

Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Area Didattica di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”



Laurea triennale in Ottica e Optometria

L'influenza della motilità oculare nel processo visivo

Relatori:

Prof. Aniello Reccia

Candidato:

Valeria Solimene

Matricola M44000605

A.A. 2020/2021

“ Spes sibi quisque “

-Virgilio

INDICE

0. PREMESSA

1. LA MOTILITÀ OCULARE

1.1 MUSCOLI EXTRAOCULARI

1.2 CONTROLLO NEURALE DEI MOVIMENTI OCULARI

1.2.1 SACCADI

1.2.2 INSEGUIMENTO

1.2.3 VERGENZA

1.2.4 NISTAGMO

1.3 MOTILITÀ, EQUILIBRIO E POSTURA

1.3.1 PROPRIOCEZIONE

1.3.2 IL SISTEMA VESTIBOLARE

1.3.3 MESENCEFALO E COLLICOLI SUPERIORI

1.3.4 INTEGRAZIONE DEL SEGNALE VISIVO-UDITIVO-MOTORIO

2. I TEST DI VALUTAZIONE DELLA MOTILITÀ

2.1 TEST VISO-VERBALI

2.1.1 DEVELOPMENTAL EYE MOVEMENT TEST (DEM)

2.1.2 KING – DEVICK TEST (NYSOA)

2.2 TEST DI REGISTRAZIONE OGGETTIVA DEI MOVIMENTI OCULARI

2.2.1 READALYZER

2.2.2 VISAGRAPH

2.2.3 TOBII RX300 READING GAZE

2.3 TEST DI OSSERVAZIONE DIRETTA

2.3.1 NUSCO Oculomotor test

2.4 SEM (SACCADIC EYE MOVEMENTS) TEST

2.5 DISFUNZIONI OCULOMOTORIE

3. VISIONE BINOCULARE

3.1 GENERALITÀ

3.1.1 PERCEZIONE SIMULTANEA

3.1.2 FUSIONE

3.1.3 STEREOPSI

3.2 LO STATO ETROFORICO

3.3 CLASSIFICAZIONE DELLE ETEROFORIE

- 3.3.1 ESOFORIA
- 3.3.2 EXOFORIA
- 3.3.3 IPERFORIA

3.4 LA MISURA DELL'ETEROFORIA

- 3.4.1 METODO DI MADDOX
- 3.4.2 METODO DI HERING E SHOBER

3.5 LA MISURA DEL RAPPORTO AC/A

4. VISUAL TRAINING

4.1 PRINCIPI E FUNZIONAMENTO DEL VISUAL TRAINING

4.2 STRUMENTI PER LA RIEDUCAZIONE VISIVA

- 4.2.1 MARSDEN BALL
- 4.2.2 PEN LIGHT
- 4.2.3 FLIPPER PRISMATICO
- 4.2.4 CORDA DI BROCK
- 4.2.5 HART CHART
- 4.2.6 KING DEVICK SACCADIC TEST
- 4.2.7 VISUAL TRACING
- 4.2.8 ROTATOR
- 4.2.9 PROGRAMMI COMPUTER

4.3 PROGRAMMA INDICATIVO DI VISUAL TRAINING PER PROBLEMI DI VB SULLA MOTILITÀ

5. CONCLUSIONI

0. PREMESSA

In questa tesi analizzeremo la natura dei muscoli extraoculari e i loro movimenti , i quali verranno associati anche ai problemi della visione binoculare , per capire come , dove e perché si creano queste anomalie del benessere visive e in conclusione si arriva anche ad un eventuale trattamento di visual training .

La migliore acuità visiva si ha nella fovea (parte centrale della retina), quindi, quando uno stimolo entra nel campo visivo la retina periferica lo porta alla nostra attenzione e per poterlo guardare, nel miglior modo possibile, bisognerà spostare le fovee verso l'oggetto desiderato (foveazione).

Ogni tipo di movimento deve seguire quattro leggi del movimento oculare :

- **LEGGE DI SHERRINGTON (legge dell' innervazione reciproca)** : questa è la prima legge ed è valida per tutti i muscoli striati del corpo umano e prevede che per ogni azione compiuta da un muscolo, definito agonista, ne avvenga una contraria ad opera di un altro muscolo detto antagonista .
- **LEGGE DI HERING (legge della corrispondenza motoria)** vale solo per i muscoli oculari e stabilisce che ogni muscolo di un occhio ha un corrispondente nell'altro occhio che compie la stessa azione. Questo vuol dire che gli impulsi motori arrivano ai due occhi in modo integrato, identico, sia nel caso inducano una contrazione, sia nel caso inducano un rilassamento [1].
- **LEGGE DI DONDERS** : prevede che per ogni posizione dell'occhio, e quindi per ogni posizione dell'asse dello sguardo, sia possibile un unico orientamento dei meridiani della retina, in modo che non siano possibili orientamenti casuali dell'occhio intorno all'asse di sguardo. Quando guardiamo in un punto, o in una direzione, il nostro sguardo non deve oscillare, altrimenti avremmo una visione simile alle riprese di una videocamera amatoriale.
- **LEGGE DI LISTENING** : ultima legge , in sostanza è ripresa dalla legge di Donders e dice che , ogni movimento oculare che sposti il bulbo dalla posizione iniziale deve avvenire secondo i meridiani retinici , senza torsione . Questo è molto importante per le deviazioni orizzontali e verticali, quanto per quelle “oblique “ .

Queste quattro leggi e la loro concomitanza sono indispensabili per una corretta motilità oculare . In caso contrario, infatti , si vedono comparire forme di strabismo più o meno gravi: da quelle che comportano soltanto un deficit estetico a quelle che provocano scompensi funzionali alla vista.

Inoltre seguendo le quattro leggi elencate prima , possiamo valutare i movimenti che l'occhio può compiere, e ne esistono di diversi tipi:

- Movimenti congiunti: quando i due occhi si muovono nella stessa direzione e a loro volta sono divisi in inseguimenti, saccadi e REM (rapid eye-movement);
- Movimenti disgiunti: quando gli occhi si muovono in direzioni differenti, divisi in convergenza e divergenza.

A questi si aggiungono i movimenti vestibolo-oculari e gli oculari optocinetici, i quali agiscono assieme per fissare la posizione degli occhi rispetto al mondo esterno compensando i movimenti della testa [2].

È molto importante valutare la motilità oculare perché è un'azione che pratichiamo quotidianamente , in qualsiasi istante : leggendo si compiono delle saccadi, lavorando a computer o trascrivendo un documento si usano i movimenti di vergenza, mentre per qualsiasi attività quotidiana si applicano movimenti di inseguimento e optocinetici, basti pensare alla guida. Quindi la motilità oculare è messa alla prova costantemente, e nel caso di malfunzionamento o, semplicemente, di imprecisioni si può verificare un affaticamento e degrado della visione con una riduzione di confort nella quotidianità.

1. LA MOTILITÀ OCULARE

La motilità oculare è un processo complesso dato dall'azione di sei i muscoli extraoculari responsabili del movimento dell'occhio.

1.1 MUSCOLI EXTRAOCULARI

I sei muscoli extraoculari sono situati nella cavità orbitaria coadiuvati dai tendini che attraversano la fascia del tenone e si innescano sulla sclera . I muscoli extraoculari si dividono quindi in quattro muscoli retti :

MUSCOLO RETTO SUPERIORE

MUSCOLO RETTO INFERIORE

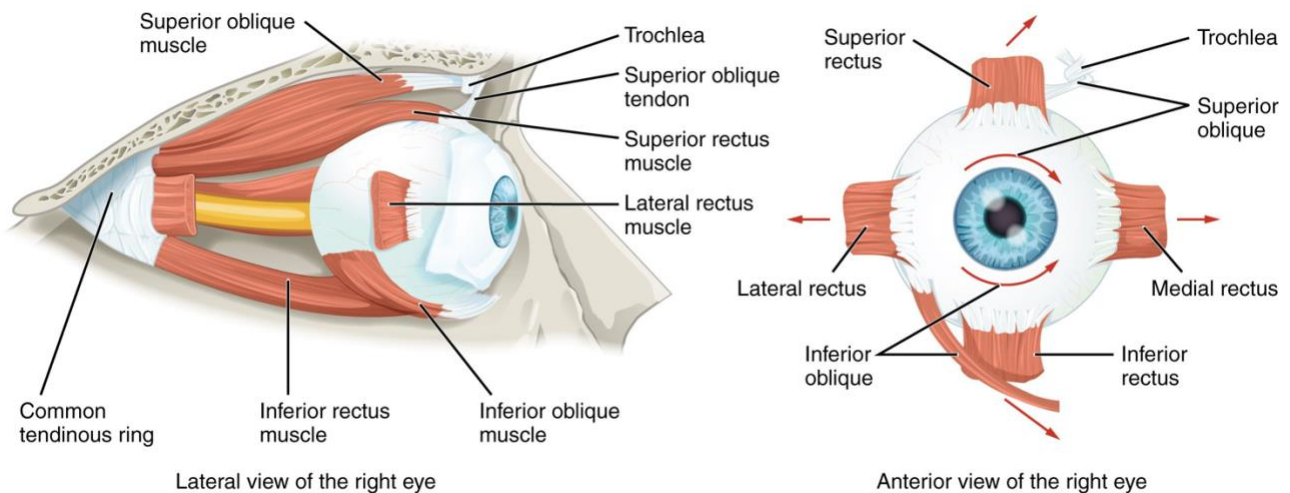
MUSCOLO RETTO MEDIALE

MUSCOLO RETTI LATERALE

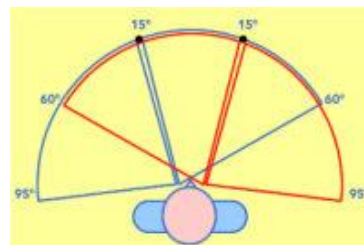
E due muscoli obliqui :

MUSCOLO OBLIQUO SUPERIORE

MUSCOLO OBLIQUO INFERIORE



I muscoli retti laterali e mediali se stimolati inducono movimenti orizzontali mentre quelli verticali sono indotti dal retto superiore e inferiore insieme agli obliqui . Inoltre questi ultimi sono anche responsabili della torsione dell'occhio . I muscoli extraoculari , tranne l'obliquo inferiore, costituiscono un insieme anatomico a forma di cono il cui apice è situato sul fondo dell'orbita e la base è rappresentata dall'inserzione sclerale dei muscoli del bulbo. A secondo del tipo di movimento e della posizione oculare si usano diverse combinazioni di muscoli per avere il miglior rendimento visivo con il minimo sforzo . L'ambito di mobilità dell'occhio umano è di circa 90° quindi il nostro campo visivo ricopre circa 180° , mantenendo ferma la testa possiamo vedere complessivamente una panoramica di 270° .



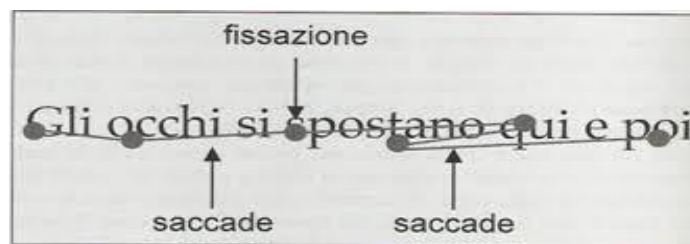
I muscoli extraoculari sono innervati da tre branche di nervi: il nervo abducente , sesto nervo cranico che innerva il muscolo retto laterale; il trocleare, quarto nervo cranico che innerva il muscolo obliquo superiore; l'oculomotore, terzo nervo cranico che innerva i restanti muscoli extraoculari oltre al muscolo elevatore della palpebra e dello sfintere dell' iride. I muscoli sopraelencati possono compiere movimenti volontari, riflessi o posturali. I movimenti volontari sono controllati dal centro oculomotore frontale, situato nella parte posteriore del lobo frontale, formando i movimenti verticali , obliqui e di convergenza . I movimenti riflessi sono controllati dalle aree parastriate e peristriate, zona tra lobo occipitale e parietale , le quali comunicano con i centri oculomotori attraverso due fasci : il fascio corticotegemente per i movimenti di laterali e il fascio corticotettale per i movimenti riflessi verticali e obliqui . I movimenti posturali possono essere statici o statico-cinetici . In entrambi i casi sono riflessi brevi che raccolgono impulsi da differenti zone del corpo (spalle , collo, corpo , orecchio , vestibolo-acustico) che vengono implementati nel cervelletto e nel collicolo superiore [2].

1.2 CONTROLLO NEURALE DEI MOVIMENTI OCULARI

I movimenti oculari derivano da rotazioni del globo oculare causate dall'azione di tre paia di muscoli extraoculari. Il VI nervo cranico (abducente) innerva il muscolo retto laterale, il IV nervo cranico (trocleare) innerva il muscolo obliquo superiore mentre gli altri muscoli oculari sono innervati dal III nervo cranico (oculomotore).

1.2.1 SACCADI

Le saccadi sono movimenti rapidi e coniugati degli occhi che sono utilizzati per orientare le fovee verso una nuova posizione della scena visiva. Lo studio delle saccadi risale intorno alla fine del XIX secolo, quando un oftalmologo francese Louis Émile Javal osservò che durante la lettura lo sguardo non viene spostato lungo la linea del testo in maniera fluida e continua, ma attraverso una serie di movimenti discreti molto veloci intervallate da momenti di pausa in cui lo sguardo rimane stazionario (fissazione) [3].



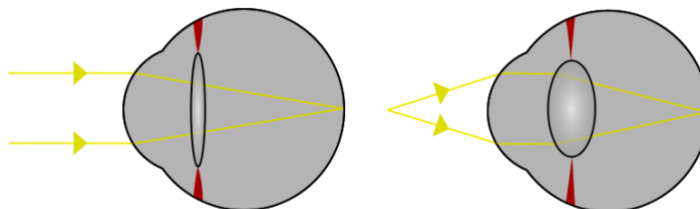
Le saccadi sono controllate in maniera volontaria infatti il soggetto può decidere quando e dove spostare lo sguardo, tuttavia nella vita quotidiana vengono maggiormente generate in maniera inconsapevole e automatica: anche se non vi prestiamo attenzione, i nostri occhi non sono mai fermi e in media effettuiamo tre saccadi al secondo. Le saccadi possono inoltre essere generate in maniera riflessa/involontaria in risposta ad uno stimolo improvviso. Sono anche detti movimenti rapidi, si tratta infatti di uno dei movimenti più veloci prodotti dal corpo umano. Durante una saccade la velocità di rotazione dell'occhio nell'orbita può raggiungere picchi di velocità intorno ai $900^\circ/\text{sec}$. A causa di questa estrema velocità e al quanto improbabile cambiare la loro direzione al "volo". Infatti le saccadi sono considerate un movimento di tipo balistico: una volta iniziato, la sua ampiezza e direzione non possono essere modificate. Dunque per compiere un movimento saccadico il cervello deve aver risolto due problemi distinti: l'ampiezza del movimento e la sua direzione.

1.2.2 INSEGUIMENTO

I movimenti di inseguimento lento hanno come obiettivo mantenere sulle fovee le immagini di oggetti in movimento. Da un punto di vista motorio sono molto simili al riflesso optocinetico; tuttavia mentre il riflesso optocinetico è generato in maniera riflessa in risposta allo scivolamento retinico dell'intero campo visivo, il movimento di inseguimento è generato in maniera volontaria per mantenere sulla fovea un oggetto che si muove in maniera indipendente rispetto al contesto in cui è posizionato. L'esecuzione di un movimento di inseguimento lento è caratterizzata da una latenza (l'intervallo che intercorre dall'inizio del movimento del bersaglio all'inizio del movimento oculare) di circa 100 millisecondi. A dispetto della loro connotazione come movimenti "lento", questi movimenti oculari possono raggiungere velocità piuttosto elevate, fino a circa $100^\circ/\text{sec}$. L'efficienza di questo movimento viene quantificata calcolandone il guadagno, cioè il rapporto tra la velocità di movimento dello sguardo e la velocità del bersaglio inoltre la velocità di movimento è controllata dalla via che collega la retina al pretetto il quale trasporta il segnale al cervelletto. Nonostante venga iniziato in maniera volontaria, il movimento di inseguimento lento è interamente determinato dallo stimolo visivo. È infatti impossibile muovere gli occhi di un movimento lento e fluido senza un bersaglio in movimento da seguire. Infine il controllo dei movimenti di inseguimento lento non è unicamente determinato dalla stimolazione visiva, ma dipende anche da un modello interno, la cui natura è ancora dibattuta, ma che probabilmente riflette non solo le caratteristiche fisiche dello stimolo ma anche fattori più tipicamente cognitivi come memoria e attenzione^[3].

1.2.3 VERGENZA

I movimenti di vergenza sono accoppiati con il processo di accomodazione, ossia la variazione di curvatura del cristallino, che permette di mantenere lo stimolo a fuoco.

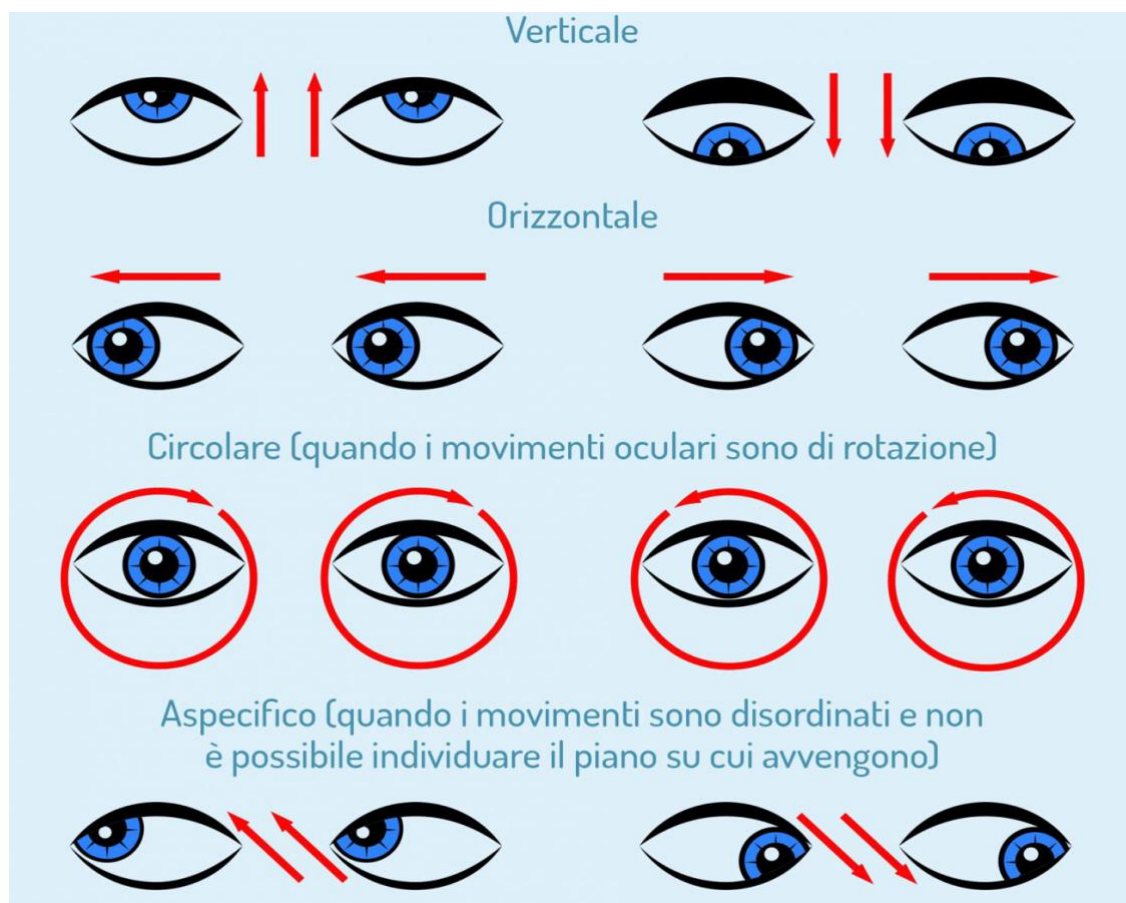


Questi a differenza degli altri movimenti oculari non sono movimenti coniugati ovvero ciascun occhio non compie un movimento della stessa ampiezza e nella stessa direzione. Inoltre i movimenti di vergenza si basano sulle informazioni che i corpi genicolati (CGL) inviano alla corteccia. Basandosi sulle aree di disparità binoculare il CGL invia un segnale ai centri di vergenza, i quali generano

potenziali d'azione creando così movimento (mentre la frequenza di scarica ne controlla la velocità). I centri di vergenza sono formati da neuroni che controllano la convergenza e da neuroni che controllano la divergenza [2].

1.2.4. NISTAGMO

Il nistagmo è un'alterazione oculomotoria caratterizzata da scosse ritmiche di entrambi i bulbi presenti in tutte le direzioni di sguardo. A seconda del ritmo della scossa si divide in pendolare (se costante in velocità e ampiezza) e a scosse (se si presenta con ritmi bifasici e velocità differenti). Può variare anche per direzione, secondo le quali si divide in verticale, orizzontale e obliquo o rotatorio. Il nistagmo si può presentare in varie condizioni: quello fisiologico, che può scomparire da solo nel tempo, diviso in nistagmo delle estreme posizioni di sguardo (presente nel 50% della popolazione) quando osserva l'estrema periferia, e nistagmo ottico-cinetico o movimenti REM; quello congenito è quello acquisito a causa di deficit refrattivi molto elevati presenti alla nascita. Questa alterazione può essere difficile da percepire ad occhio nudo, infatti la miglior tecnica diagnostica è l'elettronistagmografia, cioè una registrazione grafica computerizzata dei movimenti oculari [4].



1.3 MOTILITÀ, EQUILIBRIO E POSTURA

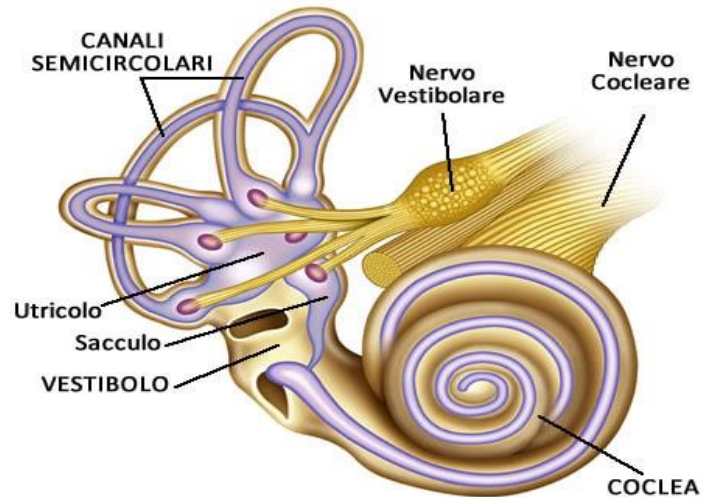
1.3.1 PROPRIOCEZIONE

Con il termine proprioccezione si è soliti descrivere l'insieme delle informazioni sensoriali che permettono al corpo di riconoscere la posizione di sé e delle sue parti nello spazio in rapporto al mondo esterno e il loro movimento. La proprioccezione assume un'importanza fondamentale nel complesso meccanismo di controllo del movimento e della postura. Il termine fu coniato da Sherrington nel 1906 da "receptus" (atto del ricevere) e "propius" (da se stesso) per definire il senso di percezione della posizione del corpo. Alla base della proprioccezione vi è un complesso sistema sensoriale. I principali componenti di questo sistema sono i recettori periferici posizionati nelle articolazioni e nei tessuti circostanti, chiamati propriocettori, e le molteplici vie nervose, che trasportano i segnali propriocettivi al sistema nervoso centrale, dalla corda spinale fino alla corteccia cerebrale. Ricapitolando la proprioccezione è la capacità di riconoscere e percepire il proprio corpo nello spazio e lo stato di contrazione dei propri muscoli, anche senza il supporto della vista. Questa capacità è data dalla presenza di meccanocettori, chiamati fusi neuromuscolari, i quali informano il sistema nervoso somatico del livello di contrazione del muscolo scheletrico, dando così informazioni sulla posizione del corpo nello spazio in cui è posto. Particolarmente importanti sono i meccanocettori presenti nei muscoli del collo, i quali sono collegati al sistema vestibolare, perché mediano posizione e movimenti della testa. Anche i muscoli extraoculari sono dotati di fusi che comunicano al cervelletto la posizione degli occhi all'interno del bulbo, sia a occhi chiusi che aperti, statici e in movimento [2].

1.3.2 IL SISTEMA VESTIBOLARE

Il sistema vestibolare è sistemato dietro l'**orecchio interno**, ha il compito di raccogliere le informazioni riguardanti la posizione del corpo nello spazio e di combinarle con quelle provenienti dal **sistema visivo** e **propriocettivo**, allo scopo di produrre riflessi per una buona visione durante i movimenti del capo, per l'equilibrio statico e dinamico e per avere una corretta percezione del movimento e dell'orientamento della testa nello spazio. L'orecchio interno è composto da una parte esterna e una interna, rispettivamente labirinto osseo (contenente perilinf) e labirinto membranoso (contenente endolinf), questi sono fluidi formati da ioni i quali regolano gli impulsi elettrochimici dei ricettori sensoriali dell'orecchio interno dette **cellule cigliate**.

Il **labirinto membranoso** è costituito da:



- COCLEA col compito di trasmettere e percepire il suono (forma a chiocciola)
- VESTIBOLO E CANALI SEMICIRCOLARI i quali costituiscono l'apparato vestibolare e hanno il compito di controllo dell'equilibrio.

Il vestibolo è costituito da due organi **otolitici** vescicolari , uno superiore e uno inferiore rispettivamente utricolo e sacculo, i quali sono responsabili del controllo **dell'equilibrio statico** ovvero momento in cui il corpo è fermo o si muove in linea retta . All'interno di entrambi gli organi c'è un'area sensoriale , detta **macula** , quest'ultima è ricoperta da uno strato gelatinoso, al di sopra della quale c'è una struttura fibrosa , la **membrana otolitica** a sua volta costituita da otoliti che stimolano le cellule sensoriali dell'orecchio quando si verifica un cambio di posizione o inizia un movimento.

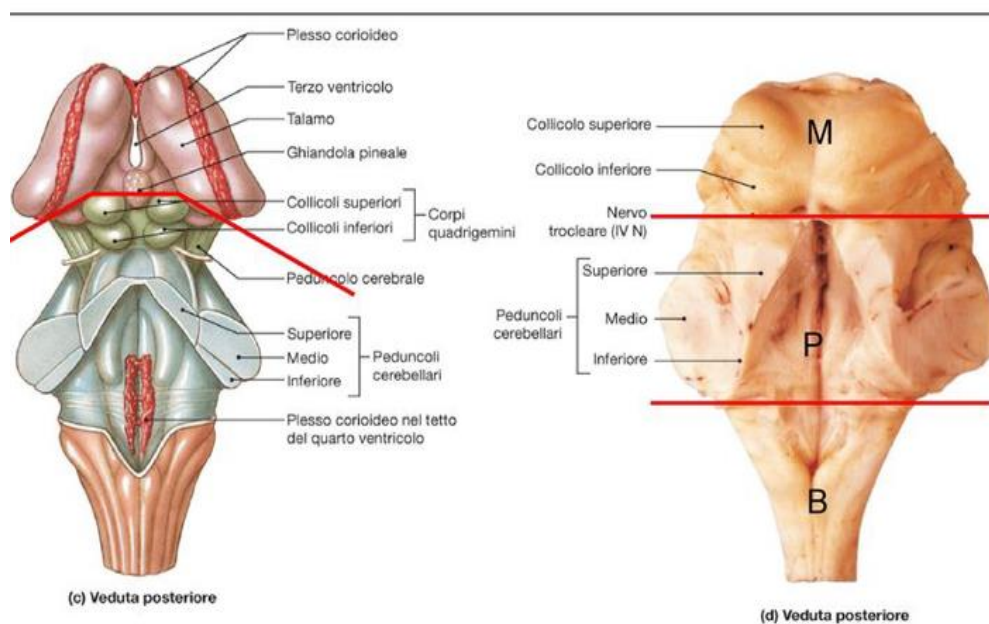
I canali semicircolari sono tre condotti ricurvi (canali superiore , posteriore e laterale) che si trovano sopra al vestibolo e comunicano con quest'ultimo , ripieni di endolfinia. Alla base di ogni canale c'è un **ampolla** (estensione bulbosa) costituita dall'epitelio sensoriale detto **cresta** , all'interno del quale troviamo le cellule cigliate. Ciascun canale semicircolare lavora in coppia con il controlaterale, dove le cellule cigliate sono allineate in senso contrario ed avremo che quando uno sarà eccitato, l'altro sarà inibito; quindi, se ad esempio la testa ruota verso destra, ci sarà eccitamento nel canale orizzontale destro ed inibizione nel canale orizzontale sinistro, cioè ogni rotazione determina un effetto opposto sui due recettori controlaterali.

La funzione dei canali semicircolari è, quindi, quella di captare le accelerazioni angolari alle quali è sottoposto il capo durante i movimenti rotatori, controllando l'equilibrio dinamico, ossia l'equilibrio nel momento in cui un corpo è in movimento.

Infine tutte le informazioni vengono raccolte dal **nervo vestibolare**, il quale riporta le sue informazioni ai nuclei vestibolari del tronco encefalico per elaborare una risposta.

Il **nervo vestibolare** fa parte dell'VIII nervo cranico, il nervo vestibolococleare, il quale è molto importante per il riflesso vestibolo-oculare, poiché serve per stabilizzare l'immagine sulla retina durante la rotazione della testa. Se non ci fosse quest'ultimo ad ogni movimento del campo vedremmo un'immagine sfocata [2].

1.3.3 MESENCEFALO E COLLICOLI SUPERIORI E BREVE ACCENO A QUELLI INFERIORI



Il **mesencefalo** si trova tra il diencefalo ed il midollo spinale ed è la sede dove si trovano i nuclei che elaborano le informazioni visive uditive e generano risposte riflesse a tali stimoli. Quest'ultima contiene due nuclei sensitivi denominati **collicoli superiori** e **collicoli inferiori**. Ogni collicolo inferiore riceve informazioni uditive dai nuclei bulbari, le quali possono essere mandate ai corpi genicolati mediali dello stesso lato mentre il collicolo superiore capta impulsi visivi dal corpo genicolato laterale del talamo dello stesso lato e trasmette comandi motori che controllano i movimenti involontari della testa del collo e degli occhi. Per quanto riguarda la struttura del **collicolo superiore** è a tre strati orizzontali, organizzati a mappa topografica in modo che ogni punto del

collicolo sia associato a un'area dello spazio circostante. Lo **strato superiore** riceve informazioni dalla retina , quello **intermedio** dall'apparato uditivo e vestibolare infine quello **inferiore** dal sistema nervoso somatico. In tal modo ogni punto del collicolo congiunge le tre differenti informazioni percettive in un'unica informazione da trasmettere alla corteccia cerebrale . Infine è importante ricordare che al collicolo arrivano anche fibre nervose provenienti direttamente dalla retina ovvero le cellule gangliari (o multipolari) le quali rispondono alle variazioni di luce e di distanza dal campo visuale [2] .

1.3.4 INTEGRAZIONE DEL SEGNALE VISIVO-UDITIVO-MOTORIO

Le informazioni elaborate dal collicolo vengono inviate alla corteccia visiva , la quale predispone le informazioni seguendo le **vie magnocellulari** per il movimento e **parvocellulari** per il riconoscimento degli oggetti . Una volta elaborata l'informazione finale e completa viene inviata al cervelletto, il quale ha già ricevuto una parte delle informazioni dalle vie afferenti ovvero vista udito e sistema vestibolare, per poi ricevere quella completa direttamente dal cervello. In tal modo il cervelletto può organizzare in maniera minuziosa il movimento del corpo poiché tramite le informazioni dei tre sistemi sensoriali riesce a localizzare gli oggetti desiderati nello spazio , calcolare le distanze , coordinare lo spostamento del proprio corpo e innescare i movimenti richiesti dalla situazione . Una volta che il cervelletto riceve queste informazioni , attraverso le vie afferenti trasmette il segnale ai motoneuroni del tronco encefalico e ai nuclei talamici che innervano i motoneuroni della corteccia motoria [2].

2. I TEST DI VALUTAZIONE DELLA MOTILITÀ

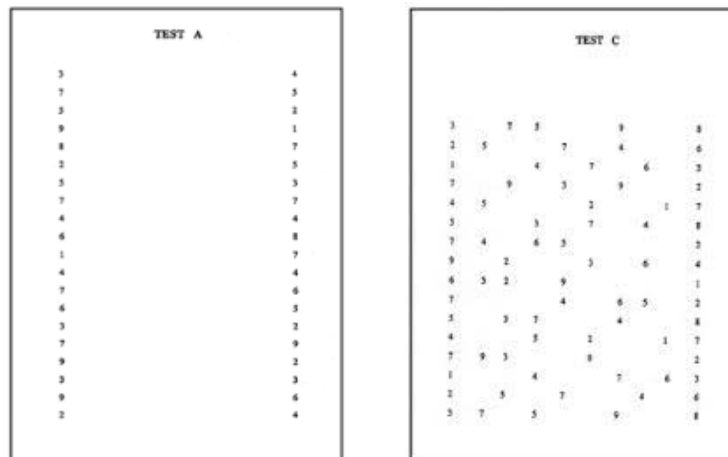
Lo scopo dei test che valutano i movimenti saccadici è quello di valutare la qualità e l'accuratezza della funzionalità saccadica. Secondo una classificazione effettuata da Scheiman M. e Wick B.,[13] i test che valutano i movimenti saccadici possono essere suddivisi in: test viso-verbali, test che li registrano oggettivamente e test di osservazione diretta.

2.1 TEST VISO-VERBALI

Questi test valutano la funzionalità oculomotoria sulla base della velocità con cui è possibile visualizzare, riconoscere e verbalizzare con precisione una serie di numeri . Questi test sono economici , gestibili e forniscono una valutazione quantitativa dei movimenti oculari simulando la lettura. Fanno parte di questo gruppo il **developmental eye movement test** (DEM) ed il **King-Devick test** (NYSOA) [6]. Entrambi i test sono pianificati secondo il medesimo principio ovvero viene chiesto al soggetto di leggere più velocemente possibile una serie di numeri senza utilizzare il dito come guida. Dopodiché i tempi di lettura e il numero di risposte errate vengono comparate con delle tabelle di valori normativi. Un possibile problema che può presentarsi con questi test è che i bambini potrebbero leggere i numeri lentamente , semplicemente perché hanno difficoltà nel riconoscere i numeri. Il King-Devick test non riesce a differenziare tra un problema saccadico e la difficoltà a riconoscere i numeri , mentre il DEM test considera ciò. Un ulteriore problema associato a questi due test è l' affidabilità infatti gli autori sono arrivati alla conclusione che si dovrebbe essere cauti nell'utilizzare solo il DEM test per arrivare ad una diagnosi o per monitorare l'efficacia del trattamento di una disfunzione saccadica .

2.1.1. DEVELOPMENTAL EYE MOVEMENT TEST (DEM)

Questo test misura le velocità e la precisione del soggetto nell'esecuzione di un compito simile alla lettura. Viene posizionato un leggio in condizione di illuminazione fotopica . Il soggetto durante il test è seduto con i gomiti sul tavolo e deve leggere due colonne verticali di venti numeri (dall'alto verso il basso)disposti con spazio costante tra loro . In questo caso si somma il tempo di lettura delle due schede e si ottiene il **tempo verticale**(senza considerare gli errori). Dopodiché il soggetto deve leggere orizzontalmente una serie di ottanta numeri posizionati con spaziatura non costante su sedici righe (ognuna della quale contiene 5 numeri) . In questo caso il punteggio considera sia il tempo di lettura che gli errori commessi [7] .



Al soggetto vengono presentate in successione quattro schede :

1. Scheda pre-test , composta da una riga orizzontale di dodici numeri che verifica i pre-requisiti del test
2. Schede subtest A e B , composta ognuna da due colonne di 20 numeri disposti in verticale , per un totale di 80 numeri
3. Scheda sub-test C ,composta da 16 righe orizzontali di 5 numeri per un totale di 80 numeri, posizionati con differenti spaziature .

Ciò che bisogna valutare dunque è il tempo e gli errori : il tempo di esecuzione dei subtest (in secondi) viene rilevato al termine dei singoli subtest A-B-C mentre il numero e il tipo di errori viene rilevato nella scheda C.

Dopo un'accurata spiegazione al soggetto dei tre test dove bisogna specificare che la lettura deve avvenire solo con gli occhi e senza l'aiuto del dito , si può iniziare col test . L' esaminatore fa partire il cronometro e durante l'esecuzione annota sull'apposita scheda di registrazione tutti gli errori commessi dal soggetto durante la lettura ,i quali si suddividono in :

- Errori di sostituzione (s)
- Errori di omissione (o)
- Errori di addizione (a) : il numero viene ripetuto due volte o viene aggiunto un nuovo numero alla sequenza
- Errori di trasposizione (t) : due numeri non vengono letti nella sequenza in cui sono scritti

Alla fine , nella registrazione vengono effettuate le operazioni di scoring, calcolando :

-Tempo verticale (VT): determinato sommando i tempi di esecuzione del subtest A e B

-Tempo orizzontale (HT): determinato dal tempo che il soggetto impiega per leggere gli ottanta numeri del subtest C

-Tempo orizzontale corretto(ATH) :si ottiene modificando il tempo orizzontale in base agli errori commessi . Quando si hanno errori di addizione , il tempo orizzontale corretto diminuisce rispetto a quello calcolato in precedenza , se invece gli errori sono di omissione il tempo corretto aumenta rispetto a quello calcolato in precedenza.

Questa procedura di scoring fa si che si ottengano i risultati corretti e poterli poi confrontare con i **valori normativi italiani del DEM test** , previsti per ogni età del bambino ,suddivise per età ,fino ai 14 anni e tabelle per gli adulti .

Age	VT	AHT	Ratio	Error
6	72.29 (20.99)	108.12 (30.49)	1.53 (0.29)	14.9 (8.3)
7	52.74 (10.17)	75.01 (19.33)	1.43 (0.25)	7.9 (7.6)
8	45.77 (9.68)	59.91 (14.87)	1.31 (0.20)	4.0 (4.6)
9	41.98 (7.89)	52.04 (12.78)	1.24 (0.18)	2.6 (3.8)
10	38.13 (6.35)	44.72 (8.08)	1.18 (0.12)	2.0 (2.6)
11	35.06 (6.41)	39.49 (8.44)	1.13 (0.12)	1.7 (2.0)
12	31.55 (5.74)	35.34 (6.47)	1.12 (0.09)	1.1 (1.8)
13	29.71 (4.58)	33.16 (6.57)	1.12 (0.12)	1.2 (1.9)
14	29.01 (4.91)	32.33 (5.29)	1.12 (0.07)	0.6 (0.9)

I valori corretti del ATH si ottengono con la seguente formula : $ATH = HT (80/(80-O+A))$

La **Ratio (R)** = AHT/VT ed è un indicatore della qualità dei movimenti saccadici orizzontali .

Errori totali = $S+O+A+T$ e riflettono l'accuratezza del soggetto nell'esecuzione del test.

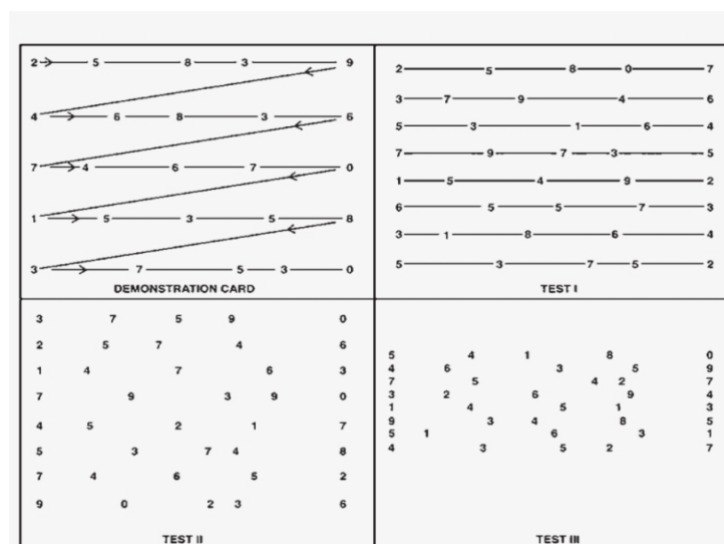
2.1.2 KING – DEVICK TEST (NYSOA)

Questo test si basa sulla misurazione del tempo (con cronometro) necessario a leggere 120 numeri a cifra stampati su tre schede standard , senza errori e ad alta voce. Cosa importante è misurare oggettivamente i movimenti oculari in concomitanza all'esecuzione del test KD .Di recente , è stato reso disponibile commercialmente un sistema integrato EYE Tracker/King DEVICK . Quest'ultimo si trova sotto lo schermo del laptop , lo schermo a sinistra mostra Test Card (TC) 2 , quello a destra

mostra TC 3 . Il sistema di eye tracker/King Devick (detto anche ET/KD) presenta sullo schermo del computer le quattro schede del KD standard.

1. La prima scheda è la **carta dimostrativa**, la quale contiene cinque numeri a una cifra , costituita da cinque numeri a una cifra e cinque righe , a spaziatura irregolare mentre l'interlinea è costante . In questa scheda è indicato anche il percorso che deve compiere l'occhio (attraverso segmenti e frecce) e infine la performance di lettura in questo caso non viene valutata .
2. **Prima scheda di prova** (Test 1) formata da otto righe di cinque numeri a una cifra . Tutte le prime cifre sono allineate verticalmente in analogo modo le ultime cifre delineando così , rispettivamente , un margine sinistro e destro . Le tre cifre interne , invece , sono distanziate in modo irregolare . Anche in questo caso ci sono dei segmenti orizzontali tra i numeri per rendere esplicito il percorso da seguire per la lettura .
3. **Seconda scheda di prova** (Test 2) è formata da quaranta numeri sempre a una cifra , disposti con lo stesso formato del Test 1 . L'unica differenza tra i due è che il Test 2 non ha i segmenti per facilitare la scansione visiva lungo l'orizzontale .
4. **Terza scheda di prova** (Test 3) anch'essa contiene quaranta numeri disposti in egual modo alle schede presenti , la differenza tra il Test 2 e il Test 3 è che a quest'ultimo la spaziatura verticale è stata compressa di circa il 50 % .

Quindi ciò che accade è che la difficoltà aumenti progressivamente tra le tre schede e che questa maggiore difficoltà di lettura si rifletta nelle prestazioni di lettura . La metrica di prova convenzionale di questo test è il tempo necessario per leggere le tre schede di prova , riportando in secondi e misurato con il cronometro . Infine viene registrato il numero di errori commessi durante la lettura ad alta voce dei singoli numeri su ciascuno dei tre Test^[8].



2.2 TEST DI REGISTRAZIONE OGGETTIVA DEI MOVIMENTI OCULARI

I dispositivi clinici che registrano oggettivamente i movimenti oculari sono il Readalyzer, il Visagraph II e il Tobii RX300 Reading Gaze. Questi sistemi sono composti da occhiali a infrarossi per il monitoraggio e da un'unità di registrazione (Figura 11) entrambi collegati ad un PC compatibile. La registrazione oggettiva dei movimenti oculari presenta numerosi vantaggi rispetto all'osservazione diretta e ai test a tempo standardizzati. Si tratta di una procedura oggettiva che non dipende dalle abilità dell'esaminatore.

2.2.1. READALYZER

Il Readalyzer è formato da emettitori e rivelatori a infrarossi montati su un maschera di sicurezza . Tramite i riflessi infrarossi provenienti dalla cornea questo strumento riesce a rilevare le posizioni degli occhi , la velocità di misurazione raggiunge i 60 Hz . Infine i movimenti della testa sono compensati automaticamente.

2.2.2. VISAGRAPH

Questo test è disponibile da oltre un decennio ma ultimamente il suo utilizzo ai fini diagnostici e terapeutici sia per adulti che per bambini è aumentato notevolmente. Fornisce un metodo standardizzato , oggettivo e automatizzato per valutare i dettagli dei movimenti oculari coinvolti nella lettura , nonché la capacità di lettura globale . Tuttavia , metodologie e criteri variano notevolmente tra i professionisti , in quanto non è stato stabilito alcun protocollo standard accettato universalmente. Visagraph è un sistema di registrazione che misura accuratamente i movimenti oculari durante la lettura utilizzando sensori a infrarossi in un paio di occhiali collegati e analizzati da un computer. Esso ci fornisce un'enorme quantità di informazioni sul movimento degli occhi come la quantità di fissazioni, regressioni, l'intervallo medio di riconoscimento delle parole, il tempo medio di fissazione, la quantità di parole lette al minuto, numero di saccadi e anomalie oculari.



2.2.3. TOBII RX300 READING GAZE

In questo test i soggetti devono sedersi davanti allo schermo di un computer , al di sotto di quest'ultimo c'è una telecamera a infrarossi , dotata di eye tracker . Ciò garantisce un ambiente naturale per il soggetto, che fornisce risposte realistiche a diversi stimoli . Rispetto agli altri sistemi , lo svantaggio di quest'ultimo è la relativa bassa precisione nella risoluzione e nella frequenza di campionamento. Lo schermo LCD del computer dell' Eye Tracker Tobii1750^[9], ha una fotocamera integrata ad alta risoluzione con un ampio campo visivo, che viene utilizzata per catturare immagini del paziente, per il tracciamento oculare. Durante il monitoraggio, Tobii Eye Tracker utilizza diodi vicini all'infrarosso (NIR-LED) per generare pattern di riflessione sulle cornee degli occhi dei pazienti. La fotocamera raccoglie questi pattern, insieme ad altre informazioni visive sui pazienti. Gli algoritmi di elaborazione delle immagini nel software identificano i pattern di riflessione corneale, la posizione nello spazio di ciascun bulbo oculare e il punto di sguardo sullo schermo, ovvero dove il paziente sta guardando.

2.3 TEST DI OSSERVAZIONE DIRETTA

Questi test richiedono che il soggetto guardi da una mira all'altra mentre l'esaminatore ne osserva le saccadi.

2.3.1. NSUCO Oculomotor test

Il NSUCO (Northeastern State University College of Optometry) Oculomotor Test è un insieme di valutazioni soggettive dirette dei movimenti oculari saccadici e di inseguimento. Questo test è utile per esaminare bambini in età prescolare e scolare in quanto richiede la minima partecipazione del soggetto esaminato ed inoltre permette di condurre un'analisi veloce e economica dei movimenti oculari .

I fattori che l'esaminatore deve valutare sono quattro :

1. Abilità
2. Accuratezza
3. Movimenti della testa
4. Movimento del corpo

Viene attribuito un punteggio da 1 a 5 e cosa importante per ognuno dei fattori elencati prima viene fatta un'analisi **qualitativa** e **quantitativa** .

Inoltre il protocollo di esecuzione esamina dieci variabili da controllare affinché l'attendibilità del test non venga compromessa :

- **Postura** , il soggetto è in piedi di fronte all'esaminatore con i piedi alla larghezza delle spalle e le braccia distese lungo il corpo
- **Movimenti della testa e del corpo** , il soggetto deve comportarsi in modo naturale durante l'esecuzione dunque non bisogna dare istruzioni sul movimento delle testa o del corpo
- **Mire** , target di Wolff , ovvero due sfere ,con diametro di 5 mm , di metallo colorato riflettente montate su dei bastoncini . D'un questo c'è una mira per **inseguimenti** e due per le **saccadi** .
- **Percorso delle mire** , quest'ultime, durante la fase dei movimenti saccadici , sono posizionate orizzontalmente , mentre durante gli inseguimenti, vengono mosse in senso orario o antiorario. Nella fase delle saccadi , vengono effettuate cinque escursioni saccadici (cioè mosse da destra a sinistra più il ritorno) mentre nella fase degli inseguimenti si effettua quattro rotazioni (due in senso orario e due in senso antiorario) .
- **Estensione dei movimenti oculari** , partendo dalla linea mediana del soggetto, il movimento non deve superare 10 cm. Si adotta quindi una distanza di 20 cm tra le due sfere nel subtest delle saccadi e si effettua una rotazione della sfere non maggiore di 20 cm nel subtest degli inseguimenti, assicurando così un'escursione dei movimenti oculari non superiore, approssimativamente, ai 15° centrali.
- **Distanza delle mire dagli occhi** , questa distanza è compresa tra la distanza di Harmon e 40 cm . (distanza di Harmon è la distanza tra la nocca del dito medio e il gomito)
- **Condizioni visive** , il test si effettua in condizioni binoculare e correzione in uso se necessaria
- **Età** , può essere eseguito a tutte le età
- **Istruzioni**, sono le seguenti : “Osserva la pallina rossa. Quando ti dirò verde sposta i tuoi occhi e osserva la pallina verde”. Per gli inseguimenti “Segui con i tuoi occhi questa pallina mentre si muove”.
- **Registrazione**, bisogna tener conto dei 4 fattori elencati prima e rispondere alle rispettive domande ,sia per gli inseguimenti che per le saccadi :
 - Abilità: il bambino è stato in grado di completare l'esercizio assegnato? Quante escursioni/rotazioni ha portato a termine?
 - Accuratezza: quale è stata la qualità della sua esecuzione?
 - Movimento della testa: ci sono stati movimenti spontanei della testa

durante l'esecuzione?

-Movimento del corpo: ci sono stati movimenti spontanei del corpo durante l'esecuzione?

Dopo aver valutato i quattro fattori bisogna assegnare un punteggio che va da 1 a 5 , secondo uno schema :

✓ Abilità saccadi

1. Completa meno di due escursioni
2. Completa due escursioni
3. Completa tre escursioni
4. Completa quattro escursioni
5. Completa cinque escursioni

✓ Accuratezza saccadi

1. Una o più ampie saccadi iper o ipometriche
2. Una o più moderate saccadi iper o ipometriche
3. Lievi saccadi iper o ipometriche costanti (più del 50% totale)
4. Lievi saccadi iper o ipometriche intermittenti (meno del 50% totale)
5. Nessuna saccade iper o ipometrica

✓ Movimenti della testa (saccadi e inseguimenti)

1. Ampi movimenti della testa ogni volta
2. Moderati movimenti della testa ogni volta
3. Lievi ma costanti movimenti della testa (più del 50% totale)
4. Lievi ma intermittenti movimenti della testa (meno del 50% totale)
5. Nessun movimento della testa

✓ Abilità inseguimenti

1. Non è in grado di completare mezza rotazione
2. Completa mezza rotazione
3. Completa una rotazione
4. Completa due rotazioni in un senso, meno di due nell'altro
5. Completa due rotazioni in ciascun senso

✓ **Accuratezza inseguimenti**

1. Più di dieci rifissazioni
2. Da cinque a dieci rifissazioni
3. Tre o quattro rifissazioni
4. Una o due rifissazioni
5. Nessuna rifissazione

✓ **Movimenti del corpo (saccadi e inseguimenti)**

1. Ampi movimenti del corpo ogni volta
2. Moderati movimenti del corpo ogni volta
3. Lievi ma costanti movimenti del corpo (più del 50% del totale)
4. Lievi ma intermittenti movimenti del corpo (meno del 50% del totale)
5. Nessun movimento del corpo

Infine il test richiede un discreto grado di cooperazione e quindi è inadatto per i bambini che non comprendono le istruzioni o che non possiedono capacità adeguate a svolgerlo efficacemente ^{[10],[7]} .

2.4 SEM (SACCADIC EYE MOVEMENTS) TEST

Questo test è una nuova procedura sviluppata per offrire uno screening dei movimenti saccadici localizzatori :

- Rapidi: durata generalmente di 1 minuto
- Non operatore dipendente
- Indirizzato a : logopedisti , pediatri, insegnanti delle scuole materne , psicologi i cui risultati devono essere interpretati da un professionista della visione all'interno di una successiva analisi visiva.
- Si può eseguire anche con bambini in età prescolare o superiore ai quattro anni. (utilizzando E direzionali)

Il SEM test utilizza una procura computerizzata il quale sfrutta un monitor led di dimensioni pari a 12,2'' alla distanza di 40 cm dal soggetto .Il soggetto deve indicare la direzione (alto, basso, destra, sinistra) delle E direzionali presenti su di un tastierino numerico posto sul suo asse mediano, effettuando quindi, un movimento saccadico esplorativo per determinare la direzione della E direzionale sul monitor e un successivo movimento saccadico localizzatorio sul tastierino, al fine di

identificare la medesima E posta in maniera non convenzionale sul tastierino per dare la risposta corretta. La procedura sopra descritta è proposta per simulare la copiatura dalla lavagna sul quaderno di testo. Il test può essere eseguito anche chiedendo al soggetto di guardare il monitor, dando la risposta sul tastierino dove le E saranno orientate correttamente con le E in alto sopra, in basso sotto, a destra verso destra e a sinistra verso sinistra sul tastierino.

2.5 DISFUNZIONI OCULOMOTORIE

La valutazione di problematiche oculomotorie comprende la valutazione della stabilità di fissazione e funzionalità di saccadi e inseguimenti. Nella maggior parte dei casi in cui si riscontrano saccadi imprecise si verifica un movimento diviso in due parti, una prima parte inesatta con uno stop e poi un aggiustamento. Altre volte si può avere un movimento che ha lo stop oltre al bersaglio e poi torna indietro con una correzione. A questi problemi di motilità possiamo unire problemi patologici neuronali, divisibili in quattro categorie: disordini di velocità, accuratezza, iniziazione del movimento e saccadi inappropriate. Alcune cause di questi problemi possono essere patologie ai nervi o lesioni al cervello. Per quanto riguarda i movimenti di inseguimento, nella quotidianità vengono usati principalmente per guidare, nelle attività sportive e in quelle all'aperto. Le imprecisioni motorie di questo movimento comportano difficoltà nel capire la traiettoria, la direzione, la velocità e le distanze dell'oggetto interessato. Nella maggior parte dei casi il problema viene riscontrato a livello della precisione del movimento: spesso il soggetto o è in ritardo e quindi perde la mira o anticipa la traiettoria senza sapere se effettivamente l'oggetto arriverà in quel punto. Anche questo problema può avere origini nervose e cerebrali che ne alterano la precisione o l'iniziare il movimento [5].

3. VISIONE BINOCULARE

3.1. GENERALITÀ

E' una funzione complessa in virtù della quale i singoli oggetti che ci circondano, abitualmente fissati da entrambi i nostri occhi in modo contemporaneo, vengono visti unici (aplopia) e non doppi (diplopia), nonostante giungano ai centri corticali due impulsi, rispettivamente da un occhio e dall'altro. Il presupposto iniziale perché la visione binoculare sia presente è che le due fovee siano rivolte verso lo stesso oggetto in modo da poter comparare le due immagini. L'immagine finale viene vista dal soggetto come se fosse presente un solo occhio al centro. È possibile classificare gli aspetti

evolutivi della visione binoculare secondo il modello proposto da Claude Worth nel 1915. Esso riconosce tre fasi:

- I. La percezione simultanea
- II. La fusione
- III. La stereopsi

3.1.1. LA PERCEZIONE SIMULTANEA

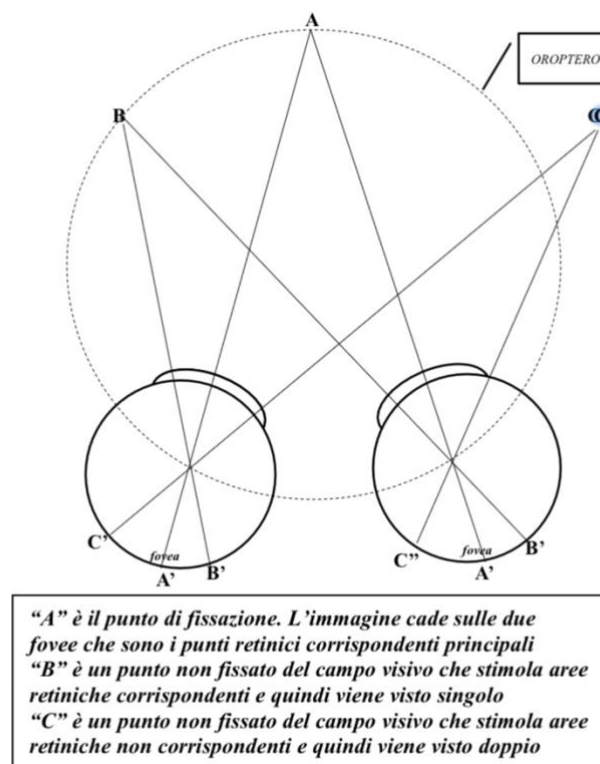
La percezione simultanea è la prima fase, ovvero la capacità di percepire le due immagini differenti con i due occhi contemporaneamente. Questa capacità si inizia a sviluppare intorno al sesto mese di vita, quando tende a ridursi e pian piano a scomparire il fenomeno della soppressione. Le immagini dei due occhi vengono percepite, elaborate e quindi proiettate entrambe nel campo visivo simultaneamente, generando il fenomeno della diplopia. A mantener vivo il fenomeno della simultaneità è la buona qualità di entrambe le immagini. Se una delle due fosse particolarmente carente di particolari e quindi di nitidezza rispetto all'altra, si avrebbe il fenomeno della soppressione a carico dell'immagine peggiore. Per valutare la presenza nel soggetto esaminato del I° grado della binocularità è sufficiente tentare di indurre artificialmente la condizione di diplopia. Si invita il soggetto a fissare una mira luminosa, quindi si applica, davanti all'occhio dominante, un prisma di 6Δ a base verticale. Ci si aspetta che la visione si sdoppi. Se il soggetto, richiesto di descrivere ciò che vede, risponde di percepire una sola mira, significa che una delle due immagini non è utilizzata. In questo caso si deduce che non è presente visione simultanea.

3.1.2. LA FUSIONE

La fusione è il secondo momento dello sviluppo visivo. Essa si realizza quando il sistema impara a coordinare i movimenti degli occhi in modo che le stimolazioni luminose provenienti dalle due pupille cadano su punti retinici corrispondenti. Affinché il processo di fusione si compia è necessario che, a livello retinico, il campo visivo sia adeguatamente organizzato in termini spaziali. I campi visivi dei due occhi sono legati reciprocamente in modo tale che ogni area retinica dell'occhio destro, posta in una certa posizione ed ad una certa distanza dalla fovea, trova nell'occhio sinistro un'identica area omologa, cioè posta dalla stessa parte e alla stessa distanza dalla propria fovea. Queste aree, spazialmente omologhe, hanno la particolarità di possedere la stessa direzionalità visiva e prendono il nome di aree corrispondenti. Tutti i punti oggetto che, in funzione della loro posizione nello spazio, riescono a stimolare aree retiniche corrispondenti determineranno stimoli che a livello corticale saranno fusi in un'unica immagine. Le due fovee rappresentano i due punti corrispondenti principali.

Quindi, quando gli occhi fissano un oggetto, esso viene visto singolo perché vengono stimulate le due aree corrispondenti principali (fovee). Contemporaneamente anche altri punti oggetto del campo visivo, pur non fissati, vengono visti singoli in quanto stimolano altre aree retiniche corrispondenti secondarie. Se si uniscono tra loro mediante un'ipotetica linea tutti i punti oggetto dello spazio visti singoli si ottiene una circonferenza passante per il punto di fissazione e per i punti nodali dei due occhi. Detta linea prende il nome di oroptero. In realtà la forma dell'oroptero non è costante, ma assume aspetti diversi in funzione di:

- La distanza del punto di fissazione
- Il contrasto della mira
- Il livello di luminanza dell'ambiente



Tutti i punti oggetto del campo visivo posti fuori dell'oroptero stimolano aree retiniche non corrispondenti e pertanto danno origine a diplopia, che viene indicata come fisiologica. La diplopia fisiologica assume diversa classificazione a seconda della posizione, nel campo visivo, che gli oggetti fuori dell'oroptero occupano rispetto al punto di fissazione. I punti oggetto fuori dell'oroptero posti oltre il punto di fissazione stimolano aree retiniche nasali non corrispondenti in entrambi gli occhi. Siccome la proiezione dell'immagine nel campo visivo avviene sempre in area opposta a quella di

stimolazione, in questo caso ogni occhio proietta la propria immagine all'esterno dalla parte tempiale. In pratica le due immagini, non fuse, stanno ognuna dalla stessa parte dell'occhio che le ha generate e la diplopia si definisce omonima. Al contrario gli oggetti fuori dell'oroptero, posti prima del punto di fissazione, stimolano aree retiniche tempiale la proiezione delle immagini diplopiche avviene in zone nasali; in tal modo esse si trovano dalla parte di campo visivo opposta all'occhio che le ha generate. Questa diplopia viene definita crociata. Cosa ben diversa è la diplopia generata da uno scorretto allineamento degli occhi. Se l'allineamento dello stimolo luminoso su punti retinici corrispondenti è la condizione affinché le due immagini possono essere fuse, è necessario che il sistema possieda degli idonei strumenti che realizzino tale condizione.

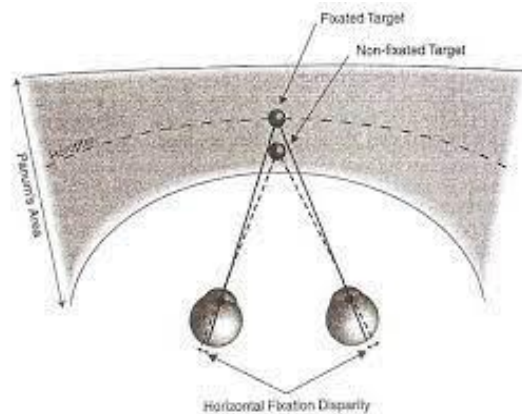
Essi sono:

- La fusione sensoriale
- La fusione motoria

La fusione sensoriale riceve ed elabora tutte le informazioni del mondo esterno e le trasmette alla componente motoria. Quest'ultima governa l'attività della muscolatura estrinseca che attraverso complessi movimenti di vergenza tende a mantenere gli assi visivi in ortoposizione (la perfetta intersezione degli assi visivi sul punto di fissazione). Alle volte, però, una certa grossolanità dell'attività della muscolatura estrinseca non consente un perfetto allineamento degli assi visivi sul punto di fissazione, con la conseguenza che gli stimoli monoculari non cadono su punti retinici corrispondenti. Per evitare la diplopia la fusione sensoriale interviene, una seconda volta, sulla componente motoria, riuscendo nella maggior parte dei casi a ripristinare il corretto allineamento che consente il compimento della fusione. Solo in alcune situazioni, in cui l'errore di vergenza è particolarmente cospicuo, la componente fusionale sensoriale può non riuscire a ripristinare l'ortoposizione (la perfetta intersezione degli assi visivi sul punto di fissazione). In questo caso la diplopia è inevitabile. L'unico mezzo per ripristinare la visione è la soppressione. Una delle due immagini oculari, generalmente quella di minor qualità, viene eliminata. Gli squilibri che normalmente vengono compensati dal sistema fusionale prendono il nome di eteroforie, anche detti strabismi latenti per l'impossibilità di essere riconosciuti con la semplice osservazione esterna. Mentre quelli che rimangono scompensati sono definiti eterotropie, meglio conosciuti come strabismi manifesti. Quando due stimoli simili nella forma, ma diversi in alcuni particolari, colpiscono aree retiniche corrispondenti possono essere fusi in un'unica immagine che, a volte, percettivamente oscilla tra le caratteristiche dell'uno e dell'altro. Questo fenomeno va sotto il nome di rivalità binoculare. Quando, invece, l'immagine fusa tende a conservare, con una certa permanenza temporale, le

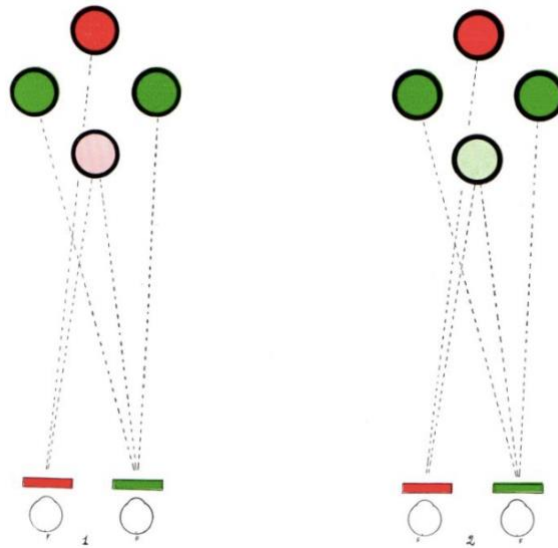
caratteristiche peculiari di uno solo dei due stimoli si rileva la presenza di una marcata dominanza dell'occhio responsabile dell'immagine più presente. La dominanza oculare definisce la presenza di un occhio preferito e non è necessariamente propria dell'occhio con miglior acuità visiva.

AREA DI PANUM : la definizione di oroptero obbliga a considerare diplopici tutti i punti oggetto al di fuori di esso . In realtà PANUM (1858) dimostrò che esiste un intorno volumetrico dell' oroptero entro il quale gli oggetti , pur stimolando aree retiniche non perfettamente corrispondenti , vengono percepiti ancora singoli . Tale ambito volumetrico è impropriamente chiamata **area di Panum**.

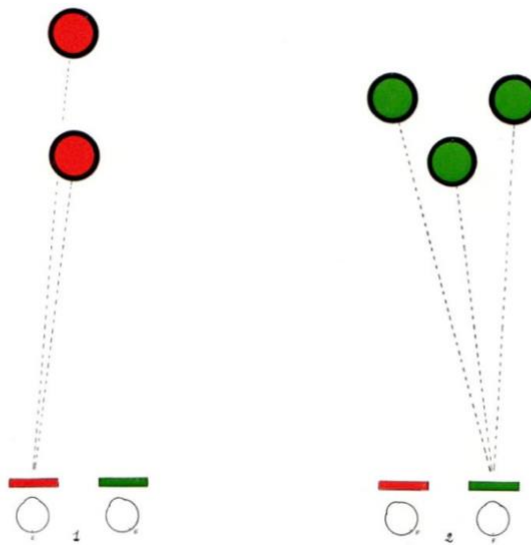


Test delle luci di Worth : questo test viene utilizzato per valutare la buona presenza della capacità di fusione . La **mira** è costituita da quattro dischi colorati su **sfondo** nero, posti a croce: uno rosso in alto , due verdi in orizzontali e uno bianco in basso . Gli occhi del soggetto esaminato sono coperti con **filtri anaglifici** . In questo modo , si viene a creare la condizione in cui ogni occhio vede i dischi del colore del proprio filtro e in più uno bianco . La situazione è di **parziale dissociazione** , in quanto la visione simultanea del disco bianco mantiene lo stimolo a fondere . Supponiamo di aver anteposto all'occhio destro il filtro verde e al sinistro quello rosso , dopo aver invitato il soggetto esaminato a riferire ciò che vede , le possibili risposte sono le seguenti :

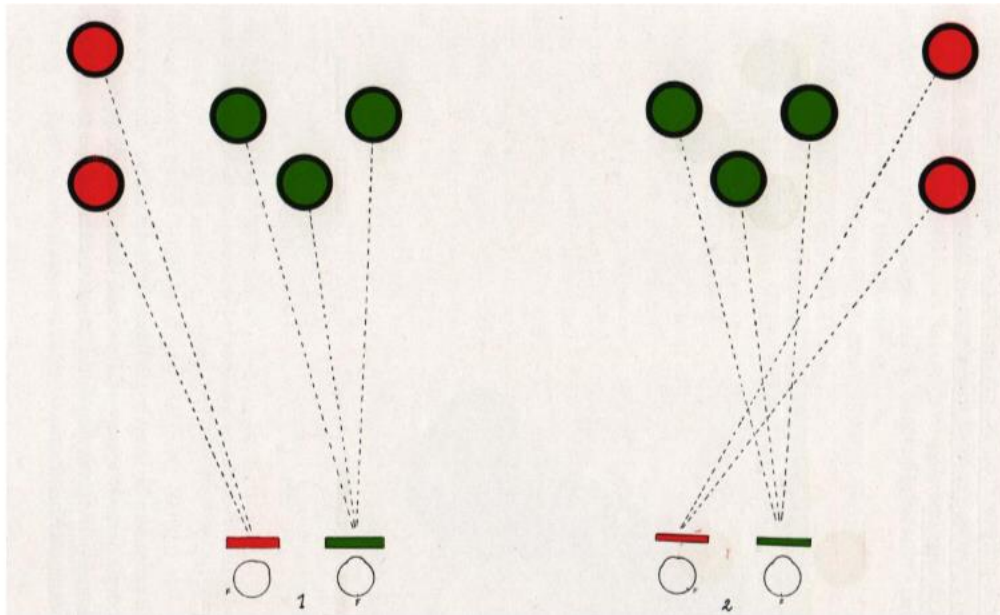
1. Vedo 4 luci : c'è visione binoculare singola nella norma , l'eventuale eteroforia è ben compensata . La tonalità assegnata al cerchio bianco definisce la dominanza .



2. Vedo 2 luci rosse : c'è soppressione dell'occhio destro (filtro verde) .
3. Vedo 3 luci verdi : c'è soppressione dell'occhio sinistro (filtro rosso) .



4. Vedo 5 luci , due rosse a sinistra e tre verdi a destra : c'è diplopia omonima che indica un **esoforia**.
5. Vedo 5 luci rosse a destra e tre verdi a sinistra : c'è diplopia crociata che indica **exoforia**.



Il test va effettuato da lontano sfruttando l'apposita mira a proiezione da vicino con la torcia opportunamente predisposta ; è anche possibile , sempre con la torcia , fare l'analisi dinamica per controllare lo spazio di fusione .

3.1.3. LA STEREOPSI

A causa della distanza orizzontale esistente tra i due occhi , le immagini retiniche dello stesso oggetto risultano leggermente differenti e di conseguenza in alcuni loro parti stimolano punti retinici non corrispondenti . Nonostante ciò, quando la disparità binoculare non supera il 2°, le due immagini vengono regolarmente fuse. Ciò che potrebbe sembrare l'ennesimo intervento della fusione sensoriale a correggere un errore visivo, costituisce una grandissima risorsa della binocularità. Infatti la disparità visiva orizzontale è utilizzata dalla psiche per trarre preziose informazioni sulla forma tridimensionale degli oggetti e sulla loro posizione nello spazio. Questo fenomeno prende il nome di: **visione stereoscopica** o più brevemente **stereopsi**. Quest'ultima , come tutte le facoltà binoculari, deve essere acquisita dopo la nascita . La visione stereoscopica non si deve considerare come l'inevitabile Risultato della capacità fusionale anche se da anche se da essa discende. Si trovano in numero non infrequente ,soggetti adulti che posseggono regolari capacità di fusione e scarsi , alle volte nulli , valori di stereopsi . A sostegno di ciò è stata riconosciuta la presenza nella corteccia visiva di una famiglia specifica di neuroni specializzati nel rilevamento delle forme di disparità retinica , il

cui anomalo sviluppo può compromettere tale capacità visiva . Dunque la stereopsi è un fenomeno che deve essere ‘acquisito’ . Affinché ciò accada è necessario che pre-esistono alcune condizioni visive basilari .

Esse sono :

- **fissazione bifoveolare**
- **capacità completato di fusione**
- **sufficiente acuità visiva in ambo gli occhi**

Queste condizioni sopraelencate sono essenziali al fine di garantire la presenza dei primi due gradi della binocularità . La stereopsi ,infatti ,sta nello scalino più alto della ‘ raffinatezza ‘ binoculare e non può instaurarsi se non sono precedentemente acquisite la percezione simultanea e la fusione .

Metodi di valutazione

I vari test sulla stereopsi sono una pratica comune in tutte le indagini visive di tipo fiscale ed anche inseriti nella usuale pratica optometrica. In questo ambito è opportuno distinguere la stereopsi in:

- Locale
- Globale

La prima è stimolata da mire, di forma definita e riconoscibile, identiche tra loro, ma che vengono presentate separatamente ai due occhi con un effetto di spostamento lineare l’una rispetto all’altra. La seconda richiede una maggior raffinatezza e sviluppo dell’attività stereoscopica: le mire sono prive di riconoscibilità monoculare; attraverso l’attività di organizzazione visiva dei vari particolari distribuiti in modo casuale è possibile percepire delle figure di forma compiuta solo se è presente un elevato grado di stereopsi. La stereopsi può essere rilevata sia da lontano che da vicino.

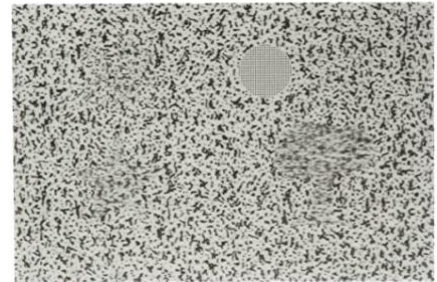
I test più utilizzati sono da vicino, pertanto richiede la presenza di un’ illuminazione molto buona e la compensazione dell’eventuale presbiopia o di ametropie che possano penalizzare la visione prossimale. La disparità spaziale delle mire osservate è misurata in secondi d’arco (’), che al tempo stesso rappresenta il valore della capacità stereoscopica del soggetto.

Test di stereopsi locale : il più comune è il **test di Wirt (a)** , conosciuto come **test della mosca di Titmus** . I filtri polarizzati permettono la percezione della mira in rilievo , che diversamente sarebbe

vista doppia . Il test è articolato in una serie di mire con **coefficiente di disparità spaziale** a partire da 3000'' (la mosca) fino a un minimo di 40 '' (il nono gruppo di cerchi). La presenza di strabismo è una condizione invalidante del test .



l. **Test di Wirt**



b) **Test di Lang**

Test di stereopsi globale : questo test è costituito da una serie di puntini disposti in modo casuale , solo la capacità di percezione tridimensionale permette il rilevamento di immagini. Anche in questo caso si utilizzano occhiali con filtri polarizzati o anche filtri colorati anaglifici. I limiti di stereopsi valutabile sono compresi tra i 1900'' e 15 '' .

Negli ultimi tempi si è affermato l'utilizzo del **test di Lang (b)** . Con il quale non è necessario l'utilizzo di alcuna filtratura e ciò è possibile grazie alla particolare costruzione cilindrica dei suoi elementi . Ma ha un limite ovvero una gamma di apprezzamento meno ampia infatti è compreso tra 550 '' a 1200''^[11].

3.2 LO STATO ETEROFORICO

Il sistema visivo viene definito **ortoforico** quando , senza un ulteriore intervento **della componente sensoriale**, si ottiene l'allineamento degli assi visivi sul punto di fissazione . Quando l'ortoforia non si verifica , gli occhi presentano un deviazione che può essere :

- **Latente** : Quando il centro fusionale ha capacità sufficienti a ripristinare l'ortoposizione. Pertanto la deviazione viene mascherata e può essere evidenziata e misurata solo sopprimendo, con tecniche appropriate , l'attività della fusione sensoriale. Questo tipo di deviazioni costituisce il gruppo delle **eteroforie**.

- **Manifesta** : Quando le riserve funzionali non sono sufficienti a compensare l'errore di allineamento. Pertanto l'attività fusionale si interrompe, la diplopia viene contrastata dalla soppressione e uno dei due occhi si pone in evidente posizione deviata, mentre il controlaterale mantiene la fissazione. Questo tipo di deviazioni forma la famiglia delle **eterotropie**

Un'osservazione molto importante è che lo stato eteroforico è un'anomalia latente del sistema visivo binoculare . Dunque non riguarda uno solo dei due occhi come accade invece per un soggetto strabico (affetto da eterotropia) , il quale può manifestare la deviazione sempre a carico dello stesso occhio mentre il controlaterale resta fissante . Inoltre il valore della foria , così come può essere misurata con i diversi test a disposizione, è soggetto ad un evidente variabilità, dovuta a diverse condizioni : lenti utilizzate , luminanza dell'ambiente, livello di affaticamento e postura .

3.3 CLASSIFICAZIONE DELLE ETEROFORIE

Le eteroforie ,secondo la loro eziologia, ci sono tre possibili cause:

- La presenza di condizioni strutturali che determinano una **mancanza di simmetria** tra gli occhi e queste eteroforie vengono indicate di tipo **STATICO** .
- Ci sono inoltre le eteroforie classificate come **ACCOMODATIVE** , dovute a valori fuori norma del rapporto sinergico tra accomodazione e convergenza (complicate anche dalla presenza di ametropie) .
- Tutte le forme di mancanza di controllo dell' innervazione della muscolatura estrinseca che determinano alterazione della propriocettività . Sono queste le eteroforie **NEUROGENO**.

Dal punto di vista optometrico invece si classificano nei seguenti **gruppi** :

ORIZZONTALI :

- **ESOFORIA** è la condizione in cui gli occhi tendono a convergere su un punto più vicino dell'oggetto fissato .
- **EXOFORIA** invece convergono in un punto più lontano dell'oggetto fissato .

VERTICALI :

- **IPERFORIA DX O IPOFORIA SX** condizione in cui l'occhio destro è deviato verso l'alto e il sinistro verso il basso .

- **IPERFORIA SX O IPOFORIA DX** condizione in cui l'occhio sinistro è ruotato verso l'alto e il destro verso il basso .

TORSIONALI :

- **INCICLOFORIA** rotazione torsionale , lungo l'asse anteroposteriore , di entrambi gli occhi verso il naso
- **EXOCICLOFORIA** torsione lungo l'asse anteroposteriore , di entrambi gli occhi verso le tempie .

In optometria il gruppo che interessa maggiormente è quello delle **forie orizzontali** , poiché sono legate all'attività **accomodativa**.

3.3.1. ESOFORIA



L'esoforia è la tendenza Degli occhi a deviare verso l'interno. Nel soggetto esoforico, In condizioni di normale visione, gli occhi appaiono sempre perfettamente centrati sulla mira di fissazione. Solo quando viene interrotto lo stimolo fusionale, ponendo davanti a un occhio uno schermo e lasciando l'altro guardare la mira, l'occhio coperto non avendo più lo stimolo fusionale ruoterà verso il naso. Se però l'esoforia ha un valore medio alto, la deviazione nasale di uno o entrambi gli occhi può diventare evidente in certe situazioni, ad esempio: stress, stanchezza eccessiva, febbre alta o da situazioni di tossicità come l'abuso di alcol o droghe. In queste condizioni può anche evidenziarsi diplopia. L'esoforia è comune negli ipermetropi non compensati con mezzi ottici, con tipici sintomi di **astenopia**(mal di testa frontale e peri orbitale offuscamento visivo alla lettura). Le lenti bifocali o progressive sono mezzi efficaci per ridurre o eliminare completamente la sintomatologia astenopia.

3.3.2. EXOFORIA



L'exoforia o strabismo divergente latente, è la tendenza degli occhi a deviare verso l'esterno. Statisticamente più frequente nel genere femminile e anche detto strabismo di Venere. Nello soggetto exoforico, in condizione di visione normale, Gli occhi appaiono sempre perfettamente centrati sulla mira di fissazione. Soltanto quando viene interrotto lo stimolo fusionale, Ad esempio ponendo davanti a un occhio uno schermo e permettendo all'altro di fissare una mira, l'occhio coperto, non avendo più lo stimolo fusionale, ruoterà verso l'esterno. Se però un soggetto ha un valore di exoforia medio alto, la deviazione di un occhio temporaneamente, spesso quello non dominante, Può diventare evidente in situazioni come ad esempio violente emozioni, stress prolungato, stanchezza eccessiva, febbre alta o da situazioni di tossicità come l'abuso di alcol. In queste condizioni come anche detto in precedenza al soggetto può evidenziarli diplopia.

3.3.3. IPERFORIA

È raro che si presenti allo stato puro. Questo tipo di foria è spesso associata a deviazioni orizzontali. Quest'ultime possono essere compensate dal sistema fusionale anche per valori elevati, nelle forme verticali la compensazione e l'insorgere della diplopia è marcato. Infatti la capacità fusionale del sistema visivo in direzione verticale è di circa 3Δ in totale. Pertanto sono sufficienti deviazioni di $1,5\Delta$ per occhio per creare problemi.

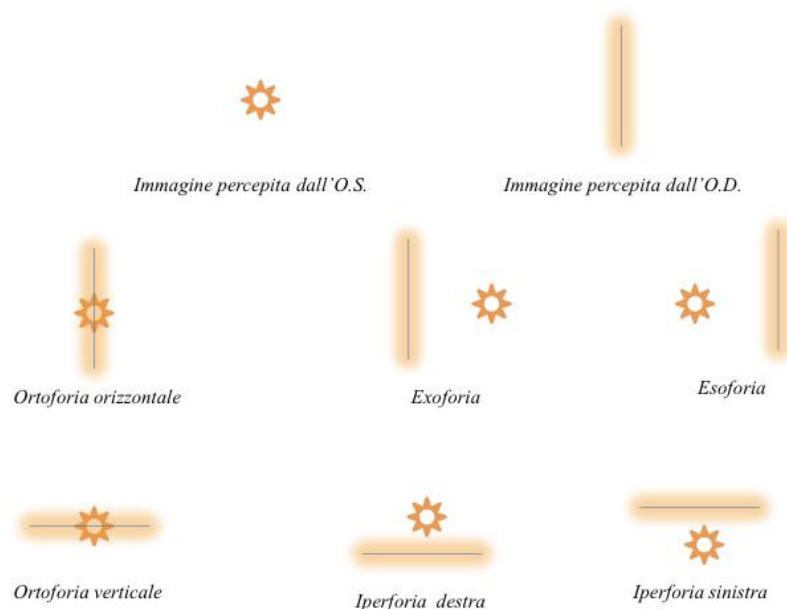
3.4. LA MISURA DELL'ETEROFORIA

Per attribuire un valore all'eteroforia è necessario evidenziarla. Ed è necessario usare delle tecniche capaci di inibire l'attività del centro fusionale.

3.4.1. IL METODO DI MADDOX

Questo test consente la misura sia delle forie orizzontali che verticali . Il soggetto osserva in visione binoculare una mira luminosa puntiforme . Si antepone ad uno dei due occhi una lente cilindrica di 0.50 dt. In questo modo l'occhio scoperto continua a vedere la sorgente luminosa , l'altro , a causa della distorsione generata dal cilindro , percepisce una striscia luminosa , orientata secondo l'asse del cilindro stesso. Dunque ciascun occhio percepisce un'immagine totalmente diversa da quella del controlaterale . A questo punto , gli occhi assumeranno la loro posizione naturale evidenziando la foria presente .

METODO DI MADDOX PER LA MISURA DELL'ETEROFORIA *Cilindro su occhio destro*



La condizione di **ortoforia** è definita dalla perfetta intersezione della storia con la sorgente . La foria è misurata del valore del prisma che la ripristina . In alternativa è possibile fissare la sorgente luminosa al centro di una croce (croce di Maddox) , sui cui quattro bracci sono ricavate delle tacche opportunamente distanziate , in modo che ad ognuna di esse corrisponda l'incremento di una diottria prismatica di scostamento. Il soggetto è invitato a riferire in prossimità di quale tacca vede passare la stria luminosa .

3.4.2. I METODI DI HERING E SCHOBER

Nel **test di Hering** la mira è costituita da una croce i cui bracci sono polarizzati ortogonalmente tra loro . Ogni occhio ha anteposto un filtro polarizzato con lo stesso andamento delle braccia della croce. La dissociazione è data dal fatto che ogni occhio vede solo il braccio della croce polarizzato nella stessa direzione . Se è presente un eteroforia le braccia della croce saranno tra loro disassate. Il prisma che ripristina la corretta intersecazione misura la foria presente . **Il test di Schober** propone un test simile con la differenza dell'uso di colori e filtri anaglifici : la croce è filtrata in rosso , i cerchi in verde . Mentre davanti l'occhio destro si mette un filtro rosso e al sinistro uno verde . La posizione della croce rispetto ai cerchi definisce la foria . Il prisma che ripristina il centraggio della croce è la misura .



Mira del test Hering



Mira del test di Schober

3.5. MISURA DEL RAPPORTO AC/C

Alle forie sono associati i problemi di vergenza, che vanno valutati in associazione con accomodazione e miosi (triade accomodativa). Infatti la convergenza in sé è un problema solo in caso di paralisi, paresi o tropia. Molto più frequentemente si ha un problema di vergenza quando non è perfettamente sincronizzata con l'accomodazione, ovvero quando il rapporto convergenza accomodativa-accomodazione (rapporto AC/A) non è nella media (4/1). In questo caso si avrà un soggetto che converge in un punto ma accomoda in un altro, più avanti o più indietro. È proprio qui che nascono i problemi di visione binoculare quali insufficienza di convergenza, eccesso di convergenza, insufficienza di divergenza, eccesso di divergenza, falsa insufficienza di convergenza. Esistono alcune norme di riferimento, ottenute da ricerche e misurazioni in campioni di popolazioni, che permettono di classificare tutte le condizioni di anomalia della VB legate ad alterazione nella condizione di vergenza. Come predetto, però, al variare del piano di vergenza deve variare anche il

piano d'accomodazione. L'accomodazione può essere definita come la messa a fuoco dell'occhio: per mantenere il fuoco sulla retina quando si avvicina il piano di accomodazione, il potere diottrico oculare deve aumentare per convergere di più i raggi luminosi. Questa variazione di potere, unita alla convergenza dei bulbi e alla miosi (contrazione dello sfintere della pupilla), crea la triade accomodativa che permette di mantenere singolo e nitido l'oggetto sul piano prossimale. Un indice fondamentale per la valutazione dell'accomodazione, e quindi della VB, è il rapporto Ac/A , ovvero convergenza accomodativa su accomodazione. La convergenza accomodativa è la quantità di convergenza indotta da una specifica domanda d'accomodazione (Es. a 40cm la domanda accomodativa è di 2,50D e la convergenza accomodativa è di 15D Δ), e questo indice dà informazioni sul tipo di squilibrio che si crea nella visione passando da lavoro prossimale a lavoro da lontano. Il rapporto Ac/A si può calcolare secondo la seguente formula:

$$Ac/A = (15 - (\text{foria 6m} - \text{foria 40cm})) / 2.50$$

dove 15 è la convergenza accomodativa richiesta per un accomodazione di 2.50D, mentre le forie si inseriscono con segno positivo se eso e segno negativo se exo. . Infine le anomalie della visione binoculare si suddividono nelle seguenti condizioni : eccesso di convergenza o divergenza , insufficienza di convergenza o di divergenza

4. VISUAL TRAINING

4.1. PRINCIPI E FUNZIONAMENTO DEL VISUAL TRAINING

Il visual training è quella parte di optometria che si interessa dello sviluppo , al miglioramento e all'incremento del rendimento visivo delle persone . Come si può lavorare su un soggetto per eliminare i fastidi di una VB non funzionale? Presupponendo che il soggetto abbia un sistema visuale sano dal punto di vista anatomico e fisiologico e che sia già compensata refrattivamente in modo adeguato, una possibilità è un trattamento di visual training (VT). Questo trattamento ha l'obiettivo di stabilire nuovi processi e relazioni che permettano di ricevere, elaborare e comprendere meglio l'informazione. Tale trattamento consiste nella ripetizione quotidiana di una determinata scheda di esercizi, al fine di arrivare all'automatizzazione e alla comprensione dei movimenti interessati. Oltretutto attraverso un trattamento di VT non si va a lavorare soltanto sui muscoli estrinseci e sul sistema visivo, ma per via indiretta si lavora anche su muscoli intrinseci e sui sistemi vestibolare e

proprioceettivo^[12]. Questo principio si basa sulla plasticità neuronale detta anche **plasticità sinaptica**. Quest'ultime permettono di variare la quantità di neurotrasmettitore prodotto da un determinato segnale, in modo da ottenere la migliore trasmissione possibile. Esistono differenti tipi di plasticità, ovvero a breve termine e a lungo termine. La **plasticità a breve termine** sono delle variazioni che durano mediamente qualche minuto, anche se possono durare anche pochi millisecondi: un esempio è la situazione in cui a livello sinaptico arrivano più potenziali d'azione uno dopo l'altro: in questo caso il neurotrasmettitore che viene emesso ha un tempo di riassorbimento molto più lungo di quello di emissione, quindi all'arrivo del secondo potenziale d'azione il neurone presinaptico dovrà produrre più neurotrasmettitore perché, dato che non tutto quello emesso è stato riassorbito, la concentrazione osmotica nel bottone sinaptico è più elevata questo caso è chiamato **FACILITAZIONE SINAPTICA**. La plasticità a breve termine si riscontra anche in fenomeni come la depressione sinaptica, nel potenziamento e nell'aumento. La **plasticità a lungo termine** invece è alla base delle funzioni cerebrali. Uno di questi fenomeni è l'abitudine, ovvero una diminuzione della risposta indotta da un determinato segnale ripetuto spesso nel tempo. Queste plasticità a breve e a lungo termine sono vere e proprie modificazioni dei circuiti nervosi basate sull'esperienza dell'individuo. A solidificare questa tesi parla il postulato di Hebb, il quale affermava che l'attività coordinata di neurone presinaptico e postsinaptico viene potenziata dalla sinapsi stessa. Si deduce quindi che le sinapsi aumenteranno se stimolate continuamente, mentre quelle che rimangono inutilizzate saranno man mano inibite. È proprio basandosi su questo postulato che lavora il visual training: una modificazione del lavoro sinaptico attraverso tale trattamento comporta a una modificazione della memoria motoria vera e propria, principalmente se si lavora con un soggetto giovane, in cui la plasticità acquisisce un fattore di apprendimento maggiore^[2].

4.2. STRUMENTI PER LA RIEDUCAZIONE VISIVA

4.2.1. MARSDEN BALL : è un pendolo il cui peso è una palla con lettere disegnate. Facendo oscillare quest'ultimo si dà al soggetto la possibilità di ripetere lo stesso movimento più volte in poco tempo, mantenendo la capacità di attenzione alta grazie alla presenza delle lettere. Per cominciare l'esercizio va svolto da sdraiati e in visione monoculare, in tal modo si elimina il fattore dell'equilibrio ed eventuali fastidi creati da problemi di visione binoculare. Arrivati a compiere senza problemi l'esercizio da stesi binocularmente si

passa a monocularmente ma in piedi. In questo modo il soggetto dovrà controllare la postura. Compiuta anche questa fase binocularmente si passa a lavorare con il metronomo che si velocizza con il migliorare della capacità e con la pedana propriocettiva per avere una grande difficoltà nel controllo dell'equilibrio. Ci sono anche pedane propriocettive differenti ovvero esistono pedane con una base semicilindrica attaccata parallelamente ai piedi che aiutano esclusivamente l'equilibrio nell'asse perpendicolare ai piedi, ed esistono pedane con una base emisferica che permettono di lavorare sull'equilibrio in tutte le direzioni^[13].



4.2.2. PEN LIGHT : è una penna con la punta a lampadina . Oltre che essere usata per la valutazione della pupilla, può essere sfruttata per esercizi di inseguimento, dove il soggetto segue la punta luminosa mossa dal professionista. È chiaro che questo metodo viene usato nei casi in cui il soggetto sia particolarmente in difficoltà negli inseguimenti, altrimenti esistono differenti metodi di lavoro. Con la pen light l'esercizio può essere reso più difficile aumentando la velocità della penna da parte dell'operatore, variando anche le distanze dal soggetto. Un livello successivo può essere trovato spegnendo la luce, perché si crea così uno stimolo che crea meno attenzione nel soggetto e quindi più difficile da seguire^[13].

4.2.3. FLIPPER PRISMATICO : è un bastoncino a cui sono attaccati una coppia di prismi. Se si vuole lavorare sulle vergenze si usano coppie di prismi base tempiale o nasale; se si lavora sulle saccadi si useranno prismi che favoriscono il movimento da migliorare. Il flipper prismatico è molto utile per la comprensione da parte del soggetto di convergenza e divergenza. Alternando per un tempo stabilito le coppie di prismi si otterrà un lavoro costante di vergenza o saccade. Se si lavora sulle vergenze, aumentare la difficoltà corrisponde a cambiare il prisma. Partendo da un prisma che favorisce il movimento su

cui si lavora, se ne diminuisce man mano il potere, fino a quando il soggetto non otterrà una buona padronanza del movimento. Se ciò non bastasse è sufficiente inserire un prisma avverso al movimento, rendendolo più difficile da compiere. Allo stesso modo si può lavorare sui movimenti saccadici, partendo monocularmente su una mira di acuità 20/60, fino ad arrivare binocularmente con una mira di 20/20^[5].

4.2.4. CORDA DI BROCK : è una corda bianca , lunga circa 250 cm , con delle palline in plastica colorate che possono essere spostate in varie posizioni per tutta la lunghezza della corda. Può essere usata per le fissazioni su differenti piani di sguardo per lavorare sulla collaborazione fra **convergenza** e **accomodazione** . Un soggetto con anomalia in visione binoculare probabilmente vedrà l'incrocio delle corde che non combacia con la pallina . L'esaminatore chiede al soggetto di provare a portare l'incrocio delle corde alla pallina , in modo da rendersi conto della convergenza che viene esercitata . Una volta che il soggetto riesce a mantenere per un certo tempo tale condizione, passerà alla pallina successiva. Inizialmente l'esercizio va fatto a distanze abbastanza elevate (1 m, 2 m, 3 m); successivamente si renderà più difficile avvicinando le palline al soggetto e fra di loro (20 cm, 35 cm, 50 cm), in modo che il margine di errore fra convergenza e accomodazione sia sempre minore^[13].

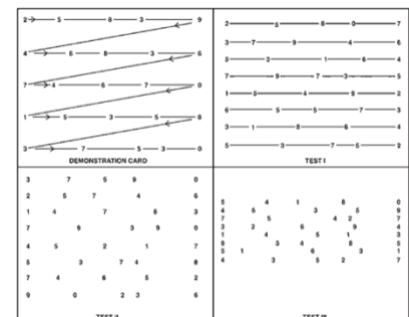


4.2.5. HART CHART : è un esercizio utile per saccadi, vergenze e accomodazione . E' costituito da due tabelle con lo stesso numero di righe e colonne; il soggetto terrà una tabella in mano mentre l'altra verrà appesa al muro. La consegna sarà di leggere una lettera su una

tabella e la corrispondente sull'altra fino all'esaurirsi delle lettere. È un esercizio mediamente complesso, che un soggetto con difficoltà elevate non riesce a completare, ma una volta che può essere completato esistono molti modi di rendere questo esercizio più difficile, come variare l'ordine delle colonne da leggere (1,10,2,9,...), facendo leggere le righe verticalmente in entrambi i sensi o alternandone l'ordine, inserendo il metronomo o una pedana propriocettiva^[5].

4.2.6. KING DEVICK SACCADIC TEST : si utilizzano le tabelle di valutazione del test di King devick per lavorare sulle saccadi .

È costituito da più tabelle di difficoltà differente che richiedono l'apprendimento del livello precedente per essere completate , quindi l'esaminatore farà ripetere il test prendendo nota dei miglioramenti a livello di tempo ed errori commessi . Inizialmente si effettua monocularmente , fino ad arrivare al completamento in binoculare , per renderlo più complesso si possono utilizzare dei prismi.

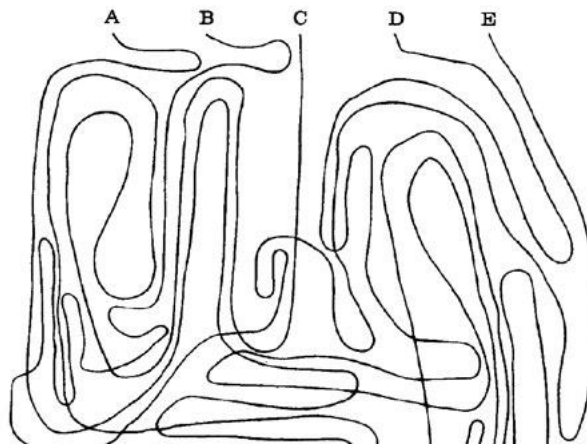


4.2.7. VISUAL TRACING : questo test permette di lavorare sul movimento di inseguimento infatti la tabella è costituita da diversi percorsi che variano per difficoltà . Il soggetto dovrà completare tutti i percorsi della tabella nel minor tempo possibile . L'optometrista

terrà una tabella con i tempi ottenuti in modo da poter valutare il miglioramento. Se si volesse aumentare ulteriormente la difficoltà si potrebbe lavorare con dei prismi^[5].

4.2.8. ROTATOR : è una tavola rotante forellata che permette di lavorare su inseguimenti e oculomotricità. Mentre la tavola ruota il soggetto dovrà cercare di inserire una pallina nei

Visual Tracing Test Form "A"



fori, partendo da un lavoro monoculare. Come per il visual tracing, questo esercizio comprende già varie difficoltà. È un esercizio da fare nelle fasi finali del trattamento, perché comprende varie capacità che vanno acquisite in precedenza (inseguimenti , saccadi , oculomotricità). Infine la velocità di rotazione aumenta la difficoltà dell'esercizio^[5] .

4.2.9. PROGRAMMI COMPUTER : esistono molte applicazioni per cellulare o tablet e moltissimi programmi e siti internet dove il soggetto può trovare esercizi utili al programma di vision training per lavorare a casa. I programmi computerizzati comprendono diverse difficoltà per ogni tipo di esercizio. Aumentano la difficoltà variando la velocità, il numero di mire, la luminanza e il contrasto, il tempo di riconoscimento degli oggetti e la quantità di distrattori basandosi su leggi psicofisiche^[5].

4.3. PROGRAMMA INDICATIVO DI VISUAL TRAINING PER PROBLEMI DI VISIONE BINOCULARE SULLA MOTILITÀ

Per organizzare un programma di visual training personalizzato per un soggetto con problemi di visione binoculare si inizia con un **analisi visiva** completa . Secondo Skeffington la visione è l'unione di quattro aree distinte e allo stesso tempo strettamente correlate fra loro: motilità,

accomodazione, convergenza, integrazione. Il primo cerchio riguarda la visione di ciò che circonda il soggetto, ovvero la collocazione di sé nello spazio: il movimento in uno spazio gravitazionale è la prima cosa che un neonato impara alla nascita, e per muoversi ha bisogno di collocarsi nello spazio. Il secondo cerchio riguarda la convergenza, ovvero la capacità di collocare gli altri oggetti attorno a sé: iniziano così nel neonato le associazioni delle distanze, della coordinazione e della propriocettività. Il terzo cerchio riguarda l'accomodazione, ovvero la capacità di riconoscimento: il neonato potrà iniziare a conoscere e riconoscere ciò che vede, comportandosi di conseguenza. Il quarto cerchio è quello dell'integrazione, dove le capacità prettamente visuali si uniscono agli altri sensi e al linguaggio. L'unione di queste aree è la visione completa, dove si lavora su tutti e quattro i cerchi contemporaneamente [14].

Seguendo il criterio di Skeffington, quindi, si può capire che per rieducare la visione di una persona bisogna passare per tutti e quattro i cerchi nell'ordine più corretto, ovvero lo stesso ordine che un neonato segue naturalmente durante la crescita, quindi l'area visuo-motoria è alla base di tutto il processo visivo, il livello senza il quale il resto non può raggiungere livelli ottimali. Allo stesso modo non è possibile pensare di risolvere un problema accomodativo (o di vergenza) lavorando solo sulla performance accomodativa (o di vergenza): gli esercizi alleneranno le abilità accomodative (o di vergenza) in modo preminente, ma saranno altresì presenti esercizi di vergenza (o accomodazione) oltre agli immancabili esercizi di motilità. Normalmente un programma di visual training utilizza, per questo motivo in ciascuna seduta un esercizio per ciascuna area e magari 2 per l'area da allenare in particolare, tenendo conto che alcuni esercizi permettono di combinare anche più aree integrandole. A seconda del soggetto a cui il programma è rivolto, quest'ultimo bisogna personalizzarlo modificandolo e scegliendo accuratamente il gradi di difficoltà: ad esempio un livello molto basso potrebbe annoiare il soggetto che non riuscirebbe a mantenere alto il livello di motivazione, un livello eccessivamente elevato potrebbe deprimerlo o meglio spaventarlo rischiando un eventuale abbandono del programma. Il successo del visual training dipende anche da questo: trovare la giusta progressione nella proposta degli esercizi e, attraverso feedback, rendere il soggetto il protagonista consapevole dei miglioramenti. Chiunque può far eseguire dei test, solo il professionista può rendere il visual training un ottimo strumento di allenamento delle performance visive a qualunque livello.

5. CONCLUSIONE

Abbiamo analizzato l'anatomia oculare e il funzionamento di muscoli extraoculari, per poi arrivare a capire che una buona motilità oculare, oltre a comportare un benessere visivo ,implica anche un benessere fisico. Inoltre, analizzando il rapporto fra le anomalie della visione binoculare e i malfunzionamenti della motilità oculare , siamo arrivati alla conclusione che è opportuno basare il programma di visual training sulla motilità, in quanto sta alla base della visione binoculare . Secondo me , bisogna programmare un trattamento di visual training , partendo dalle caratteristiche di base della visione binoculare (separatamente), per poi arrivare a esercizi che comprendano tutte le sue aree, iniziando da esercizi semplici ed arrivando poi a quelli più complessi. Dunque un soggetto per imparare a vedere deve poter muovere precisamente gli occhi per collocarsi nello spazio. Ciò può essere paragonato ad un bambino , che prima di imparare a correre , deve saper camminare . Sono consapevole del fatto che la motilità oculare non sia l'unico parametro da considerare per avere un'ottima visione binoculare ma considerando essa come base della visione, sono convinta che più le basi sono solide e più il risultato sarà soddisfacente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **Maria Cristina Zandonella Necca; Occhi felici**
- [2] **Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; Neuroscienze**
- [3] **Dispense Fisica della Visione di Fulvio Peruggi.**
- [4] **Massimo G. Bucci; Oftalmologia**
- [5] **M. Scheiman e B. Wick, Clinical management of binocular vision, Lippincott Williams & Wilkins, 2015**
- [6] **A. King e S. Devick, The proposed King-Devick test and its relation to the pierce saccade test and reading levels (Senior research project)., Chicago: Illinois College of Optometry., 1976.**
- [7] **A. Facchin e S. Maffioletti, La visione nell'apprendimento del bambino, Milano: Franco Angeli, 2016.**
- [8] **L. A. Temme, P. St. Onge, A. McAtee, K. J. O'Brien e B. K. Byrd, «Evaluation of the Commercial, Off-the-Shelf (COTS) King-Devick Eye Tracking System,» 2017.**
- [9] **I. Tobii Technology, « Cognitive psychology, ophthalmology and neurophysiology,» 2008.**
- [10] **W. C. Maples, «NSUCO Oculomotor Test,» 1995.**
- [11] **<https://studylibit.com/doc/893365/5.-la-visione-binoculare>**
- [12] **Pilar Plou Campo; Basi neurofisiologiche del Vision Training; AlOeO, Torino, 2015**
- [13] **Andrea Pirotta; Basi neurofisiologiche del Vision Training; AlOeO, Torino, 2015**
- [14] **Rosanna Bardini; La funzione visiva nell'analisi optometrica, Il processo di sviluppo della vision secondo Skeffington**
- **Dispense “Principi di optometria” di Paolo Carelli**
 - **Dispense Fisica della Visione di Fulvio Peruggi**
 - **I vizi di refrazione, Gianpaolo Paliaga, 2008**
 - **Dispense Fisiologia generale e oculare di Paola Venditti**
 - **Dispense Ottica visuale di Aniello Reccia**

