

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Corso di Laurea in Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

**La postura: il contributo della visione e l'influenza
delle lenti**

The posture: the contribution of vision and the influence of
lenses

Relatore: Prof. Pietro Gheller

Laureanda: Furlan Paola

Matricola 1095540

Anno Accademico 2016/2017

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1 – La postura	2
1.1 Definizione.....	2
1.2 Gli aggiustamenti posturali.....	4
Capitolo 2 – La visione	7
2.1 Il processo visivo.....	7
2.2 La via magnocellulare e la via parvocellulare.....	10
2.3 I muscoli extraoculari e i movimenti oculari.....	11
2.4 Il ruolo della visione nella postura.....	14
Capitolo 3 – I fattori che determinano l’efficacia della stabilizzazione visiva	16
3.1 L’angolo di sguardo e l’angolo di visione.....	16
3.2 La distanza di osservazione e la qualità visiva dei segnali...	17
3.3 L’acuità visiva.....	19
3.4 Lo sviluppo del sistema visivo.....	21
Capitolo 4 – Il ruolo dell’ametropia e della presbiopia	24
4.1 La miopia.....	24
4.2 L’ipermetropia.....	26
4.3 La presbiopia.....	27
Capitolo 5 – Il ruolo delle eteroforie e degli effetti prismatici	29
5.1 Le vergenze verticali.....	29
5.2 L’effetto dei prismi gemellati.....	31
5.3 La dipopia.....	32
Capitolo 6 – La dislessia evolutiva e l’autismo	34
6.1 Il controllo posturale nei bambini dislessici.....	34
6.2 Il controllo posturale nei bambini affetti da autismo.....	35
Bibliografia	37

Introduzione

Il mantenimento dell'equilibrio posturale è determinato da molti fattori e richiede la continua elaborazione dei segnali provenienti dai sistemi visuale, vestibolare e somatosensoriale. Le ricerche hanno dimostrato che il sistema nervoso centrale modifica le risposte posturali basandosi su una costante selezione degli input sensoriali che forniscono le informazioni più affidabili e utili al raggiungimento dell'orientamento e dell'equilibrio. La gestione della disposizione dei segmenti scheletrici e la stabilizzazione corporea sono prerequisiti per la percezione e l'azione in condizioni statiche e dinamiche. In questo processo la visione gioca un ruolo fondamentale. Le caratteristiche del sistema visivo, le abilità visive e i vari sistemi di correzione ottica influenzano l'assetto posturale. Perciò qualunque problema a carico dei due occhi – come l'adozione di un nuovo occhiale o la differenza di qualità visiva tra i due occhi – può interferire positivamente o negativamente sul sistema posturale. Allo stesso modo anche un atteggiamento posturale, dovuto a diversi fattori, che colpisce la posizione della testa e del collo può modificare la posizione degli occhi ed alterarne l'equilibrio, influenzando le performance visuo-cognitive e visuo-motorie di un soggetto.

Di seguito abbiamo cercato di fare un sunto dello stato dell'arte sulla descrizione di tutti quei fattori di origine visiva i quali possano influenzare o interferire con la regolazione della postura nella convinzione che – se l'obiettivo di un ottico-optometrista è il miglioramento della qualità della vita delle persone – una buona dose di attenzione deve essere rivolta verso tutto ciò con cui la visione ha a che fare. Senza contare il fatto che, la conoscenza di nozioni di base in discipline accessorie e complementari all'optometria, favorisce quell'interscambio con professionisti del settore medico del quale sempre più si avverte l'esigenza.

Capitolo 1

La postura

1.1 Definizione

“Per postura possiamo intendere la posizione del corpo nello spazio e la relazione spaziale tra i segmenti scheletrici, il cui fine è il mantenimento dell’equilibrio (funzione antigravitaria), sia in condizioni statiche sia dinamiche, cui concorrono fattori neurofisiologici, biomeccanici, psicoemotivi e relazionali, legati anche all’evoluzione della specie” (Casini et al., 2010). Il concetto di postura è quindi strettamente legato a quello di spazialità – rappresentando la posizione complessiva del corpo e degli arti e il loro orientamento nello spazio – e al concetto di antigravitarietà – essendo la gravità la forza esterna che determina la regolazione della risposta dell’organismo per mantenere l’equilibrio con il minor dispendio di energia. L’equilibrio può essere inteso come il rapporto ottimale tra l’individuo e l’ambiente circostante, ovvero sia quando il soggetto adotta la postura più adeguata – istante per istante – in relazione alle condizioni ambientali e motorie.

Per spiegare i fattori che caratterizzano la postura esistono tre diversi modelli interpretativi: neurofisiologico, biomeccanico e psicoemotivo.

Il modello neurofisiologico rappresenta l’approccio maggiormente condiviso e si basa sullo studio del tono posturale e delle funzioni dell’equilibrio. La postura è considerata una modulazione del tono muscolare risultante da una “serie complessa di processi psiconeurofisiologici all’interno di un sistema di tipo cibernetico, il sistema tonico posturale” (Scoppa, 2002). Il sistema tonico posturale svolge la funzione di lottare contro la gravità, opporsi alle forze esterne, situarci nel sistema spazio-tempo e permettere l’equilibrio nel movimento. Questo sistema è costituito da:

- recettori specifici da cui provengono informazioni utili (input) di tipo esterocettivo e propriocettivo per relazionare il proprio corpo all’ambiente, come il piede, l’occhio, l’apparato stomatognatico, la cute e l’apparato muscolo scheletrico;

- il sistema nervoso centrale, che attraverso varie strutture elabora i dati forniti e li relaziona con le esperienze precedenti;
- effettori, ovverossia nuclei motori che rispondono con l'attivazione di gruppi muscolari e determinano il tono muscolare (output).

Il modello biomeccanico analizza i rapporti tra atteggiamenti corporei e forza di gravità; studia l'organizzazione delle catene cinetiche sia a livello statico – approfondendo i rapporti armonici ed equilibrati tra i vari segmenti scheletrici nei tre piani dello spazio o la loro perdita – sia a livello biomeccanico – esaminando le sinergie muscolari e la meccanica articolare (punti di applicazione delle forze muscolari, i loro momenti e la distribuzione dei carichi sui segmenti scheletrici).

Il modello psicosomatico studia l'influenza che gli aspetti psicoemotivi hanno per una visione completa del complesso fenomeno posturale. Secondo questo modello lo sviluppo della personalità procede con lo sviluppo della struttura corporea e la postura abitualmente assunta rispecchia i tratti caratteriali della persona: "La postura è strettamente legata alla vita emotiva fino ad essere l'espressione stessa per il mondo esterno, non solo attraverso la mimica facciale e gestuale, ma anche attraverso la disposizione corporea nel suo insieme" (Gagey e Weber, 2000). Dunque esiste una relazione tra postura e personalità e gli stati emotivi del soggetto possono influenzare i fattori neuroendocrini e le tensioni muscolari condizionando nel suo insieme il sistema posturale.

La valutazione dell'abilità posturale e motoria nel processo di continua stabilizzazione della postura eretta è studiata dalla posturografia. Anche i soggetti sani che non presentano compromissioni posturali possono mostrare una considerevole variabilità nella loro risposta posturale; per ridurre dunque le variabili inter e intra soggettive è indispensabile analizzare gruppi omogenei di persone sia per età sia per condizioni di salute. Per descrivere gli aspetti meccanici del mantenimento della stazione eretta – che richiede continui aggiustamenti posturali dei segmenti corporei rispetto alla direzione verticale – vengono utilizzate due variabili: il centro di massa (CoM) e il centro di pressione (CoP). Il CoM è il centroide degli elementi di massa che compongono il corpo e, in stazione eretta, è di norma un punto del tronco all'altezza della zona lombare. Il CoP è il punto di applicazione

della risultante delle forze scambiate tra piede e terreno (forza di reazione al suolo) e in posizione ortostatica si colloca sotto uno dei piedi o nella superficie tra essi compresa.

1.2 Gli aggiustamenti posturali

Per l'esecuzione di ogni atto motorio occorre compiere degli aggiustamenti posturali da integrare con il movimento volontario. Questi aggiustamenti sono indispensabili per evitare di cadere a terra e svolgono principalmente tre funzioni: permettono di sostenere il capo e il corpo contro la forza di gravità e altre forze esterne; mantengono il centro di massa all'interno della base d'appoggio; stabilizzano le parti corporee che servono da supporto mentre altre sono in movimento.

Gli aggiustamenti posturali vengono compiuti tramite meccanismi anticipatori (o *a feed-forward*) e meccanismi compensatori (o *a feed-back*). I primi generano risposte preprogrammate basandosi sulle previsioni dei disturbi che insorgeranno durante l'esecuzione dei movimenti per mantenere la stabilità. Gli aggiustamenti posturali anticipatori sono dipendenti da molti fattori tra cui direzione ed entità della perturbazione, stabilità del corpo, caratteristiche della perturbazione e paura di cadere. L'efficacia di questa risposta migliora con l'allenamento e viene modificata dall'esperienza e dalle aspettative. I secondi vengono invece evocati in seguito a stimoli che indicano la perdita dell'equilibrio e sono modulati in base a direzione e entità della perturbazione, dimensione della base di supporto, istruzioni date al soggetto, prevedibilità delle caratteristiche dell'evento e realizzazione contemporanea di un secondo compito (Figura 1). I meccanismi *a feed-back* sono ridotti in presenza di meccanismi *a feed-forward* e sono invece più intensi quando i meccanismi anticipatori non vengono generati (Santos et al., 2010).

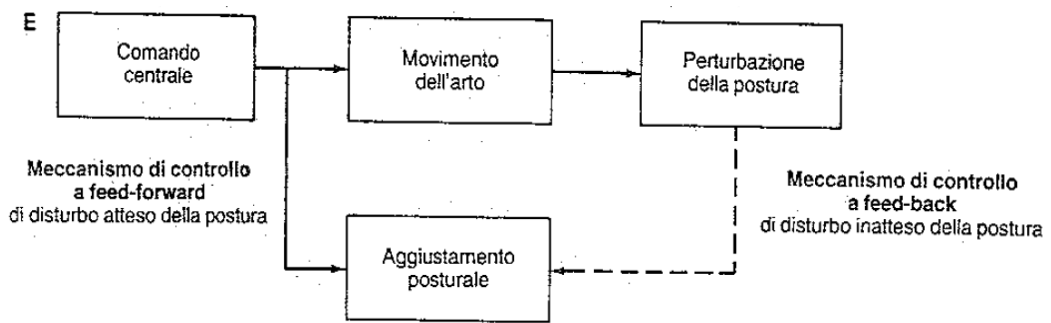


Figura 1 – La postura ed il movimento vengono integrati mediante meccanismi *a feed-forward* e *a feed-back*. I comandi che avviano il movimento di un arto vengono coordinati con aggiustamenti posturali controllati da meccanismi anticipatori e così gli effetti destabilizzanti del movimento vengono compensati in anticipo. Il sistema di controllo posturale è anche in condizione di rispondere alle perturbazioni rapidamente e in modo appropriato con meccanismi *a feed-back* nel caso che il controllo anticipatorio non riesca a stabilizzare del tutto la postura, (tratto dalla pagina web: <http://www.dsnm.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/matdid971889.pdf>).

Queste risposte sono automatiche e molto rapide e consentono di ottenere una postura stabile. Gli aggiustamenti posturali sono eseguiti inconsapevolmente grazie alle informazioni provenienti da tre tipi di recettori: i recettori cutanei, che segnalano la presenza di forze torsionali soprattutto a carico del piede; i propriocettori, che segnalano variazioni dell'orientamento del capo e della posizione degli arti; i recettori visivi, che segnalano l'orientamento del corpo rispetto all'orizzonte. Quando si pianifica l'esecuzione di un movimento, i muscoli posturali si contraggono prima dell'inizio dell'azione per evitare la perdita dell'equilibrio. Quando sono presenti dei disturbi, i meccanismi *a feed-back* generano risposte correttive rapide. A seconda delle condizioni di supporto posturale, vengono modulati anche i riflessi spinali.

I meccanismi che consentono l'allineamento del capo e del corpo, rispetto alla forza di gravità, sono i riflessi vestibolari e cervicali. I riflessi vestibolari (i) provvedono a mantenere il capo in posizione verticale, (ii) sono evocati dai cambiamenti della posizione del capo, (iii) agiscono sul collo (riflessi vestibolo-cervicali) e sugli arti (riflessi vestibolospinali) e (iv) sono indotti da segnali provenienti dagli organi otolitici, dall'utricolo e dal sacculo dell'orecchio interno. I riflessi cervicali (i) mantengono il capo allineato con il corpo e (ii) sono evocati dall'inclinazione o dalla rotazione del collo. I riflessi vestibolari e cervicali agiscono anche sui muscoli degli arti per ammortizzare le cadute e per stabilizzare il corpo rispetto alla

superficie d'appoggio. Il riflesso trigemino cervicale induce delle risposte tardive relativamente ai muscoli del collo e partecipa alle strategie difensive della testa in seguito alla percezione di dolore nocicettivo. I movimenti del capo inoltre evocano riflessi vestibolo-oculari, i quali sono in grado di stabilizzare le immagini visive sulla retina generando movimenti oculari uguali e opposti.

Si è visto che nella stazione eretta e nel cammino le risposte posturali vengono innescate, anche se con modalità differenti, da tre classi di afferenze sensoriali: i propriocettori muscolari, i recettori vestibolari e le afferenze visive. I primi rilevano le variazioni di lunghezza o di tensione dei muscoli e della caviglia, i secondi l'inclinazione del corpo sulla base del movimento del capo e le terze informazioni sul movimento del campo visivo. Le risposte vestibolari e visive hanno latenza maggiore rispetto a quelle muscolari. Inoltre le informazioni visive e propriocettive – senza il contributo vestibolare – non permettono al sistema nervoso di determinare se è il capo o l'ambiente a muoversi.

Capitolo 2

La visione

2.1 Il processo visivo

L'apparato oculare è costituito dal bulbo oculare, dalle vie ottiche e dagli annessi oculari.

Il bulbo oculare si trova all'interno della cavità orbitaria ed è costituito da tre tuniche: fibrosa, vascolare e nervosa. La tunica fibrosa - la più esterna - si distingue in cornea e sclera; la tunica vascolare si compone di coroide, corpo ciliare e iride; la tunica nervosa - la più interna - è costituita dalla retina, che si compone di una porzione posteriore di retina visiva e di una porzione anteriore formata dal corpo ciliare e dalla superficie posteriore dell'iride. Dalla base del corpo ciliare si dipartono numerose fibrille connettivali che formano il legamento sospensore del cristallino (Figura 2). Il bulbo oculare contiene tre camere: la camera anteriore che contiene l'umore acqueo, la camera posteriore dove viene prodotto l'umore acqueo e la camera vitrea che contiene il corpo vitreo (Figura 3).

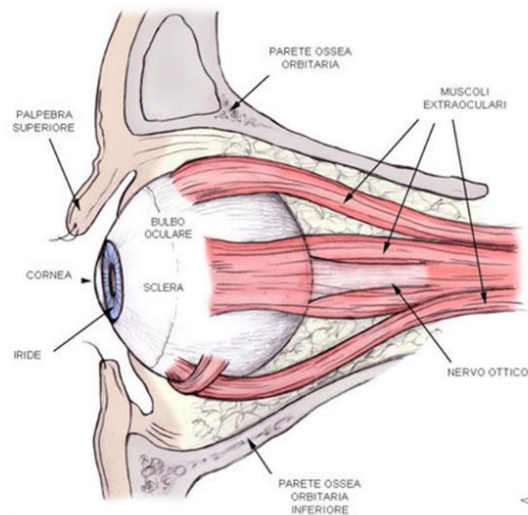


Figura 2 – Struttura del bulbo oculare (vista laterale),
(tratto dalla pagina web: <http://www.maculopatia.it/occhio.htm>).

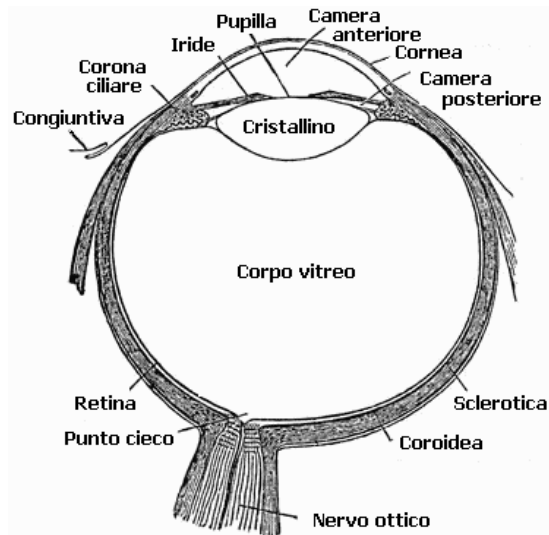


Figura 3 – Struttura del bulbo oculare (vista dall'alto),
 (tratto dalla pagina web: <http://www.epertutti.com/biologia/OCCHIO-CERVELLO-E-VISIONE94867.php>).

Le vie ottiche sono costituite dal nervo ottico – che emerge nella parte posteriore del bulbo oculare – dal chiasma, dal tratto ottico, dal corpo genicolato laterale, dalle radiazioni ottiche e dalla corteccia visiva.

Gli annessi oculari sono le palpebre, l'apparato lacrimale, l'orbita ed il suo contenuto (muscoli estrinseci oculari, vasi sanguigni, nervi e tessuto adiposo).

L'insieme di queste strutture contribuisce alla creazione della sensazione visiva. Nel sistema visivo si può identificare una componente ottica e una componente energetica che dal chiasma si dirige verso il sistema diencefalo-ipofisario.

La visione ha inizio con la captazione delle immagini nella retina e continua attraverso le vie ottiche fino alla corteccia occipitale. La retina è una membrana sensibile agli stimoli luminosi in grado di trasformare la luce in segnali bioelettrici e di trasmettere i segnali nervosi fino alle strutture cerebrali. Essa è distinta in un foglietto esterno (epitelio pigmentato) ed in un foglietto interno rappresentato da una membrana nervosa pluristratificata, costituita da una catena di tre neuroni (fotorecettori, cellule bipolari e cellule gangliari) e da un apparato stromale gliale di sostegno.

Le terminazioni dei fotorecettori prendono contatto con le cellule bipolari, le quali sono deputate a condurre lo stimolo visivo dai fotorecettori alle cellule gangliari. Le cellule gangliari sono le cellule del sistema visivo in cui si genera il potenziale d'azione. Gli assoni delle cellule gangliari

decorrono parallelamente alla superficie retinica e convergono per formare i nervi ottici, che si incontrano a livello del chiasma dove avviene la decussazione delle fibre nasali di entrambe le retine. Il chiasma ottico prosegue con i tratti ottici, le cui fibre vanno principalmente ai corpi genicolati laterali ed al collicolo superiore, ma anche al talamo (funzione energetica) e alla regione pretettale (fibre pupillomotorie) (Figura 4).

Nel collicolo superiore le informazioni visive vengono interfacciate con altre informazioni sensoriali, dal momento che scaricano contemporaneamente neuroni della mappa visiva, somatosensitiva e uditiva. Il risultato è l'integrazione di diversi segnali sensoriali la quale permette la percezione complessa dello spazio esplorato dai sensi ed è importante per evocare dei movimenti oculari legati all'attività dei centri superiori.

I corpi genicolati laterali sono suddivisi in sei strati. Dal corpo genicolato laterale l'informazione visiva viene veicolata fino alla scissura calcarina tramite fibre di assoni che prendono il nome di radiazioni ottiche. Le radiazioni ottiche proiettano assoni alla corteccia visiva primaria (o area corticale 17 o V1).

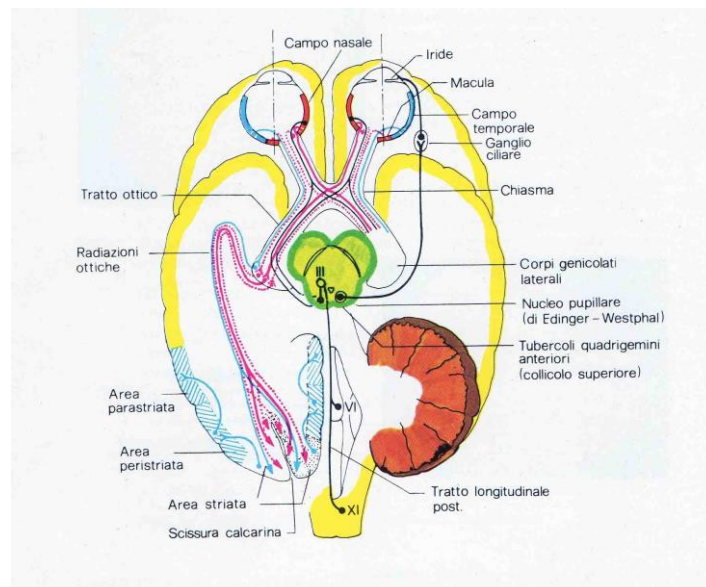


Figura 4 – La via ottica, (tratto dalla pagina web: <http://www.iblogdialessioempoli.it/occhio-8/>).

Nella corteccia visiva primaria sono riunite tutte le informazioni riguardanti un oggetto grazie alla presenza di neuroni selettivi per porzione

retinica, occhio di provenienza, lunghezza d'onda, direzione del movimento, frequenza spaziale e orientamento. La corteccia visiva primaria inoltre è la prima stazione del sistema visivo in cui compaiono cellule che ricevono informazione da entrambi gli occhi (cellule binoculari). Le cellule binoculari sono in grado di valutare la profondità e permettono di stimare la distanza degli oggetti. Il riconoscimento immediato degli oggetti e della loro funzione avviene però grazie all'azione di altre parti del cervello – dette aree associate visive – che collaborano con V1.

2.2 La via magnocellulare e la via parvocellulare

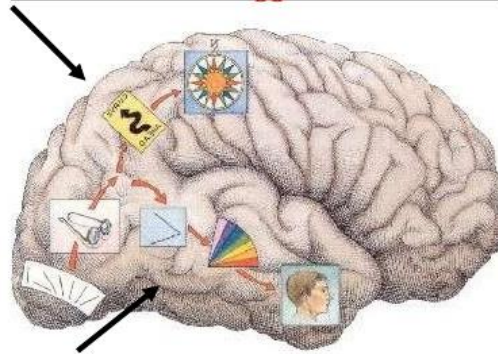
Dalla corteccia visiva primaria l'informazione visiva segue due vie distinte: la via parvo (o via ventrale) e la via magno (o via dorsale).

La via parvocellulare è anche chiamata 'via del *what*' dal momento che è la via deputata all'analisi dei dettagli dell'oggetto; fornisce informazioni sui dettagli delle figure, i contorni, il colore e la forma degli oggetti; è più sensibile a frequenze spaziali alte e a basse frequenze temporali ed è più efficiente nell'analisi di stimoli statici ad alto contrasto; origina dalla zona centrale della retina ed è rappresentata dall'80% delle fibre del nervo ottico. È considerata dunque la 'via per percepire'.

La via magnocellulare prende anche il nome di 'via del *where* o dell'*how*' e si ritiene sia indispensabile per il controllo visuo-motorio e nell'attivazione dell'attenzione; analizza il movimento, la localizzazione e la profondità degli oggetti; è utilizzata per processare basse frequenze spaziali, alte frequenze temporali e informazioni a basso contrasto; origina dalla retina periferica ed è rappresentata dal 10% delle fibre del nervo ottico. Si ritiene quindi che sia la 'via determinante per agire' (Figura 5).

Queste due vie, pur essendo anatomicamente e funzionalmente distinte, comunicano tra loro e si influenzano reciprocamente.

Via dorsale: **Dove si trova l'oggetto?**



Via ventrale: **Cosa è l'oggetto???**

Figura 5 – Schema ‘via del *where* e del *what*’,
(tratto dalla pagina web: <https://www.slideshare.net/todeschinimarta/1-cornoldi>).

2.3 I muscoli extra-oculari e i movimenti oculari

I muscoli che tengono sospeso il bulbo nella cavità dell'orbita sono sei. Questi originano da una formazione tendinea anelliforme comune (detta anello di Zinn) aderente all'apice dell'orbita e sono: retto superiore, retto inferiore, retto laterale, retto mediale, obliquo superiore ed obliquo inferiore (Figura 6).

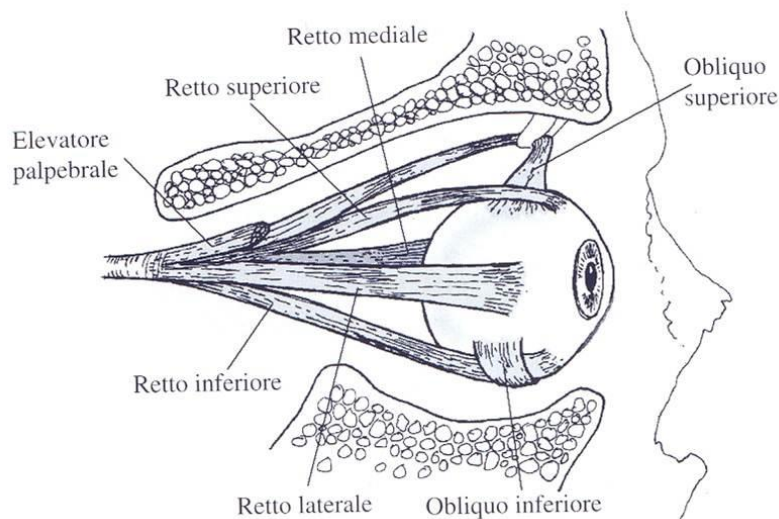


Figura 6 – Muscoli estrinseci oculari,
(tratto dalla pagina web: <http://medmedicine.it/articoli/61-oftalmologia/197-muscoli-estrinseci-oculari.html>).

Sono muscoli striati che si diversificano notevolmente da quelli delle restanti parti del corpo dal momento che possiedono un'innervazione più ricca, sono dotati delle più piccole unità motorie e sono composti da tre tipi di fibre muscolari (fibre spesse, sottili e granulari) con diverse caratteristiche morfologiche ed istochimiche. La diversità del motore oculare supera le capacità di soli sei muscoli: ciascun muscolo risulta essere costituito da zone diversamente innervate e relativamente indipendenti tra loro che consentono di allargare la varietà di azioni oculorotatorie eseguibili. Quindi anche se un muscolo extraoculare è considerato come un'unica unità anatomica e fisiologica, in alcune circostanze si comporta come se fosse costituito da due diversi muscoli, strettamente associati ma distinti per innervazione e funzionalità (Demer, 2015).

I movimenti monoculari dell'occhio prendono il nome di duzioni, i movimenti binoculari coniugati nella stessa direzione si definiscono versioni e i movimenti binoculari in direzione opposta vergenze (Tabella I).

Tabella I – I movimenti oculari e binoculari degli occhi,
(tratto dalla pagina web: http://www.otticamaffiolettibergamo.it/files/files_publicazioni/00038.pdf).

Movimenti Monoculari	Movimenti Binoculari	
Duzioni	Versioni	Vergenze
Adduzione	Destroversione	Convergenza
Abduzione	Sinistroversione	Divergenza
Sursumduzione (Elevazione)	Sursumversione (elevazione)	Sursumvergenza destra (deorsumvergenza sinistra)
Deorsumduzione (abbassamento)	Deorsumversione (abbassamento)	Deorsumvergenza destra (sursumvergenza sinistra)
Incidoduzione (intorsione)	Destrocicloversione	Incidovergenza
Excicloduzione (extorsione)	Sinistrocicloversione	Exciclovergenza

I movimenti oculari svolgono le seguenti funzioni: mantenere stabile l'asse visivo; rintracciare, inseguire e fissare gli oggetti che entrano nel campo visivo; consentire una visione unica e stereoscopica; permettere un'esplorazione attenta dell'ambiente. La coordinazione dei movimenti oculari avviene nei centri corticali per l'oculomozione che sono nel

cervelletto, nei centri del lobo frontale dell'encefalo e nei centri del lobo occipitale in corrispondenza delle aree 17, 18 e 19 della corteccia. Questi centri controllano i movimenti oculari volontari e i movimenti oculari riflessi (Maffioletti et al., 2007). I sistemi neuronali di controllo che mantengono la fovea sul bersaglio visivo sono:

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

Le saccadi sono movimenti degli occhi sincroni e veloci i quali sono utilizzati per cambiare la fissazione rapidamente e improvvisamente e non possono essere modificati *in itinere*. I movimenti saccadici possono essere volontari o riflessi ed in un soggetto adulto avvengono con una latenza di circa 200/250 ms, utili per la realizzazione di alcuni processi fisiologici e cognitivi (tra cui lo spostamento dell'attenzione, il disimpiego dei muscoli extraoculari e il calcolo del corretto spostamento). I movimenti d'inseguimento sono movimenti sincroni e lenti che permettono di mantenere sulla fovea l'immagine di un particolare bersaglio visivo che si muove nello spazio. Possono essere solo volontari e non è possibile eseguirli senza la presenza di un bersaglio visivo in movimento e la volontà di prestargli attenzione. Le vergenze sono movimenti disgiunti e sono eseguite lentamente.

Quando diversi movimenti vengono combinati tra loro, la latenza che precede l'esecuzione aumenta di circa 20-40 ms rispetto a quella che sarebbe necessaria per eseguire un solo tipo di movimento. Questa differenza è stata riscontrata anche in altri ambiti e sembra legata a meccanismi fisiologici; per esempio: il tempo di reazione per utilizzare due

mani è maggiore di quello richiesto per utilizzarne una sola (Yang et al., 2002).

2.4 Il ruolo della visione nella postura

Come è stato visto, circa il 20% delle fibre retiniche non raggiungono direttamente la corteccia visiva primaria, ma partecipa a meccanismi motori e posturali. La visione è il sistema maggiormente coinvolto nel pianificare i nostri movimenti e per evitare gli ostacoli lungo il cammino.

Il recettore oculare interagisce con il sistema posturale svolgendo diverse funzioni. Procura informazioni di tipo esteroceettivo grazie al ruolo visivo sensoriale svolto dalla retina; la stabilità posturale per i movimenti antero-posteriori è consentita dalle informazioni inviate dalla retina periferica mentre la retina centrale fornisce informazioni utili per la stabilità nei movimenti medio-laterali. Ad occhi chiusi infatti l'entità delle oscillazioni corporee per mantenere la postura eretta aumenta. L'entrata visiva svolge anche una funzione propriocettiva, fornendo informazioni sulla posizione del corpo nello spazio e influenzando la struttura corporea conseguentemente alle modifiche a livello dei muscoli estrinseci oculari. Grazie a queste informazioni siamo in grado di calibrare ed eseguire dei movimenti per relazionarci con l'ambiente.

La visione, dunque, ha un ruolo fondamentale nel mantenimento della postura e dell'equilibrio. Focalizzare lo sguardo su un target stazionario mentre si è in posizione eretta aiuta a minimizzare le oscillazioni del corpo e aumenta la stabilità nella postura verticale. L'efficacia della stabilizzazione visiva dipende da molti fattori: la dimensione e la posizione del target, la distanza di sguardo, l'acuità visiva, la velocità di movimento, la vergenza degli occhi e il tipo di compito. Anche alterare la fissazione e l'angolo di sguardo può influenzare la postura e il controllo dei movimenti volontari.

Nel controllo dell'equilibrio in condizioni dinamiche, la visione rappresenta la condizione essenziale per stabilizzare la testa nello spazio (Schmid et al., 2008). La stabilizzazione della testa riduce il rischio di assumere posture rischiose, permette di minimizzare lo sforzo a carico dei

muscoli di tutto il corpo e facilita l'organizzazione dei movimenti degli altri segmenti.

Capitolo 3

I fattori che determinano l'efficacia della stabilizzazione visiva

3.1 L'angolo di sguardo e l'angolo di visione

L'angolo di sguardo è un angolo formato da due vettori: il primo connette l'occhio con l'oggetto osservato, il secondo è formato da una linea orizzontale diretta di fronte al livello dell'occhio. I cambiamenti dell'angolo di sguardo influiscono sulla superficie d'appoggio e sull'ampiezza delle oscillazioni posturali di un soggetto. È stato dimostrato che quando gli occhi sono elevati o abbassati rispetto alla posizione di sguardo frontale orizzontale la stabilità posturale aumenta (Ustinova e Perkins, 2011). Il motivo è il seguente: in condizioni fisiologiche quando un soggetto fissa dritto davanti a sé, i muscoli extraoculari sono rilassati lungo il piano verticale; mentre quando lo sguardo è rivolto verso l'alto o verso il basso l'attività muscolare aumenta. I segnali propriocettivi provenienti dai muscoli extraoculari modificano l'attività dei muscoli del collo, tramite una catena di riflessi cerebrali, anche quando la testa rimane ferma. L'attività muscolare del collo è considerata un potente mediatore nel controllo posturale (Kogler et al., 2000; Vuillerme e Rougier, 2005) e per questo si pensa sia la causa della riduzione delle oscillazioni corporee.

L'angolo di visione si riferisce alla percezione di un oggetto posto sullo stesso livello degli occhi ma ruotato verso avanti o verso indietro di alcuni gradi rispetto alla direzione verticale. Osservare un target con differenti angoli di visione aumenta il coinvolgimento del tronco e delle gambe nello spostamento delle braccia per raggiungere una posizione statica, suggerendo un'influenza della prospettiva sul controllo posturale. Quando un soggetto osserva un target inclinato infatti vengono indotte delle oscillazioni posturali e viene alterata la percezione dell'orientamento verticale del corpo. Di conseguenza la postura si riorganizza e il corpo viene fatto scivolare nella stessa direzione dell'inclinazione per mantenere una corretta presentazione dell'immagine visiva in retina. Questo comportamento tuttavia cambia in relazione all'età: confrontando un gruppo

di soggetti tra i 21 e i 31 anni con un gruppo di persone tra i 44 e i 60 anni è stato notato che l'orientamento assunto appare più marcato nei soggetti con più di 44 anni, indicando che l'importanza dell'informazione visiva nel controllo posturale aumenta con l'avanzare dell'età (Poulain e Giraudet, 2007). Questo dato è confermato anche dal fatto che la stabilità posturale negli anziani è più sensibile ai vincoli attenzionali di origine visiva; per esempio, con l'avanzare dell'età distogliere l'attenzione da una mira visiva richiede maggiore sforzo e lascia meno risorse per controllare la posizione del corpo.

3.2 La distanza di osservazione e la qualità visiva dei segnali

La stabilizzazione posturale migliora quando diminuisce la distanza tra gli occhi del soggetto e la mira (Brandt et al., 1986; Paulus et al., 1989); infatti in visione prossimale le oscillazioni corporee sono minori di quelle prodotte fissando a lunga distanza (Lê e Kapoula, 2006). La diminuzione della distanza aumenta la dimensione angolare dello scivolamento retinico indotto dalle oscillazioni corporee e, di conseguenza, rende le oscillazioni più evidenti e fastidiose per il sistema visivo, incentivando un controllo posturale più fine. Quando la dimensione angolare dello scivolamento retinico rimane invariata, la stabilità posturale migliora anche nel caso in cui nella visione a distanza vengano introdotti dei prismi che inducano gli occhi a convergere. Questo dato ha indotto a concludere che nella stabilizzazione posturale, oltre allo slittamento retinico, siano coinvolti anche segnali afferenti ed efferenti dai muscoli extraoculari relativi alla convergenza.

Il contributo che la visione dà al sistema posturale dipende non solo dalla distanza, ma anche dal fatto che i segnali visivi siano di tipo monoculare o binoculare. La qualità dei segnali visivi gioca un ruolo importante nel calcolo dell'equilibrio sensoriale. Alterare le condizioni visive comporta un immediato cambiamento della gestione del rapporto tra le informazioni visive e le oscillazioni corporee (Moraes et al., 2016). Infatti in condizioni binoculari si ottengono risultati molto diversi in base alla distanza, mentre in visione monoculare i cambiamenti con la distanza sono ridotti. Generalmente i segnali visivi in condizioni monoculari hanno un minor peso nella ponderazione sensoriale effettuata dal sistema nervoso centrale,

indicando che le informazioni fornite da un solo occhio non sono sufficientemente affidabili per garantire un buon controllo posturale, ricercato aumentando il contributo vestibolare (Barela et al., 2011). Secondo Moraes, Freitas, Razuk e Barela a lunga distanza la stabilità posturale dovrebbe sempre subire una riduzione dal momento che la sensibilità ai segnali visivi diventa più debole (scivolamento retinico, disparità binoculare, percezione del movimento in profondità e laterale), ma visto che i segnali visivi binoculari sono più informativi di quelli monoculari la loro modificazione è percepita in maniera più drastica (Moraes et al., 2016).

Secondo Lê e Kapuola invece, considerando che - in condizioni statiche - la valutazione della distanza e della profondità non sembra essere diversa tra visione binoculare e monoculare e sembra invece essere uguale il decremento dello scivolamento retinico indotto dalle oscillazioni corporee, è possibile che la chiusura di un occhio permetta di eliminare ogni informazione confusa e non adeguata, eliminando l'aumento di instabilità in condizioni binoculari (Lê e Kapoula, 2006). Questo fatto sarebbe testimoniato dal comportamento di un arciere nel momento in cui deve mirare il bersaglio: la visione monoculare è sufficiente per un controllo preciso dei movimenti degli arti durante lo svolgimento di compiti che richiedono buona mira o buona presa (Coull et al., 2000). D'altra parte è stato anche supposto che, interrompendo gli input visivi provenienti da un occhio, i soggetti aumentino il livello d'attenzione per mantenere una corretta stabilità posturale. In particolari condizioni (elevate richieste cognitive o particolari contesti emotivi) il sistema nervoso centrale adotta delle strategie per controllare la postura più finemente riducendo le oscillazioni posturali.

Inoltre, in condizioni monoculari i due occhi rispondono in maniera differente. Normalmente durante la visione binoculare uno dei due occhi risulta prevalentemente attivo e questa condizione prende il nome di dominanza oculare. La letteratura ha descritto diversi tipi di dominanze fisiologiche tra i due occhi in base al tipo di attività eseguita: sensoriale, motoria, relativa e posturale (Matheron et al., 2007). La dominanza motoria indica l'occhio che ha principale attività motoria e che mostra minore

deviazione durante la fissazione; è la tipologia di dominanza che viene più spesso individuata e considerata. L'occhio dominante sembra essere più efficace nel distinguere i cambiamenti dell'ampiezza angolare dello slittamento retinico risultante dai movimenti antero-posteriori e dunque risulta più influente nel controllo di quest'ultimi (Lê e Kapoula, 2006).

Questi aspetti, relativi a diverse condizioni visive e alla distanza di sguardo, sono stati riscontrati sia in soggetti giovani che in soggetti anziani con un'unica differenza: i secondi, per stabilizzare la postura, devono aumentare l'attività muscolare delle gambe e utilizzare una maggiore quantità di energia. L'aumento dell'attività muscolare con l'anzianità è stata riportata in numerosi studi (Jonsson et al., 2005) ed è considerato il primo segno di senescenza nel controllo posturale.

3.3 L'acuità visiva

In condizioni di ridotta acuità visiva, l'instabilità posturale cresce e, soprattutto nei soggetti anziani, aumenta anche l'entità delle oscillazioni corporee. Le distorsioni nel campo visivo periferico e i cambiamenti nella percezione della profondità – indotti da una visione sfuocata – possono non solo alterare il controllo della postura ma aumentare anche il rischio che si verifichi una caduta. In età avanzata una visione di scarsa qualità è considerato un fattore di rischio per le cadute: una statistica canadese del 1991 ha evidenziato che nella popolazione di persone con più di 80 anni i decessi in seguito a cadute erano nove volte maggiori rispetto ai decessi dovuti ad incidenti automobilistici tra i giovani dai 15 ai 29 anni (Winter, 1995).

Dal momento che i cambiamenti dell'acuità visiva influenzano le oscillazioni corporee, è stato approfondito il ruolo che la visione sfuocata esercita sui meccanismi anticipatori e compensatori che intervengono nella regolazione posturale. Quando la visione non è disponibile i meccanismi a *feed-forward* non sono chiamati in gioco, ma sono ampiamente utilizzati gli aggiustamenti posturali compensatori per ristabilire l'equilibrio. Differenti acuità visive possono essere indotte in uno stesso soggetto utilizzando lenti positive e negative, inducendo diversi tipi di sfocamento visivo. In un soggetto emmetrope le lenti positive fanno apparire gli oggetti più sfocati e

vicini, mentre le lenti negative permettono di mantenere l'immagine chiara e a fuoco, ma fanno sembrare gli oggetti più lontani. Indossando le lenti positive al soggetto sembra che gli urti debbano avvenire prima rispetto alla condizione naturale e di conseguenza l'attivazione di strategie anticipatorie, per evitare una destabilizzazione, avviene prima e in maniera più estesa. Indossare invece delle lenti negative ha come effetto il credere che un evento avverrà più tardi e dunque la preparazione dei meccanismi anticipatori viene ridotta e ritardata. Le differenze indotte dalle lenti quindi influenzano il tempismo e l'importanza dell'attivazione dei meccanismi a *feed-forward*. Inoltre è stato osservato che i cambiamenti di quest'ultimi – in base alla condizione visiva – comportano risposte di diverso tipo anche dei meccanismi a *feed-back* (Mohapatra et al., 2012). Si può dunque affermare che i meccanismi anticipatori sono presenti anche quando la visione è scadente e che modificare le condizioni visive – utilizzando lenti di diverso potere – altera la relazione tra meccanismi anticipatori e compensatori, dimostrando l'importante ruolo che la visione ricopre nel mantenimento della postura. Questa constatazione sottolinea come sia importante la scelta di un occhiale appropriato per non alterare l'equilibrio posturale: gli studi hanno infatti dimostrato che utilizzare degli occhiali non adatti alle esigenze visive crea un significativo rischio di cadute, soprattutto a carico degli anziani (Lord, 2006); più del 33 % degli anziani ricoverati in ospedale in seguito ad una caduta infatti presenta un deficit dell'acuità visiva facilmente compensabile con una prescrizione adeguata (Sayah et al., 2016).

Nei soggetti che manifestano una visione carente dovuta ad errori refrattivi non corretti o associata ad una malattia – come ad esempio la degenerazione maculare senile, il glaucoma, la cataratta ed il diabete mellito – è stato riscontrato inoltre un peggiore contributo vestibolare nelle funzioni d'equilibrio (Willis et al., 2013). È possibile che la ridotta quantità di input visivi indebolisca il riflesso vestibolo-oculare che, diventando inadeguato, causa una disfunzione dell'equilibrio, contribuendo ad aumentare il rischio di cadere a terra. La qualità dell'informazione visiva influenza anche i meccanismi che permettono di stabilizzare la testa nello spazio. Quando l'acuità visiva si riduce progressivamente si nota un

graduale peggioramento nel meccanismo che permette al capo di mantenersi stabile ed una maggiore spesa energetica a carico dell'attività muscolare (Schmid et al., 2008). Il fatto che una buona stabilizzazione della testa dipenda da una visione nitida e definita – fornita dalla parte centrale della retina – suggerisce una maggiore implicazione delle informazioni trasmesse dal sistema ventrale nel processo. Gli input visivi provenienti dalla porzione periferica della retina infatti non risultano determinanti nel controllare questa attività, anche se conferiscono una maggiore stabilità al bilanciamento complessivo (Schmid et al., 2008).

Da ultimo in presenza di visione sfocata – se dovuta alla presenza di un errore refrattivo non corretto – è stato trovato un aumento dell'ampiezza delle microsaccadi (Ghasia e Shaikh, 2015). Le microsaccadi sono movimenti oculari involontari di fissazione che permettono di cambiare costantemente la posizione foveale consentendo una stimolazione retinica costante durante fissazioni prolungate ed hanno lo scopo di evitare che i responsi neuronali si indeboliscano nel tempo a causa del fenomeno dell'adattamento (Martinez-Conde e Macknik, 2007). Il fatto che questi movimenti diventino più ampi in condizioni visive non corrette suggerisce che la precisione dell'immagine foveale ha un ruolo importante per calibrare i movimenti oculari.

3.4 Lo sviluppo del sistema visivo

Diversi sono i cambiamenti del sistema visivo che sono stati riscontrati durante lo sviluppo del bambino: la massima acuità visiva viene raggiunta all'età di 6 anni, la stabilità degli occhi successiva all'esecuzione di una saccade a distanza migliora dall'età di 7-8 anni circa e prestazioni simili agli adulti a distanza prossimale vengono raggiunte tra i 10 e i 12 anni. Il processo di specializzazione neurale tra la via ventrale e la via dorsale non è ancora ultimato all'età di 6 anni ed i bambini continuano ad attivare entrambe le vie fino a che la maturazione non è completata. Inoltre è stato osservato che i bambini fino a 10 anni subiscono meno l'influenza dell'aumento della distanza tra loro e l'oggetto di interesse (Godoi e Barela, 2008). Questo comportamento ha suggerito che i cambiamenti a livello retinico riguardanti lo spostamento dell'immagine siano meno percettibili

per i bambini più piccoli ed è stato dimostrato che la maturazione delle aree visive del sistema nervoso centrale si verifica per lo più durante l'infanzia ma non è conclusa fino all'adolescenza (Lichtensteiger et al., 2008).

A livello oculomotorio è stato dimostrato che le latenze per eseguire tutti i movimenti oculari sono più lunghe nei bambini che negli adulti (Yang et al., 2002); questo fenomeno è attribuito ad uno sviluppo incompleto della corteccia ed è relativo alla maggiore difficoltà di controllare la fissazione visiva. La lunghezza delle latenze decresce nel tempo e la performance adulta è eguagliata tra i 10 e i 12 anni. È probabile che l'innescò delle saccadi e delle vergenze sia attivato da circuiti corticali simili, anche se il circuito corticale che controlla il meccanismo delle vergenze è ad oggi sconosciuto. I bambini mostrano una capacità di sincronizzazione nell'esecuzione di due diversi movimenti totalmente diversa: mentre negli adulti i movimenti combinati hanno generalmente inizio contemporaneamente, sotto i 12 anni questi sono eseguiti con asincronia e, generalmente, ha la precedenza il meccanismo di vergenza (Yang et al., 2002).

Nonostante queste differenze, i bambini dimostrano di essere in grado di accoppiare le informazioni visive alla regolazione delle oscillazioni corporee (Barela et al., 2011). Il meccanismo che coniuga le informazioni visive e le risposte posturali infatti sembra essere presente già a pochi giorni dalla nascita (Jouen et al., 2000) e viene affinato nei primi anni di vita. Questa associazione tuttavia non è completamente sviluppata fino ai 12 anni e infatti le risposte posturali dei bambini più piccoli risentono maggiormente dei cambiamenti della qualità dei segnali visivi. La visione monoculare risulta la condizione più disturbante e provoca l'interruzione della coerenza nelle risposte posturali (Barela et al., 2011). È possibile che l'uso della visione monoculare risulti maggiormente destabilizzante anche a causa del fatto che l'abilità di stabilizzare gli occhi prima dei 10 anni è meno consolidata. I bambini quindi rispondono alle manipolazioni dell'ambiente visivo con modalità simili agli adulti ma con minor forza e stabilità.

In conclusione la visione sembra essere sovrarappresentata nei bambini tra i 5 e i 16 anni e negli anziani con più di 65 anni, mentre la sua

influenza decresce e si stabilizza a partire dai 18-19 anni fino approssimativamente ai 45 anni.

Capitolo 4

Il ruolo dell'ametropia

4.1 La miopia

La miopia è un difetto della vista (ametropia) in cui i raggi luminosi provenienti da un oggetto situato all'infinito vanno a fuoco prima della retina. Il periodo durante il quale si sviluppa e si stabilizza il controllo posturale coincide con il periodo in cui solitamente insorge la miopia nei giovani. Le cause della miopia sono ritenute multifattoriali e la postura sembra essere un fattore importante per regolare il rischio di insorgenza di questo difetto refrattivo. Dal momento che, secondo la letteratura, la periferia retinica gioca un ruolo importante non solo nello sviluppo della miopia ma anche nella regolazione posturale, ci si è chiesto se gli errori refrattivi potessero influenzare il controllo posturale: presentando uno stimolo visivo in movimento nel campo periferico, è emerso che il responso posturale nei soggetti miopi è più pronunciato di quello degli emmetropi (Sayah et al., 2016). Questo risultato potrebbe essere dovuto alle differenze esistenti tra miopi ed emmetropi per quanto riguarda la forma degli occhi e le proprietà della retina periferica. È possibile anche che le diverse risposte posturali indotte dalla visione siano dovute a differenti condizioni verificatesi durante le fasi di sviluppo del sistema visivo e posturale. Altri studi (Rosenfield et al., 2004) hanno evidenziato l'esistenza di alcune distinzioni tra miopi ed emmetropi nei comportamenti visivi e nel modo di processare le percezioni luminose: i primi risultano più abili nel localizzare dei target in immagini visualizzate brevemente, sono più efficienti nell'utilizzare le informazioni contestuali provenienti dall'ambiente circostante (Giraudet e Azavant, 2006), migliorano l'acuità visiva in condizioni dinamiche ed hanno una più bassa soglia di sensibilità al movimento (Giraudet e Faubert, 2011). Perciò è anche possibile che i miopi, avendo una maggiore sensibilità visiva agli stimoli dinamici, manifestino per questo motivo delle reazioni posturali più evidenti.

La progressione della miopia rende la visione sempre più sfocata nel tempo e richiede la correzione tramite l'uso di lenti. Le lenti oftalmiche

permettono di ottenere una visione corretta ma inducono delle distorsioni ottiche. Una distorsione ottica è un'aberrazione monocromatica che altera le proporzioni dell'immagine senza cambiare la messa a fuoco (Morgan, 1978). Queste aberrazioni – che caratterizzano l'intera superficie della lente – provocano l'allungamento o l'ingrandimento dell'immagine, soprattutto nelle zone periferiche. L'entità della distorsione può variare a seconda dei parametri delle lenti e in base alla regolazione dell'occhiale sul portatore. Le lenti negative, utilizzate dai miopi, inducono una 'distorsione a barilotto' ed ampliano il campo visivo percepito ma rendono più piccola la dimensione dell'immagine. Queste lenti generano inoltre uno spostamento dell'immagine che sembra essere nella stessa direzione della rotazione della testa effettuata dal portatore (Figura 7).

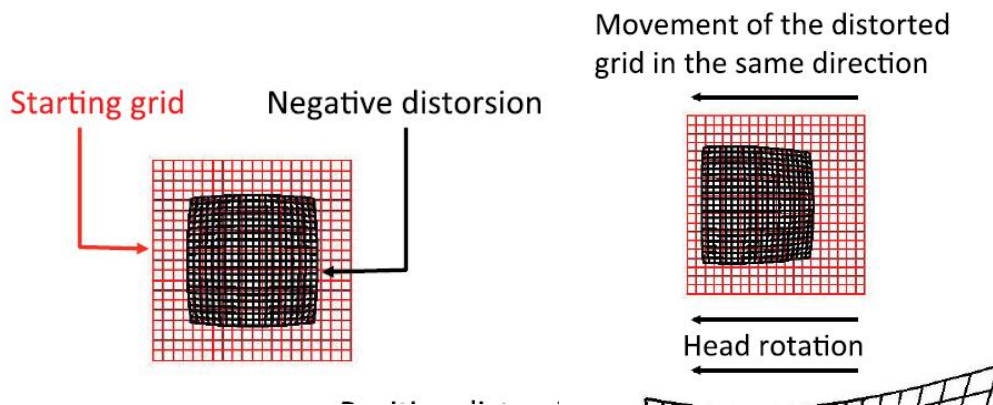


Figura 7 – Distorsione a barilotto e direzione dello spostamento dell'immagine (diretto),
(tratto dalla pagina web: <http://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2492624>).

Le lenti positive, usate per correggere l'ipermetropia, inducono una distorsione a cuscinetto e rendono più grande l'immagine di un oggetto ma il campo visivo percepito più piccolo. Lo spostamento dell'immagine – indotto dalla rotazione della testa – sembra essere opposto al senso di rotazione (Figura 8).

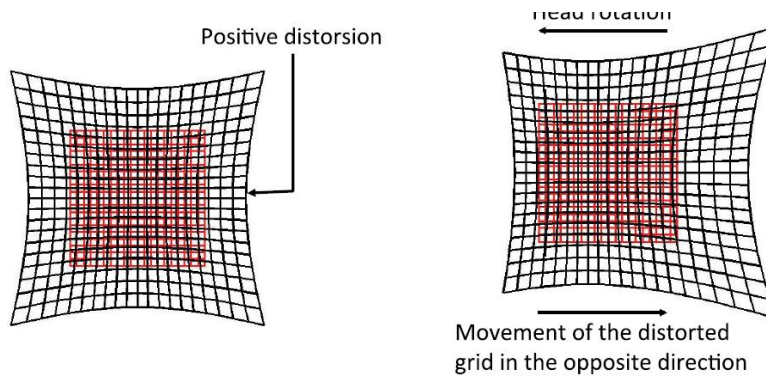


Figura 8 – Distorsione a cuscinetto e direzione dello spostamento dell'immagine (indiretto), (tratto dalla pagina web: <http://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2492624>).

Questo implica che la velocità di movimento di uno stimolo sembra ridotta con le lenti negative ed aumentata con lenti positive.

Essendo percepito il movimento in modo differente, la risposta posturale ad uno stimolo viene modificata di conseguenza. Confrontando le reazioni posturali dei soggetti miopi con quelle degli emmetropi è emerso che i miopi hanno un controllo posturale più instabile se sottoposti a distorsione negativa (o a barilotto) mentre in caso di distorsione positiva (o a cuscinetto) tendono ad adottare un comportamento non più instabile ma rigido, indurendo il corpo, per evitare il rischio di cadere (Sayah et al., 2016). Questa strategia di “irrigidimento” – secondo la letteratura – viene adottata in situazioni di pericolo e potrebbe essere dovuta ad un controllo neuromuscolare anticipatorio più raffinato, scatenato da condizioni visive molto inusuali o da variazioni anatomiche oculari che potrebbero amplificare la percezione delle distorsioni.

In conclusione si può affermare che esiste una correlazione tra l'errore refrattivo e la reattività posturale.

4.2 L'ipermetropia

L'ipermetropia è un difetto della vista in cui i raggi luminosi provenienti dall'infinito vengono focalizzati al di là della retina. Essa è stata poco studiata in relazione alla stabilità posturale e comunque non in maniera approfondita, tuttavia è stato dimostrato che – indipendentemente dal tipo di ametropia considerata – un errore refrattivo non corretto può

ridurre la stabilità generale del corpo e aumentare il rischio di cadere (Sang-Yeob et al., 2014). È stato inoltre riscontrato che nei soggetti che presentano un'alta ipermetropia la postura del capo è anomala quando non sono indossati gli occhiali correttivi. È probabile che la posizione anomala con il mento molto abbassato sia adottata per ottenere la migliore acuità visiva possibile e per mantenere la percezione binoculare, dal momento che in condizioni monoculari la posizione della testa torna ad essere nella norma (Havertape e Cruz, 1998).

4.3 La presbiopia

La presbiopia consiste in una diminuzione del potere accomodativo dell'occhio che si riscontra con l'avanzare dell'età ed è dovuta principalmente a variazioni fisiologiche del cristallino. Un soggetto inizia ad essere presbite attorno ai 45 anni e come conseguenza la sua visione prossimale diviene difficoltosa. Le lenti multifocali (o progressive) sono utilizzate da più della metà dei soggetti presbiti e forniscono una soluzione pratica per coloro che desiderano essere corretti a tutte le distanze. Esse infatti procurano una correzione graduale e continua per compensare l'insufficienza accomodativa. I portatori di lenti multifocali sono in grado di indicare quale tipologia di lente preferiscono tra diversi design. Ci sono evidenze empiriche che portano a credere che queste preferenze siano motivate da cause oggettive ma ancora non esiste un metodo ben definito che permetta di evidenziarle, per il momento si è ipotizzato che il maggiore comfort di una lente sia collegato al modo in cui il design di questa lente incida sulla flessione della testa, del collo e del tronco dei soggetti (Mateo et al., 2010).

Prove epidemiologiche indicano che le lenti multifocali negli anziani aumentano il rischio di inciampare e cadere (Lord et al., 2002; Johnson et al., 2007). Tuttavia comparando l'effetto delle lenti monofocali con quelle progressive a distanza durante la postura eretta è stato evidenziato che le seconde non causano un aumento dell'instabilità posturale (Johnson et al., 2009). È possibile che l'aumento dell'incidenza delle cadute sia dovuto all'impovertimento della visione dato dalla parte più bassa delle lenti attraverso cui i soggetti guardano il pavimento. Una strategia utile per

evitare quindi le cadute tra i portatori di lenti progressive anziani potrebbe essere quella di avvisare i soggetti che quando guardano verso il basso l'equilibrio viene mantenuto in maniera migliore se questi abbassano il capo più degli occhi.

Capitolo 5

Il ruolo delle eteroforie e degli effetti prismatici

5.1 Le vergenze verticali

L'ortoforia è l'allineamento degli assi visivi dei due occhi su un punto oggetto, l'eteroforia è una deviazione - preferenzialmente a carico di un solo occhio - rilevabile solo quando la fusione è assente e annullata durante la visione binoculare (Rossetti e Gheller, 2003). L'eteroforia verticale è il mancato allineamento degli occhi in senso verticale evidenziato interrompendo la visione binoculare ed è normalmente presente in tutti i soggetti anche se di piccola entità (0,28 diottrie prismatiche). Studi clinici (Matheron et al., 2005) hanno evidenziato un'associazione tra un dolore cronico non specifico, l'eteroforia verticale e la qualità del controllo dell'equilibrio. Per comprendere al meglio quest'associazione è stato simulato l'effetto dell'eteroforia verticale sull'equilibrio tramite l'uso di un prisma verticale base bassa del valore di due diottrie prismatiche: il prisma – posizionato davanti ad un solo occhio – devia la luce verso la base e sposta l'immagine percepita dal soggetto verso l'apice, inducendo una disparità binoculare verticale e causando dei movimenti oculomotori compensatori per ridurre la disparità. Il responso oculomotorio è piuttosto lento (può richiedere anche 8 secondi), fornisce segnali propriocettivi da ciascun muscolo ed è dipendente dalla distanza di sguardo. Le ricerche mostrano che la risposta può essere asimmetrica tra i due occhi nonostante il potere del prisma rimanga invariato (Kertesz, 1983; Ygge e Zee, 1995). L'ampiezza della vergenza verticale infatti dipende dall'occhio di fronte al quale è posto il prisma; risulta essere maggiore quando il prisma è posizionato di fronte all'occhio non dominante (motorio) a tutte le distanze ed è sempre eccessiva rispetto alla quantità di disparità verticale indotta, soprattutto a distanza ravvicinata (Matheron et al., 2008). La differenza di risposta tra i due occhi può essere dovuta alla modalità di elaborazione sensoriale della disparità o al tipo di responso motorio. È stato dimostrato che la stimolazione dell'occhio dominante attiva bilateralmente un'area più ampia della corteccia visiva primaria rispetto all'occhio non dominante

(Menon et al., 1997): è possibile che l'elaborazione della disparità sia principalmente a carico dell'occhio dominante e permetta un responso oculomotorio più efficiente ed adeguato. Questi risultati dimostrano che esiste un'integrazione tra i segnali sensoriali ed oculomotori e suggeriscono che i segnali propriocettivi provenienti dai muscoli extraoculari giocano un ruolo importante nel controllo dell'allineamento binoculare. I movimenti degli occhi indotti dal prisma esercitano un'influenza sulla postura e la stabilità posturale viene peggiorata a tutte le distanze quando l'effetto prismatico è a carico dell'occhio non dominante. Quando il prisma è posto di fronte all'occhio dominante invece, la postura viene migliorata a lunga distanza, probabilmente grazie al fatto che i muscoli extraoculari diventano meno rilassati e aumenta la quantità dei segnali motori (Matheron et al., 2007; Matheron et al., 2008). L'esatto meccanismo di azione del prisma sul controllo posturale però non è ancora conosciuto, anche se è ormai chiaro che esiste una sinergia muscolare tra i muscoli extraoculari e quelli del collo, del tronco e degli arti inferiori.

In conclusione esiste una connessione tra le vergenze verticali e la qualità della stabilità posturale; l'effetto della vergenza tuttavia non sembra essere sempre negativo.

Studi clinici riguardanti l'artralgia cronica non specifica e il mal di schiena (Scheiman e Wick, 1994) hanno individuato un'altra associazione tra l'eteroforia verticale e un'asimmetrica rotazione della testa. Utilizzando un prisma base bassa di 1 diottria è stata simulata la presenza di una foria verticale: il movimento degli occhi provocato dal prisma può portare all'attivazione dei muscoli del collo implicati nella rotazione della testa, dal momento che è conosciuta l'esistenza di una sinergia tra il controllo dei movimenti oculari e l'attività dei muscoli del collo. È stato scoperto che, indipendentemente dall'occhio che subisce la deviazione prismatica, l'eteroforia verticale riduce l'angolo medio di rotazione della testa, soprattutto verso il lato sinistro (Matheron et al., 2016). È stato però anche riscontrato che – anche senza prisma – esiste una differenza nell'ampiezza di rotazione della testa, che normalmente è maggiore verso il lato sinistro rispetto al lato destro. Il fatto che il prisma non influenzi la rotazione verso destra suggerisce che questo movimento sia meno influenzato dal

disallineamento dell'immagine indotto dal prisma ma è anche possibile che sia stato compiuto un errore nell'esecuzione dello studio. In ogni caso l'effetto a carico della rotazione del collo conferma che le foria verticale modifica l'assetto posturale.

5.2 L'effetto dei prismi gemellati

I prismi gemellati sono prismi di eguale potere ed orientamento posti di fronte ad entrambi gli occhi. Dal momento che lo spostamento dell'immagine è identico per ciascun occhio, non viene indotta diplopia ma lo spostamento dell'immagine ha lo stesso effetto di un cambiamento binoculare nella direzione di sguardo e della posizione della testa adottata per vedere un oggetto che è stato spostato di posizione. I prismi inoltre causano un ingrandimento dell'immagine verso l'apice, causando uno spostamento e una distorsione delle immagini nella scena visiva. Questo cambiamento dell'immagine influenza la percezione della localizzazione e dell'orientamento di sé e dell'ambiente e potrebbe essere accompagnata da alcuni cambiamenti compensatori a livello posturale. In passato è stato ipotizzato che indossare dei prismi gemellati a base bassa e trasferire lo sguardo verso l'alto potesse suscitare uno slittamento verso la divergenza, espandere la consapevolezza della periferia dell'immagine, provocare un rilassamento, spostare il corpo verso l'indietro ed aumentare la distanza di lavoro al punto prossimo mentre un effetto opposto era collegato ai prismi gemellati a base alta (Birnbau, 1993). Questa consapevolezza ha fatto sì che i prismi gemellati fossero spesso prescritti per trattare anomalie posturali e regolare la postura. Tuttavia le ricerche eseguite successivamente non hanno confermato queste ipotesi e l'impatto dei prismi gemellati verticali sulla testa e sul corpo ha richiesto nuove valutazioni, sia durante il porto sia dopo la loro rimozione. Studi più recenti hanno evidenziato che l'uso di prismi gemellati del valore di 5 diottrie (indipendentemente dall'orientamento della base del prisma), – su soggetti privi di anomalie posturali – non ha evidenziato alcun impatto significativo sulla postura del collo, del tronco, dei fianchi o delle anche; i prismi gemellati a base bassa però hanno prodotto un effetto significativo a carico dell'estensione della testa anche se non duraturo (Suttle et al., 2015).

Questo dato ha suggerito che l'effetto prodotto dai prismi si manifesta quasi immediatamente, senza richiedere un lungo periodo di adattamento, anche se non si possono escludere conseguenze più estese nel tempo. Secondo altre indagini (Michel et al., 2003) è plausibile che, per produrre un effetto significativo sulla postura corporea, l'effetto prismatico debba essere maggiore rispetto a quello analizzato, ma è improbabile che i soggetti tollerino agevolmente prescrizioni prismatiche più alte (Sheedy e Parsons, 1987). In sostanza l'effetto minimo a carico dell'estensione della testa associato al porto di prismi gemellati suggerisce un minimo impatto sulla postura e per il momento non supporta la prescrizione di prismi per favorire cambiamenti posturali in individui con un normale assetto posturale. Non si può comunque escludere che l'impatto sulla postura sia più significativo nei soggetti che presentino anomalie posturali.

Si è pensato inoltre che vi fosse un'associazione tra le forie verticali e quelle orizzontali tale per cui la compensazione di una foria poteva far cambiare o annullare l'altra (Rossetti e Gheller, 2003). L'uso di prismi gemellati verticali, per esempio, è stato considerato utile per migliorare i problemi di vergenze orizzontali. Tuttavia una ricerca del 2015 non ha evidenziato alcuna differenza tra l'entità delle forie orizzontali prima e dopo il porto di prismi verticali gemellati in condizioni posturali controllate (Asper et al., 2015); dunque se i prismi gemellati verticali hanno qualche beneficio sulle vergenze orizzontali, l'impatto sulle forie orizzontali non è immediato.

5.3 La diplopia

Interessanti circa gli effetti della diplopia sono gli studi condotti da Matsuo. Inducendo una diplopia verticale corrispondente a 6 diottrie prismatiche con l'uso di prismi in soggetti normali, egli analizza la stabilità posturale, mettendo a confronto la postura dei soggetti adottata prima del porto e poi durante il porto dopo 15, 30 e 60 minuti. I prismi sono stati orientati verticalmente per ridurre la possibilità che la diplopia venisse compensata dalla fusione. L'effetto della visione doppia – inaspettatamente – non ha prodotto cambiamenti sulla stabilità posturale mentre i soggetti tenevano gli occhi aperti (Matsuo et al., 2013). L'anomalo input visivo prodotto in condizioni di diplopia verticale di grande rilevanza non influenza

la postura in soggetti giovani, contrariamente alla presenza di eteroforia verticale: è probabile che la presenza di anomali segnali visivi venga compensata da un rinforzamento del sistema vestibolare e cerebellare per mantenere stabile la postura. Inoltre è stato notato un miglioramento posturale durante il porto dei prismi se gli occhi venivano chiusi, probabilmente dovuto all'annullamento delle confuse informazioni visive.

Capitolo 6

La dislessia evolutiva e l'autismo

6.1 Il controllo posturale nei bambini dislessici

La dislessia evolutiva è una condizione caratterizzata dall'incapacità di raggiungere le abilità di lettura e di apprendimento attese in base all'età, nonostante la presenza di un'adeguata abilità intellettuale e di un'educazione ed istruzione sufficiente. La prevalenza della dislessia varia dal 7 al 17% della popolazione e per questo è uno dei disordini dello sviluppo più diffuso (Rochelle e Talcott, 2006). La dislessia non comporta solamente delle difficoltà implicate nella lettura, ma anche dei deficit del sistema uditivo, visivo e motorio. Diversi studi hanno dimostrato che i bambini e gli adulti dislessici hanno delle prestazioni inferiori rispetto ai non-dislessici nei compiti che coinvolgono la stabilità posturale (Pozzo et al., 2006; Patel et al., 2010; Brookes et al., 2010), nonostante siano in grado di utilizzare le informazioni provenienti dal sistema visivo per regolare le oscillazioni corporee. Negli adolescenti dislessici è stata evidenziata inoltre una marcata instabilità di fissazione nei compiti che richiedono una fissazione prolungata e una ridotta capacità di mantenere l'angolo di vergenza alla profondità richiesta (Kapoula e Bucci, 2007).

Si suppone che nei dislessici vi sia una carenza visiva a carico del sistema magnocellulare dal momento sono stati riscontrati una sensibilità al contrasto ridotta, deficit a livello di attenzione e localizzazione spaziale e uno scarso controllo dei movimenti oculari (Eden et al., 1996; Livingstone et al., 1991). Tuttavia nel contempo i bambini dislessici sembrano essere maggiormente dipendenti dalle informazioni visive, dal momento che dimostrano una maggiore instabilità posturale quando i vincoli d'equilibrio aumentano (per esempio stando su un piede) e gli input visivi vengono a mancare (Pozzo et al., 2006). I bambini dislessici sono in grado di eseguire compiti motori complessi, ma non in maniera efficiente e accurata quanto i coetanei non-dislessici e hanno un tempo di controllo ottimale più breve (Kapoula et al., 2012). La constatazione che i bambini dislessici accoppiano le informazioni visive con minor forza all'equilibrio del corpo e le difficoltà

riscontrate nella lettura e nella scrittura hanno indotto alcuni autori a pensare che la dislessia sia collegata ad un deficit dell'automatizzazione (Barela et al., 2011). In ogni caso, visto che l'equilibrio è una funzione che richiede un'integrazione raffinata di diversi input sensoriali, constatare l'esistenza di una correlazione tra gli aspetti posturali e la dislessia non è così sorprendente.

È stato infine riscontrato che l'uso di lenti oftalmiche o di prismi nei bambini dislessici non porta alcun beneficio, ma anzi aumenta l'instabilità posturale. I dislessici dimostrano una particolare difficoltà con richieste accomodative elevate e in queste circostanze devono spendere molta energia per controllare le oscillazioni corporee ed ottenere una postura simile a quella dei non-dislessici (Kapoula et al., 2012).

6.2 Il controllo posturale nei bambini affetti da autismo

L'autismo è una sindrome che si manifesta con profondo distacco dall'ambiente, comportamenti motori ripetitivi e monotoni, indifferenza ai consueti vezzeggiamenti, linguaggio assente o privo di valore comunicativo. I bambini affetti da autismo spesso presentano una postura corporea distorta e maggiormente instabile rispetto ai coetanei neurotipici, per esempio stando in punta di piedi, inarcando la schiena, manifestando un'ipertensione del collo e disordini durante il movimento e la camminata (Gepner et al., 1995; Vilensky et al., 1981). È stata documentata inoltre la difficoltà ad instaurare un contatto oculare nelle relazioni sociali e affettive, la tendenza a tenere la testa inclinata e a osservare dagli angoli degli occhi (Dawson et al., 1990) e una maggiore quantità di saccadi normalmente eseguite (Kemner et al., 1998). Questi comportamenti anomali potrebbero contribuire all'incapacità dei bambini affetti da autismo a prestare attenzione agli stimoli sociali.

È stato dimostrato che il porto di prismi gemellati permette di ottenere dei cambiamenti positivi nell'orientamento spaziale di questi soggetti, andando a migliorare anche l'assetto posturale (Carmody et al., 2000; Kaplan et al., 1997; Kaplan et al., 1996; Dennis et al., 2001). L'uso di prismi gemellati verticali infatti induce nella maggior parte dei soggetti uno slittamento della posizione del corpo e del capo verso la posizione eretta,

comporta un rilassamento dell'espressione facciale e migliora le prestazioni motorie consentendo di afferrare oggetti più facilmente e indicando un accrescimento dell'attenzione spaziale. L'osservazione dei cambiamenti comportamentali indotti dall'uso di una correzione prismatica ha portato alla conclusione che non tutti i soggetti reagiscono allo stesso modo: alcuni individui rispondono più favorevolmente ai prismi gemellati base bassa e altri ai prismi gemellati base alta (Dennis et al., 2001).

In conclusione, l'uso dei prismi gemellati verticali aumenta la consapevolezza della posizione e dell'orientamento del soggetto affetto da autismo nello spazio e la sua risposta all'ambiente, suggerendo l'utilità di questi strumenti per ridurre o eliminare alcuni sintomi caratteristici di questa sindrome.

BIBLIOGRAFIA

Amblard B., Crémioux J., Marchand A.R., Carblanc A.; Lateral orientation et stabilization of human stance: static versus dynamic visual cues; *Exp Brain Res*; 1985; 31; pp 21–37.

Asper L., Leung A., Tran C., Suttle C.M., Watt K.; The effects of vertical yoked prism on horizontal heterophoria; *Optometry and vision science*; 2015; 92; pp 1016-1020.

Barela A.J., Sanches M., Lopes A.G., Razuk M., Moraes R.; Use of monocular and binocular visual cues for postural control in children; *Journal of Vision*; 2011; 11(12); pp 1-10.

Barela J.A., Dias J.L., Godoi D., Viana A.R., de Freitas P. B.; Postural control and automaticity in dyslexic children: the relationship between visual information and body sway; *Research in Developmental Disabilities*; 2011; 32; pp 1814-1821.

Bear M., Connors B., Paradiso M.; *Neuroscience: exploring the brain*; Edra S.p.a; Milano; 2016.

Birnbaum M.H.; *Optometric management of nearpoint vision disorders*; Butterworth-Heinemann; Boston; 1993.

Brandt T., Paulus W., Straube, A.; Vision and posture; in: *Disorders of posture*; Bles W., Brandt T.; Elsevier Science Publishers; Amsterdam, New-York, Oxford; 1986; pp 157-175.

Brookes R.L., Tinkler S., Nicolson R.I., Fawcett A.J.; Striking the right balance: Motor difficulties in children and adults with dyslexia; *Dyslexia*; 2010; 16; pp 358–373.

Bucci M.; *Oftalmologia*; Società editrice universo; Roma; 1993; pp 1-273.

Carmody D.P., Domingo E.S., Lewkowitz K.C.; Modification of attention and spatial orientation in a child with motor disabilities; In review; 2000.

Casini M., Esente S., Panzera F., Saggini R., Sarti G.; *Visione e postura. Ginnastica oculare e prescrizione prismatica monolare nel trattamento delle alterazioni posturali*; Fabiano Editore; Canelli; 2010; pp 27-48.

Connelly S., Hasher L.; Aging and the inhibition of spatial location; *J Exp Psychol Human*; 1993; 19; pp 1238-1250.

Coull J., Weir P.L., Tremblay L., Weeks D.J., Elliott D.; Monocular and binocular vision in the control of goal-directed movement; *Journal of Motor Behavior*; 2000; 32(4); pp 347–360.

Dawson G., Hill D., Spencer A., Galpert L., Watson L.; Affective exchanges between young autistic children and their mothers; *Journal of Abnormal Child Psychology*; 1990; 18; pp 335–345.

Demer J.L.; Compartmentalization of extraocular muscle function; *Eye*; 2015; 29; pp 157-162.

Dennis P.C., Kaplan M., Gaydos A.M.; Spatial orientation adjustments in children with autism in Hong Kong; *Child Psychiatry and Human Development*; 2001; 31; pp 233-247.

Eden G.F., VanMeter J.W., Rumsey J.M., Maisog J.M., Woods R.P., Zeffiro T.A.; Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging; *Nature*; 1996; 382; pp 66-69.

Era P., Sainio P., Koskinen S., Haavisto P., Vaara M., Aromaa A.; Postural balance in a random sample of 7979 subjects aged 30 years and over; *Gerontology*; 2006;159; pp 204-213.

Facchin A.; Le abilità visuospatiali; in: *Il bambino e le abilità di lettura*; Maffioletti S., Pregliasco R., Ruggeri L.; FrancoAngeli; Milano; 2005; I parte.

Gagey Pierre Marie; Weber Bernhard G.; *Posturologia. Regolazione e perturbazioni della stazione eretta*; Marrapese; Roma; 2000.

Gepner B., Mestre D., Masson G., De Schonen S.; Postural effects of motion vision in young autistic children; *NeuroReport*; 1995; 6; pp 1211–1214.

Ghasia F.F., Shaikh A.G.; Uncorrected myopic refractive error increases microsaccade amplitude; *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 2015; 56; pp 2531-2535.

Ghez C.; Posture (chapter 39); in: Principles of neural science; Kandel E. R., Schwartz J.H., Jessel T.M.; Prentice Hall International; New York; 1991; pp 612-623.

Giraudet G., Azavant L.; Object localization in blurred and jumbled scenes: differences between myopic and emmetropic observers; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2006; 47; pp 4146-4151.

Giraudet G., Faubert J.; Myopes exhibit better performances than emmetropes for dynamic visual perception tasks; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2011; 52; E2812.

Havertape S.A., Cruz O.A.; Abnormal head posture associated with high hyperopia; jaapos; 1998; 2; pp 12-16.

Hubel D.H.; Exploration of the primary visual cortex; Nature; 1982; 299; pp 515-524.

Isotalo E., Kapoula Z., Feret P.H., Gauchon K., Zamfirescu F., Gagey P.M.; Monocular versus binocular vision in postural control; Auris nasus larynx; 2004; 31; pp 11-17.

Johnson L., Buckley J., Scally A., Elliott D.; Multifocal spectacles increase variability in toe clearance and risk of tripping in the elderly; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2007; 48; pp 1466–1471.

Johnson L., Elliott D.B., Buckley J.G.; Effects of gaze strategy on standing postural stability in older multifocal wearers; Clinical and Experimental Optometry; 2009; 92; pp 19-26.

Jonsson E., Seiger A., Hirschfeld H.; Postural steadiness and weight distribution during tandem stance in healthy young and elderly adults; Clinical Biomechanics; 2005; 20; pp 202-208.

Jouen F., Lepecq J.C., Gapenne O., Bertenthal B.I.; Optic flow sensitivity in neonates; Infant behaviour and development; 2000; 23; pp 271-284.

Kaplan M., Dennis P.C, Gaydos A.; Postural orientation modifications in autism in response to ambient lenses; Child Psychiatry and Human Development; 1996; 27; pp 81-91.

Kaplan M., Edelson S.M., Seip J.L.; Behavioral changes in autistic individuals as a result of wearing ambient transitional prism lenses; *Child Psychiatry and Human Development*; 1998; 29; pp 65-76.

Kapoula Z., Bucci M.P.; Postural control in dyslexic and non dyslexic children; *Journal of Neurology*; 2007; 254; pp 1174-1183.

Kapoula Z., Gaertner C., Matheron E.; Spherical lenses and prisms lead to postural instability in both dyslexic and non dyslexic adolescents; *PLoS ONE*; 2012; 7; e46739.

Kemner C., Verbaten M.N., Cuperus J.M., Camfferman G., Van Engeland H.; Abnormal saccadic eye movements in autistic children; *Journal of Autism and Developmental Disorders*; 1998; 28; pp 61–67.

Kertesz A.E.; Vertical and cyclofusional disparity vergence; in: *Vergence eye movements*; Schor C.M., Ciuffreda K.J.; Butterworth-Heinemann; Boston; 1983; pp 317-348.

Kogler A., Lindfors J., Odkvist L.M., Ledin T.; Postural stability using different neck positions in normal subjects and patients with neck trauma; *Acta Oto-Laryngol*; 2000; 120; pp 151–155.

Lê T., Kapoula Z.; Distance impairs postural stability only under binocular viewing; *Vision Research*; 2006; 46; pp 3586-3593.

Lichtensteiger J., Loenneker T., Bucher K., Martin E., Klaver P.; Role of dorsal and ventral stream development in biological motion perception; *Neuroreport*; 2008; 19; pp 1763-1767.

Livingstone M.S., Rosen G.D., Drislane F.W., Galaburda A.M.; Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia; *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*; 1991; 88; pp 7943-7947.

Lord S.R., Dayhew J., Howland A.; Multifocal glasses impair edge-contrast sensitivity and depth perception and increase the risk of falls in older people; *Journal of the American Geriatrics Society*; 2002; 50; pp 1760–1766.

Lord S.R., Menz H.B.; Visual contributions to postural stability in older adults; *Gerontology*; 2000; 46; pp 306-310.

Lord S.R.; Visual risk factors for falls in older people; *Age Ageing*; 2006; 35; pp ii42-5.

Maffioletti S., Ravasi A.; Le abilità oculomotorie nell'analisi visiva integrata (AVI); *Il mondo dell'ottica*; 2007; 30; pp 106-109.

Martinez-Conde S., Macknik S.L.; Finestre sulla mente; *Neuroscienze*; 2007; 470; pp 72-79.

Mateo B., Porcar-Seder R., Solaz J.S, Dürsteler J.C.; Experimental procedure for measuring and comparing head-neck-trunk posture and movements caused by different progressive addition lens designs; 2010; 53; pp 904-913.

Matheron E., Lê T., Yang Q., Kapoula Z.; Effects of a two-diopter vertical prism on posture; *Neuroscience Letters*; 2007; 423; pp 236-240.

Matheron E., Quercia P., Weber B., Gagey P.M.; Vertical heterophoria and postural deficiency syndrome; *Gait Posture*; 2005; 21; pp S132-S133.

Matheron E., Yang Q., Lê T., Kapoula Z.; Effects of ocular dominance on the vertical vergence induced by a 2-diopter vertical prism during standing; *Neuroscience Letters*; 2008; 444; pp 176-180.

Matheron E., Zandi A., Wang D., Kapoula Z.; A 1-diopter vertical prism induces a decrease of head rotation: a pilot investigation; *Frontiers Neurology*; 2016; 7; article 62.

Matsuo T., Yamasaki H., Yasuhara H., Hasebe K.; Postural stability changes during large vertical diplopia induced by prism wear in normal subjects; *Acta Medica Okayama*; 2013; 67; pp 177-183.

Menon R.S., Ogawa S., Strupp J.P., Ugurbil K.; Ocular dominance in human V1 demonstrated by functional magnetic resonance imaging; *Journal of Neurophysiology*; 1997; 77; pp 2780-2787.

Michel C., Rossetti Y., Rode G., Tilikete C.; After-effects of visuo-manual adaptation to prisms on body posture in normal subjects; *Experimental Brain Research*; 2003; 148; pp 219-226.

Midena E.; *Malattie dell'apparato visivo*; Cedam; Verona; 2006; pp 1-18.

Mohapatra S., Krishnan V., Aruin A.S.; The effect of decreased visual acuity on control of posture; *Clinical Neurophysiology*; 2012; 123; pp 173-182.

Moraes R., Freitas P.B., Razuk M., Barela J.A.; Quality of Visual Cue Affects Visual Reweighting in Quiet Standing; *PLoS ONE*; 2016; 11(3); e0150158.

Morgan M.; *The optics of ophthalmic lenses*; Professional Press; Berkeley; 1978.

Patel M., Magnusson M., Lush D., Gomez S., Fransson P. A.; Effects of dyslexia on postural control in adults; *Dyslexia*; 2010; 16; pp 162–174.

Paulus, W., Straube, A., Krafczyk, S., Brandt T.; Differential effects of retinal target displacement, changing size and changing disparity in the control of anterior/posterior and lateral body sway; *Experimental Brain Research*; 1989; 78(2); pp 243–252.

Poulain I., Giraudet G.; Age-related changes of visual contribution in posture control; *Gait & Posture*; 2007; 27; pp 1-7.

Pozzo T., Vernet P., Creuzot-Garcher C., Robichon F., Bron A., Quercia P.; Static postural control in children with developmental dyslexia; *Neuroscience Letters*; 2006; 403; pp 211-215.

Rochelle K.S.H., Talcott J.B.; Impaired balance in developmental dyslexia? A meta-analysis of the contending evidence; *Journal of Child Psychology and Psychiatry*; 2006; 47(11); pp 1159–1166.

Rosenfield M., Hong S.E., George S.; Blur adaptation in myopes; *Optometry and Vision Science*; 2004; 81; pp 657–662.

Rossetti A., Gheller P.; *Manuale di optometria e contattologia*; Zanichelli; Bologna; 2003; pp 162-165.

Sang-Yeob K., Byeong-Yeon M., Hyun Gug C.; Changes of body balance on static posture according to types of induced ametropia; Journal of Korean Ophthalmic Optics Society; 2014; 19; pp 239-246.

Santos M.J., Kanekar N., Aruin A.S.; The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture; Journal of Electromyography and Kinesiology; 2010; 20; pp 388-397.

Sayah D.N., Asaad K., Hanssens J., Giraudet G., Faubert J.; Myopes show greater visually induced postural responses than emmetropes; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2016; 57; pp 551-556.

Scheiman M., Wick B.; Clinical Management of binocular vision, heterophoric, accommodative and eye movement disorders; Lippincott; Philadelphia; 1994; pp 405-440.

Schmid M., Casabianca L., Bottaro A., Schieppati M.; Graded changes in balancing behavior as a function of visual acuity; Neuroscience; 2008; 153; pp 1079-1091.

Scoppa F.; Posturologia: il modello neurofisiologico, il modello biomeccanico, il modello psicosomatico; Otoneurologia 2000; 2002; 9; pp 3-13.

Serrao M., Rossi P., Parisi L., Perrotta A., Bartolo M., Cardinali P., Amabile G., Pierelli F.; Trigemino-cervical-spinal reflex in humans; Clinical Neurophysiology; 2003; 114; pp 1697-1703.

Sheedy J.E., Parsons S.D.; Vertical yoked prism – patient acceptance and postural adjustment; Ophthalmic & Physiological Optics; 1987; 7; pp 255-257.

Suttle C.M., Asper L.J., Sturnieks D., Menant J.; Negligible impact on posture from 5-diopter vertical yoked prisms; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2015; 56; pp 2980-2984.

Ustinova K.I., Perkins J.; Gaze and viewing angle influence visual stabilization of upright posture; Brain and Behaviour; 2011; 1; 19-25.

Vilensky J.A., Damasio A.R., Maurer R.G.; Gait disturbances in patients with autistic behavior; *Archives of Neurology*; 1981; 38; pp 646–649.

Vuillerme N., Rougier P.; Effects of head extension on undisturbed upright stance control in humans; *Gait & Posture*; 2005; 21; 318–325.

Willis R.J., Vitale S.E., Agrawal Y., Ramulu P.Y.; Visual impairment, uncorrected refractive error and objectively measured balance in the United States; *JAMA Ophthalmology*; 2013; 131(8); pp 1049-1056.

Winter D.A.; Human balance and posture control during standing and walking; *Gait & Posture*; 1995; 3; 193-214.

Yang Q., Bucci M.P., Kapoula Z.; The latency of saccades, Vergence, and Combined Eye Movements in children and in adults; *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 2002; 43; pp 2939-2949.

Ygge J., Zee D.S.; Control of vertical eye alignment in three-dimensional space; *Vision Research*; 1995; 35; pp 3169-3181.

Zara L.; Ricostruzione 3D e valutazione della mobilità del rachide tramite motion capture: applicazione nella spondilite achilosante; Tesi di laurea del corso di laurea specialistica in bioingegneria discussa presso l'università degli studi di Padova nell'anno accademico 2009-2010; pp 35-36.