocleare. Contraendosi, è un abbassatore quando l'occhio è addotto di 50°; in abduzione è un ruotatore esterno in modo che l'estremità superiore del meridiano verticale si inclina in dentro. Inoltre solleva la metà posteriore del bulbo e quindi la cornea ruota all'esterno. Complessivamente ruota, abbassa ed abduce il bulbo.

Muscolo obliquo inferiore.

E' il più corto fra i muscoli dell'occhio. Nasce dalla parte antero-mediale della parete inferiore dell'orbita, sull'osso mascellare, subito sotto la fossa del sacco lacrimale. Si dirige lateralmente e nello stesso tempo in dietro ed in alto, descrivendo un'ansa intorno al globo oculare e raggiungendo la sclera circa all'altezza del meridiano orizzontale, con una linea di inserzione larga circa 10 mm, leggermente convessa in alto ed obliqua, a 16 mm dall'orlo della cornea. A livello della sua inserzione, è coperto dal muscolo retto laterale, mentre, nel descrivere la sua curva sotto al globo oculare, incrocia obliquamente e dal di sotto il muscolo retto inferiore, tanto che le due guaine aderiscono intimamente. E' innervato dal nervo oculomotore.

Contraendosi, è un puro elevatore in adduzione; in abduzione è un ruotatore esterno in modo che l'estremità superiore del meridiano verticale si inclina in fuori; inoltre esso attira in basso la metà posteriore del bulbo e quindi la cornea si innalza; infine attira in dentro la metà posteriore del bulbo e quindi lo abduce.

INNERVAZIONE DEI MUSCOLI ESTRINSECI DELL'OCCHIO.



L'innervazione dei muscoli estrinseci dell'occhio è fornita da tre paia di nervi cranici: il nervo oculomotore comune (III), il nervo trocleare (IV) ed il nervo abducente (VI).

Nervo oculomotore comune.

E' un nervo motore somatico, per l'elevatore della palpebra superiore e tutti i muscoli estrinseci ad esclusione dell'obliquo superiore e del retto laterale, e viscerale, per la muscolatura intrinseca del muscolo ciliare e dello sfintere della pupilla. Il nucleo di origine si trova nel mesencefalo, anteriormente all'acquedotto di Silvio, ed è costituito da grossi neuroni somatici e da piccoli neuroni viscerali. Si tratta, in realtà, di un complesso nucleare, che può essere suddiviso in:

nucleo dorso-laterale (per il retto superiore), nucleo intermedio (per il retto inferiore), nucleo ventro-mediale (per l'obliquo inferiore), nucleo centrale (per il retto mediale) e nucleo caudale (per l'elevatore della palpebra superiore). il complesso nucleare riceve fibre dalla corteccia cerebrale ipsi- e contro-laterale tramite il fascio genicolato della capsula interna e dai collicoli superiori tramite il fascio tettobulbare. Attraversata la fessura orbitaria superiore e l'anello di Zinn, il nervo oculomotore penetra nella cavità orbitaria, dove si risolve nei suoi rami terminali: uno superiore (per il retto superiore e l'elevatore della palpebra superiore) ed uno inferiore, quest'ultimo, a sua volta, suddiviso in tre ramoscelli (per il retto mediale, l'inferiore e l'obliquo inferiore). Dalla branca diretta al muscolo obliquo inferiore origina un corto e spesso ramo nervoso che raggiunge la porzione inferiore del ganglio ciliare e che contiene le fibre parasimpatiche originate dal nucleo di Edinger e Westphal.

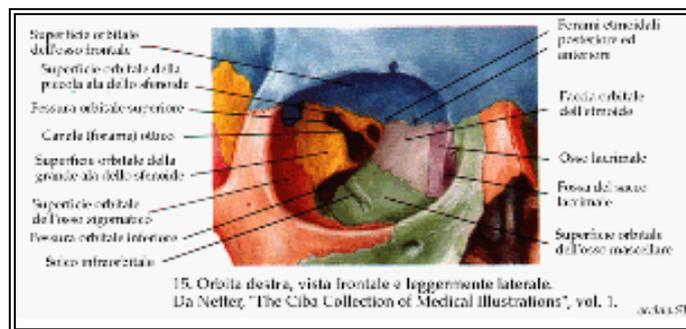
Nervo trocleare. E' un nervo motore somatico puro e provvede all'innervazione del muscolo obliquo superiore. Il nucleo di origine è posto nel mesencefalo, a livello dei collicoli inferiori, sotto il complesso nucleare dell'oculomotore. Il nucleo trocleare riceve le stesse afferenze ed ha le stesse connessioni del nucleo del nervo oculomotore. Il nervo trocleare è l'unico nervo cranico ad emergere dalla superficie dorsale dell'encefalo. Penetra nella cavità orbitaria attraverso la fessura orbitaria superiore, al di fuori dell'anello di Zinn, e si distribuisce nel muscolo obliquo superiore.

Nervo abducente.

È un nervo motore somatico puro che innerva il muscolo retto laterale. Il nucleo di origine è situato nel pavimento del IV ventricolo. Il nucleo dell'abducente riceve le stesse afferenze ed ha le stesse connessioni degli altri nuclei dei nervi oculomotori. Il nervo penetra nella cavità orbitaria passando per la porzione più mediale della fessura orbitaria superiore, attraversa l'anello di Zinn e termina nella faccia mediale del muscolo retto laterale.

ORBITA

Le orbite sono due cavità a forma di piramide quadrangolare, con l'asse leggermente inclinato in basso ed all'esterno; gli assi delle due orbite, prolungati posteriormente, si incontrerebbero



in corrispondenza della sella turcica, formando un angolo di 40-45°. Contengono il bulbo oculare, che occupa la metà anteriore della cavità, separato dalle pareti orbitarie da una distanza variabile tra i 9 e gli 11 mm, ed è più vicino alla pareti esterna e superiore.

CENNI DI FISIOLOGIA

TENSIONE ENDOCULARE

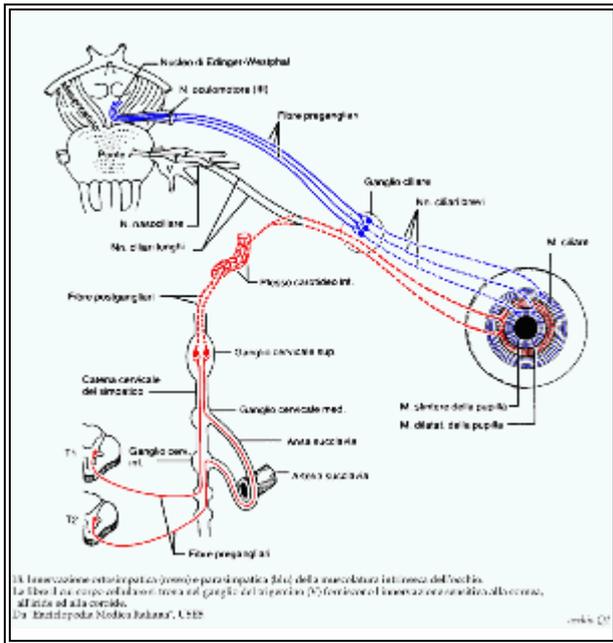
Nell'interno del globo oculare esistono dei fluidi che si ricambiano completamente, ma il ricambio più cospicuo è quello dell'umor acqueo, le cui funzioni sono:

- ottica, costituendo una parte essenziale del sistema diottrico oculare;
- statica, consentendo, grazie alla propria pressione, il mantenimento della forma e del volume del globo oculare;
- trofica, intervenendo in modo determinante nel trofismo delle strutture avascolari dell'occhio (cornea, cristallino) e fornendo, fra l'altro, ossigeno e glucosio ed allontanando anidride carbonica ed acido lattico. Inoltre, fornisce aminoacidi e glucosio anche all'umor vitreo ed alla retina.

MOTILITA' INTRINSECA DELL'OCCHIO

RIFLESSI PUPILLARI

Poiché il sistema refrattivo dell'occhio non ha le medesime proprietà nei differenti gradi di illuminazione, l'occhio è munito di un diaframma, l'iride, le cui modificazioni di apertura possono variare l'intensità dell'illuminazione. L'apertura di tale diaframma è chiamata pupilla, e la sua ampiezza è regolata dall'azione di due muscoli, il costrittore (o sfintere) ed il dilatatore.



Il muscolo costrittore della pupilla determina miosi ed è innervato esclusivamente dal parasimpatico. La miosi si attua attraverso il seguente arco riflesso: retina - nervo ottico - nucleo pretettale - nucleo di Edinger-Westphal - fibre pregangliari nel nervo oculomotore (III) - sinapsi nel ganglio ciliare - fibre postgangliari (nervi ciliari brevi) - muscolo costrittore. Il riflesso fotomotore consensuale (restrizione della pupilla dell'occhio non illuminato in seguito all'illuminazione dell'altro occhio) è il risultato dell'incrociamiento di alcune fibre del nervo ottico nel chiasma ottico e del fatto che, comunque, queste raggiungono

bilateralmente i nuclei pretettali.

Il muscolo dilatatore della pupilla determina midriasi ed è innervato dall'ortosimpatico. La midriasi si attua secondo il seguente arco riflesso: retina - nervo ottico - reticolare mesencefalica - centro ciliospinale di Budge nel midollo spinale toracico (corni grigie laterali) - fibre simpatichie pregangliari catena simpatica laterovertebrale - sinapsi nel ganglio cervicale superiore - fibre postgangliari che attraversano i plessi carotidei e cavernoso - alcune fibre nel nervo oftalmico ed i suoi nervi ciliari lunghi - altre fibre attraversano il ganglio ciliare e prendono la via dei nervi ciliari brevi - muscolo dilatatore. Probabilmente alcune fibre ortosimpatiche dei nervi ciliari brevi si portano, anziché al muscolo dilatatore della pupilla, al muscolo tarsale superiore (muscolo liscio) o, meno verosimilmente, all'elevatore della palpebra superiore (muscolo striato), promuovendo un leggero allargamento della rima palpebrale in concomitanza con la midriasi.

Le funzioni del diaframma pupillare sono essenzialmente le seguenti:

- 1) Regolazione della quantità di luce incidente sulla retina. L'entità dell'illuminazione retinica non è definita dalle caratteristiche fotometriche della superficie che viene osservata, poiché la quantità di luce incidente sulla retina dipende dall'ampiezza della pupilla. Sono state proposte diverse unità fotometriche che tengono in considerazione l'influenza del diametro pupillare (unità di Koenig, fotone), ma nessuna di esse esprime del tutto correttamente l'illuminazione retinica. E' necessario quindi, per effettuare misure precise, l'uso della cosiddetta pupilla artificiale, cioè un foro stenopeico del diametro di 2,5 mm.
- 2) Profondità di campo. Per profondità di campo si intende la distanza alla quale un oggetto può essere posto producendo ancora un'immagine chiara sulla retina. Questa distanza diminuisce con l'aumentare dell'apertura del sistema ottico. Ad esempio, con una pupilla del diametro di 3 mm e l'occhio a fuoco per 24 m, sono a fuoco oggetti dall'infinito fino a 12 m. Ma se l'occhio lavora ad una distanza di 25 cm, la profondità focale, a parità di diametro pupillare,

è di solo 1,1 cm. Nell'accomodazione per la vista da vicino, però, la pupilla si contrae e la profondità di campo aumenta. La miosi ha quindi, in questo caso, un effetto favorevole, pur riducendo la quantità di luce che entra nell'occhio.

3) Riduzione dell'aberrazione sferica e cromatica. Secondo il teorema di Gauss, per la massima efficienza il sistema ottico deve essere limitato da un'apertura molto piccola, cosicché i raggi luminosi siano ristretti solo ad una regione assiale e l'ampiezza dei cerchi di diffusione sia la minore possibile. Teoricamente, se la pupilla fosse puntiforme, entrerebbe solo un raggio e si formerebbe sulla retina un unico disco di diffrazione. Negli strumenti ottici, un'apertura di 10° è considerata compatibile con una buona efficienza, ma nell'occhio, una pupilla di 4 mm corrisponde ad un'apertura di 20° .

ACCOMODAZIONE

L'accomodazione è la proprietà di variare il potere refrattivo del cristallino. Ne è responsabile, come già riferito, il muscolo ciliare, e più propriamente le sue fibre circolari ad innervazione colinergica. Per effetto della loro contrazione, la zonula ciliare si rilascia ed il cristallino tende ad assumere una forma più sferica, con aumento della curvatura della faccia anteriore (quella della faccia posteriore rimane pressoché invariata), con conseguente aumento del potere refrattivo del cristallino, che provoca la anteriorizzazione del punto di messa a fuoco delle immagini sulla retina. La variazione del cristallino è uguale su tutti i meridiani ed avviene consensualmente in entrambi gli occhi.

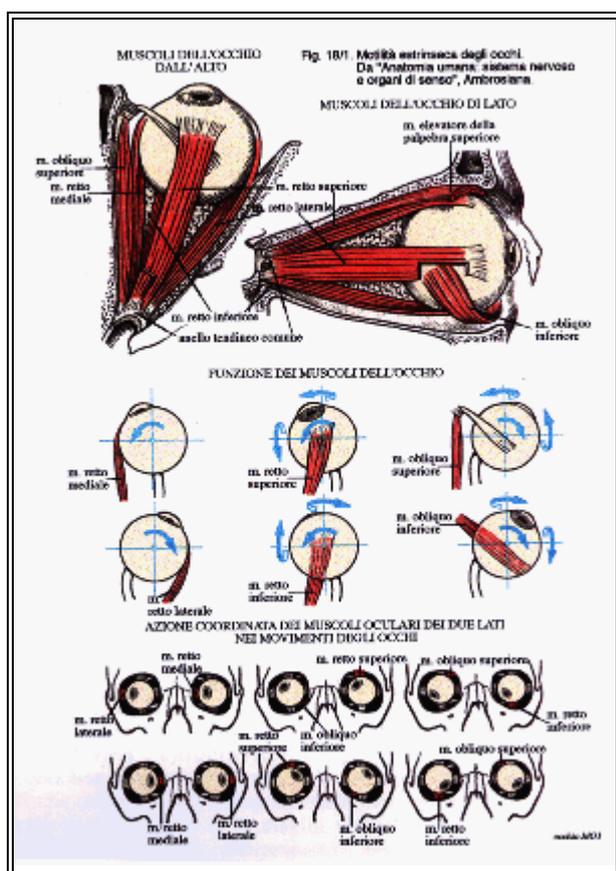
Mediante l'accomodazione è possibile quindi mettere a fuoco sulla retina immagini che si formano su piani anteriori o posteriori ad essa. In condizioni di emmetropia, allo stato di riposo accomodativo, il sistema diottrico focalizza sulla retina le immagini degli oggetti posti all'infinito (punto remoto); avvicinando gli oggetti, le loro immagini si formano su piani posteriori alla retina, sulla quale si formano così cerchi di diffusione con deterioramento della visione. L'apparato accomodativo, però, riporta a fuoco le immagini sulla retina aumentando la refrazione del sistema diottrico, il che avviene fino ad un preciso limite (punto prossimo), oltre il quale il compenso non è più possibile.

L'accomodazione non costituisce che un elemento di un complesso riflesso (riflesso della vicinanza), del quale fanno parte due altri fenomeni che nell'individuo normale avvengono pure bilateralmente e consensualmente: convergenza e miosi. Essi sono diretti, come l'accomodazione, ad ottenere la percezione chiara degli oggetti vicini: il primo portando gli assi visivi dei due occhi sul punto di fissazione, il secondo eliminando l'eccesso di aberrazione sferica ed aumentando la profondità di campo. Questi tre movimenti sono tutti controllati da fibre del nervo oculomotore (III). Solo in condizioni artificiali (uso di prismi o lenti) o patologiche (alterazione dei riflessi pupillari, strabismo), si può avere dissociazione dei tre fenomeni.

MOTILITA' ESTRINSECA DELL'OCCHIO

I muscoli estrinseci dell'occhio sono muscoli striati che si diversificano notevolmente da quelli delle restanti parti del corpo sia perché posseggono un'innervazione molto più ricca (sono quelli dotati delle più piccole unità motorie), sia per il fatto che le fibre che li costituiscono presentano maggiori variazioni morfologiche ed istochimiche.

Azioni dei muscoli estrinseci dell'occhio.



I muscoli retti, avendo il punto di inserzione sul fondo dell'orbita e l'inserzione sul globo, portano quest'ultimo in dietro, mentre gli obliqui, avendo l'inserzione sulla parte anteriore dell'orbita (l'obliquo superiore per via della riflessione nella troclea), portano il globo oculare in avanti. Nel gioco reciproco del tono muscolare, quindi, i due gruppi sono antagonisti, cioè i retti sono retrattori e gli obliqui protrattori: l'occhio sta in equilibrio tra le due forze. Ognuno dei quattro movimenti fondamentali del globo oculare (abduzione, adduzione, elevazione ed abbassamento) può essere determinato dall'azione di più di un muscolo, come riportato nella Tabella 5.

Si ammette che il retto mediale ed il retto laterale siano antagonisti, come pure il superiore e l'inferiore per i movimenti di elevazione, abbassamento e rotazione, pur essendo entrambi adduttori; che gli obliqui superiore ed inferiore siano antagonisti per la rotazione, l'elevazione e l'abbassamento, pur essendo entrambi abduzioni.

Tabella 5, movimenti fondamentali dell'occhio e muscoli responsabili

movimento	muscoli responsabili
adduzione	retto mediale, retto superiore, retto inferiore
abduzione	retto laterale, obliquo superiore, obliquo inferiore
elevazione	retto superiore, obliquo inferiore
abbassamento	retto inferiore, obliquo superiore

MOVIMENTI OCULARI

La bilaterale integrazione delle attività oculomotorie fa sì che i due occhi costituiscano una singola unità funzionale e realizzino insieme una sorta di occhio ciclopico, capace di provvedere alla visione unica e stereoscopica degli oggetti. I movimenti dei due occhi possono essere uguali (orizzontali, verticali, di torsione sull'asse antero-posteriore) od opposti (convergenza, divergenza), dovendo soddisfare molteplici esigenze, quali:

- mantenere stabile l'asse visivo,
- rintracciare, inseguire e fissare gli oggetti che entrano nel campo visivo,
- consentire una visione unica e stereoscopica,
- permettere una esplorazione attenta dell'ambiente.

Questi obiettivi vengono raggiunti mediante un complesso meccanismo coordinativo che, integrando le attivazioni e le inibizioni originate dai labirinti, dalle articolazioni e dai muscoli del collo, dalla retina, specificatamente dalla fovea, e dalle terminazioni sensoriali in genere, correla i movimenti oculari fra di loro e con le restanti attività motorie somatiche.

I sistemi neuronali di controllo che mantengono la fovea su un bersaglio visivo sono cinque:

- i movimenti vestibolo-oculari, che mantengono stabili le immagini sulla retina durante i movimenti fascici del capo;
- i movimenti optocinetici, che mantengono stabili le immagini sulla retina durante i movimenti rotatori prolungati del capo;
- i movimenti saccadici, che portano rapidamente la fovea verso un bersaglio visivo posto più perifericamente;
- i movimenti di inseguimento, che mantengono fissa sulla retina l'immagine di un oggetto in movimento;
- i movimenti di vergenza, che fanno sì che l'immagine di un oggetto più lontano o più vicino si proietti sempre su entrambe le fovee.

I primi quattro movimenti sono coniugati, nel senso che ciascun occhio compie un movimento della stessa ampiezza e nella stessa direzione, il quinto movimento è disgiuntivo: gli occhi si muovono in direzioni diverse ed anche le ampiezze possono essere diverse.

I movimenti vestibolo-oculari, o riflessi vestibolo-oculari o nistagmo vestibolare sono causati dalla rotazione del capo, e quindi dalla attivazione dei canali semicirculari, in una data direzione e caratterizzati dalla rotazione degli occhi in direzione opposta (fase lenta), seguita da un brusco riallineamento (fase rapida) quando la direzione dello sguardo raggiunge l'estremità dell'orbita.

I movimenti optocinetici, o riflessi optocinetici o nistagmo optocinetico sono caratterizzati dallo stesso andamento oscillatorio degli occhi che caratterizza il nistagmo vestibolare, ma sono dovuti ai movimenti di tutte (o gran parte) le immagini visive sulla retina, come si verifica quando si ruota il capo, compensando, così, le imprecisioni del nistagmo vestibolare. Si può far insorgere un riflesso optocinetico ponendo un soggetto all'interno di un cilindro a strisce

bianche e nere verticali. Quando il cilindro ruota, si manifesta un nistagmo optocinetico, che è simile al nistagmo vestibolare che si svilupperebbe se la sedia sulla quale il soggetto è seduto venisse fatta ruotare in direzione opposta, ed il soggetto prova la sensazione di essere lui stesso a ruotare.

I movimenti saccadici assomigliano alla fase rapida del nistagmo. Se, mentre si guarda un bersaglio visivo, l'immagine di questo si sposta rapidamente sulla fovea, gli occhi conservano la posizione che avevano per circa 200 msec e poi compiono un movimento rapido, saccadico, per riportare l'immagine del bersaglio sulla fovea. Analogamente, si compiono movimenti oculari saccadici, volontari ma spesso non coscienti, quando si esplora lo spazio circostante, per quanto ristretto esso sia. I movimenti saccadici sono molto stereotipati; hanno un andamento standardizzato, caratterizzato da un incremento ed un successivo decremento regolari della velocità di rotazione del globo oculare, che può raggiungere i $900^\circ/\text{sec}$ ($1^\circ = 1 \text{ cm}$ a 57 cm di distanza dall'occhio). E' possibile modificare volontariamente l'ampiezza e la direzione dei movimenti saccadici, ma non la loro velocità. Questa è tale, e la durata del movimento così breve (poche decine di msec; se ne compiono in media 3 al secondo), che le informazioni visive non fanno in tempo a modificarne il decorso una volta che sono iniziati; le eventuali correzioni vengono quindi operate con ulteriori piccoli movimenti saccadici che seguono quello primario. I movimenti lenti o di inseguimento provocano il movimento degli occhi per mantenere sulla fovea l'immagine di un particolare bersaglio visivo che si muove nello spazio. Si tratta di movimenti volontari, per la cui esecuzione è necessaria la presenza di uno stimolo in movimento. Non è possibile eseguire un movimento lento di inseguimento in risposta ad un comando di natura esclusivamente verbale, senza la presenza di un bersaglio visivo in movimento; a differenza del nistagmo e dei movimenti saccadici, per effettuare questi movimenti è necessario prestare attenzione al bersaglio in movimento. La velocità massima è ritenuta essere di $100^\circ/\text{sec}$, ma probabilmente questo valore è sovrastimato, ed uno più realistico potrebbe essere di $40^\circ/\text{sec}$.

Per l'esecuzione dei movimenti lenti di inseguimento è necessaria l'integrità della corteccia cerebrale (corteccia striata, regioni parietali e temporali), del cervelletto e del ponte.

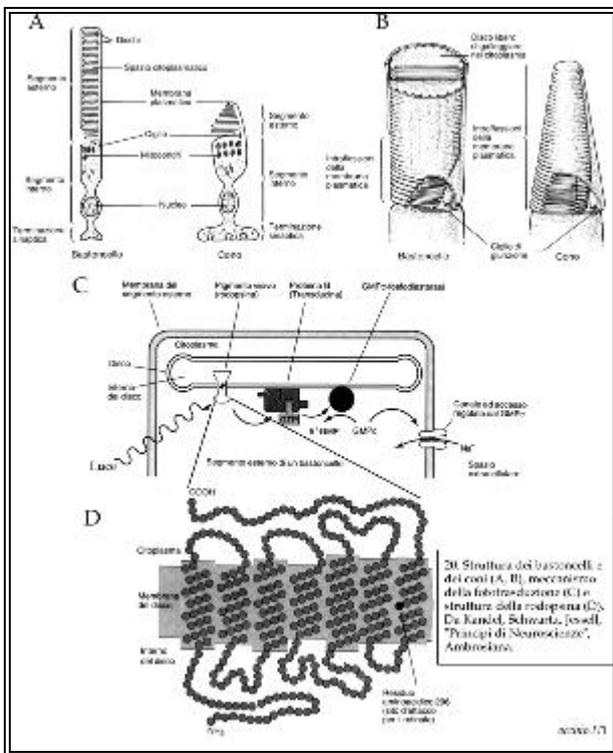
I movimenti di vergenza sono movimenti disgiuntivi (a differenza di tutti i precedenti che sono coniugati), in quanto gli occhi si muovono con ampiezze e direzioni diverse l'uno dall'altro, per consentire la fissazione di oggetti posti a differenti distanze dall'osservatore (più lontani o più vicini rispetto all'oggetto appena fissato) o in movimento sul piano sagittale. Se l'oggetto si avvicina, si hanno movimenti di convergenza, se si allontana di divergenza. I movimenti di vergenza sono organizzati a livello del mesencefalo.

FOTOTRASDUZIONE ED ANALISI DELLE INFORMAZIONI NELLA RETINA

L'occhio può essere considerato come uno strumento ottico deputato a focalizzare sulla retina le immagini visive, con la minima distorsione possibile. La luce viene focalizzata dalla cornea e

dal cristallino e deve attraversare l'umor vitreo prima di venir assorbita dai fotorecettori. La retina è in stretto rapporto con l'epitelio pigmentato, le cui cellule contengono grandi quantità di pigmento nero, melanina, che assorbe la luce che non è stata trattenuta dalla retina, impedendo che possa essere riflessa su altre parti della retina stessa, con conseguente deterioramento delle immagini visive. Le cellule dell'epitelio pigmentato svolgono anche alcune funzioni metaboliche importanti per la funzione dei fotorecettori; esse sono infatti in grado di resintetizzare i pigmenti visivi fotosensibili ed hanno la proprietà di fagocitare le estremità del segmento esterno dei fotorecettori stessi, facilitandone il ricambio.

Data la posizione dei fotorecettori, la luce deve attraversare tutti gli altri strati della retina, prima di colpirli. I neuroni degli strati retinici superficiali, però, sono tutti amielinici, e perciò abbastanza trasparenti, il che permette alla luce di raggiungere i fotorecettori senza venir assorbita o distorta in maniera apprezzabile. Esiste comunque una regione della retina, la fovea, nella quale i corpi cellulari dei neuroni degli strati sovrastanti i recettori sono spostati lateralmente, il che permette ai recettori foveali di ricevere le immagini visive nella loro forma meno distorta. Questa disposizione è particolarmente accentuata al centro della fovea, nella cosiddetta foveola. Per questa ragione, l'uomo muove costantemente gli occhi, in modo che le immagini che risvegliano il suo interesse vadano a cadere nelle fovee. In posizione nasale rispetto alla fovea è localizzato il disco ottico, che è il punto nel quale le fibre del nervo ottico lasciano la retina. In questa zona non esistono fotorecettori, e ciò determina la presenza di una macchia cieca nel campo visivo.



I fotorecettori sono di due tipi: coni e bastoncelli. La luce interagisce con i pigmenti visivi situati nel segmento esterno dei bastoncelli e dei coni. I segmenti esterni hanno un'elevata capacità di captazione della luce in quanto posseggono una elevata concentrazione di pigmenti visivi, capaci di assorbirla. Ogni pigmento è una molecola di piccole dimensioni, capace di assorbire la luce e legarla in modo covalente ad una proteina di membrana di grandi dimensioni. I fotorecettori sono in grado di ospitare una grande quantità di queste proteine di membrana, in quanto il loro segmento esterno ha sviluppato un complicato sistema di dischi di membrana, sovrapposti fra loro, i quali aumentano enormemente la superficie complessiva della membrana

plasmatica, di cui rappresentano una serie continua di invaginazioni. Nei bastoncelli, ma non nei coni, i dischi si separano dalla membrana citoplasmatica, diventando organelli intracellulari. Come gli altri neuroni, i fotorecettori non vanno incontro a mitosi. I loro segmenti esterni

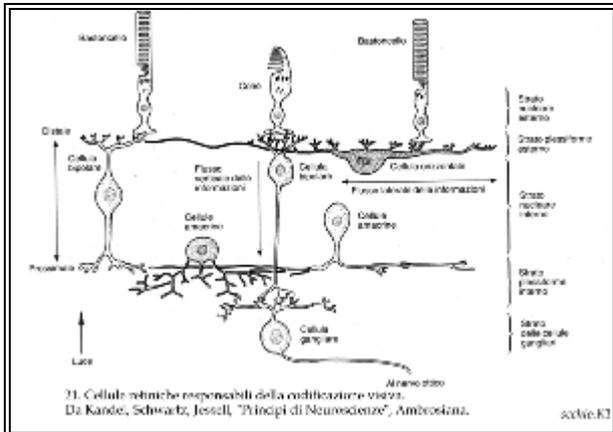
vengono tuttavia rinnovati continuamente. Nei bastoncelli, i dischi si accrescono a partire dalla base del segmento esterno e migrano poi verso l'estremità del segmento stesso. Tale processo è molto rapido, infatti vengono sintetizzati mediamente tre dischi ogni ora. L'estremità del segmento esterno si distacca e viene eliminata dall'azione fagocitaria delle cellule dell'epitelio pigmentato. Anche i coni, il cui apice è più lontano di quello dei bastoncelli dall'epitelio pigmentato, rinnovano il proprio segmento esterno e lo eliminano per fagocitosi.

Tabella 6, differenze fra coni e bastoncelli e loro sistemi neurali

	CONI	BASTONCELLI
Sensibilità	bassa:poco pigmento, poca amplificazione, specializzati per la visione diurna o fotopica	elevata:molto pigmento, molta amplificazione, specializzati per la visione notturna o scotopica
Risoluzione temporale	elevata (fino a 55 Hz)	bassa (fino a 12Hz)
Acuità visiva	elevata: particolarmente concentrati nella fovea, vie retiniche poco convergenti	bassa: assenti nella fovea, vie retiniche molto convergenti
Colori	Cromatici: tre tipi di coni, ciascuno con un diverso pigmento	Acromatici: tutti con un solo tipo di pigmento

I meccanismi della fototrasduzione comportano una serie di eventi biochimici a cascata nel segmento esterno dei fotorecettori. Essenzialmente, la fototrasduzione comporta la chiusura di canali al Na⁺, che al buio sono normalmente aperti grazie agli elevati livelli intracellulari di GMPc (guanosin-monofosfato ciclico). La luce, infatti, viene assorbita dalle molecole di fotopigmento (rodopsina, nei bastoncelli) che, attivate, stimolano una proteina-G (transducina, nei bastoncelli) che attiva, a sua volta, una GMPc-fosfodiesterasi. Questo enzima catalizza la degradazione del GMPc a 5'-GMP, provocando la riduzione della concentrazione intracellulare del GMPc e quindi la chiusura dei canali del Na⁺, determinando l'iperpolarizzazione dei fotorecettori, che rappresenta quindi la risposta di questi alla stimolazione luminosa.

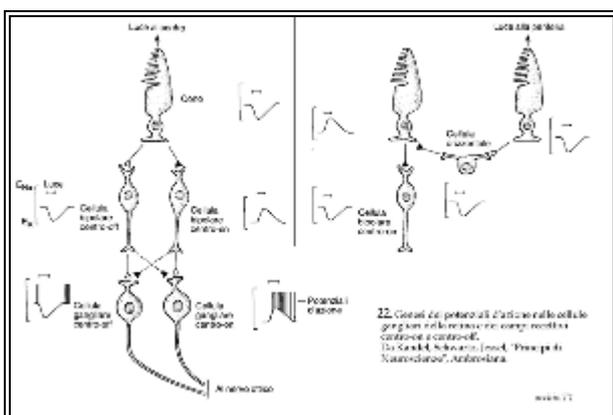
La retina modifica ed elabora i segnali evocati dalla luce nei fotorecettori prima di inviarli al sistema nervoso centrale. I neuroni d'uscita della retina sono le cellule gangliari, i cui assoni formano il nervo ottico e raggiungono il corpo genicolato laterale, il collicolo superiore ed altri nuclei del tronco dell'encefalo. A differenza dei fotorecettori, che rispondono alla luce con



modificazioni graduali del loro potenziale di membrana, le cellule gangliari trasmettono le loro informazioni sotto forma di scariche di potenziali d'azione. I segnali dei fotorecettori vengono trasmessi alle cellule gangliari tramite tre tipi di interneuroni: le cellule bipolari, le cellule orizzontali e le cellule amacrine. Queste cellule sommano anche i segnali provenienti da diversi fotorecettori.

Mentre l'informazione visiva viene trasferita dai fotorecettori alle cellule gangliari, essa viene anche separata in due vie parallele, dette rispettivamente via centro-on e via centro-off. Le cellule gangliari centro-on vengono eccitate quando la luce stimola il centro dei loro campi recettivi e inibite quando ne viene stimolata la periferia; le cellule gangliari centro-off presentano risposte opposte. Queste trasformazioni dell'informazione visiva fanno sì che i centri superiori possano mettere in evidenza piccole differenze e rapide variazioni di luminosità. Esistono poi cellule gangliari che sono specializzate nella elaborazione di altre caratteristiche delle immagini visive. Alcune sono deputate a trasmettere informazioni relative alle caratteristiche generali delle immagini visive ed al loro movimento, mentre altre mettono invece in rilievo i dettagli ed il colore degli oggetti presenti nella scena visiva.

Le diverse risposte delle cellule gangliari sono espressione dei differenti tipi di contatti sinaptici presenti nella retina.



Anche le cellule bipolari, come le cellule gangliari, si possono distinguere in centro-on e centro-off. Il neurotrasmettitore liberato dai fotorecettori eccita le cellule bipolari di un tipo ed inibisce quelle dell'altro. Ciascun fotorecettore ha contatti sinaptici con cellule bipolari di entrambi i tipi. I recettori situati nel centro del campo recettivo di una cellula gangliare fanno sinapsi con cellule

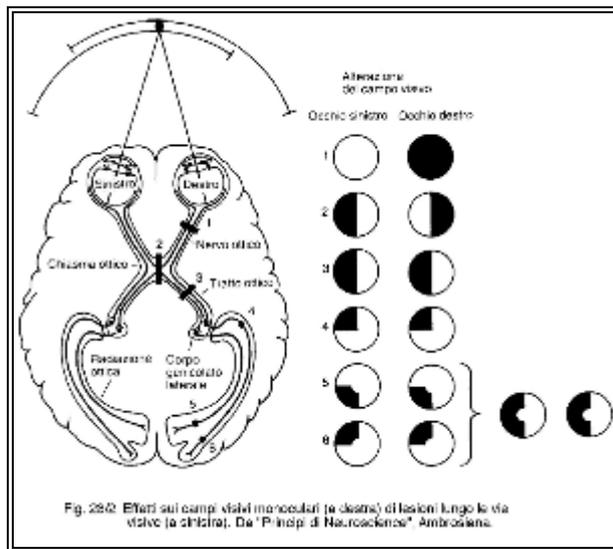
bipolari che entrano in diretto contatto con la cellula gangliare stessa. Gli stimoli provenienti dai coni localizzati alla periferia dei campi recettivi vengono invece convogliati lungo vie collaterali che passano attraverso le cellule orizzontali e le cellule amacrine. La separazione delle diverse caratteristiche degli stimoli visivi in vie distinte poste in parallelo e le

maniera reciproca. Altre ancora rispondono in maniera analoga ma per le coppie di colori giallo-blu.

La funzione principale della retina del primate sembra dunque quella della codificazione del campo visivo in campi recettivi antagonisti.

Il flusso di informazioni, così parzialmente elaborato dalla retina, viene convogliato ai centri nervosi superiori

La conoscenza dell'origine nasale o temporale, destra o sinistra, delle fibre del nervo ottico, nel chiasma, nel tratto ottico e nella corteccia cerebrale riveste importanza clinica quando si voglia risalire alla sede di una lesione cerebrale sulla base delle anomalie riscontrate nel campo visivo



del soggetto. Ciascuna retina trasmette il prodotto della propria elaborazione tramite un canale fisicamente costituito da un fascetto di un milione e 200.000 fibre mieliniche, il nervo ottico, organizzate in modo da

mantenere la contiguità di punti vicini sulla retina. Dopo circa 4 cm, queste fibre raggiungono il chiasma, dove avviene l'incrociamiento delle fibre provenienti dalla metà nasale di ciascuna retina. Passato il chiasma, l'informazione visiva viaggia nei tratti ottici, ciascuno dei quali conduce l'immagine proveniente dall'emicampo visivo contralaterale.

visivo contralaterale.

Il riconoscimento dei colori richiede la presenza di almeno due tipi di fotorecettori con sensibilità spettrale diversa. Un sistema di questo tipo, detto divariante, è in grado di fornire due valori diversi di luminosità per ciascun oggetto: paragonando i due valori, il sistema nervoso riesce a distinguere i colori. Se, ad esempio, un oggetto riflette prevalentemente la luce di lunghezza d'onda elevata, la risposta del sistema di coni sensibile alle lunghezze d'onda più lunghe darà una risposta maggiore di quella dell'altro sistema ed i centri superiori interpreteranno questo messaggio suggerendo che l'oggetto osservato sia giallo o rosso. Se, invece, l'oggetto riflette in particolar modo le lunghezze d'onda più corte, la risposta del sistema di coni maggiormente sensibile alle lunghezze d'onda più brevi sarà maggiore, e l'oggetto sarà visto come blu o verde. Se poi l'oggetto riflettesse in egual misura sia le lunghezze d'onda lunghe che quelle corte, l'oggetto sarebbe visto come bianco, grigio o nero a seconda della luminosità del suo sfondo. A livello della fovea, il sistema sensibile alle lunghezze d'onda corte non esiste, perciò qui la visione dei colori è divariante.

Intorno alla fovea, il sistema diventa trivariante. La visione dei colori, quindi ed evidentemente, non viene impiegata per distinguere i fini dettagli spaziali delle immagini.

La teoria tricromatica attribuisce la visione dei colori all'attività dei tre tipi principali di coni, ma non spiega, di per sé, tre importanti aspetti della percezione dei colori, che sono l'opponenza cromatica, il contrasto simultaneo e la costanza dei colori.

La teoria della opponenza cromatica prevede che i tre colori primari si distribuiscano in tre coppie di colori antagoniste (ed opposte): rosso-verde, giallo-blu e bianco-nero. Le tre coppie di colori sono effettivamente rappresentate, nella retina e nelle successive vie visive, da neuroni eccitati da un colore della coppia ed inibiti dall'altro. Ciò spiega come certe combinazioni di colori tendano a cancellarsi l'un l'altro, in modo tale che certi abbinamenti non possano mai venir percepiti; non esistono, infatti, il verde-rossastro od il giallo-bluastrò, mentre sono invece percepibili il rosso-bluastrò (magenta), il giallo-rossastro (arancio) o il verde-bluastrò (viola). La luce rossa e quella verde possono venir mescolate in modo tale che ogni traccia del rosso e del verde scompaiano e si percepisca un giallo puro; analogamente si può fare col giallo ed il blu, ed avere una percezione di bianco puro.

Il fenomeno del contrasto cromatico simultaneo si osserva a livello dei margini della sagoma di un oggetto, piuttosto che al suo interno, come nell'opponenza cromatica. Un oggetto grigio, ad esempio, visto su uno sfondo rosso acquista una sfumatura di verde; se invece è visto su uno sfondo verde, acquista una sfumatura di rosso. In queste condizioni, i colori delle tre coppie rosso-verde, giallo-blu e bianco-nero si facilitano reciprocamente, anziché antagonizzarsi. A livello della corteccia visiva sono stati trovati neuroni le cui risposte alla stimolazione cromatica mimano l'esperienza percettiva del contrasto simultaneo.

La costanza dei colori è la terza proprietà importante della visione cromatica. La miscela di lunghezze d'onda che viene riflessa dagli oggetti non è determinata soltanto dalla loro riflettanza, ma anche dalla natura delle lunghezze d'onda della luce che li illumina. Quando la composizione della luce incidente varia, i meccanismi che presiedono alla visione dei colori

compensano queste variazioni, cosicché il colore degli oggetti sembra sempre lo stesso. Per esempio, un limone è giallo sia alla luce del sole, che è biancastra, che alla luce di una lampada a filamento di tungsteno, che è rossastra, o alla luce fluorescente, che è bluastra. Questa proprietà della visione dei colori è detta costanza dei colori, e dipende in gran parte dall'analisi che il sistema visivo opera nei confronti non solo di un oggetto, ma anche del suo sfondo, o comunque di ciò che lo circonda. A parità di illuminazione, infatti, sfondi di diverso colore possono conferire ad uno stesso oggetto sfumature cromatiche diverse.

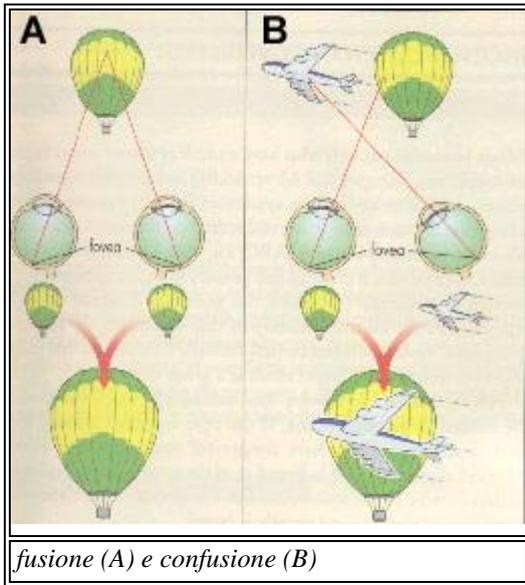
Nella retina e nel nucleo genicolato laterale i colori sono codificati da cellule ad opposizione cromatica semplice. Nella corteccia cerebrale, l'informazione relativa ai colori viene elaborata nei blob, dove le caratteristiche di scarica dei singoli neuroni possono spiegare sia l'antagonismo fra i colori che il loro contrasto e la loro costanza.

Le informazioni relative ai colori vengono elaborate in una via nervosa particolare, separata da quelle che riguardano le forme ed il movimento. Le informazioni sui colori vengono analizzate dal sistema parvicellulare-blob.

VISIONE STEREOSCOPICA

INTRODUZIONE

L'apparato visivo è dotato di grande adattabilità; non vi sono infatti funzioni visive assolutamente rigide. La visione binoculare consente, in condizione di normalità, di focalizzare l'immagine retinica a livello della fovea, regione più nobile della retina, dotata della massima acuità grazie all'elevata concentrazione dei coni (elementi fotorecettori deputati alla visione diurna, alla migliore discriminazione dei colori e delle dimensioni dell'immagine). Un punto-oggetto fissato dai due occhi viene visto singolo anche se sulla retina di ogni occhio si forma un'immagine separata; un punto-oggetto posto a destra del campo visivo binoculare, che forma la sua immagine sulla parte nasale della retina dell'occhio destro e su quella temporale dell'occhio sinistro, viene percepito come singolo e localizzato a destra del campo visivo. Ogni elemento retinico, stimolato dall'immagine di un oggetto, ha un definito valore spaziale (segno locale) per cui una impressione visiva oltre a determinare luce e colore ha una sua localizzazione in una determinata direzione nello spazio visivo. L'immagine di un oggetto che si forma nei due occhi viene percepita come unica in quanto in ogni occhio a livello retinico esiste un punto che ha lo stesso valore spaziale di un altro punto situato nella retina dell'occhio controlaterale. Questi elementi retinici, non simmetrici dal punto di vista anatomico, ma "accoppiati" per comune direzione visiva (e quindi per percezione spaziale) vengono definiti PUNTI RETINICI CORRISPONDENTI e stanno alla base del meccanismo della fusione.



La fusione si può dividere in:

- fusione sensoriale: processo cerebrale psicologico che consente l'unificazione delle due immagini simili di un oggetto fissato che si formano a livello dei punti retinici corrispondenti. A tale riguardo sembra che esista proprio un centro della fusione a livello corticale deputato a tale funzione.
- fusione motoria: che contribuisce a mantenere a livello foveale le due immagini per mezzo dell'allineamento degli assi oculari (azione della muscolatura estrinseca).

Il riscontro di alcuni casi di esotropia alternante nei quali la fusione risultava impossibilitata nonostante il

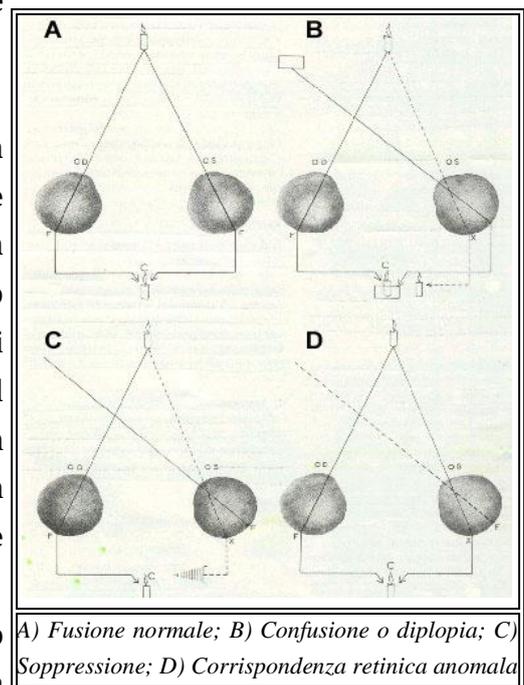
riposizionamento del perfetto parallelismo degli assi visivi tramite intervento chirurgico, ha suggerito che il centro della fusione in questi casi fosse congenitamente assente; inoltre l'insorgenza di esotropie improvvise dopo episodi di importante ipertermia in bambini sino a quel momento affetti da strabismo latente e ben compensato, ha suggerito che tale centro corticale fino ad allora capace di mantenere la situazione a livello subclinico fosse stato messo "fuori uso" dall'ipertermia, attribuendo quindi al centro stesso una particolare suscettibilità alla temperatura.

L'eventuale eccitazione simultanea di elementi retinici non corrispondenti

o disparati, originati da un unico stimolo, dà luogo a direzioni visive soggettive incongrue e quindi a diplopia; così allo stesso modo, la presentazione ai punti retinici corrispondenti di immagini fra loro diverse per luminosità, dimensioni, contorni, colore (come si verifica ad esempio nello strabismo) causa confusione oppure diplopia.

A questo punto l'apparato visivo risponde con procedimenti atti ad eliminare questo discomfort che consiste nella soppressione dell'immagine, per cui la corteccia esclude l'immagine proveniente da un occhio (se ciò si verifica nell'infanzia durante l'epoca di maturazione dell'acuità visiva si va incontro ad ambliopia) oppure quello della corrispondenza retinica anomala per cui la fovea dell'occhio fissante acquista (solamente nella visione binoculare) una direzione visiva comune a quella dell'occhio deviato.

Tutti i punti-oggetto disposti sulla linea curva posta nello spazio visivo e tutti quei punti posti in stretta vicinanza

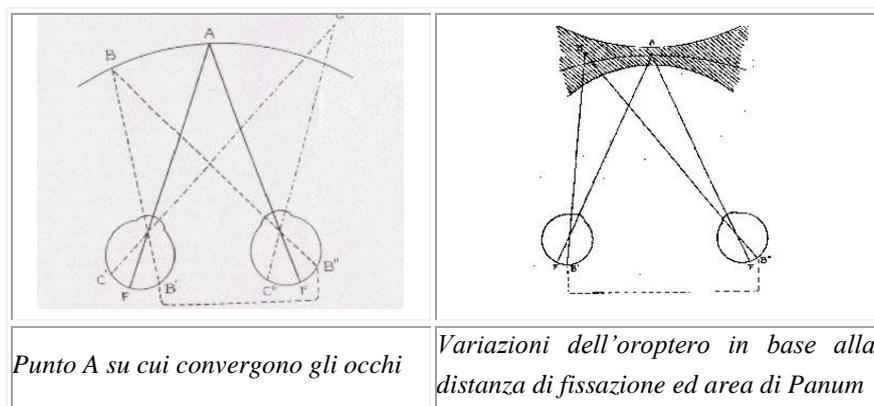


A) Fusione normale; B) Confusione o diplopia; C) Soppressione; D) Corrispondenza retinica anomala

all'oroptero, giacchè davanti o dietro a questo, vengono visti come singoli. L'insieme di questi ultimi punti costituisce nello spazio la cosiddetta area di Panum; più stretta nella zona del punto di fissazione, tale area diviene progressivamente più ampia tanto quanto più ci si porta alla periferia; ne deriva, quindi, che una maggiore disparità è compatibile con una visione unica alla periferia più che non nelle parti centrali del campo visivo. Di un oggetto incluso nell'area di Panum, l'occhio destro vede maggiormente la parte destra, mentre quello sinistro la parte sinistra. Pertanto, le due immagini retiniche sono lievemente dissimili e cadono su aree che non sono perfettamente corrispondenti ma che vengono ugualmente fuse in una sola conferendo all'oggetto impressione di solidità e senso di profondità. La stereopsi risulta quindi dalla lieve disparità con cui sono visti gli oggetti purchè siano compresi nell'area di Panum.

Al di fuori di tale area, un punto-oggetto situato dietro o al davanti dell'oroptero, viene percepito doppio perché la sua immagine si forma nelle due retine su punti retinici non corrispondenti (punti retinici disparati). Esso viene pertanto proiettato nello spazio in due differenti direzioni lungo due differenti linee di direzione (diploia fisiologica).

In condizioni di normalità la diploia fisiologica non viene comunemente avvertita; diverse sono le ipotesi atte a spiegare tale fenomeno: da un lato si suppone che si attui la soppressione di una delle due immagini retiniche (tale soppressione si instaurerebbe con preferenza nell'occhio non dominante); dall'altro si suppone che la diploia non sarebbe avvertita a causa della bassa acuità visiva di cui sono dotate le porzioni più periferiche della retina sulle quali si formerebbero le immagini degli oggetti.



STEREOPSI

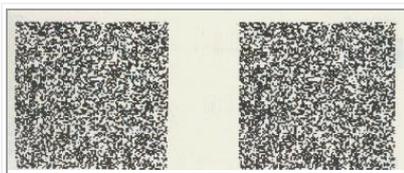
La stereopsi è la visione tridimensionale che origina dalla stimolazione simultanea di elementi retinici orizzontalmente disparati nell'ambito delle aree di Panum (quella verticale non induce alcun effetto stereoscopico). Il primo a scoprire che la stereopsi derivava dalla stimolazione simultanea di elementi retinici disparati orizzontali fu Wheatstone nel 1838 mediante la sua invenzione dello stereoscopio. La distanza e l'angolazione con cui l'oggetto viene fissato (per distanze inferiori ai 30 metri) non sono perfettamente uguali nei due occhi: in condizioni normali l'immagine originata dalla fissazione di un oggetto cade a livello foveale grazie ai movimenti di vergenza; poiché gli occhi distano l'uno dall'altro circa 6 centimetri, qualsiasi

oggetto che si trovi più vicino o più lontano rispetto al punto di fissazione proietta l'immagine ad una certa distanza dalla fovea; gli oggetti più vicini proiettano la loro immagine su punti della retina più distanti in senso orizzontale e viceversa. La distanza fra immagine del punto fissato ed immagine dell'altro punto prende nome di disparità retinica; il sistema visivo è capace di calcolare tale disparità e di assegnare un senso di maggiore o minore profondità agli oggetti dello spazio visivo. Pertanto la percezione delle immagini retiniche è dotata di una leggera diversità che sta alla base della disparità relativa e che nella fusione costituisce la base della percezione della profondità.

Il valore stereoscopico degli elementi retinici strettamente corrispondenti è pari allo zero, mentre la massima sensibilità della stereopsi si ha nelle loro immediate vicinanze.

E' importante sottolineare che la visione tridimensionale può essere evocata anche fissando oggetti diversi dai solidi; ad esempio, l'osservazione di figure bidimensionali provviste di elementi retinici non corrispondenti orizzontali, quali cerchi concentrici ed eccentrici; tanto maggiore è la disparità degli elementi figurativi, tanto maggiore sarà l'effetto stereoscopico.

Julesz, con l'aiuto di un computer, ha riempito lo schermo di un monitor di punti bianchi e neri aventi le stesse dimensioni e distribuiti casualmente lungo le righe e le colonne con la sola limitazione che i due tipi di punti fossero equifrequenti. Realizzato ciò, si è visto che ciascuna coppia di punti bianchi o neri in visione dicoptica (una immagine presentata ad ogni occhio) era in corrispondenza e che quindi la figura appariva piatta. Con un apposito algoritmo Julesz è riuscito a creare una disparità fra i punti delle due coppie entro un'area di forma ben conosciuta. In questo caso alla presentazione dicoptica si osservava che una parte dei punti sembrava emergere o affondare a seconda del tipo di disparità, assumendo una forma ben precisa e dimostrando che non erano necessari i bordi di una figura per farla apparire tridimensionale.



Tavole di Julesz

Le ricerche di Julesz hanno dato forza all'ipotesi che è necessario effettuare una distinzione fra la disparità fine, che dà luogo alla percezione tridimensionale stabile, e quella grossolana che serve solo ad indirizzare nel verso giusto i movimenti di convergenza degli occhi. Questo ultimo aspetto persiste anche

quando il paziente ha coscienza di una diplopia da eccessiva disparità.

La percezione della stereopsi sembra inizi bruscamente fra i tre e quattro mesi di vita, più precocemente nelle femmine che nei maschi; inizia come una sensibilità alla disparità grossolana, che in poche settimane diviene sensibile anche per disparità dell'ordine di un primo di angolo visivo; sembra inoltre che la sensibilità alla disparità crociata compaia prima di quella per la disparità omonima.

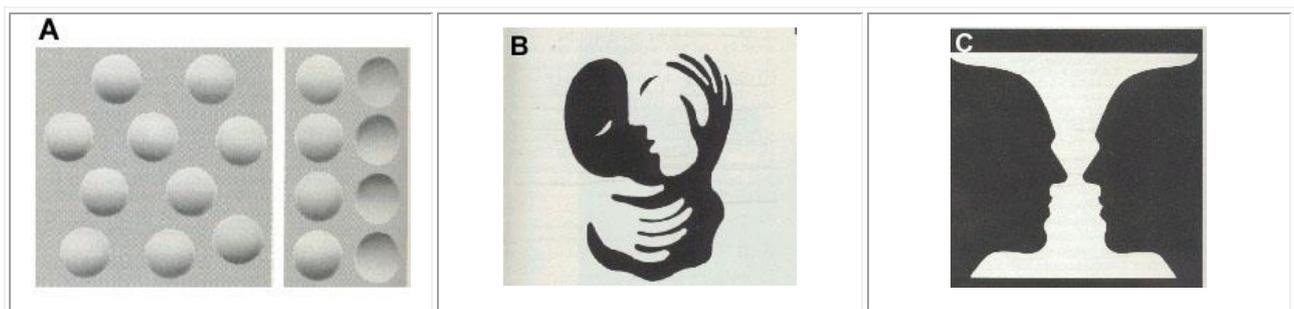
Per accertare che un soggetto abbia una normale stereopsi, si possono usare numerosi test: ad esempio è molto usato il Titmus stereo test di Wirth, che è composto da tre parti: la prima consente di apprezzare se è presente il senso stereoscopico a seconda che si veda una mosca o meno; le altre due consentono di stimare il livello della percezione stereoscopica. Si attribuisce

al nome di acutezza stereoscopica individuale quella disparità minima al di là della quale non si produce alcun effetto stereoscopico; è l'ampiezza misurata in radianti dell'angolo sotteso dalla distanza fra i centri nodali al punto oggetto e può essere determinata semplicemente dividendo l'intervallo fra i punti nodali per la distanza dell'oggetto di cui si voglia determinarla. Se vogliamo determinarla in secondi d'arco, basta tenere presente che un radiante è pari a $2,06 \times 10^3$ sec. Valori di disparità pari a circa 15-30 sec d'arco sono da considerarsi clinicamente eccellenti.

La stereopsi aggiunge un nuovo fattore qualitativo alla visione e rappresenta la forma più complessa ed elevata della cooperazione binoculare, essenziale affinché l'individuo possa interagire con l'ambiente circostante.

Il senso stereoscopico non dipende soltanto dalla visione binoculare (in cui i fattori principali, almeno per gli oggetti posti a distanza ravvicinata, sono rappresentati dalla convergenza e dall'accomodazione); ne è la prova il fatto che anche soggetti monoculari possono avere il senso della profondità (che agisce da sola anche nei soggetti binoculari quando si fissano oggetti ad una distanza superiore ai 30 metri, dato che a tale distanza si assume che i raggi luminosi siano pressochè paralleli). In tal caso, molteplici sono gli elementi monoculari empirici che giocano un ruolo nel concorrere alla formulazione del giudizio della distanza relativa degli oggetti:

- Il movimento parallattico: la velocità di spostamento di un oggetto vicino sembra maggiore di quella di uno lontano;
- La prospettiva lineare: un oggetto di grandezza costante sottende angoli progressivamente minori man mano che ci si allontana. L'esempio più classico è quello di due linee rette parallele che sembra tendino a convergere con la distanza: tanto maggiore è la convergenza, tanto maggiore è la distanza degli oggetti nella regione della convergenza stessa;
- La sovrapposizione dei contorni: un oggetto che interrompa i contorni di un altro viene percepito dall'apparato visivo come anteposto all'altro;
- La distribuzione delle luci e delle ombre: il chiaro-scuro genera una impressione del rilievo e quindi di profondità relativa;
- La familiarità con gli oggetti noti: la distanza fra due oggetti di dimensioni note viene giudicata in base alla loro grandezza apparente;
- La prospettiva aerea: è stato dimostrato che l'atmosfera influenza il contrasto ed il colore degli oggetti situati più lontano.



Nella visione abituale si verifica una continua interazione fra gli elementi stereoscopici della visione binoculare ed indici di profondità monoculare che si potenziano l'un l'altro. L'origine della visione stereoscopica non risiede nella retina, né nel corpo genicolato laterale, ma si forma a livello della corteccia striata o a livelli ancora più elevati dove interagiscono i segnali provenienti dai due occhi. È stata riscontrata la presenza in tutta la via magnocellulare di neuroni sensibili alla disparità retinica

Si è sinora parlato della localizzazione spaziale relativa; c'è da ricordare, però, che affianco a questa vi è la localizzazione spaziale assoluta o egocentrica; le coordinate fisiche della localizzazione egocentrica sono il piano mediano del corpo, verticale e perpendicolare alla linea di base nel suo centro; il piano orizzontale, contenente la linea di base e le due direzioni visive principali; ed il piano frontale, contenente la linea di base e perpendicolare ai due piani precedenti. Il primo piano dà l'impressione del "dritto davanti a sé", il secondo a quella del "a livello degli occhi", e il terzo a quella del "distante da sé".

ANATOMIA DELLA VISIONE STEREO SCOPICA

Il sistema visivo trasforma gli stimoli luminosi transitori che vanno a cadere sulla retina nella rappresentazione mentale stabile di un mondo a tre dimensioni. Alla base di tutto ciò sta un lavoro complesso di raccoglimento, integrazione, e coordinazione degli stimoli ricevuti.

La stereopsi è una delle funzioni più complesse del sistema visivo e riconosce la sua sede anatomica nella corteccia striata e a livelli ancora più elevati, dove vengono combinati i segnali provenienti dai due occhi. Per elaborare il senso della profondità sono necessari stimoli di varia natura provenienti da entrambi gli occhi e dalle vie parvocellulari e magnocellulari.

L'origine degli stimoli si ha a livello retinico e da lì essi vengono trasmessi fino al corpo genicolato laterale (CGL) in maniera distinta: le cellule gangliari grandi attraverso le vie magnocellulari proiettano alla I e II lamina, mentre le cellule gangliari piccole (vie parvocellulari) alle restanti quattro lamine e agli strati interlaminari. Questa distinzione è importante anche dal punto di vista funzionale: infatti il sistema magnocellulare (SM) è responsabile dell'analisi del movimento e delle relazioni spaziali fra gli oggetti, mentre il sistema parvicellulare (SP) sottostà all'analisi delle forme e dei colori. Entrambi questi sistemi collaborano alla costruzione del senso di profondità o stereopsi.

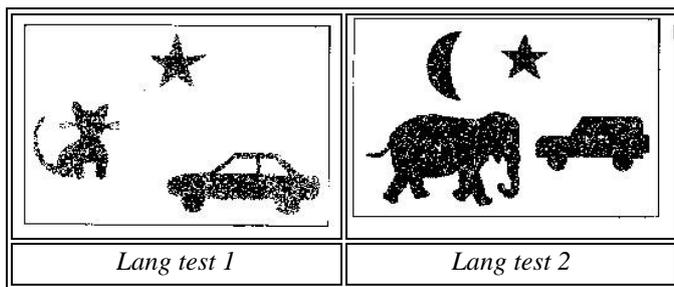
Dalle prime due lamine del CGL partono dei neuroni che portano le informazioni agli strati IVCa, IVB e alla parte inferiore del VI strato della V1 (area 17 di Brodmann). I neuroni che prendono origine dalle quattro lamine rimanenti del CGL arrivano agli strati IVCb, IVA, nelle zone interblob degli strati II e III di V1 e con un contributo modesto alla parte superiore del VI strato di V1 (sistema parvicellulare interblob-SPIB), mentre dagli strati interlaminari del CGL i neuroni del sistema parvicellulare blob (SPB) innervano aggregati cellulari a forma di cilindro, i cosiddetti blob, a livello del II e III strato di V1.

L'organizzazione funzionale della corteccia visiva si basa su due sistemi di connessione: verticale ed orizzontale, che si intersecano orizzontalmente e che possono integrare informazioni che interessano la corteccia per un'estensione di diversi mm. Bisogna sottolineare che i diversi strati della corteccia visiva primaria sono interconnessi fra loro, oltre che alle altre sedi corticali e non.

La corteccia visiva primaria ha tre funzioni principali:

- la decomposizione del mondo visivo in brevi segmenti lineari di orientamento diversi (discriminazioni in forme). Ciò corrisponde anatomicamente a gruppi di colonne adiacenti che hanno uno spostamento ordinato dell'asse di orientamento di circa 10° tra due colonne vicine;
- la separazione delle informazioni concernenti il colore da quelle riguardanti le forme ed il movimento;
- la combinazione delle afferenze dei due occhi come primo passaggio di una serie di trasformazioni necessarie per la percezione della profondità. Anatomicamente ciò corrisponde a colonne a disposizione alternata che riguardano le immagini provenienti dall'OD o dall'OS (colonne di dominanza oculare) importanti per le interazioni binoculari.

Queste tre unità funzionali comunicano una con l'altra per mezzo di connessioni orizzontali che



si stabiliscono fra cellule dello stesso strato. Hubel e Wiesel definirono l'ipercolonna come un intero gruppo di colonne dedicato all'analisi di linee aventi ogni possibile orientamento e provenienti da singole zone del campo visivo di entrambi gli occhi. Sono

stati messi in evidenza neuroni che rispondono in maniera selettiva alla disparità orizzontale delle afferenze dei due occhi in V1, strisce spesse di V2 e in MT. Gian Poggio scoprì che il 70% delle cellule semplici e complesse di V1, V2 e V3 nella scimmia sveglia, rispondono alla disparità binoculare. Alcuni neuroni sono sensibili agli stimoli che sono più vicini del piano di fissazione, mentre altri lo sono a stimoli più lontani.

Per la percezione della stereopsi è importante l'integrità di entrambe le vie. Si è visto che la visione stereoscopica scompare in condizioni di equiluminanza (condizioni in cui il contributo del sistema magnocellulare viene meno), mentre Schiller ha osservato che per la percezione della stereopsi sono importanti anche entrambi i sistemi parvocellulari.

TEST PER LA STEREOPSI

Nel 1838 il fisico Charles Wheatstone inventò lo stereoscopio; in questo modo si scoprì l'esistenza della visione tridimensionale. Lui prese due fotografie di una scena scattate dal punto di osservazione di ciascuno dei due occhi e le montò su un supporto binoculare in modo tale che l'occhio destro vedesse soltanto l'immagine presa da una delle due posizioni e l'occhio sinistro solo l'altra immagine. Si ottenne la sensazione di una immagine tridimensionale.

Da allora furono costruiti molti strumenti al fine di valutare la presenza o meno della stereopsi e la sua percentuale. L'esame della profondità rientra in una serie di esami atti a valutare la presenza della visione binoculare.

La visione binoculare normale deriva dallo svolgersi successivo di tre momenti essenziali:

- grado I di Worth: la percezione simultanea;
- grado II di Worth: la fusione;
- grado III di Worth: la visione stereoscopica.

La semeiologia della visione binoculare è rivolta all'analisi dei vari elementi di supporto: morfologia e potere diottrico dei globi oculari, campo visivo binoculare, corrispondenza retinica, motilità oculare estrinseca: essa richiede l'impiego di numerosi strumenti e l'applicazione di varie metodiche.

Esame con immagini stereoscopiche. Ad ogni occhio si presentano immagini in grado di essere fuse e di dare percezioni stereoscopiche, grazie alla loro disparità. Questo si può fare al sinottoforo, allo stereoscopio o con la luce polarizzata nell'ambiente. Con il sinottoforo si valuta la visione stereoscopica mediante coppie di figure uguali ma dislocate in modo diverso che vengono fuse come figura unica con aspetto a rilievo. Le mire più largamente adoperate presentano un contorno di sfondo, che viene fuso in corrispondenza retinica, contenenti al loro interno 2 oggetti uguali presentati in disparità omonima o crociata. Quando sovrapposte dette figure sono una rispetto all'altra più o meno decentrate sul piano orizzontale; il decentramento può variare da 0,50 a 20 mm. La disparità fa in modo che esse non cadano più sulla linea dell'oroptero, ma rimangano comprese nell'area di Panum determinando così la sensazione della terza dimensione. Entro certi limiti la disparità del rilievo è tanto più facile quanto più la disparità è elevata.

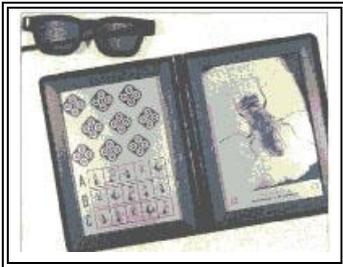
Lang Stereotest 1. Lang ha costruito una tavola nella quale le immagini sono situate dietro una fitta serie di piccoli cilindri trasparenti che funzionano a guida di doppi prismi affrontati per la base in modo da deviare verso il corrispettivo occhio la parte della figura ad esso destinata. Questo test, destinato a facilitare l'esame del senso stereoscopico nei bambini, è fondato su due principi: i random

dots e il reticolo di lenti cilindriche parallele. In visione monoculare questi stereogrammi non rivelano alcun contorno mentre in visione binoculare le aree che producono una disparità orizzontale vengono viste in rilievo. In considerazione del fatto che il test viene eseguito il più delle volte nei bambini, sono state scelte delle forme di oggetti che sono abitualmente ben note fin dalla più tenera età. I tre oggetti (un gatto, una stella e un'automobile) sono visti su piani differenti: il gatto appare più vicino all'osservatore e l'automobile più lontana.

Lang Stereotest 2. Lo stereotest 2 di Lang rappresenta uno sviluppo ed un completamento del precedente stereotest 1 (gatto, automobile, stella). Anche questo test si fonda sugli stessi principi ottici per l'esame della visione binoculare. Vengono presentate tre immagini (elefante, auto e quarto di luna) visibili solo in visione binoculare ed una stella che può essere percepita

anche in visione monoculare ma che appare in rilievo se l'osservatore utilizza la visione binoculare normale.

Il **fenomeno di Pulfrich** si ha quando uno dei due occhi viene coperto con un vetro scuro mentre si fa osservare al paziente un pendolo in movimento. Nella visione binoculare si produce una visione stereoscopica: il pendolo sembra muoversi in circolo. Questo fenomeno è prodotto dall'oscuramento della percezione visiva di un occhio.



test di Titmus, basato sulla polarizzazione. Con gli occhiali di polarizzazione una mosca (la prima prova) appare tridimensionale e perfino i bambini piccoli cercano di afferrarla alcuni centimetri al di sopra della figura. Le altre due prove consentono di stimare il livello della visione stereoscopica.

TNO test for stereoscopic vision che risponde molto bene allo scopo, anche se richiede una maggiore collaborazione da parte del paziente. Alcune figure sono più difficili da identificare e anche con questo test si può misurare il grado di stereopsi.

Gli stereoscopi semplici di Holmes e di Brewster sono costituiti da un poggiafronte munito di oculari, da un setto sagittale, da un'asta di sostegno sulla quale scorre il portafigure. Nello stereoscopio di Holmes le figure vengono allontanate o avvicinate rispetto all'osservatore e l'equilibrio fra accomodazione e convergenza viene ad essere dissociato.

Nello stereoscopio semplice di Brewster si possono ottenere anche variazioni delle vergenze con accomodazione fissa variando il grado di separazione nelle due figure.