



Università degli studi di Padova
Dipartimento di Fisica e Astronomia
Corso di Laurea in Ottica e Optometria

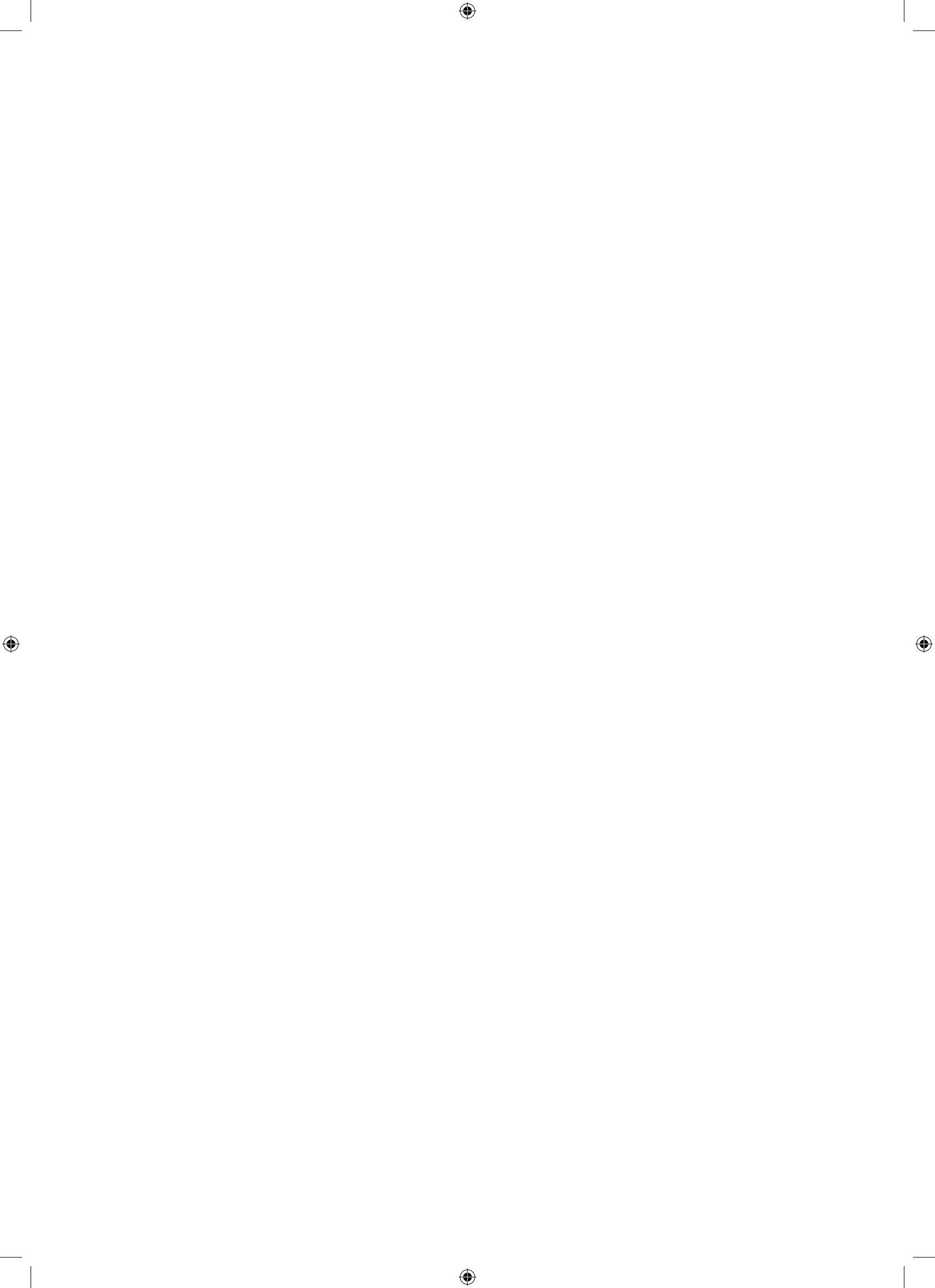
TESI DI LAUREA

Il ruolo della motilità oculare nella visione

Relatore:
Prof.ssa Dominga Ortolan

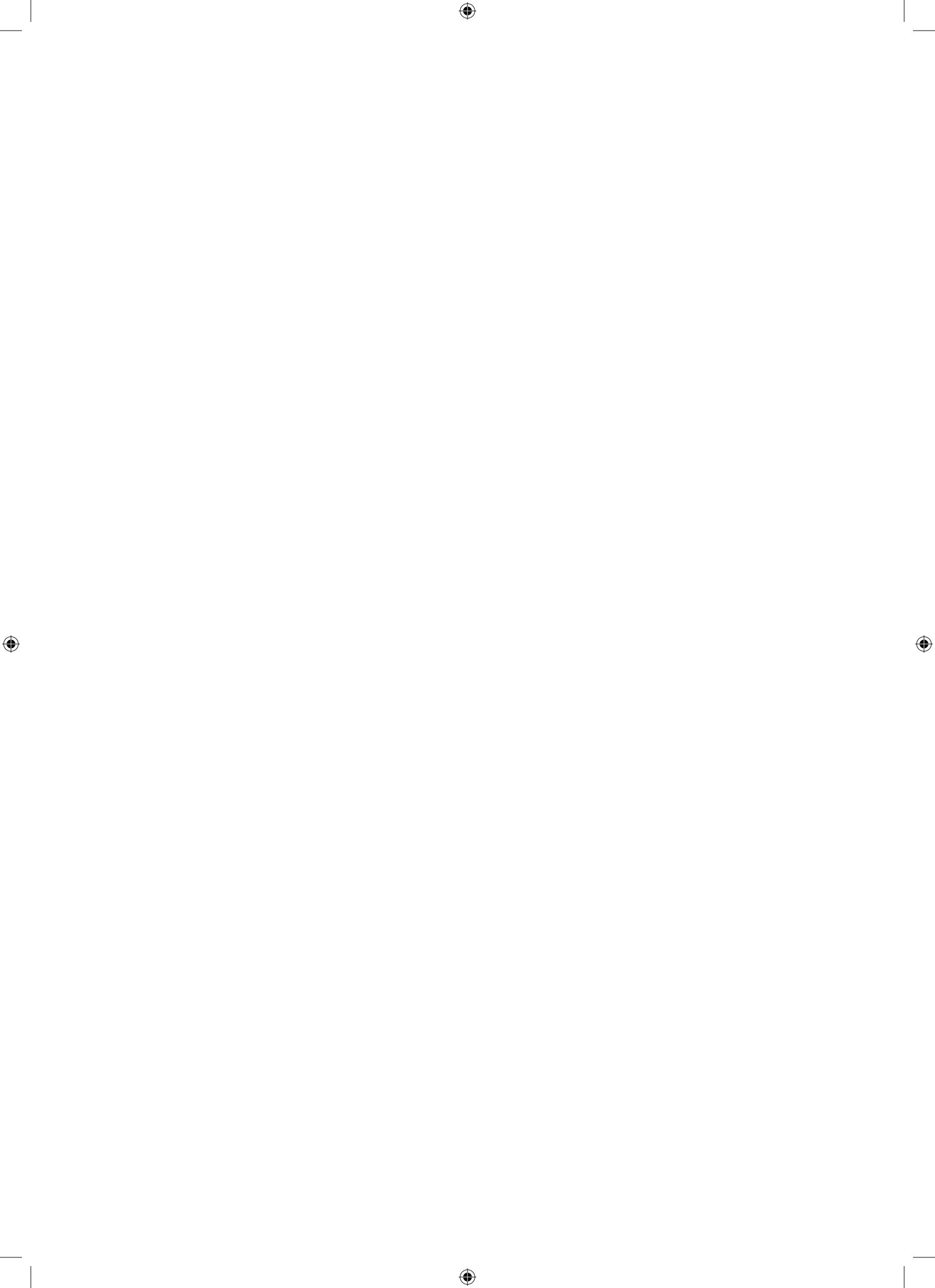
Laureando:
Frizzarin Federico
Matricola: 1031741

Anno Accademico
2014-2015



INDICE

0. PREMESSA	5
1. LA MOTILITA' OCULARE	7
1.1. LA FISILOGIA DELLA MOTILITA' OCULARE	7
1.1.1. I MUSCOLI EXTRAOCULARI	7
1.1.2. IL CONTROLLO NERVOSO DEI MOVIMENTI OCULARI	8
1.1.3. IL NISTAGMO	10
1.2. MOTILITA', EQUILIBRIO E POSTURA	11
1.2.1. LA PROPRIOCEZIONE	11
1.2.2. IL SISTEMA VESTIBOLARE	12
1.2.3. IL COLLICOLO SUPERIORE	13
1.2.4. L'INTEGRAZIONE DEL SEGNALE VISIVO-UDITIVO-MOTORIO	14
1.3. MOTILITA' E PROBLEMI DI APPRENDIMENTO	15
1.3.1. I TEST DI VALUTAZIONE DELLA MOTILITA'	15
1.3.2. DISFUNZIONI OCULOMOTORIE	19
2. LA VISIONE BINOCULARE	20
2.1. GENERALITA'	20
2.2. I VANTAGGI DELLA VISIONE BINOCULARE	22
2.3. ANOMALIE DELLA VISIONE BINOCULARE	22
3. VISUAL TRAINING	28
3.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DEL VT, COME PUO' ESSERE UTILE?	28
3.2. STRUMENTI PER LA RIEDUCAZIONE VISIVA E RELATIVO UTILIZZO	30
3.2.1. PEN LIGHT	30
3.2.2. MARSDEN BALL	30
3.2.3. CORDA DI BROCK	31
3.2.4. FIPPER PRISMATICO	32
3.2.5. HART CHART	32
3.2.6. KING DEVICK SACCADIC TEST	32
3.2.7. VISUAL TRACING	33
3.2.8. ROTATOR	33
3.2.9. PROGRAMMI PER IL COMPUTER	34
3.3. PROGRAMMA INDICATIVO DI VT PER I PROBLEMI DI VB BASATO SULLA MOTILITA'	34
4. CONCLUSIONI	37



0. PREMESSA

In questa tesi analizzeremo in profondità la natura dei muscoli extraoculari e i loro movimenti, associandoli anche ai problemi di visione binoculare, in modo da capire come, dove e perché si creano queste anomalie del benessere visivo, arrivando anche ad un eventuale trattamento di visual training.

Perché muoviamo gli occhi? Il nostro occhio è anatomicamente limitato in quanto la migliore AV risiede nella fovea, la parte centrale della retina. Quindi quando uno stimolo entra nel nostro campo visivo, la retina periferica lo porta alla nostra attenzione e per poterlo guardare nel migliore dei modi si dovrà spostare le fovee verso l'oggetto desiderato. Questo processo di spostamento delle fovee è chiamato foveazione.

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

- **LEGGE DI DONDERS:** A ciascuna posizione dell'asse visivo appartiene un preciso orientamento dei meridiani retinici verticali e orizzontali relativamente alle coordinate dello spazio. Questa legge limita le posizioni che possono prendere gli assi visivi: l'asse anteroposteriore deve combaciare con l'asse visivo in modo che le ciclorotazioni possano essere molto limitate.
- **LEGGE DI LISTING:** Ciascun movimento oculare dalla posizione iniziale di sguardo a una seconda implica un movimento secondo un asse che giace sul piano equatoriale, chiamato anche piano di Listing. Questa legge limita ulteriormente le posizioni dei meridiani bloccando i due rimanenti in posizione verticale e orizzontale all'altezza del centro geometrico dell'occhio.
- **LEGGE DI SHERRINGTON:** Quando un muscolo agonista riceve uno stimolo a contrarsi, un antagonista riceve uno stimolo a rilassarsi. Questa legge viene anche chiamata "legge dell'innervazione reciproca", che

permette di ottenere movimento con minor fatica.

- **LEGGE DI HERING:** Quando viene inviato uno stimolo motorio a un occhio, i muscoli corrispondenti di ciascun occhio ricevono gli stessi segnali per contrarsi e rilassarsi. In questo modo possiamo spostare entrambi gli occhi verso destra in maniera uguale e congiunta ^[1].

Seguendo queste quattro leggi possiamo valutare i movimenti che l'occhio può compiere, e ne esistono di diversi tipi. Una prima separazione da fare è:

- **Movimenti congiunti:** quando i due occhi si muovono nella stessa direzione. 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].

Valutare la motilità oculare è importante 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 MOTILITA' OCULARE

1.1 LA FISIOLOGIA DELLA MOTILITA' OCULARE

1.1.1 I MUSCOLI EXTRAOCULARI

I muscoli extraoculari sono sei per occhio: il retto laterale, il retto mediale, il retto superiore, il retto inferiore, l'obliquo superiore e l'obliquo inferiore. I retti laterali e mediali se stimolati inducono movimenti orizzontali, mentre il superiore e l'inferiore assieme agli obliqui quelli verticali. I muscoli obliqui sono anche responsabili della torsione dell'occhio [3].

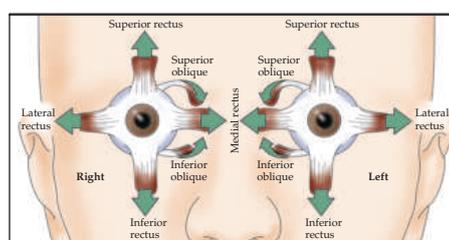


Fig. 1 - I muscoli extraoculari
Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick,
William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia,
Leonard E. White; Neuroscienze, pag 455

Tutti e sei i muscoli sono differenti per lunghezza, spessore, tragitto e area di attacco al bulbo; nella tabella 1 sono presenti le caratteristiche di tutti.

TABELLA I - Caratteristiche anatomiche dei muscoli extraoculari

Muscolo	Lunghezza muscolo (mm)	Lunghezza*Larghezza Tendine (mm)	Arco di contatto (mm)
Retto interno	40.8	3.7*10.3	6
Retto inferiore	40	5.5*9.8	6.5
Retto laterale	40.6	8.8*9.2	12
Retto superiore	41.8	5.8*10.6	6.5
Obliquo superiore	50	10.8*2	8
Obliquo inferiore	50	10.8*2	8

A seconda del tipo di movimento e della posizione oculare si usano diverse combinazioni di muscoli per avere il miglior rendimento con il minimo sforzo: mentre si fissa l'infinito fisico i movimenti oculari verticali sono dovuti alle contrazioni di retto superiore (sguardo al cielo) e retto inferiore (sguardo a terra). Mentre si legge invece l'interazione dei muscoli per il mo-

vimento è più complessa: sguardo in alto-muscoli obliqui inferiori, sguardo in basso-muscoli obliqui superiori.

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, i quali comunicano attraverso il nervo trocleare e l'abducente sia omolaterale che controlaterale, controllando i movimenti verticali, obliqui e di convergenza.

I movimenti riflessi sono controllati dalle aree parastriate e peristriate, zone fra lobo occipitale e parietale, le quali comunicano con i centri oculomotori attraverso due fasci: il fascio cortico-tegmentale per i movimenti di lateralità e il fascio cortico-tettale 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 ^[4].

1.1.2 IL CONTROLLO NERVOSO DEI MOVIMENTI OCULARI

- **SACCADI**: per compiere un movimento saccadico il cervello deve aver risolto due problemi distinti: l'ampiezza del movimento e la sua direzione. Se non ci sono stimoli periferici improvvisi il nucleo abducente mantiene un livello costante di scarica nervosa in modo che il muscolo non cambi posizione, infatti a un determinato livello di scarica corrisponde una certa contrazione

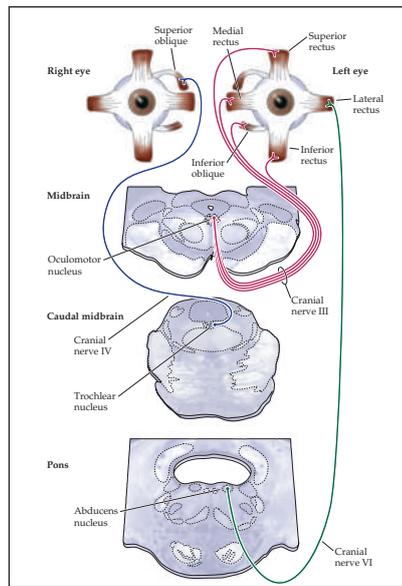


Fig. 2 - Organizzazione cerebrale del controllo delle saccadi

Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 455

del muscolo e quindi una precisa posizione oculare. Supponendo che uno stimolo colpisca la retina in una zona periferica in modo da comportare un movimento orizzontale, i neuroni del nucleo abducente aumentano la scarica elettrica iniziando la saccade, incrementando il segnale nervoso con il percorrere dello spazio; quando la destinazione è raggiunta la scarica viene fermata e mantenuta in tale livello in modo da non causare contrazione muscolare (può anche essere ridotto il segnale se il bersaglio viene

superato). In questo modo i nuclei oculomotori del cervello regolano l'ampiezza, mentre la direzione è data dal tipo di muscolo attivato. Non è tutto così scontato considerando che gli occhi sono due. La direzione è regolata dagli interneuroni dei due centri di sguardo, i quali sono responsabili del movimento secondo un particolare asse: centro di sguardo orizzontale (o formazione reticolare pontina paramediana, FRPP) e centro di sguardo verticale (o nucleo interstiziale anteriore, NIA). Quindi per i movimenti secondo gli assi si verifica l'attivazione di uno solo dei due centri, per i movimenti obliqui invece un'azione coordinata dei due. Ma come facciamo a muovere entrambi gli occhi verso destra quando dovremmo contrarre un retto mediale e un retto laterale? La FRPP innerva le cellule del nucleo abducente dello stesso lato encefalico (destra), ma anche la FRPP del lato encefalico opposto (sinistra) grazie al fascicolo longitudinale mediale, dove la FRPP sinistro innerva il retto mediale che si contrae portando l'occhio sinistro a spostarsi verso destra. La FRPP innerva anche la formazione reticolare del midollo allungato, il quale proietta al nucleo abducente controlaterale che a sua volta comunica al mu-

scolo antagonista la decontrazione.

Tutte queste informazioni però sono filtrate precedentemente dal collicolo superiore che unisce più informazioni esterne per creare una mappa topografica dello spazio aiutando a localizzare gli stimoli esterni ^[5].

- **INSEGUIMENTO**: i movimenti lenti di inseguimento sono mediati dalle stesse aree delle saccadi, solo che non si conosce ancora il meccanismo esatto. È chiaro però che i neuroni delle aree visive striate ed extra striate permettono di iniziare e mantenere fisso in fovea con precisione lo stimolo. La velocità di movimento è controllata dalla via che collega la retina al pretetto il quale trasporta il segnale al cervelletto ^[6].

- **VERGENZA**: i movimenti di vergenza si basano sulle informazioni che i corpi genicolati laterali (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, senza dimenticare che sono anche la causa dell'accomodazione del cristallino e della miosi della pupilla ^[7].

1.1.3 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 e 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^[8].

1.2 MOTILITA', EQUILIBRIO E POSTURA

1.2.1 PROPRIOCCEZIONE

La propiocezione 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.

Questi fusi neuromuscolari sono su tutti i muscoli striati, sono costituiti da 4/8 fibre muscolari rivestite da una capsula di tessuto connettivo. Le terminazioni nervose sono a livello centrale del fuso e vengono stimulate meccanicamente quando le fibre extrafusali si contraggono o si rilassano. Le terminazioni nervose fusali possono essere divise in primarie, che danno risposte rapide in seguito alla variazione di lunghezza del muscolo (dinamica, velocità e direzione degli arti), e secondarie, che danno una risposta lenta in seguito a un movimento costante del muscolo (posizione statica degli arti). Anche i muscoli extraoculari sono dotati di fusi che comunicano al cervel-

letto la posizione degli occhi all'interno del bulbo, sia a occhi chiusi che ad occhi aperti, "statici" e in movimento [9].

1.2.2 IL SISTEMA VESTIBOLARE

Il sistema vestibolare ha funzioni sensoriali che contribuiscono alla percezione del proprio corpo, della posizione della testa e dell'orientamento

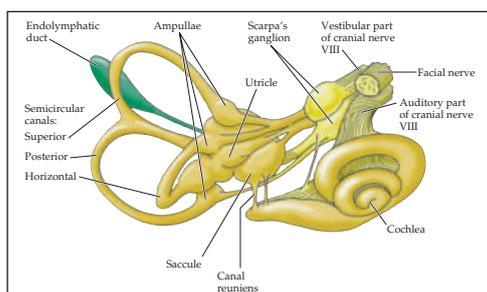


Fig. 3 - Anatomia del sistema vestibolare

Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; Neuroscienze, pag 316

spaziale rispetto alla forza di gravità.

È situato nell'orecchio interno e fornisce le informazioni sulla posizioni della testa, per 24 ore al giorno, al collicolo superiore attraverso i nuclei vestibolari, che sono a loro volta strettamente connessi anche ai centri motori per i

movimenti oculari, a quelli cervicali e anche a quelli posturali. In questo modo il cervello riesce a far collaborare lo sguardo con i movimenti del collo e la postura durante tali movimenti. I nuclei vestibolari ricevono direttamente anche afferenze visive, in modo da avere subito un'integrazione sensoriale a livello dei nuclei vestibolari. Questa collaborazione fra il sistema oculare e quello vestibolare permette di ottenere il senso di orientamento nello spazio [10].

Il sistema vestibolare è costituito dal labirinto vestibolare, un insieme di canali intercomunicanti. È costituito da due otoliti quali utricolo e sacculo e da tre canali semicircolari, uno per ogni asse di movimento. L'utricolo e il sacculo rispondono alle accelerazioni lineari della testa, mentre i canali rispondono alle rotazioni. Come per i movimenti oculari riflessi, è importante capire la velocità di rotazione della testa per compararla alle corrispondenti scariche oculomotorie; infatti vista la stretta connessione fra i due sistemi, la modalità di rilevamento è la stessa: le terminazioni nervose che innervano

i canali semicircolari hanno una scarica costante nella frequenza. Appena si verifica una rotazione della testa le cellule cigliate (recettori del movimento del sistema vestibolare) variano la frequenza di scarica ai muscoli del collo, l'informazione diretta ai centri dei muscoli extraoculari nel collicolo e ai centri della postura nel cervelletto, i quali ricevono il segnale e si comportano di conseguenza modificando posizione degli occhi, postura e equilibrio. Un esempio della comunicazione fra sistema vestibolare e oculomotorio è il riflesso vestibolo-oculare, cioè il meccanismo che serve a produrre involontariamente un movimento degli occhi opposto a quello della testa permettendo di mantenere lo sguardo fisso su un oggetto quando il capo ruota. Allo stesso tempo è presente anche un riflesso vestibolo-cervicale e vestibolo-spinale, che spiegano la forte unione fra sistema visivo, vestibolare e motorio-posturale ^[11]. Il sistema vestibolare è quindi soggetto alla nostra capacità di rilevazione dei movimenti, sia come velocità che come ampiezza, infatti agendo a stretta collaborazione col sistema visivo fornisce informazioni fondamentali per l'orientamento e i movimenti nello spazio.

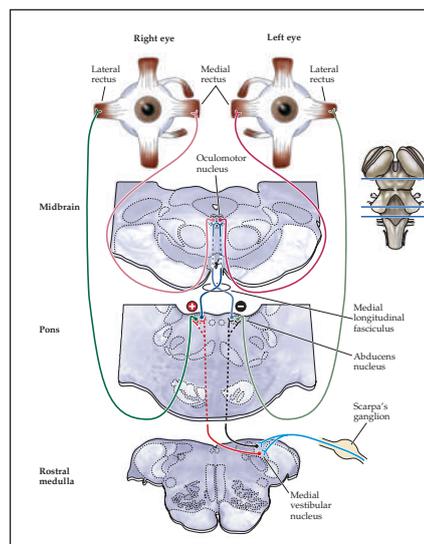


Fig. 4 - Organizzazione cerebrale della collaborazione fra sistema visivo e vestibolare
 Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; Neuroscienze, pag 455

1.2.3 COLLICULO SUPERIORE

Il collicolo superiore è una struttura prominente situata sulla superficie dorsale del mesencefalo. Nelle vie ottiche è il passo subito successivo al chiasma ottico e quello precedente al talamo e alla corteccia visiva. Ha una struttura a tre strati orizzontali, i quali sono organizzati a mappa topografica in modo che ogni punto del collicolo sia associato a un'area dello spazio circostan-

te. Lo strato superiore riceve informazioni dalla retina, lo strato intermedio dall'apparato uditivo e vestibolare, lo strato inferiore dal sistema nervoso somatico. In questo modo ogni punto del collicolo associa i tre differenti tipi di informazioni percettive creando un'informazione unica da trasmettere alla corteccia cerebrale. Il collicolo invia informazioni anche al talamo attraverso motoneuroni che controllano i movimenti del collo, quelli degli occhi e la postura. È importante sapere che al collicolo arrivano anche fibre nervose che provengono direttamente dalla retina, più precisamente le fibre che partono dalle cellule W, cellule ganglionari che rispondono alle variazioni di luce e di distanza nel campo visuale ^[12].

1.2.4 INTEGRAZIONE DEL SEGNALE VISIVO-UDITIVO-MOTORIO

Le informazioni che il collicolo elabora 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 completa e finale viene trasmessa al cervelletto che, oltre ad aver già ricevuto parte delle informazioni direttamente dalle vie afferenti, riceve anche l'informazione completa dal cervello. Le vie afferenti sono vista, udito e sistema vestibolare e sistema somatosensoriale. In questo modo il cervelletto può organizzare nella maniera più minuziosa possibile il movimento del corpo: ricevendo informazioni da questi tre sistemi sensoriali riesce a localizzare nello spazio gli oggetti desiderati, 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 efferenti trasmette il segnale ai motoneuroni del tronco encefalico e ai nuclei talamici che innervano i motoneuroni della corteccia motoria ^[13].

1.3 MOTILITA' E PROBLEMI DI APPRENDIMENTO

1.3.1 I TEST DI VALUTAZIONE DELLA MOTILITA'

I test da eseguire per la valutazione della motilità sono molti e differenti per ogni tipo di movimento.

- **INSEGUIMENTI:** si valutano sia monocularmente che binocularmente. Nel primo caso si occlude un occhio del soggetto e lo si fa seguire una mira tenuta in mano dal professionista, il quale la muoverà a forma di H; finita la valutazione si passa all'altro occhio. Binocularmente si procederà con la stessa mira formando un ampio asterisco frontalmente al paziente e successivamente un cerchio per ogni direzione. In entrambi i casi si ricorda al paziente di non muovere la testa. Questa valutazione si basa sull'esperienza del professionista che a occhio nudo deve notare eventuali imprecisioni nell'inseguimento.

- **SACCADI:** si valutano usando due mire separate alla distanza di 40-50 cm (30 cm se il soggetto è un bambino) fra loro e anche dall'esaminato. Con un comando vocale il soggetto passa da una mira all'altra, ricordando di non muovere la testa. Anche in questo caso il professionista dovrà valutare a occhio nudo la saccade in base all'esperienza.

- **VERGENZA:** si valuta la saccade di convergenza e divergenza tenendo due mire di fronte al soggetto alla distanza di 15 e 40 cm; al comando vocale il soggetto deve saltare da una mira all'altra. La valutazione deve sempre essere fatta a occhio nudo e basandosi sull'esperienza^[14].

- **SCALA DI HEISEN-SCHROCK:** è una tabella a punti che aiuta il professionista a dare una valutazione: si assegna un punteggio a seconda della prestazione del soggetto nei test precedenti; sommando i punti si ottiene un pun-

teggio da confrontare con una scala che valuta la precisione del movimento.

- **CORDA DI BROCK**: è una corda sottile che passa attraverso tre palline di colori diversi. È molto utile per controllare i movimenti saccadici di vergenza e fissazione. Si fa appoggiare al soggetto un capo della corda sul naso del soggetto, mentre l'altro viene tenuto dall'operatore secondo la direzione ciclopica di sguardo e parallelo al pavimento. Per ogni pallina fissata, il soggetto dovrebbe vedere 2 corde che incrociano sulla pallina (o 4 che partono da essa), e due palline per ognuna presente sulla corda. Se così non fosse il soggetto potrebbe vedere due palline del colore di quella che fissa o le corde che non incrociano esattamente sulla pallina fissata (o prima o dopo). Queste situazioni indicano una visione binoculare non ideale ^[15].

- **VISAGRAPH**: metodo computerizzato per valutare le saccadi durante la lettura. Consiste in un paio di occhiali che valutano il movimento attraverso dei raggi infrarossi. Gli occhiali sono collegati a un computer che valuta le saccadi comparandole a quelle di un soggetto che ha buona motilità oculare che ha letto lo stesso testo ^[16].

- **KING DEVICK SACCADIC TEST**: è un test di valutazione delle saccadi basato su una tabella dimostrativa e tre tabelle di differente difficoltà da far completare all'esaminato. Il test va eseguito binocularmente alla distanza di Harmon. È un test che permette un'analisi precisa delle capacità di lettura, in quanto è basato sugli stessi movimenti di fissazione e saccade; oltretutto ha in associazione una tabella di risultati che dà un valore alle capacità del soggetto associandole a tempo di esecuzione e quantità di errori ^[17].

- **VISUAL TRACING TEST**: è un test atto a valutare gli inseguimenti; è costitu-

ito da più tabelle che si differenziano per difficoltà. Ogni tabella è costituita da un percorso da seguire, se il soggetto sbaglia si attribuisce un punteggio di 0, se la risposta è corretta si prende nota del tempo di esecuzione. Ad ogni test è associata una tabella di valutazione che associa un punteggio al tempo di risposta. Minore è il tempo, maggiore sarà il punteggio ^[18].

- SACCADIC FIXATION TEST: tabella di 10*10 lettere che valuta il movimento misto di saccade e fissazione. Queste lettere vanno lette in ordine sfalsato, ovvero 1-10-2-9-..., una volta terminata la prima riga si passa alla seconda con lo stesso ordine. La valutazione è basata su tempo e precisione: per ogni errore fatto dal soggetto si aggiungerà al tempo di esecuzione 1" ^[19].

- DEM TEST o DEVELOPMENTAL EYE MOVEMENT TEST: è un test costituito da più tabelle (un pretest, due tabelle per la valutazione verticale e una per quella orizzontale) che permette di valutare la motilità nell'atto della lettura, sia orizzontalmente che verticalmente. Il soggetto deve completare tutte le tabelle per considerare superato il test, e avrà una valutazione basata su errori commessi e tempo di completamento ^[20].

- NSUCO: Questo tipo di test, nato nella northestern state università college of optometry (da cui NSUCO), dà la possibilità di valutare i movimenti oculari dall'aspetto quantitativo, ovvero quante volte il soggetto ripete il movimento in maniera errata durante il test, e qualitativa, portando l'attenzione su errori quali il movimento della testa, partecipazioni delle spalle, precisione nei movimenti. I test eseguiti sono di tre tipi: 5 sbalzi di fissazione orizzontali, inseguimenti visivi rotatori da completare due volte, inseguimenti visivi. Ad ogni test viene dato un punteggio il quale corrisponderà alla qualità dei movimenti oculomotori del soggetto secondo la tabella 2 ^[21].

TABELLA II - Assegnazione dei punteggi al test NSUCO

PUNTEGGIO			
ABILITA'	INSEGUIMENTI	1	Non completa mezzo giro
		2	Mezza rotazione nelle 2 direzioni
		3	1 rotazione nelle tre direzioni
		4	Due rotazioni in una direzione
		5	Due rotazioni in ogni direzione
PRECISIONE	SACCADI	1	Completa meno di due balzi
		2	2 balzi
		3	3 balzi
		4	4 balzi
		5	5 balzi
	INSEGUIMENTI	1	Refissazioni >10 volte
		2	Refissazioni $5 < x < 10$
		3	Refissazioni 3 o 4 volte
		4	Refissazioni <2 volte
		5	Senza refissazioni
MOVIMENTI TESTA/CORPO	SACCADI	1	Imprecisioni marcate, 1 o +
		2	Imprecisioni medie, 1 o +
		3	Imprecisioni lievi, >50% del tempo
		4	Imprecisioni lievi, <50% del tempo
		5	Niente imprecisioni
		1	Partecipazione marcata della testa
		2	Movimenti moderati di testa e corpo
		3	Partecipazione lieve per più 50% del tempo
		4	Partecipazione lieve per meno 50% del tempo
		5	Niente partecipazione di testa e corpo

1.3.2 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^[22].

2. LA VISIONE BINOCULARE

2.1 GENERALITA'

La visione binoculare o binocularità è la capacità di produrre da due immagini distinte un'unica informazione con caratteristiche che vanno oltre la semplice somma delle due distinte. Questa capacità è buona quando in qualsiasi situazione quotidiana il soggetto percepisce un oggetto singolo e il più possibile nitido a qualsiasi distanza e senza malessere visivo. Il presupposto iniziale perché la visione binoculare (VB) 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. Nel percorso dell'informazione visiva la VB si divide in tre fasi: percezione simultanea, fusione e stereopsi. La percezione simultanea è la prima fase, ovvero la capacità di percepire le due immagini differenti con i due occhi contemporaneamente. Questo non avviene quando si ha un eccessivo sforzo richiesto, infatti in tal caso o il cervello decide di sopprimere l'occhio solitamente non dominante o si sbucca nella diplopia. A questo livello non si può ancora parlare di binocularità, perché di immagini ce ne sono ancora due, quindi parliamo di biocularità. Questa capacità può essere verificata con il test del prisma verticale: mettendo un prisma verticale, base alta o base bassa, di 6 diottrie prismatiche, davanti all'occhio dominante, va verificato quante immagini vengono viste dal soggetto; se ne vede una il soggetto sopprime, se due allineate verticalmente è presente percezione simultanea, se due non allineate è presente ma con foria associata. La fusione è la seconda fase della visione binoculare e implica che sia presente percezione simultanea. Avviene già al livello del chiasma, dove la zona temporale sinistra si unisce a quella nasale destra e viceversa. È divisa in fusione motoria, che permette di allineare le fovee verso l'oggetto interessato, e fusione sensoriale, che permette di dare una

prima immagine rube delle due che arrivano dagli occhi. Tale capacità si acquisisce nell'infanzia. Può essere valutata tramite il test del filtro rosso, che ci dà anche informazioni sulla qualità della fusione, mettendo un cartoncino antisoppressivo rosso davanti all'occhio dominante del soggetto e facendo osservare uno stimolo bianco proiettato: se di color rosa è presente fusione, se bianco e rosso a intermittenza è presente fusione fragile, se bianco o rosso non è presente fusione. È proprio a questo livello che può esserci soppressione. Quando vengono sovrapposte le due immagini si tenta di unirle, ma il cervello fa oscillare la risultante fra le due iniziali con una frequenza di circa 30Hz. Questa oscillazione è detta rivalità retinica. Quando poi prevale una delle due immagini sull'altra abbiamo una dominanza. Questa rivalità può comportare lo spegnimento dell'occhio non dominante, quindi la monocularità. La stereopsi è la terza fase, avviene a livello del corpo genicolato laterale che sfrutta la leggera disparità retinica dei due occhi per ottenere informazioni sulla profondità e sulla distanza dell'oggetto fissato. La migliore stereopsi è in fovea, dove il riconoscimento degli oggetti è massimo, perché le due immagini retiniche hanno un angolo di visione ideale; in periferia invece la stereopsi è scarsa, poiché qui si percepisce principalmente movimento. Quindi quando si fissa un punto nello spazio i due occhi vedono due immagini differenti a causa del fatto che gli stimoli sono proiettati in pun-

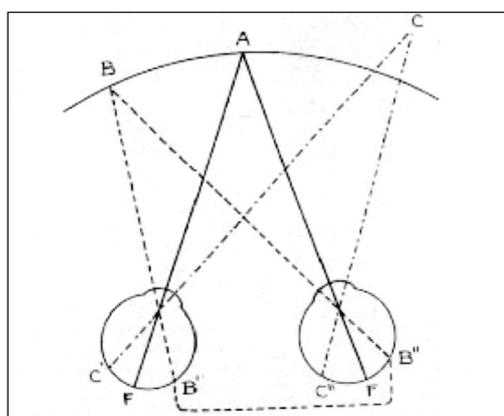


Fig. 5 - Oroptero
http://www.xilostudios.com/il_buono_brutto.html

ti differenti nella retina ma vengono sempre recepiti sullo stesso meridiano orizzontale. Questo fenomeno è detta disparità retinica di fissazione fisiologica. Allo stesso tempo però ci sono altri punti sulla retina che vengono focalizzati correttamente più in periferia. L'insieme di questi altri

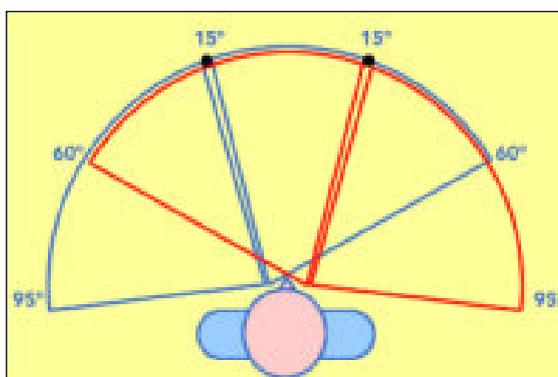
punti viene chiamato otoptero. Quest'insieme ha forma di un cerchio passante per tre punti quali i due occhi e l'oggetto fissato, che poi viene fatto spaziare verticalmente, ottenendo così un pseudo angolo solido con due centri. Tutto ciò che è all'interno dell'otoptero sarà visto singolo dal soggetto, mentre tutto ciò che sta all'esterno di esso sarà visto doppio, cioè dà origine alla diplopia fisiologica [23].

2.2 VANTAGGI DELLA VISIONE BINOCULARE

L'unione delle immagini dei due occhi permette di ottenere un'immagine che qualitativamente è migliore delle due separate e fornisce altre informazioni, come la distanza fra oggetto e soggetto. I due occhi infatti ci permettono di triangolare la posizione da due informazioni visive differenti e di trasmettere la posizione ai meccanocettori dei muscoli lisci che percependo l'oggetto

ci permettono, per esempio, di muovere il braccio per prendere un bicchiere. Oltretutto con due occhi otteniamo un campo visivo molto più ampio: il campo visivo centrale è di 120° , dove entrambi gli occhi percepiscono e manda-

Fig. 6 - Il campo visivo
<http://www.deeario.it/2007/03/23/gli-occhi-umani-in-megapixel/>



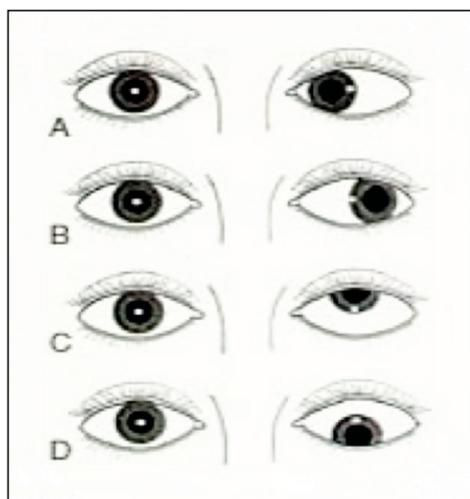
no informazioni al talamo; quello periferico destro e sinistro invece sono visti solo rispettivamente da occhio destro e sinistro: il campo visivo di ogni occhio è di 110° , 60° partendo dal naso sono visti da entrambi gli occhi, gli ultimi 40° sono visti solo dall'occhio rispettivo [24].

2.3 ANOMALIE DELLA VISIONE BINOCULARE

Non sempre, però, la complicità fra i due occhi è perfetta: a livello di fissazione è presente una disparità fisiologica, dove l'occhio dominante

fissa l'oggetto interessato mentre l'altro è leggermente spostato. Questa è la disparità di fissazione fisiologica, diversa da quella patologica, dove le aree di corrispondenza retinica sono talmente sfalsate che la fusione e la stereopsi non possono avvenire. Tale disparità può essere compensata in maniera statica, dinamica o mista. Quando la disparità è completamente assente, ovvero quando i due assi visivi combaciano perfettamente, è compensata dinamicamente. Quando invece gli assi hanno una traiettoria imperfetta, con un piccolo errore, tale disparità viene compensata staticamente. Quando invece la disparità non riesce ad essere sempre eliminata dal sistema visuale, avremo una compensazione mista.

Ma entro quali limiti la disparità di fissazione è fisiologica? Questa tolleranza è data dall'area di Panum, che in realtà è un volume, la quale descrive uno spazio attorno all'optero, con tolleranze che variano dal centro, dove sono inferiori, alla periferia, dove sono più ampie. Al di fuori di questo volume, la disparità è eccessiva e nasce così la diplopia. La disparità può avere diverse origini, quali un problema al sistema di vergenza o alla stabilità di fissazione. La disparità di fissazione può comportare anche astenopia, ovvero l'affaticamento oculare spesso riscontrato in soggetti che lavorano in condizioni visive non ideali.



Alla disparità di fissazione possiamo associare un valore di deviazione chiamato foria associata di cui esistono tre tipi: orizzontale, verticale e torsionale, a seconda dell'asse in cui sono misurate. Le forie orizzontali si dividono in

Fig. 7 - Schema rappresentativo delle forie
http://spaziovisione.xoom.it/VisSOP_files/gnatvispo.pdf

esoforia quando gli occhi tendono a fissare un punto più vicino di quello di riferimento e exoforia quando gli occhi fissano più lontano del punto di riferimento; le forie verticali si dividono in iperf.Dx o ipof.Sx quando l'occhio destro tende a fissare un oggetto più in alto di quello di riferimento e ipof.Dx o iperf.Sx quando l'occhio sinistro tende a fissare un oggetto più in alto di quello di riferimento; le forie torsionali si dividono in incicloforia quando gli occhi ruotano verso il naso guardando un punto di riferimento e exocicloforia quando gli occhi ruotano verso le tempie fissando un punto di riferimento. La foria rappresenta una condizione formale di disallineamento visivo che può creare affaticamento e astenopia.

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 (rapp. 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 15DΔ), 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 ^[25].

Queste anomalie della visione binoculare sono suddivise nelle seguenti condizioni:

- **ECESSO DI CONVERGENZA:** condizione in cui il soggetto che lavora da vicino converge prima del punto interessato. Si crea così uno sforzo eccessivo della convergenza rispetto all'accomodazione, creando un rapporto Ac/A elevato. Il soggetto percepirà fatica, bruciore, astenopia e mal di testa nel lavoro prossimale, avvicinando il piano di lettura per farlo combaciare al piano di convergenza.

- **ECESSO DI DIVERGENZA:** condizione in cui il soggetto converge più lontano rispetto all'oggetto interessato nella visione da lontano; si crea così

un Ac/A elevato. Il soggetto riferisce che un occhio devia verso l'esterno e fotofobia.

- **INSUFFICIENZA DI CONVERGENZA:** condizione in cui il soggetto fatica a portare la convergenza sul piano dell'oggetto, la quale si ferma prima di essere arrivata a destinazione. Si riscontra exoforia elevata da vicino, che crea un Ac/A basso. Il soggetto quindi riferirà di avere problemi nella visione da vicino quali affaticamento, astenopia, mal di testa, annebbiamento e diplopia.

- **INSUFFICIENZA DI DIVERGENZA:** condizione in cui il soggetto fatica a guardare lontano dopo il lavoro prossimale. L'esoforia è maggiore a distanza rispetto a quella prossimale, infatti si crea un Ac/A basso. Questa condizione comporta annebbiamento della visione, astenopia, mal di testa e fotofobia.

- **FALSA INSUFFICIENZA DI CONVERGENZA:** è un misto della vera insufficienza di convergenza e di eccesso accomodativo.

- **ESO DI BASE:** condizione di esoforia uguale da lontano e vicino. Comporta bruciore, visione offuscata, mal di testa e eventuale diplopia sia nella visione da vicino che in quella da lontano.

- **EXO DI BASE:** condizione di exoforia uguale da lontano e vicino. I sintomi percepiti sono gli stessi dell'eso di base.

Queste sette condizioni però descrivono solamente i problemi che possono verificarsi a livello di forie e vergenze. Ogni volta che muoviamo gli occhi posizionandoli su un piano specifico, non solo la vergenza è attivata, ma

anche l'accomodazione. Esiste infatti la possibilità di avere un problema di visione binoculare legato a problemi accomodativi, quali:

- **INSUFFICIENZA ACCOMODATIVA:** condizione nella quale l'ampiezza accomodativa è inferiore alla norma o a mantenere l'accomodazione costante nel tempo. I sintomi sono affaticamento, bruciore, astenopia da vicino e fatica nel passaggio fra due piani accomodativi.

- **ECESSO ACCOMODATIVO:** condizione nel quale il soggetto accomoda più del necessario. In questo caso il soggetto percepirà stanchezza, bruciore, astenopia, sintomi che poi peggioreranno nell'arco della giornata.

- **INERZIA ACCOMODATIVA:** condizione in cui il soggetto fatica a spostare l'accomodazione fra due piani. Il soggetto quindi faticerà nel lavoro prolungato da vicino, con i sintomi di visione offuscata, mal di testa, astenopia. Queste 10 condizioni sono diagnosticabili con un'analisi visiva completa e non limitandosi alla refrazione, cui va aggiunta la condizione di disordini oculomotori. Le anomalie della motilità oculare sono spesso associate a problemi di apprendimento come la dislessia, sindrome visuoposturale, disfunzione visuomotoria e disfunzione visuo-percettivo-motoria. Questi problemi di motilità e propriocezione creano un problema quotidiano al soggetto, soprattutto nel soggetto giovane, il quale non riuscirà ad avere buone prestazioni a scuola, negli sport, e generalmente in tutto ciò che comprende prestazioni visive dinamiche. Spesso questi problemi sono anche associati ai problemi di visione binoculare, creando uno squilibrio importante nel soggetto ^[26].

3. VISUAL TRAINING

3.1 PRINCIPI E FUNZIONAMENTO DEL VT, COME PUO' ESSERE UTILE?

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 propriocettivo ^[27].

Questo principio si basa sulla plasticità neuronale. La plasticità neuronale, o plasticità sinaptica, è la capacità da parte del neurone 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; è il caso, per esempio, della facilitazione sinaptica, ovvero della situazione in cui a livello sinaptico arrivano più potenziali d'azione uno dopo l'altro: in questo caso il neurotrasmettitore che viene emesso (solitamente Ca^{2+}) 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. La plasticità a breve termine si riscontra anche in fenomeni come la depressione sinaptica (opposto della facilitazione), 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, come per esempio il vestirsi: appena si indossano gli abiti si percepisce la stoffa al tatto, ma a fine giornata non se ne percepisce la presenza. Un altro esempio di plasticità a lungo termine è la sensibilizzazione, ovvero una risposta a uno stimolo nocivo che permette di aumentare la sensibilità a qualsiasi azione neuronale che attiverrebbe la stessa risposta, come, per esempio, il forte dolore provato a ricevere un tocco su una botta. La sensibilizzazione mediamente ha la durata di un ora (infatti viene chiamata sensibilizzazione a breve termine), nella quale il sistema recluta altre sinapsi sensoriali provocando un aumento della quantità di neurotrasmettitore rilasciato, aumentando la forza del segnale chimico a motoneuroni e neuroni sensoriali. Comunque una plasticità a lungo termine può durare anche alcuni anni ^[28].

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 VT: 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 ^[29].

3.2 STRUMENTI PER LA RIEDUCAZIONE VISIVA

Di quali mezzi può disporre un optometrista per effettuare un trattamento di VT? In che modo questi strumenti possono essere utilizzati al meglio dall'operatore per arrivare al miglior risultato possibile?

3.2.1. 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 penlight 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. Il livello successivo è la palla di marsden ^[30].

3.2.2. Marsden ball: è un pendolo il cui peso è una palla con lettere disegnate. Facendo oscillare la marsden ball si dà al soggetto la possibilità di ripetere lo stesso movimento più volte in poco tempo, mantenendo alta la capacità attentiva grazie alle lettere. Quest'oggetto è utilissimo anche grazie al fatto che esistono moltissimi modi per rendere il compito più



Fig. 8 - Marsden ball
<http://cypressacademics.com/vision/tracking/tracking-solve/>

complesso, come vedremo successivamente. si può rendere più difficile in vari modi. Per cominciare l'esercizio va inizialmente svolto da sdraiati e monocularmente, in questo 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. C'è la possibilità anche di avere pedane propriocettive differenti: 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 ^[31].

3.2.3. Corda di Brock: già descritta nei strumenti diagnostici, può essere usata per le fissazioni su differenti piani di sguardo per lavorare



Fig. 9 - Corda di Brock
<http://www.promocionoptometrica.com/FichaArticulo.aspx?IDArticulo=372>

sulla collaborazione fra convergenza e accomodazione. Un soggetto con problemi di visione binoculare probabilmente vedrà l'incrocio delle corde che non combacia con la pallina. Si chiede al soggetto di provare a portare l'incrocio delle corde alla pallina,

in modo che si renda conto della convergenza che esercita. 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 ^[32].

3.2.4. 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 monocolarmente su una mira di acuità 20/60, fino ad arrivare binocularmente con una mira di 20/20^[33].

3.2.5. Hart chart: è un esercizio utile a saccadi, vergenze e accomodazione. È 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^[34].

3.2.6. King devick saccadic test: si utilizzano le tabelle di valutazione del test di king devick per lavorare sulle saccadi. È costituito da più tabel-

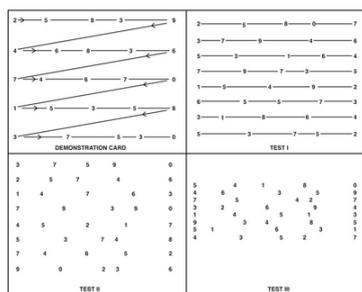


Fig. 10 - King Devick Saccadic test
http://well.blogs.nytimes.com/2015/03/11/a-2-minute-test-to-detect-concussions/?_r=0

le di differente difficoltà che richiedono l'apprendimento del livello precedente per essere completate, quindi l'operatore farà ripetere il test prendendo nota dei miglioramenti a livello di tempo ed errori commessi. Inizialmente si compie monocularmente, fino ad arrivare al completamento binocularmente; per renderlo ulteriormente più complesso si possono usare dei prismi.

3.2.7. Visual tracing: è costituito da una tabella con diversi percorsi che variano per difficoltà; permette quindi di lavorare sul movimento di inseguimento. 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^[35].

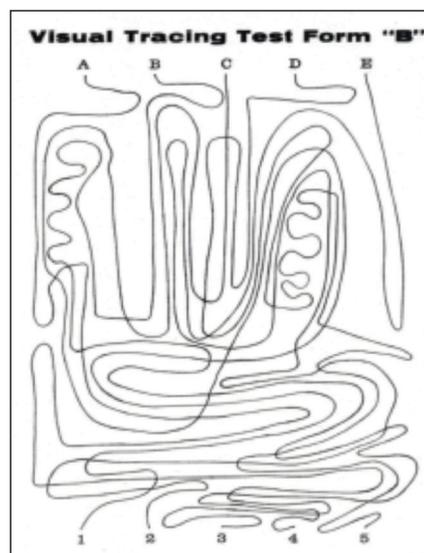


Fig. 11 - Visual tracing test
http://www.pdvprogettovisione.it/Funzione_visiva_apprendimento.htm

3.2.8. 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 fori, partendo da un lavoro monolare.

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 (inse-

guimenti, saccadi, oculomotricità). Comunque la velocità di rotazione aumenta la difficoltà dell'esercizio^[36].

3.2.9. 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^[37].

3.3. PROGRAMMA INDICATIVO DI VT PER I PROBLEMI DI VB BASATO SULLA MOTILITA'

Per organizzare un programma di VT personalizzato per un soggetto con problemi di VB si parte da 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 ^[38].

Seguendo il criterio di Skeffington quindi si può capire che per ridurre 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 visuomotoria 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 VT 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..

Di seguito nelle tabelle 3 e 4 viene descritto un programma di VT basato sulla motilità, ovvero il primo dei cerchi di Skeffington. Ogni pallino corrisponde alla presenza dell'esercizio nel programma di VT, nel quale percorso verrà aumentata la difficoltà come descritto precedentemente quando una fase viene completata.

TABELLA III - Programma VT per anomalie della VB

	Insufficienza di divergenza	Eccesso di divergenza	Insufficienza di convergenza	Eccesso di convergenza	Falsa insuff. Di convergenza	Eso di base	Exo di base
Pen light							
Marsden ball	•	•	•	•	•	•	•
Corda di brock	•	•	•	•			
Flipper prismatico			•	•	•	•	•
Hart chart	•	•					
King devick	•	•	•	•	•	•	•
Visual tracing	•	•	•	•	•	•	•
Rotator							

TABELLA IV: Programma VT per anomalie dell'accomodazione e di apprendimento

	Insufficienza accomodativa	Eccesso accomodativo	Inerzia accomodativa	Problemi di apprendimento	Disfunzione Visuomotoria	Sindrome Visuoposturale
Pen light	•	•	•	•	•	•
Marsden ball	•	•	•	•	•	•
Corda di brock	•	•	•	•	•	•
Flipper prismatico	•	•	•	•	•	•
Hart chart	•	•	•	•	•	•
King devick				•	•	•
Visual tracing				•	•	•
Rotator				•	•	•

Nulla vieta, anzi è preferibile, a seconda della persona cui il programma è rivolto, personalizzarlo modificandolo e scegliendo accuratamente il livello di difficoltà cui proporre un esercizio: un livello troppo basso potrebbe annoiare il soggetto che non riuscirebbe a mantenere alto il livello di motivazione, un livello eccessivamente alto potrebbe deprimerlo o spaventarlo rischiando di portare a un abbandono del programma. Il successo del VT dipende anche da questo: trovare la giusta progressione nella proposta degli esercizi e, attraverso feedback, rendere il soggetto il protagonista consapevole dei migliora-

menti. Chiunque può far eseguire dei test, solo il professionista può rendere il VT un ottimo strumento di allenamento delle performance visive a qualunque livello.

4. CONCLUSIONI

Partendo dall'anatomia e dal funzionamento dei muscoli extraoculari, siamo arrivati a capire che una buona motilità oculare comporta non solo il benessere visivo, ma anche quello fisico.

Analizzando poi il rapporto fra le anomalie della VB e i malfunzionamenti della motricità oculare, abbiamo potuto stabilire che è necessario basare il programma di VT sulla motilità, poiché sta alla base della VB.

Personalmente credo che un trattamento di VT debba essere programmato partendo dalle caratteristiche di base della visione separatamente, fino ad arrivare a esercizi che comprendono tutte le aree della VB, partendo da esercizi semplici per arrivare a quelli più complessi. Proprio come un bambino prima di imparare a correre deve saper camminare, un soggetto per imparare a vedere deve saper muovere precisamente gli occhi per collocarsi nello spazio.

Sono consapevole del fatto che non si possa arrivare a un'ottima VB lavorando solo ed esclusivamente sulla motilità, ma sono convinto che più le basi sono solide, più il risultato sarà soddisfacente.

NOTE BIBLIOGRAFICHE

- [1] Maria Cristina Zandonella Necca; *Occhi felici*, pag. 45-47
- [2] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 442-444
- [3] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 440-442
- [4] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 443-444
- [5] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 444-452
- [6] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 452
- [7] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 453
- [8] Massimo G. Bucci; *Oftalmologia*, pag 664-665
- [9] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 194-195
- [10] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 303-304
- [11] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 310-320
- [12] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 398/445-446
- [13] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 424-428
- [14] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 25-32
- [15] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 194
- [16] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 29
- [17] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 27

- [18] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 224
- [19] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 703-704
- [20] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 702-703
- [21] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 47-48
- [22] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 372-376
- [23] Anto Rossetti, Pietro Gheller; *Manuale di optometria e contattologia*, pag 154-157
- [24] Anto Rossetti, Renato Battistin, Sergio Cappa, Valerio Cavalli, Daniela Comuzzi,
Pietro Gheller, Antonio Madesani, Giuseppe Migliori, Luciano Parenti,
Alcide Peterle, Salvatore Pintus, Maurizio Possenti, Gianmario Reverdy,
Francesco Sala, Donato Serrettiello, Monica Tabacchi, Fabrizio Zeri; *Lenti e occhiali,
manuale di ottica oftalmica*, pag 521
- [25] Anto Rossetti, Pietro Gheller; *Manuale di optometria e contattologia*, pag 159-169
- [26] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 234-362
- [27] Pilar Plou Campo; *Basi neurofisiologiche del Vision Training*; AIOeO, Torino, 2015
- [28] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Sa-
muel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 159-170
- [29] Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Sa-
muel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*, pag 543-544
- [30] Andrea Pirota; *Basi neurofisiologiche del Vision Training*; AIOeO, Torino, 2015
- [31] Andrea Pirota; *Basi neurofisiologiche del Vision Training*; AIOeO, Torino, 2015
- [32] Andrea Pirota; *Basi neurofisiologiche del Vision Training*; AIOeO, Torino, 2015
- [33] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 221
- [34] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 222
- [35] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 224-225
- [36] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 225
- [37] Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*, pag 226-231
- [38] Rosanna Bardini; *La funzione visiva nell'analisi optometrica, Il processo di sviluppo
della vision secondo Skeffington*

BIBLIOGRAFIA

- Mitchell Sheimann, Bruce Wick; *Clinical management of binocular vision*; Wolters Kluwer, 4th edition;
- Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*; Zanichelli, 2013
- Anto Rossetti, Pietro Gheller; *Manuale di optometria e contattologia*; Zanichelli, 2003;
- Rosanna Bardini; *L'approccio "positivo" al punto prossimo*; Estratto da un evento del ciclo formativo ECM dell'Istituto B. Zaccagnini di Bologna;
- Maria Cristina Zandonella Necca; *Occhi felici*; Fabbrica dei segni editore, 2014;
- David H. Hubel; *Occhio, cervello e visione*; Zanichelli, 1989
- Massimo G. Bucci; *Oftalmologia*; Società editrice Universo, 1999;
- Anto Rossetti, Renato Battistin, Sergio Cappa, Valerio Cavalli, Daniela Comuzzi, Pietro Gheller, Antonio Madesani, Giuseppe Migliori, Luciano Parenti, Alcide Peterle, Salvatore Pintus, Maurizio Possenti, Giammario Reverdy, Francesco Sala, Donato Serrettiello, Monica Tabacchi, Fabrizio Zeri, *Lenti & occhiali, manuale di ottica oftalmica*; Medical Books, 2003;
- AIO&O; *Le basi neurofisiologiche del Vision training*; Torino 2015;