

Università degli studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei"

Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

Visione nell'astigmatismo: percezione e variazioni tra rotazione
della lente compensatrice e rotazione del capo

Relatore: Prof. Rossetti Anto

Correlatore: Prof. Battaglini Luca

Laureanda: Tenani Silvia
Matricola: 1178843

Anno accademico: 2021-2022

ABSTRACT

Scopo dell'indagine: Verificare se a) la rotazione di compensazione degli occhi durante l'inclinazione del capo è simile in soggetti astigmatici e non astigmatici; b) qual è la condizione visiva indotta da un errore di rotazione del capo e una rotazione dell'asse della lente compensatrice della stessa entità, due situazioni otticamente simili.

Nelle varie posizioni di inclinazione della testa, nella condizione naturale, si considera generalmente presente un riflesso fisiologico di movimento oculare torsionale controllato dall'apparato vestibolare detto riflesso vestibolo-oculare (VOR) che risponde spostando gli occhi in senso contrario al movimento della testa per mantenere la visione stabile.

In questo studio si usa l'esame di topografia corneale per verificare tale rotazione torsionale dell'occhio, sia in soggetti astigmatici sia in non astigmatici. L'ipotesi è che, durante la rotazione del capo, per il soggetto astigmatico la visione peggiori se alla rotazione del capo e delle lenti correttive non è associata una rotazione dell'occhio di compensazione oppure che la visione si mantenga simile in caso ci sia tale compensazione.

Materiali e metodi: Sono stati coinvolti soggetti con astigmatismo $\geq 1.00D$, 24 soggetti (33 occhi) e un gruppo di controllo. I soggetti sono stati sottoposti a test dell'acuità visiva (AV) e sensibilità al contrasto (SC) prima con testa dritta, poi con rotazione del capo a 10° e 20° in una direzione, con correzione abituale. I test sono ripetuti con testa dritta ma rotazione dell'asse compensatrice dell'astigmatismo di 10° e 20° . I test AV e SC sono monoculari ed effettuati con il sistema FrACT (Freiburg Acuity Contrast Test), mire C di Landolt e procedura psicofisica automatizzata (bestPEST). Il gruppo controllo è di 8 soggetti non astigmatici o astigmatici $< 1D$ che non utilizzano occhiali. Si è eseguita la topografia corneale in ogni soggetto in posizione primaria e inclinazione verso sinistra per controllare la contro-rotazione dell'occhio (VOR).

Risultati: L'acuità visiva è significativamente migliore con inclinazione del capo che con la rotazione dell'asse compensatrice, sia per rotazione di 10° che per 20° . Anche la sensibilità al contrasto indica una visione migliore con inclinazione del capo che con la rotazione dell'asse compensatrice. Con la valutazione della topografia corneale è stato visto che la rotazione dell'occhio è circa la stessa con la rotazione del capo, sia i soggetti con astigmatismo che non astigmatici. Non risulta presente per questa particolare rotazione dell'occhio di compensazione, questo conferma altra letteratura recente.

Discussione: I risultati, altamente significativi, evidenziano una migliore AV e SC con rotazione del capo rispetto ad una pari rotazione dell'asse della lente correttiva. Questo pare indicare la presenza di un meccanismo di compensazione percettiva o di una compensazione della rotazione durante l'uso della correzione astigmatica nelle condizioni di inclinazione del capo, poichè l'occhio si trova disallineato rispetto alla correzione, ma si presenta solo modesta riduzione di acuità rispetto alla condizione di controllo. Il dato è di interesse nella attività professionale quotidiana.

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
1 CAPITOLO: ASTIGMATISMO.....	3
1.1 IPOTESI DELLO STUDIO.....	8
1.2 INTRODUZIONE AL SISTEMA VESTIBOLARE.....	9
1.2.1 <i>Anatomia e funzioni del sistema vestibolare</i>	9
1.2.2 <i>Sistema vestibolo-oculare</i>	15
1.2.3 <i>Efficienza del VOR</i>	17
2 CAPITOLO: MATERIALI E METODI.....	19
2.1 DISEGNO DELLO STUDIO E METODO.....	19
2.2 PROTOCOLLO DI STUDIO	23
2.3 SOGGETTI.....	27
2.4 IL GRUPPO CONTROLLO.....	28
2.5 IL PROGRAMMA FrACT.....	29
2.6 ANALISI STATISTICA.....	31
3 CAPITOLO: RISULTATI.....	33
3.1 ANALISI DEI RISULTATI.....	33
3.2 CONFRONTO ACUITA' VISIVA	38
3.3 CONFRONTO SENSIBILITA' AL CONTRASTO.....	51
3.4 CONFRONTO CON IL GRUPPO CONTROLLO.....	59
3.5 CONFRONTO TOPOGRAFIE.....	64
4 DISCUSSIONE.....	69
5 BILIOGRAFIA.....	75

INTRODUZIONE

Quando si parla di astigmatismo facciamo riferimento ad un ametropia frequente in campo optometrico. L'astigmatismo è solitamente correlato ad ipermetropia e/o miopia. L'immagine in presenza di astigmatismo è percepita non solamente sfuocata ma anche distorta.

La correzione dell'astigmatismo richiede una posizione specifica della lente correttiva; potrebbe sembrare che inclinando la testa durante l'osservazione, l'immagine sia distorta a causa dei movimenti del capo. In realtà gli occhi tendono a ruotare nella direzione opposta all'inclinazione del capo grazie al sistema vestibolo-oculare posto a livello dell'orecchio medio per mantenere o approssimare la verticalità.

Il sistema vestibolo-oculare ha lo scopo di creare una contro rotazione dell'occhio quando la testa è inclinata (anche se ruota in diverse direzioni). Esso permette di far arrivare l'immagine dritta e nitida in retina.

Il contenuto di questa tesi confronta due tipologie di visione, una con testa dritta e asse dell'astigmatismo ruotato e l'altra con testa inclinata e occhiali da correzione indossati. Tale condizione è otticamente simile, ma nella realtà ci sono differenze in relazione alla risposta della controrotazione dell'occhio a guida vestibolare.

Nello svolgimento dello studio sono state misurate l'acuità visiva e la sensibilità al contrasto con le C di Landolt mediante il sistema FrACT (procedura automatizzata).

L'ipotesi dello studio sostiene che i valori di acuità siano significativamente maggiori in condizione di rotazione del capo, rispetto alla rotazione dell'asse della lente correttiva con capo in posizione verticale. I test sono stati eseguiti sia con la testa inclinata di 10° e 20°, sia con testa dritta e asse dell'astigmatismo ruotato.

I soggetti inclusi nello studio dovevano essere astigmatici di almeno una diottria e utilizzare abitualmente occhiali. Il gruppo di controllo era invece composto da soggetti prevalentemente non astigmatici e soggetti con astigmatismo minore di una diottria, ma con lenti a contatto, per confrontare la condizione visiva indotta da un errore di rotazione dell'asse del cilindro correttore con testa dritta e con rotazione del capo.

L'obiettivo dello studio è valutare le variazioni nei due diversi tipi di visione descritti in precedenza, aspettandosi dei valori teorici senza differenze significative; vedremo che, in realtà, con testa inclinata la visione sarà migliore che ruotando la lente compensatrice.

1 CAPITOLO: ASTIGMATISMO

La condizione di astigmatismo si presenta come un'ametropia nella quale i diottri oculari, dispongono di due meridiani con potere diverso e perpendicolari tra loro. Quando un diottro non forma la stessa immagine in un meridiano rispetto ad un altro si forma un'immagine che non è puntiforme, il termine dal greco *a=non*, *stigma=punto* (non-puntuale, non puntiforme). Il fascio di raggi compreso tra le due focali crea una specifica forma geometrica e prende il nome di *conoide di Sturm*. All'interno di questo intervallo esiste una porzione trasversale del fascio di raggi, avente sezione circolare, in cui lo sfocamento è minore: il disco di minima confusione. La lunghezza delle due focali e la distanza tra loro determina l'entità dell'astigmatismo, a questo corrisponde il valore della compensazione ottica cilindrica della lente. [1]

Gli errori di rifrazione astigmatici determinano riduzioni delle prestazioni visive sia per le attività a lunga distanza che per attività a distanza ravvicinata. L'effetto ottico dell'astigmatismo sulla qualità dell'immagine retinica provoca variazioni sia lungo l'asse dell'astigmatismo, sia lungo il contrasse.

L'astigmatismo è causato da una differenza di curvature delle superfici oculari, che possono essere la cornea o il cristallino, pertanto è tipicamente a causa refrattiva. Si parla di astigmatismo regolare quando ci sono due meridiani principali, tra loro ortogonali che determinano le due focali, irregolare quando l'astigmatismo è causato da variazioni di forma o di indice di rifrazione dei mezzi ottici in cui le sezioni di massimo e minimo potere non sono ortogonali.

La prevalenza nella popolazione mondiale di astigmatismo maggiore di 1.00D è del 23.9%. [2]

La superficie anteriore della cornea fornisce i 2/3 del potere diottrico oculare, quindi una eventuale differenza tra due meridiani determina la presenza di astigmatismo corneale prevalente.

L'astigmatismo interno è l'astigmatismo che non deriva dalla superficie anteriore della cornea ed è di norma contro regola. Il valore dell'astigmatismo varia individualmente per entità e posizione.

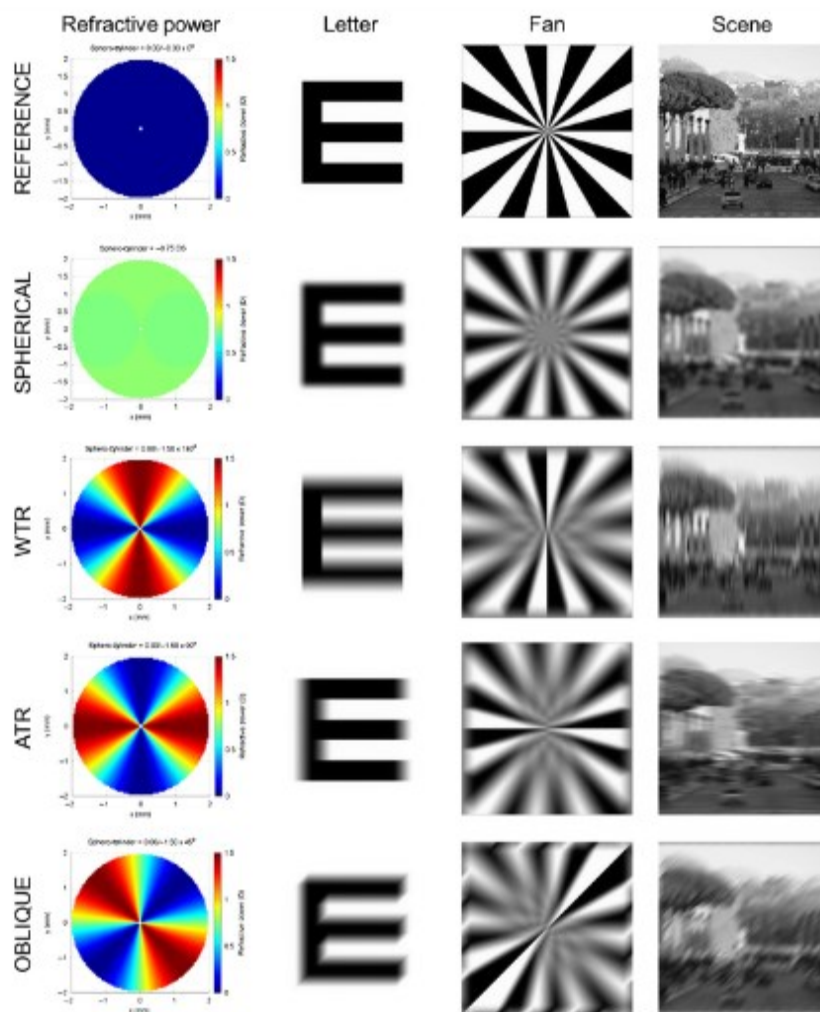


Figura 1: Simulazione della visione di un soggetto astigmatico, con immagini filtrate attraverso lo specifico astigmatismo. Nella prima colonna si possono notare gli astigmatismi, nella seconda la lettera E di Snellen, nella terza un reticolo e nell'ultimo un immagine. Spostandosi sulla prima riga si trovano le immagini di riferimento (nitide), nella seconda una refrazione sferica (0.75D) e elevato sfuocamento, nel terzo caso gli effetti di un astigmatismo contro regola poi secondo regola e nell'ultimo obliquo (1.50D). [3]

La correzione dell'astigmatismo si basa sulla fusione delle due linee focali sullo stesso piano, annullando la conoide di Sturm sino a focalizzare su un unico punto. Se l'errore astigmatico non è corretto, gli elementi dell'immagine proiettata sulla retina all'interno di questo spazio sarà composta da cerchi, ellissi o linee, ma mai da singoli punti nitidi, causando una sfocatura dell'immagine complessiva.

Dato un punto oggetto distante ciascuna delle due linee focali è situata nel fuoco principale che corrisponde ad un meridiano.

Esistono cinque forme di astigmatismo:

1. *Ipermetropico semplice*, quando una focale cade dopo il piano retinico e l'altra su quest'ultimo;
2. *Ipermetropico composto*, quando entrambe le focali cadono dopo il piano retinico;
3. *Miopico semplice*, quando una focale cade prima del piano retinico e l'altra su quest'ultimo;
4. *Miopico composto*, quando entrambe le focali cadono prima del piano retinico;
5. *Misto*, quando le focali cadono una prima e l'altra dopo il piano retinico;

La compensazione ottica dell'astigmatismo è comunemente ottenuta con lenti oftalmiche o lenti a contatto e, meno frequentemente, con altri sistemi (ad esempio chirurgia refrattiva).

Lac inserite negli occhiali sono il tipo di correzione più comune; rimangono in una posizione fissa davanti all'occhio e senza contatto con questo, in genere non sono soggette a rotazioni che possono influenzare la visione in quanto fisse nella montatura.

Per le lenti oftalmiche è necessario rispettare le tolleranze di centraggio, attualmente norme ISO 8980-1: [4]

Per astigmatismi con cilindro $\geq 0,125$ e $\leq 0,25D$: $\pm 16^\circ$

Per astigmatismi con cilindro $>0,25D$ e $\leq 0,50D$: $\pm 9^\circ$

Per astigmatismi con cilindro $>0,50D$ e $\leq 0,75$: $\pm 6^\circ$

Per astigmatismi con cilindro $> 0,75D$ e $\leq 1,50D$: $\pm 4^\circ$

Per astigmatismi con cilindro $> 1,50D$ e $\leq 2,50D$: $\pm 3^\circ$

Per astigmatismi con cilindro $> 2,50D$: $\pm 2^\circ$

Rotazioni della lente correttrice superiori agli angoli indicati dalle tolleranze, inducono una incompleta correzione e un astigmatismo residuo che riduce l'acuità visiva.

Esistono diverse tipologie di geometrie di costruzione per le lenti oftalmiche, la più usata è la lente sfero-torica nella quale una superficie ha due curvature e un'altra sferica; la notazione del potere delle lenti avviene nella forma sferocilindrica equivalente, dove viene descritto il potere sferico e il potere cilindrico con relativo asse di orientamento.

Per le lenti a contatto invece esistono ulteriori parametri da seguire perché non può essere mantenuta in posizione fissa come gli occhiali, ma segue l'occhio generalmente anche nelle varie rotazioni. Per esempio, si valuta la dinamica della lente a contatto, come reagisce all'ammiccamento, come si comporta nelle direzioni secondarie di sguardo, la lente, all'ammiccamento, non deve ruotare di un valore angolare superiore a 5° . [5]

Poiché le lenti a contatto sono aderenti all'occhio, i loro effetti sull'ingrandimento dell'immagine sono minimi, pertanto la correzione dell'astigmatismo con le lenti a contatto non provoca le stesse distorsioni spaziali che possono verificarsi con le lenti oftalmiche.

La necessità di un accurato allineamento dell'asse della lente a contatto (Lac) torica con l'astigmatismo totale dell'occhio crea una sfida per alcune forme di correzione delle lenti a contatto che non esistono nella stessa misura con la correzione degli occhiali; al tempo stesso la Lac permette correzioni non possibili con occhiali.

Lac toriche hanno un metodo di costruzione specifico, è importante conoscere il sistema di stabilizzazione, ogni lente a contatto ha un sistema di orientamento dove vengono posti i cosiddetti punti di repere che forniscono una valutazione del sistema asse/cilindro per poter identificare una rotazione dell'asse.

Il disallineamento tra la Lac torica e l'astigmatismo può causare un sostanziale astigmatismo residuo e una correzione inadeguata che altera visione e acuità, come accade anche con gli occhiali, ad esempio se eccedono le tolleranze indicate in precedenza.

La maggior parte delle linee guida pubblicate per correggere l'astigmatismo suggerisce che qualsiasi astigmatismo $> 1,00$ D, o quello che diminuisce l'acuità visiva (AV) a meno di 6/10, dovrebbe essere considerato significativo; [6] esistono diversi pensieri sull'argomento.

È convenzione correggere solamente astigmatismi $\geq 0,75$ D con lenti a contatto morbide toriche [7] per un equilibrio di fattori pro/contro, se dà difficoltà anche 0,50.

La maggior parte delle lenti a contatto toriche non sono disponibili con meno di 1 Diottria di cilindro. [8]

La visione non corretta di un occhio astigmatico è influenzata da diversi fattori: la quantità di astigmatismo, il tipo di astigmatismo e la direzione dell'asse.

È stato visto in diversi studi che i soggetti si adattano alla visione non corretta dell'astigmatismo.

Uno studio in particolare ha valutato, oltre all'adattamento, cosa succedeva dopo aver indossato la correzione adatta. Questo è stato testato attraverso soggetti con il compito di identificare l'orientamento di un'immagine sfuocata artificialmente, modificando l'orientamento della sfocatura secondo l'asse di astigmatismo naturale dei soggetti.

Lo spostamento del punto neutro percepito dopo la correzione dell'astigmatismo era altamente correlata con la quantità di astigmatismo naturali. Infine si è visto che la correzione adatta dell'astigmatismo cambia significativamente la percezione del punto neutro, anche dopo un breve periodo di adattamento.

Diversi studi indicano che l'astigmatismo secondo regola (SR) induce una minore riduzione dell'acuità visiva rispetto a quelli contro regola (CR) [9]. Nella pratica clinica quotidiana sappiamo già che i soggetti con astigmatismo CR richiedono attenzioni specifiche.

In questo studio il fattore dell'adattamento non viene considerato in quanto i soggetti presi in considerazione sono già adattati alla loro correzione.

ASTIGMATISMO RESIDUO

La differenza tra astigmatismo refrattivo dell'intero occhio e astigmatismo corneale è stata definita come astigmatismo interno o astigmatismo residuo oculare quando è presente un sistema correttivo. Tuttavia, i cheratometri automatici o manuali misurano solo la superficie corneale anteriore e stimano l'astigmatismo corneale totale utilizzando un indice di rifrazione corneale effettivo di 1,3375, non l'effettivo indice di rifrazione corneale di 1,376. Ciò significa che il potere rifrattivo negativo della superficie corneale posteriore è già incorporato con l'artificio di un diverso indice di rifrazione corneale. In ambito lenti a contatto, l'astigmatismo residuo viene anche utilizzato come termine per indicare la differenza tra astigmatismo refrattivo e cheratometrico [10].

Per valutare la relazione della rifrazione soggettiva e dell'astigmatismo corneale si deve considerare anche una componente percettiva.

1.1 IPOTESI DELLO STUDIO

In questo studio si vuole confrontare se la visione in soggetti astigmatici con inclinazione della testa è simile alla visione con il capo dritto ma con la direzione dell'asse ruotato, valutando sia acuità visiva, sia la sensibilità al contrasto.

Il quesito che ci si pone in questo elaborato è se l'inclinazione del capo in soggetti astigmatici abbia variazioni significative rispetto all'inclinazione dei soggetti non astigmatici riguardo il VOR.

Sono stati formati due gruppi, il gruppo studio che presentano astigmatismo maggiore di una diottria e il gruppo controllo.

Si ipotizza che ci sia una variazione nei parametri presi nel gruppo studio significativa, quelli nel gruppo controllo invece ci si aspetta dei parametri con variazioni non significative.

Nel gruppo studio sono stati valutati acuità visiva e sensibilità al contrasto sia con testa dritta sia con due diverse inclinazioni, per poi confrontare i dati con soggetti del gruppo controllo, nel quale sono state effettuate anche le topografie per capire se il VOR compensi analogamente.

Ci si aspetta che se si trova una variazione della rotazione nei dati delle topografie, quindi se inclinando la testa troviamo un valore maggiore dell'inclinazione allora ci sarà compensazione.

Al contrario se non variano non ci sarà compensazione.

1.2 INTRODUZIONE AL SISTEMA VESTIBOLARE

Se si prende di riferimento una persona che guarda un punto fisso e ruota o inclina la posizione della testa, possiamo notare che gli occhi ruotano nella direzione opposta di un'entità normalmente uguale a quella dello spostamento della testa; tale movimento viene chiamato riflesso vestibolo-oculare. Questo movimento viene guidato dal sistema vestibolare a livello dell'orecchio interno, nel labirinto, e permette all'immagine di rimanere nitida quando giunge in retina. L'esistenza di questo movimento, facilmente citato nei comuni libri di testo e non facilmente osservabile in forma controllata, è messa in questione (Jampel et al. 2002) e parte dello studio mira ad approfondire la questione.

Oltre a questo, il sistema vestibolare è responsabile anche dell'equilibrio del corpo, del corretto svolgimento delle azioni motorie, di varie posizioni del corpo e infine dell'anticipazione e del ripristino del controllo posturale, dovuto ad attivazioni muscolari e movimenti articolari mediante riflessi posturali.

Attraverso questo studio valutiamo gli effetti del sistema vestibolare nei portatori di occhiali con astigmatismo per verificare la risposta ed eventuale compensazione durante l'inclinazione della testa.

1.2.1 Anatomia e funzioni del sistema vestibolare

Il sistema vestibolare si trova nell'orecchio interno, detto anche labirinto. Esso si compone di due parti: il labirinto osseo e il labirinto membranoso. Il primo comprende delle cavità scavate nella rocca petrosa della parete laterale dell'orbita, le quali contengono gli organi di senso vestibolare e uditivo.

Il labirinto membranoso si trova all'interno di queste cavità ed è composto da sottili membrane rivestite da epitelio semplice il quale, in particolari zone, modifica il proprio complesso diventando epitelio sensoriale, importante via cui forma processi di trasduzione di segnali per l'udito ma anche per l'equilibrio. [11]

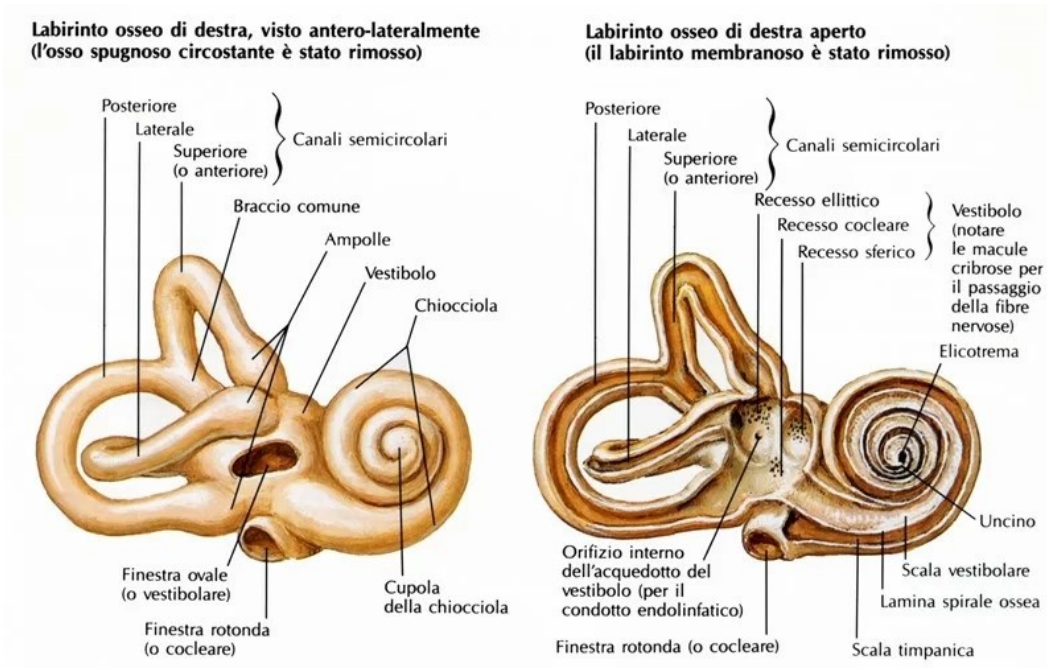


Figura 2: labirinto osseo visto antero-lateralmente poi aperto

Nel labirinto membranoso, la parte vestibolare comprende due strutture distinte tra loro, gli organi otolitici, ovvero due formazioni sacciformi conosciute come utricolo e sacculo, e tre canali semicircolari molto sensibili alla direzione dei movimenti del nostro corpo, situati in piani all'incirca ortogonali fra loro. Ogni canale è così disposto su uno dei tre possibili assi x, y, z. In posizione eretta, quello orizzontale è inclinato di 30°. Gli organi otolitici si trovano nella porzione media del vestibolo dell'orecchio interno. Il sacculo comunica direttamente con il dotto cocleare e con i canali semicircolari membranosi, compresi all'interno dei canali semicircolari ossei.

Ognuna delle strutture sopraelencate possiede delle cellule recettrici, le quali reagiscono alle accelerazioni della nostra testa. Le diverse componenti dell'accelerazione a cui viene sottoposto il nostro capo agiscono su parti differenti degli organi recettoriali. Data la loro posizione in tre diversi piani tra loro perpendicolari, i tre canali semicircolari (*orizzontale*, detto anche laterale; *anteriore*, detto anche superiore; e *posteriore*) possono rilevare le accelerazioni angolari del capo in tutte e tre le dimensioni dello spazio, lunghezza, larghezza e profondità. [12]

Le cellule negli organi otolitici invece, rilevano il movimento lineare a cui è sottoposta la testa, di preciso il sacco si colloca inferiormente all'utricolo, ed entrambe le strutture non hanno collegamenti diretti uno con l'altro. Il sacco è sensibile ai movimenti verticali, mentre l'utricolo a quelli orizzontali e sono situati vicino l'apertura anteriore del canale semicircolare orizzontale.

Poiché la gravità è un'accelerazione lineare, gli organi otolitici rilevano anche l'orientamento, o inclinazione del capo rispetto alla gravità.

Tutte le informazioni che provengono da queste strutture sono poi ritrasmesse attraverso la porzione vestibolare dell'VIII nervo ai nuclei vestibolari del tronco dell'encefalo e alla porzione vestibolare del cervelletto, precisamente nel lobo floccunodulare. A loro volta i differenti nuclei del complesso vestibolare si connettono con i nuclei motori dei muscoli extraoculari e con il midollo spinale. Dunque tutto il sistema serve per mantenere l'equilibrio corporeo, per coordinare i movimenti del capo e del corpo e soprattutto ad aiutare l'occhio a conservare la fissazione di un punto dello spazio anche quando il capo è in movimento. [13]

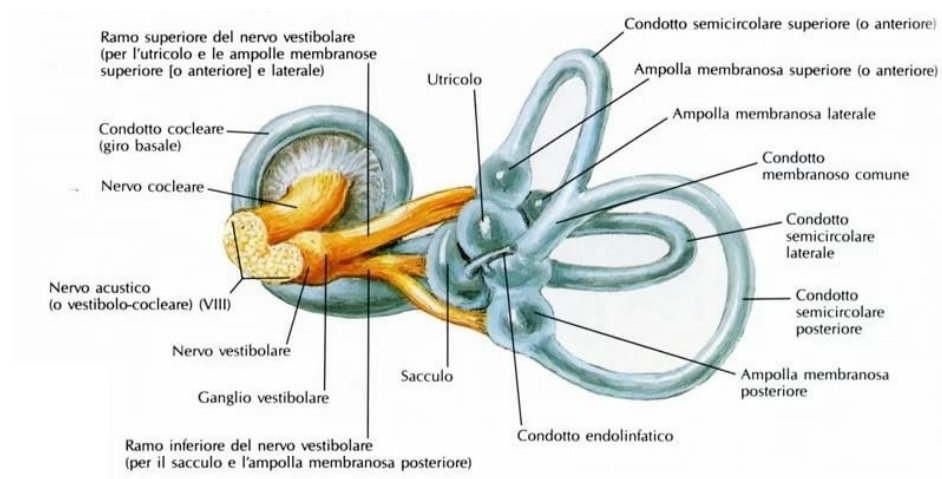


Figura 3: labirinto membranoso di destra con i nervi, visto postero-medialmente

Le due estremità di ogni canale semicircolare terminano nell'utricolo. Ogni canale, prima di congiungersi con l'utricolo presenta all'inizio una struttura chiamata ampolla membranosa all'interno della quale l'epitelio diventa più spesso in corrispondenza della cresta ampollare. In questa regione sono contenute cellule recettrici specializzate, ovvero le cellule vestibolari ciliate, sono responsabili della trasduzione del movimento del capo in segnali vestibolari.

Quando si ruota il capo la forza che deriva dall'inerzia del liquido dell'endolinfa presente a livello di queste strutture tende a mantenere la sua posizione nello spazio, si generano così dei flussi che provocano la deflessione delle stereociglia delle cellule recettrici. [14]

Le cellule ciliate del labirinto vestibolare trasducono gli stimoli meccanici in segnali nervosi, il potenziale di membrana della cellula recettoriale dipende dalla direzione secondo la quale vengono inclinate le ciglia, da un lato si crea eccitazione provocando depolarizzazione della cellula ciliata e aumento della frequenza di scarica. L'inclinazione nella direzione opposta provoca iperpolarizzazione della cellula ciliata e diminuzione della frequenza di scarica.

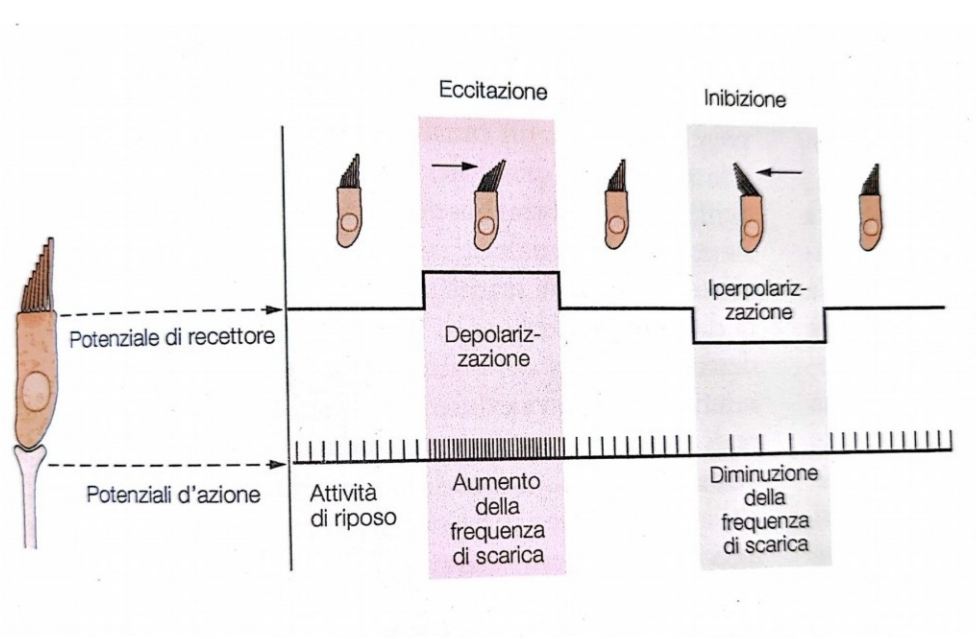


Figura 4: nella figura possiamo notare le cellule ciliate del labirinto vestibolare che trasducono gli stimoli meccanici in segnali nervosi

Anche una zona del pavimento dell'utricolo è più spessa e contiene delle cellule ciliate. Questa regione è detta macula e comprende i rami periferici delle cellule del ganglio vestibolare.

La macula è caratterizzata da una sostanza gelatinosa che al suo interno ha dei cristalli di carbonato di calcio chiamati otoliti e stereociglia. Quando manteniamo il capo in posizione eretta, la macula dell'utricolo si trova all'incirca nel piano orizzontale, di conseguenza gli otoliti si trovano al di sopra della macula. Se pieghiamo il capo e quindi lo si sottopone a un'accelerazione lineare, gli otoliti andranno a deformare la massa gelatinosa che conseguentemente piegherà le ciglia delle cellule recettrici.

Anche nel sacco si trova una macula ricca di recettori ma, a differenza della macula precedentemente presa in considerazione, quella dell'utricolo è orientata in senso verticale quando il capo è in posizione normale. Anch'essa rileva la posizione del capo nello spazio, ma ha una risposta selettiva alle forze lineari dirette in senso verticale.

Nelle cellule ciliate presenti sulla macula, nonostante abbiano una disposizione ordinata, presentano dei chinocigli orientati in tutte le direzioni. Per cui l'utricolo può rispondere a qualsiasi inclinazione del capo e a qualsiasi direzione dell'accelerazione lineare.

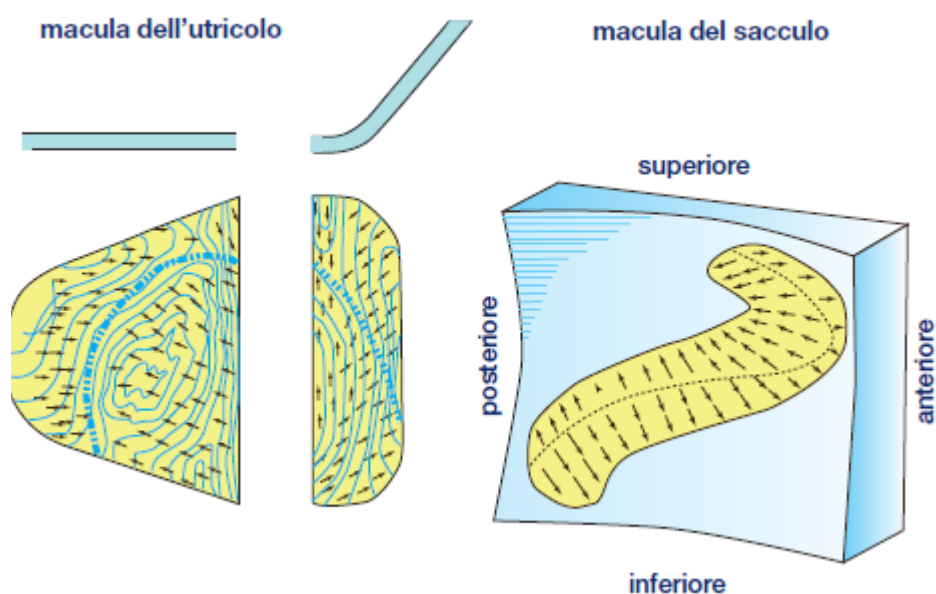


Figura 5: sacco e utricolo, nelle due macule c'è un orientamento diverso dei recettori e la direzione muta in modo ordinato. I recettori che si affacciano alla striola hanno polarità opposta

Le cellule ciliari dell'apparato vestibolare si trovano solo nelle creste ampollari dei canali semicircolari e nelle macule del sacco e dell'utricolo. Nei canali semicircolari l'asse di polarità è rivolto verso l'utricolo e dunque le ciglia sono inclinate verso l'utricolo provocando effetti eccitatori. Nei canali superiori e posteriori l'asse di polarità è rivolto in direzione opposta all'utricolo e quindi l'inclinazione delle ciglia ha effetti eccitatori in questa direzione.

Le stereociglia inoltre, sono orientate lungo una linea centrale curvilinea chiamata striola.

Le curve della striola attraversano il centro della macula, a causa della sua curvatura gli assi di sensibilità meccanica (freccette nella figura 6) di tutta la popolazione delle cellule ciliate variano in modo caratteristico.

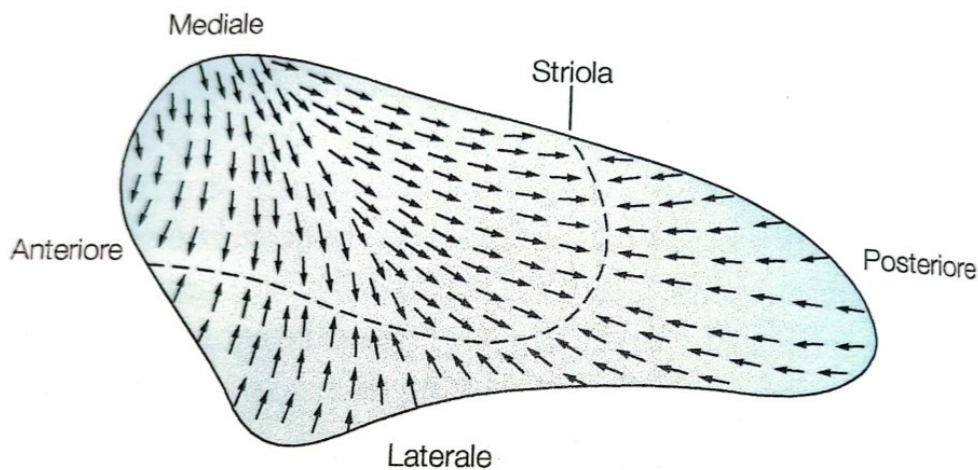


Figura 6: striola, linea curva che attraversa la superficie della macula

Di conseguenza, essi saranno sensibili a più direzioni di accelerazione lineare provocando la depolarizzazione di alcune cellule ciliate e l'iperpolarizzazione di altre, questo complesso segnale permetterà all'encefalo di determinare la posizione della testa, al contrario dei canali semicircolari i quali risponderanno esclusivamente all'accelerazione angolare applicata in direzioni specifiche. Questo può essere spiegato vedendo che, se le cellule cigliari vengono inclinate in una particolare direzione, la frequenza di scarica

cellulare, prodotta dal nervo vestibolare aumenta, in direzione opposta invece diminuisce. Ciò permette al cervello di capire la posizione del capo.

1.2.2 Sistema vestibolo-oculare

Il riflesso vestibolo-oculare (VOR) è forse la più importante uscita del sistema vestibolare, senza il quale non sarebbe possibile una vita di relazione con l'ambiente che ci circonda.

La funzione del riflesso vestibolo-oculare è quella di stabilizzare l'immagine sulla retina durante la rotazione della testa, permettendo una visione distinta dell'ambiente anche durante i movimenti della testa secondo i tre gradi di libertà e cioè sul piano orizzontale, frontale, e sagittale. Quando la testa ruota ad una certa velocità in una certa direzione, gli occhi compiono un movimento contrario della stessa velocità ma di direzione opposta, per esempio se si scuote il capo mentre si sta leggendo (oscillazione laterale dx/sx o alto/basso), si riesce ancora a riconoscere le parole grazie ai riflessi vestibolo-oculari. Tuttavia, se si muove il libro alla stessa velocità non si riesce più a leggere le parole. Poiché la stabilizzazione dell'immagine sulla retina è troppo lenta e meno efficace di quella dei segnali di origine vestibolare.

Infatti, pur con normale funzione, le persone astigmatiche che utilizzano gli occhiali, sono coinvolte in una condizione particolare durante l'atto di inclinazione della testa. Piegando la testa lateralmente (verso la spalla), la montatura degli occhiali si inclina di conseguenza (vincolata dalla testa), ma nello stesso istante, l'occhio può "contro-ruotare" dalla parte opposta di un'entità uguale a quella dell'inclinazione oppure seguire l'inclinazione della testa. Questo movimento è un aspetto del generale riflesso vestibolo-oculare.

Esistono tre diversi riflessi: il riflesso vestibolo-oculare di rotazione compensa la rotazione del capo e riceve segnali prevalentemente dai canali semicircolari. Il VOR di traslazione compensa il movimento lineare del capo e il VOR controrotatorio compensa l'inclinazione del capo nel piano verticale.

Quando il capo ruota, il canale orizzontale verso il quale il capo sta ruotando viene eccitato mentre il canale orizzontale dell'altro lato viene inibito e, di conseguenza, il segnale vestibolare va incontro ad una variazione fasica con aumento da un lato e diminuzione dall'altro lato. Questi segnali fasici sono correlati con la velocità del capo.

Dal lato nel quale avviene la rotazione le cellule ciliate del canale orizzontale si depolarizzano, quelle opposte si iperpolarizzano. Nel momento in cui il capo è statico ed eretto, sulla macula e sul sacculo arriva ad agire la forza di gravità. Durante un tilt statico della testa, tutti gli spostamenti degli otoliti recuperano informazioni riguardo l'ampiezza e la direzione della forza effettiva, una forza tangenziale che agisce su di essi. Il movimento oculare compensatorio che ne deriva si produce con una breve latenza. Esso è denominato responso o riflesso vestibolo-oculare ed è solitamente opposto alla direzione del movimento del capo.

Chiunque porti occhiali correttivi rende necessaria qualche plasticità del VOR. Poiché gli occhiali per correggere la miopia inducono effetti prismatici e rimpiccioliscono l'immagine visiva, per compensare il movimento del capo è necessaria una rotazione degli occhi di minore ampiezza e perciò il guadagno del VOR deve essere ridotto. Questo è quello che effettivamente avviene e il guadagno del riflesso diventa minore all'unità, perché il sistema di controllo a circuito aperto ha utilizzato l'esperienza visiva per riuscire a calibrare il guadagno del riflesso.

Il guadagno (gain) è un aspetto della funzionalità in cui la risposta (ad esempio i movimenti oculari) in relazione a due o più stimoli (dell'apparato vestibolare) è variata/modulata, solitamente in modo non lineare. La funzione di modulazione del guadagno è un aspetto profondo e diffuso nel sistema nervoso il cui approfondimento (ad es. In Salinas e Sejnowski, 2001) però supera gli scopi di questo lavoro.

Al contrario, gli occhiali per correggere l'ipermetropia oppure la presbiopia inducono effetti prismatici ed ingrandiscono l'immagine visiva, di conseguenza il guadagno del VOR deve essere aumentato quando si fa uso di questo tipo di occhiali. Più complicato è il caso delle lenti bifocali, che richiedono al VOR l'utilizzo di guadagni diversi per le due lenti.

Il riflesso vestibolo-oculare può essere condizionato modificando le conseguenze visive della rotazione del capo, per esempio se un soggetto viene fatto ruotare per un certo periodo di tempo mentre indossa occhiali che ingrandiscono le immagini, il guadagno del riflesso vestibolo-oculare potrebbe aumentare gradualmente.

L'adattamento del riflesso vestibolo-oculare avviene a livello di circuiti disposti nel cervelletto e nel tronco encefalico [15].

La rotazione protratta nel tempo provoca un particolare movimento degli occhi, detto nistagmo, caratterizzato da un'alternanza di movimenti oculari lenti e rapidi.

Il movimento lento degli occhi è uguale a quello del capo, ma ha direzione opposta, mentre il movimento rapido rappresenta anche un movimento di riposizionamento in direzione opposta al movimento lento, in relazione alla velocità con eventuali movimenti nistagmoidi.

Il movimento del capo induce movimento dell'intera immagine visiva sulla retina al pari di quanto avviene quando gli occhi si muovono esplorando una scena visiva stazionaria.

1.2.3 Efficienza del VOR

Di tutti i sottosistemi oculomotori, il VOR risponde più rapidamente alla stimolazione infatti il movimento degli occhi inizia entro 14 msec dopo il movimento della testa. Il solo metodo per misurare l'efficacia del movimento oculare è costituito dalla misurazione del movimento delle immagini visive sulla retina. Ad esempio, VOR guadagno nel buio per il movimento della testa sinusoidale passiva a 0,3 Hz misurato 0,94 quando il soggetto è stato incaricato di immaginare un bersaglio stazionario, ma è sceso a 0,65 quando il soggetto eseguito aritmetica mentale. In soggetti normali attenti e motivati, guadagno VOR, al buio, durante l'alta velocità, i giri transitori della testa, sono vicini all'unità a circa 350 gradi/sec e non dipendono dal fatto che il movimento fosse attivo o passivo. Con una velocità della testa più elevata, la velocità dell'occhio tende ad aumentare (e potrebbe superare i 500 gradi/sec), oltre a diventare più variabile.

Considerando che gli occhi sono separati e che gli assi di rotazione dell'occhio non sono coassiali con l'asse di rotazione della testa, per compensare il movimento della testa mentre gli occhi sono convergenti su un bersaglio vicino richiede un guadagno VOR orizzontale maggiore dell'unità di compensazione, per raggiungere un valore vicino a due per i bersagli vicino all'occhio. Tali aumenti di guadagno sono stati misurati. Questo guadagno elevato ha dimostrato di dipendere dalla convergenza piuttosto che dalla sistemazione e di diminuire con la frequenza di scuotimento della testa superiore a 1 o 2 Hz. [16].

2 CAPITOLO: MATERIALI E METODI

2.1 DISEGNO DELLO STUDIO E METODO

La stesura di questo elaborato si è svolta in due parti: prima la ricerca e la revisione della letteratura sui concetti base riguardo astigmatismo e sistema vestibolare, trattata nel primo capitolo, successivamente reclutando soggetti astigmatici presentando prima un campione di soggetti clienti di uno studio optometrico poi soggetti reclutati tramite social media. Quest'ultimi se soggetti astigmatici sono stati inseriti nel gruppo studio, se non astigmatici inseriti nel gruppo controllo.

La realizzazione di questo studio ha coinvolto soggetti a base volontaria.

I criteri di inclusione sono astigmatismo di almeno una diottria.

I soggetti presi in considerazione sono stati in totale 24, 10 donne e 14 uomini. I dati sono stati trattati in forma anonima e l'attività non richiedeva nessuna tecnica invasiva o pericolosa per la persona.

Di seguito si descrive schematicamente il metodo:

Ambiente e strumentazione

- Studio optometrico dotato di riunito con poltrona regolabile
- Mentoniera con goniometro
- Goniometro di precisione (angolare) a cui ho fissato un'asticella rigida come indicatore dei 10° e 20° a forma di T, questo goniometro poggiato ad un altro goniometro sottostante che fungeva da punto di riferimento per lo spostamento dei gradi. Il dispositivo goniometrico è stato autocostruito a partire da materiali disponibili commercialmente poiché non risulta esistano dispositivi di questo tipo (figura 7)
- Topografo corneale con topografo CSO, corneal map, CM/P01
- Cassetta lenti di prova e montatura di prova

- Piano e sedia regolabile in altezza
- PC portatile con installato il Software FrACT, Freiburg Acuity Test versione 3.10.5. · 2020-04-06 · F11.6.

Posizione del soggetto

- Soggetto seduto su poltrona del riunito
- Mento e fronte appoggiati sulla mentoniera
- Ad ogni rotazione della testa ho verificato che fossero appoggiati con entrambe le parti del viso
- Centro del sistema il naso
- Creando una T composta da due asticelle rigide prendo come riferimento il canto degli occhi per allineare il viso ai gradi pensati in precedenza (10° e 20°)
- Controllo da parte dell'operatore del mantenimento della posizione per tutta la durata del test



Figura 7: sistema realizzato durante il test, mento e fronte appoggiati alla mentoniera, occhiale indossato e inclinazione mantenuta durante la lettura delle C a 10° .

Tipo di misure

- Mira morfoscopica a proposizione e orientamento casuali: C di Landolt
- Acuità: 8 possibili orientamenti di C
- Acuità: 18 stimoli per ogni soglia stimata
- Sensibilità al contrasto: 8 possibili orientamenti di C
- Sensibilità al contrasto: 18 stimoli per ogni soglia stimata

Procedura per acuità

- Software FrACT, Freiburg Acuity Test versione 3.10.5. · 2020-04-06 · F11.6: test validato [17]
- Test effettuato monocularmente con occlusore tenuto dal soggetto
- Una sola somministrazione del test per ogni misura di AV e SC in ogni condizione di studio
- Soggetti istruiti sul funzionamento del test prima dell'inizio della procedura
- I soggetti dovevano sempre rispondere, anche quando non risolvevano lo stimolo (*metodo della scelta forzata*) [18]
- Procedura condotta interamente dallo stesso operatore
- Durata media della procedura: 30 minuti per occhio

Illuminamento

- Illuminamento uniforme pari a 218.9 lux
- Misurato con luxmetro portatile
- Range di misura dello strumento: 0,1-200000 lux tramite 4 scale: 200, 2000, 20000 e 200000 lux.
- Precisione dello strumento $\pm 5\%$ (taratura con lampada ad incandescenza standard a 2856K), errore di funzionamento $< 10\%$
- Sensore: fotodiode al silicio e filtro

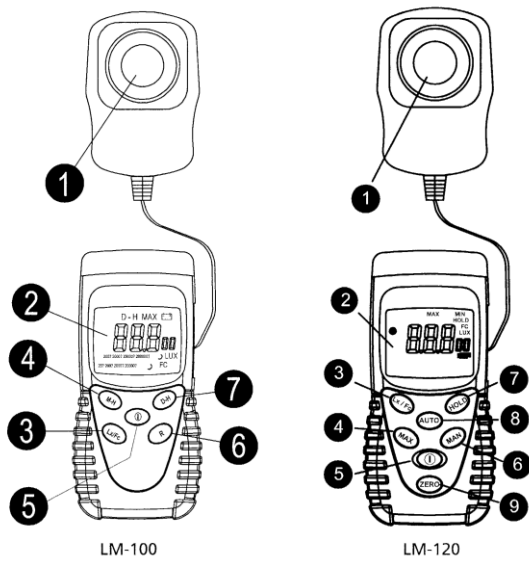


figura 8: luxmetro e i suoi componenti

2.2 PROTOCOLLO DI STUDIO

Protocollo misurazioni

Le misurazioni sono state effettuate:

1. Con correzione abituale e testa dritta
2. Con correzione abituale e inclinazione della testa a 10°
3. Con correzione abituale e inclinazione della testa a 20°
4. Con rotazione dell'asse della lente correttiva di 10° su montatura di prova
5. Con rotazione dell'asse della lente correttiva di 20° su montatura di prova

Di seguito vengono raffigurate, attraverso un goniometro, le misurazioni del test, si sono aggiunte manualmente le linee blu perché durante i test visivi si sono presi in considerazione i canti dell'occhio come misurazione dell'effettiva rotazione di 10° e 20° rispetto all'asse rosso che raffigura la T del dispositivo goniometrico autocostruito.

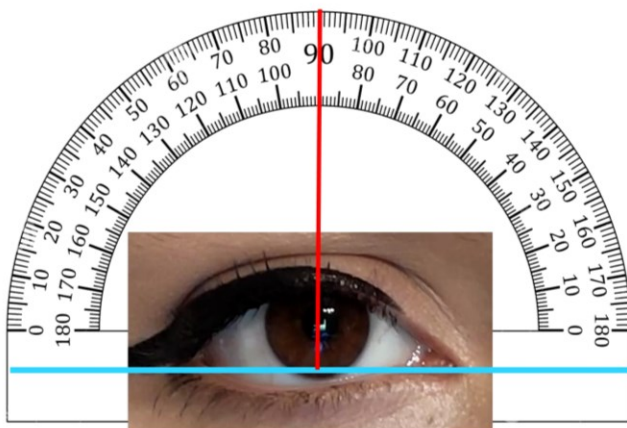


Figura 9: il soggetto tiene la testa dritta e legge le lettere C monocolarmente

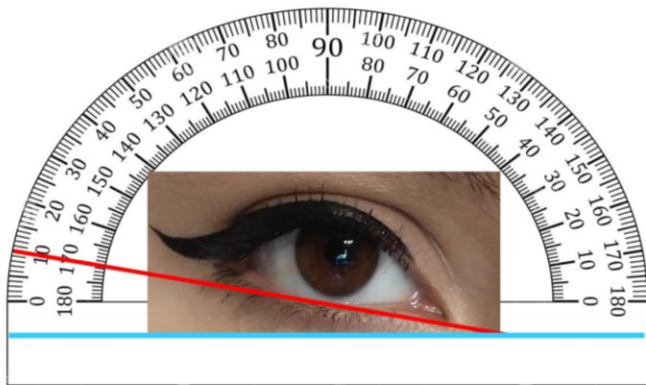


Figura 10: il soggetto inclina il capo di 10° e legge le lettere C monocolarmente

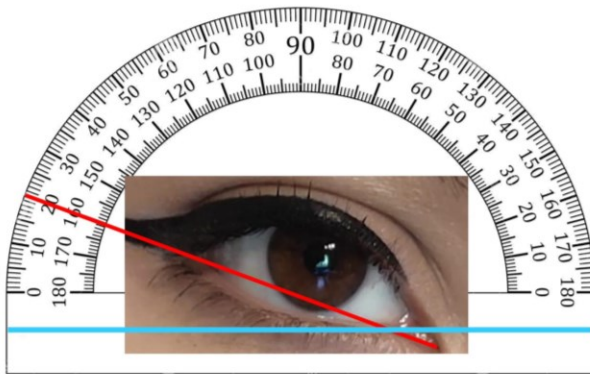


Figura 11: il soggetto inclina il capo di 20° e legge le lettere C monocolarmente

Nell'ultima immagine invece è raffigurata l'ultima parte dei test effettuati dove il soggetto tiene la testa dritta ma l'asse dell'astigmatismo ruotato (utilizzando l'occhialino di prova) di 10° e 20° raffigurate con le linee rosse.

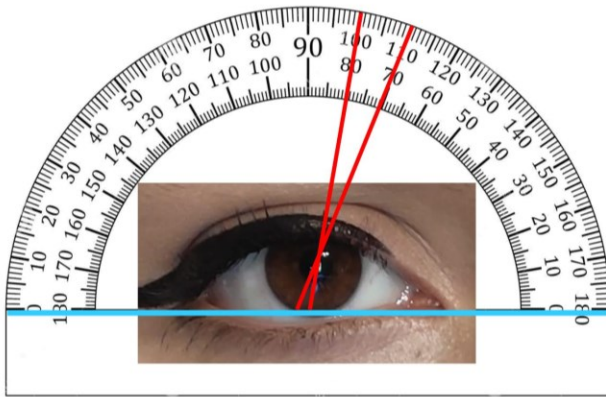


Figura 12: nell'ultima fase il soggetto rimane dritto ma viene spostato l'asse del cilindro correttore di 10° e poi di 20°

Controllo rotazione oculare di compensazione

- Topografo CSO, corneal map, CM/P01
- 3 topografie con testa dritta
- 3 topografie con testa inclinata di 10°
- 3 topografie con testa inclinata di 20°

Le topografie verificano l'effettiva contro-rotazione dell'occhio con la testa inclinata e l'entità di questa rotazione. Le rotazioni sono state controllate dall'operatore nello stesso procedimento descritto in precedenza per l'AC e SC appoggiando i goniometri alla mentoniera per capire la contro-rotazione del VOR.



Figure 13: esecuzione della topografia con testa inclinata

2.3 SOGGETTI

Criteria di inclusione per lo studio:

- Astigmatismo di almeno 1.00 Diottria
- Utilizzo abituale di occhiali monofocali con la migliore correzione dell'ametropia
- Assenza di patologie oculari
- Assenza di chirurgia oculare precedentemente, ad ogni soggetto è stato chiesto se effettuato in particolare chirurgia per lo strabismo
- Postura abituale del capo con inclinazione minore di 5 gradi o marcatamente inclinata

Reclutamento:

- Randomizzato fra la clientela di uno studio optometrico
- Attraverso social media
- Su base volontaria
- Soggetti adatti alla correzione

Si è avuto un gran numero di proposte da parte di molti volontari, il totale è di 24 persone per un totale di 33 occhi. Per questo tipo di studio non è stato necessario raggiungere un gran numero di persone per raggiungere un numero statistico, si considera un numero contenuto di casi per dimostrare l'esistenza del fenomeno, già in un'altra tesi accademica è stato affrontato l'argomento.

Tutti i soggetti che hanno aderito alla ricerca hanno firmato un consenso informato in cui si dichiara che i dati raccolti saranno utilizzati solo per le finalità della tesi e i dati personali, separati da quelli numerici necessari per lo studio, non verranno divulgati a terzi.

2.4 IL GRUPPO CONTROLLO

È stato inserito nella ricerca un numero di persone per il gruppo controllo, dato da persone che non raggiungevano la diottria di astigmatismo i test effettuati però senza occhiale o con compensazione differente, senza correzione se superava gli 8/10.

È stato proposto il test di AV e SC con testa dritta e con testa inclinata di 10° e 20°.

Criteri di inclusione

- Emmetropia o ametropia semplice (miopia o ipermetropia senza astigmatismo) corretta con la miglior correzione con lenti a contatto o occhiale
- Astigmatismi minori di 1.00 D ma con correzioni alternative alle lenti oftalmiche
- Assenza di patologie oculari
- Acuità $\geq 8/10$
- Postura abituale del capo con inclinazione minore di 5 radi o marcatamente inclinata

Protocollo

- AV e SC monoculare con correzione abituale con testa dritta
- AV e SC con testa inclinata di 10°
- AV e SC con testa inclinata di 20°

Reclutamento

- Uguale al gruppo di studio
- 9 soggetti per un totale di 14 occhi

Ci si aspetta che nel gruppo controllo non ci siano significative differenze di acuità visiva nei due parametri di rotazione della testa.

2.5 IL PROGRAMMA FrACT

Per effettuare le misure è stato utilizzato il Software FrACT, Freiburg Acuity Test versione 3.10.5. · 2020-04-06 · F11.6. Prima di iniziare è stata calibrata la luminosità del computer, la grandezza delle lettere rispetto alla distanza di osservazione dal soggetto, mantenuta per tutta la durata del test, in questo modo il programma può calcolare l'angolo visuale e di conseguenza l'acuità visiva.

Utilizzando la mira morfoscopica a proposizione e orientamento casuali, C di Landolt con 8 possibili orientamenti e 18 stimoli per ogni soglia stimata sono stati evitati degli errori dati dall'utilizzo delle solite lettere per la valutazione dell'acuità visiva. In questo caso l'obiettivo non era quello di capire l'effettiva acuità dei soggetti ma avere dei risultati il più possibile veritieri evitando errori per quanto possibile.

Per la sensibilità al contrasto sono stati utilizzati 8 possibili orientamenti di C e 18 stimoli per ogni soglia stimata le stesse caratteristiche usate per l'acuità visiva.

Questo tipo di mire sono meno influenzate rispetto a reticoli o altre mire che presentano orientamento molto marcato (nei reticoli i soggetti rispondono meglio se l'orientamento è orizzontale o verticale, peggio se obliquo).

Per controllare la sequenza degli stimoli, FrACT utilizza la procedura "best PEST". Ciò significa che il programma determina la posizione più probabile della soglia attraverso le dimensioni degli ottotipi presentati e le risposte dei soggetti, inizia con figure piuttosto facili da riconoscere per poi andare sempre più difficile fino allo sbaglio, poi continua con una soglia più facile e inizia con degli stimoli nelle vicinanze per stimare il valore di soglia massimizzando le informazioni ottenute.

Per la sensibilità al contrasto la dimensione della C era sempre la stessa, ma diminuiva il contrasto con lo sfondo. La dimensione della C era di 30 minuti d'arco, paragonabile a una frequenza spaziale di ~ 5 cpg, e il contrasto era di tipo negativo (stimolo scuro su sfondo chiaro).

Per entrambe le misure viene utilizzato il principio della scelta forzata, che presuppone una scelta del soggetto anche quando non riconosce lo stimolo.

Come unità di misura dell'acuità vengono utilizzati i LogMAR (norma ISO): la scala LogMAR è formata da una progressione costante e può essere facilmente utilizzata per fare una media.

L'unità di misura per la sensibilità al contrasto è stata l'unità logaritmica.

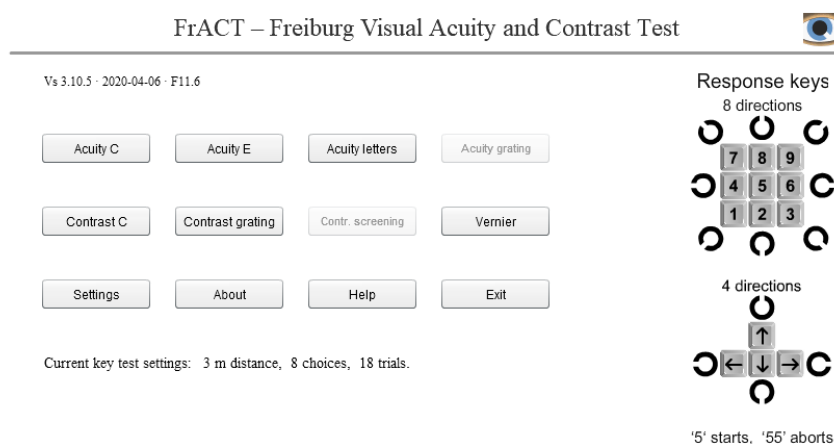


Figure 14: programma FrACT

8 posizioni consentono una determinazione più rapida dell'acuità visiva (meno prove) poiché la probabilità di indovinare è inferiore

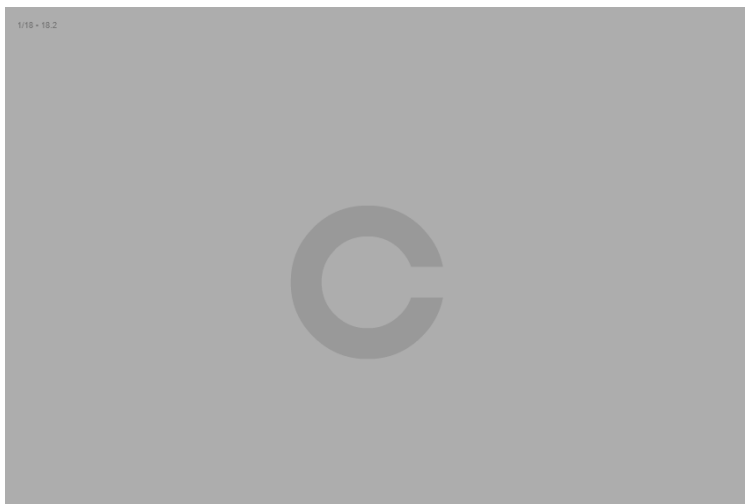


Figure 15: C di Landolt nel test della sensibilità al contrasto nel sistema FrACT

2.6 ANALISI STATISTICA

L'obiettivo di un'ipotesi sperimentale è quello di prevedere se tra due o più variabili sono presenti delle relazioni.

L'ipotesi sperimentale che si vuole dimostrare sostiene che acuità e sensibilità a contrasto sono significativamente maggiori in condizioni di rotazione della testa rispetto alla rotazione dell'asse della lente correttrice, mentre l'ipotesi nulla che si vuole rigettare sostiene che questa differenza è dovuta al caso.

Per verificare la correlazione tra i dati si usa il *test t* per dati appaiati

Per calcolare il valore di *t* si usa la seguente formula:

$$t = \frac{\bar{d} - 0}{ES(\bar{d})}$$

in cui \bar{d} è la differenza tra le due condizioni valutate e $ES(\bar{d})$ è l'errore standard della differenza. Al numeratore è presente anche uno 0 perché secondo l'ipotesi nulla la differenza tra le due condizioni è pari a 0. L'errore standard dell'ipotesi nulla non viene considerato perché è anch'esso 0.

Nel nostro caso i soggetti sono sempre gli stessi ma le misure sono diverse quindi il disegno sperimentale è con due condizioni di una variabile indipendente. [19]

Il valore *p* è il valore di probabilità decide se accettare o rifiutare l'ipotesi nulla, questo è compreso tra 0 e 1. Quando si rifiuta l'ipotesi nulla, i risultati sono statisticamente significativi.

Maggiore è il valore di *t*, minore sarà il suo valore di *p*. Generalmente si considera una significatività statistica per un *p* minore di 0,05 o minore di 0,01, in altre parole una probabilità molto vicina a 0 indica che è molto improbabile osservare i dati del campione quando è vera l'ipotesi nulla, **più il p-value è basso, più la probabilità che i risultati dello studio siano riproducibili è alta.** In questo studio ho considerato valido un $p < 0,05$.

È necessario stabilire se l'ipotesi che è stata formulata sia a una coda, ovvero quando è possibile prevedere quale sia la relazione tra le due variabili, o se invece si tratta di un'ipotesi formulata a due code e dunque è prevista una relazione ma non la sua relazione.

Nello studio effettuato, l'ipotesi è a una coda perché si prevede che la performance dei soggetti risulti migliore con l'inclinazione del capo anziché con la rotazione della lente.

Attraverso Excel è stato possibile effettuare l'analisi statistica dei dati raccolti, calcolando i principali indici di tendenza centrale e dispersione, da cui è poi derivato il calcolo di p-value associato ai test t per dati appaiati.

3 CAPITOLO: RISULTATI

3.1 ANALISI DEI RISULTATI

Sono stati esaminati 33 occhi di 24 soggetti compresi tra i 16 anni e i 67 anni, con un'età media di 36 anni e deviazione standard di 12,97. La distribuzione della popolazione per età è presentata in tabella I:

Tabella I: distribuzione delle frequenze d'età nel gruppo studio

Classi d'età	Frequenze assolute	Frequenze relative decimali	Frequenze relative (%)
16-20	1	0,042	4,17
21-25	2	0,083	8,33
26-30	5	0,208	20,83
31-35	7	0,292	29,17
36-40	2	0,083	8,33
41-45	1	0,042	4,17
46-50	2	0,083	8,33
51-55	1	0,042	4,17
56-60	2	0,083	8,33
61-65	0	0,000	0,00
66-70	1	0,042	4,17
Totale	24	1	100,00

Dalla tabella si deduce che il 58,33 % dei soggetti ha un'età compresa tra i 21 e i 35 anni. Poiché la visione nell'adulto è considerata stabile si presume che la differenza d'età non sia critica.

I soggetti sono 24 tra maschi e femmine come si può notare nella seguente tabella (2):

Tabella II

Genere	Frequenze assolute	Frequenze relative decimali	Frequenze relative (%)
Maschi	14	0,583	58
Femmine	10	0,417	42
Totale	24	1	100

Gruppo controllo

Il gruppo controllo è formato da soggetti non astigmatici e soggetti con <1D di astigmatismo ma con compensazione diversa dall'occhiale. L'età media del gruppo controllo è 29 anni, sono stati esaminati 14 occhi di 9 soggetti compresi tra i 21 anni e i 40 anni. La distribuzione della popolazione per età è presentata in tabella 3 e di genere in tabella 4:

Tabella III

Classi d'età	Frequenze assolute	Frequenze relative (decimali)	Frequenze relative (%)
16-20	0	0,000	0
21-25	2	0,222	22
26-30	4	0,444	44
31-35	1	0,111	11
36-40	2	0,222	22
41-45	0	0,000	0
46-50	0	0,000	0
51-55	0	0,000	0
Totale	9	1,000	100

Tabella IV

Genere	Frequenze assolute	Frequenze relative (%)
Maschi	2	22
Femmine	7	78
Totale	9	100

Il 50,00% dei soggetti ha tra i 26 e i 35 anni.

Distribuzione delle ametropie

Sono stati considerati diversi tipi di astigmatismi, sono riportati nella tabella 5, invece nella tabella 6 sono riportate le distribuzioni dell'astigmatismo suddiviso secondo l'entità di ogni cilindro del gruppo studio.

Tabella V: tipo di astigmatismo

Ametropia	Frequenze assolute	Frequenze relative (%)
ast. miopico semplice	1	3
ast. miopico composto	23	70
ast. iperm. semplice	1	3
ast. iperm. composto	0	0
ast. misto	8	24
Totale	33	100

Il 70% degli astigmatismi visti nella tabella precedente è di tipo miopico composto, la quasi totalità degli occhi presenta una componente miopica: 31 occhi presentano un astigmatismo miopico o misto e solo 2 presentano un astigmatismo ipermetropico.

Tabella VI: entità del cilindro

Entità del cilindro	Frequenze assolute	Frequenze relative (%)
cilindro 1,00-1,50	17	51,52
cilindro 1,75-2,25	8	24,24
cilindro 2,50-3,00	4	12,12
cilindro 3,25-3,75	2	6,06
cilindro 4,00-4,50	2	6,06
totale	33	100,00

La maggior parte degli astigmatismi visti nella tabella VI è compresa tra 1.00D e 2,25D (75,76%). Variabili di questo tipo, ametropia ed entità del cilindro, potrebbero influenzare i risultati in quanto potrebbe esistere una correlazione tra valore dell'astigmatismo e differenza rilevata tra le due condizioni esaminate. Per stabilire se esiste questa correlazione bisognerebbe effettuare un'analisi stratificata: ciò non è in questo caso possibile dato il numero limitato di soggetti.

Astigmatismo residuo

Nella seguente tabella (n° 7) vengono presentati per ogni occhio analizzato il tipo di correzione.

Tabella VII

	Correzione in uso (D)
1	0.00 -1.00 x 170
2	+1.25 -3.50 x 175
3	+0.75 -3.25 x 180
4	-3.50 -1.00 x 10
5	-2.00 -1.75 x 60
6	-0.50 -1.00 x 15
7	-7.00 -1.50 x 180
8	-6.00 -1.50 x 140
9	-2.00 -1.75 x 180
10	-1.50 -1.50 x 180
11	-4.75 -1.00 x 25
12	-1.00 -1.25 x 80
13	+0.75 -2.00 x 160
14	+1.50 -4.00 x 10
15	+2.00 -4.50 x 10
16	-2,50 -1,00 x 10
17	-1,00 -1,00 x 5
18	-3,50 -1,00 x 120
19	-3,75 -1,00 x 65
20	-0,75 -1,50 x 170
21	-1.00 -2,50 x 35
22	-7,00 -2,00 x 180
23	0,00 +1,50 x 80
24	-1,00 +2,00 x 90
25	-4,00 -1,50 x 65
26	-5,50 -1,00 x 150
27	+0,50 -2,50 x 70
28	-4,75 -3,00 x 20
29	-5,25 -2,50 x 160
30	-0,25 -1,50 x 90
31	-0,25 -1,75 x 90
32	+0,75 -1,75 x 65
33	-0,25 -2,25 x 95

Quando si effettua un cambiamento di inclinazione il potere del cilindro cambia, di conseguenza si ha un astigmatismo residuo. Come descritto dalle norme ISO, specificate anche nel capitolo 1, indipendentemente dall'entità del cilindro si ha una diversa tolleranza.

Il cilindro inoltre ha un potere massimo e uno minimo, questo potere si estende nei due assi con la funzione di \cos^2 ; quando il potere si sposta l'astigmatismo residuo è dato dal potere del cilindro per il \cos^2 dell'errore rispetto all'asse di correzione.

Poiché è scomodo calcolare per ogni soggetto entità del cilindro moltiplicandolo per il \cos^2 dell'errore dell'angolo, si preferisce raggruppare i valori di tolleranza in gruppi discreti (come si vede nella norma ISO citata). Un calcolo più preciso mira a valutare l'entità del cilindro residuo causato dall'errore di orientamento del cilindro correttore (a seconda dei criteri che non ecceda 0,25D-0,12D). In entrambe i casi, con un errore dell'orientamento dell'asse il soggetto dovrebbe lamentare visione sfuocata o fastidiosa, ovvero riduzione dell'AV.

Questo spiega anche come il sistema visivo riesce da solo ad entrare nelle tolleranze poiché se, per esempio un soggetto con cilindro di 1D supera l'inclinazione dell'asse di 3° l'AV dovrebbe ridursi e il soggetto stesso ci si attende noti un peggioramento dell'AV.

Se l'astigmatismo residuo è elevato la riduzione di acuità prevedibile è più marcata e così il fastidio visivo. Plausibile che il soggetto tenda ad effettuare adattamenti per evitare il fastidio.

Calcolando la media dei soggetti con astigmatismo da 1D a 1.5D, con 17 soggetti la media è di 1,22 D; tolleranza $\pm 4^\circ$ (ISO 21987:2011).

Calcolando la media dei soggetti con astigmatismo superiori a 2,50 D, con 16 soggetti la media è di 2,56 D; tolleranza $\pm 3^\circ$ (ISO 21987:2011).

3.2 CONFRONTO ACUITA' VISIVA

Nelle tabelle 8 e 9 sono riportate in logMAR e in scala decimale le acuità visive dei soggetti con 10° di rotazione della testa e spostamento dell'asse della lente correttiva di 10° . Le due condizioni inducono otticamente un astigmatismo residuo simile, dato che la rotazione indotta è in partenza la stessa; come invece si nota l'AV differisce significativamente. Infine anche i dati del test t .

Tabella VIII: acuità visiva in logMAR con testa inclinata di 10° e asse compensatrice ruotata di 10°

	AV (LogMAR)	
	Testa 10°	Asse 10°
1	0,05	0,21
2	0,15	0,45
3	0,15	0,11
4	-0,23	0,08
5	0,14	0,16
6	-0,01	0,07
7	0,16	0,19
8	0,2	0,03
9	-0,02	0,32
10	0,09	0,16
11	-0,16	0,23
12	-0,14	0,44
13	0,17	0,63
14	-0,08	0,29
15	0,04	0,41
16	-0,17	-0,11
17	0,04	0,09
18	0,09	0,16
19	0,02	-0,01
20	0	0,18
21	0,12	0,46
22	0,34	0,33
23	-0,14	0
24	0,24	0,37
25	0,22	0,44
26	-0,12	0
27	0,09	0,2
28	0,17	0,35
29	0,07	0,06
30	0,07	0,42
31	-0,01	0,12
32	0,14	0,75
33	0,02	0,08
MEDIA	0,05	0,23
DEV.ST.	0,13	0,20
t		1,50555E-06

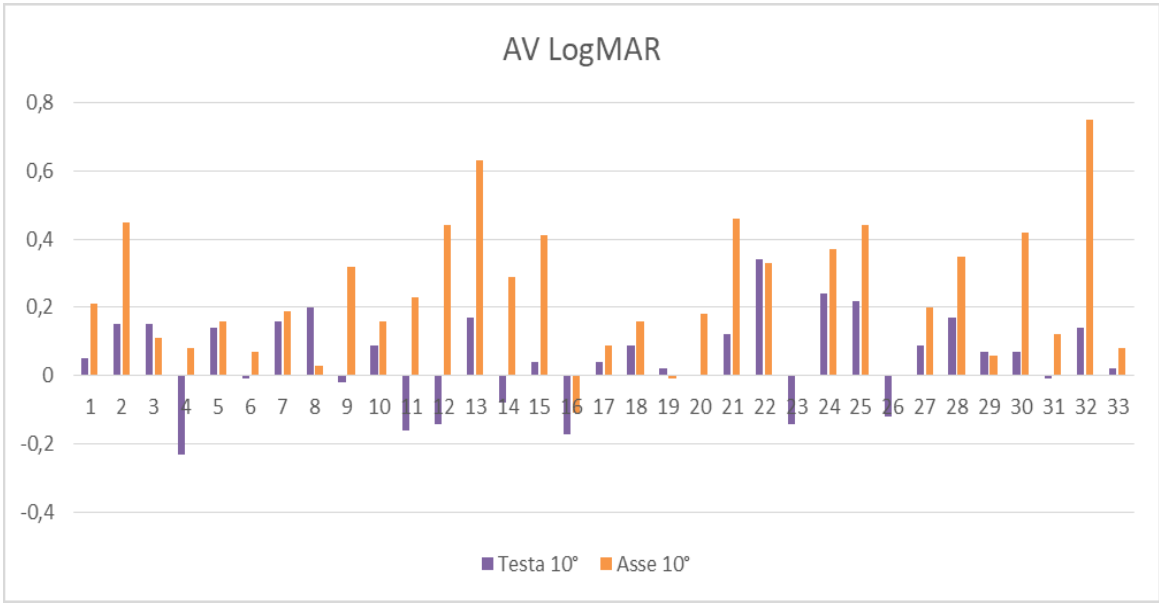


Figura 16

Tabella IX: acuità visiva in scala decimale con testa inclinata di 10° e asse compensatrice ruotata di 10°

	AV (scala decimale)	
	Testa 10°	Asse 10°
1	0,89	0,61
2	0,71	0,36
3	0,71	0,78
4	1,7	0,83
5	0,73	0,68
6	1,03	0,85
7	0,7	0,46
8	0,64	0,94
9	1,04	0,48
10	0,81	0,69
11	1,44	0,58
12	1,37	0,36
13	0,68	0,23
14	1,2	0,51
15	0,91	0,39
16	1,48	1,29
17	0,91	0,81
18	0,81	0,69
19	0,95	1,03
20	0,99	0,66
21	0,76	0,34
22	0,46	0,47
23	1,37	1,01
24	0,57	0,43
25	0,6	0,37
26	1,32	1
27	0,82	0,63
28	0,68	0,44
29	0,86	0,88
30	0,86	0,38
31	1,03	0,75
32	0,72	0,18
33	0,95	0,83
MEDIA	0,93	0,63
DEV.ST.	0,30	0,26
t		7,4E-07

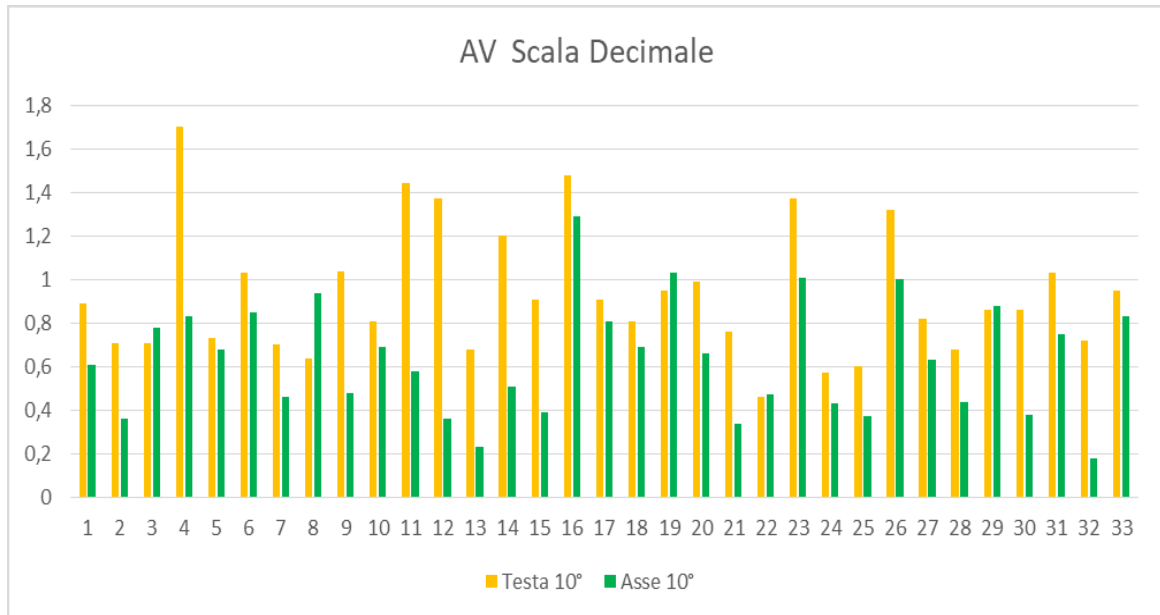


Figura 17

La media dell'acuità con testa inclinata di 10° è di $0,05 \pm 0,13$ LogMAR invece la media con l'asse della lente correttiva di 10° è di $0,23 \pm 0,20$ LogMAR, si può notare già dalle medie una notevole differenza.

Essendo la deviazione standard abbastanza simile si possono confrontare i risultati.

Si nota che nella maggior parte dei risultati l'acuità visiva è migliore con la testa ruotata, tranne nei casi 3, 8, 19, 22 e 29 (visualizzati in rosso), ma nelle medie generali il valore consolida l'ipotesi che con la testa inclinata l'acuità visiva del soggetto migliora rispetto alla stessa entità della rotazione con la lente correttiva. Attraverso il valore *t di Student* si può dire di avere una validità statistica in quanto essendo $p < 0,05$ considerandolo un valore molto significativo e quindi la differenza non è attribuita al caso. Questo significa che *i soggetti esaminati hanno un'acuità maggiore quando ruotano la testa rispetto a quando l'asse della lente compensatrice dell'astigmatismo è ruotata della stessa entità.*

Acuità con rotazione testa e asse di 20°

Nelle tabelle 10 e 11 sono riportate in LogMAR e in scala decimale le acuità visive dei soggetti con 20° di rotazione della testa e spostamento di 20° dell'asse della lente correttiva. Infine anche i dati del test *t*.

Tabella X: acuità visiva in logMAR con testa inclinata di 20° e asse compensatrice ruotata di 20°

	AV (LogMAR)	
	Testa 20°	Asse 20°
1	-0,08	0,13
2	0,19	0,85
3	0,1	0,43
4	-0,18	0,05
5	0,08	0,44
6	0	0,16
7	0,29	0,32
8	0,23	0,25
9	0,04	0,42
10	-0,01	0,39
11	-0,1	0,19
12	0,02	0,43
13	0,23	0,58
14	-0,09	0,49
15	-0,02	0,62
16	-0,19	0,05
17	0,07	0
18	0,16	0,08
19	0,07	0,09
20	-0,03	0,42
21	0,05	0,61
22	0,12	0,26
23	-0,09	0,2
24	0,25	0,39
25	0,34	0,26
26	-0,04	-0,01
27	0,25	0,2
28	0	0,3
29	0,02	0,12
30	0,11	0,57
31	0	0,23
32	0,18	0,84
33	0,09	0,34
MEDIA	0,06	0,32
DEV.ST.	0,13	0,22
t		4,73186E-08

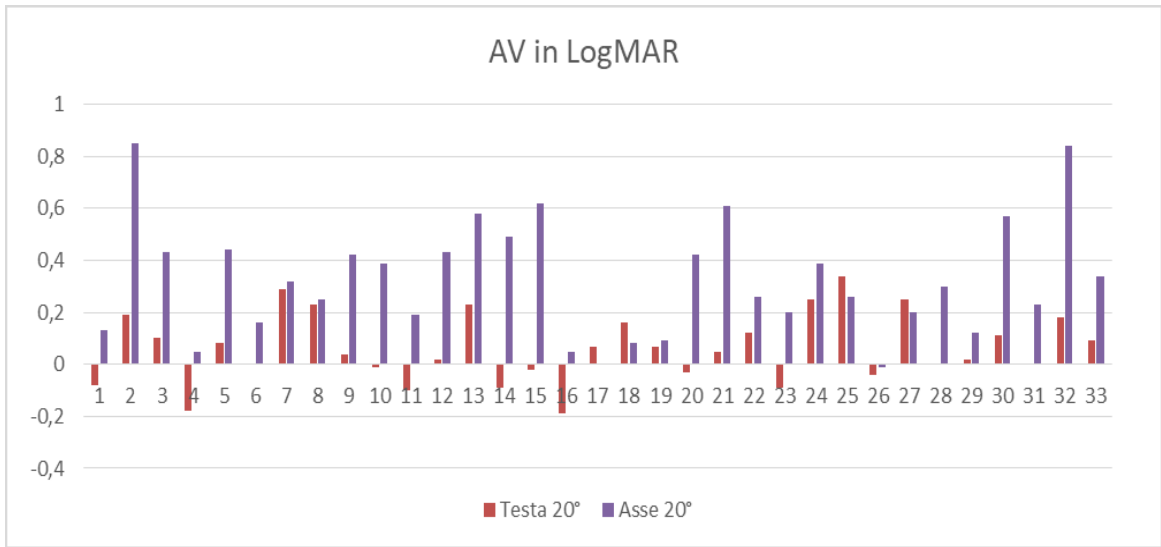


Figura 18

Tabella XI: acuità visiva in scala decimale con testa inclinata di 20° e asse compensatrice ruotata di 20°

	AV (scala decimale)	
	Testa 20°	Asse 20°
1	1,21	0,74
2	0,64	0,14
3	0,79	0,38
4	1,5	0,89
5	0,83	0,37
6	1,01	0,69
7	0,51	0,50
8	0,59	0,56
9	0,91	0,38
10	1,01	0,41
11	1,25	0,64
12	0,96	0,37
13	0,59	0,26
14	1,23	0,33
15	1,06	0,24
16	1,55	0,89
17	0,85	1,01
18	0,7	0,84
19	0,84	0,81
20	1,08	0,38
21	0,89	0,24
22	0,76	0,55
23	1,24	0,63
24	0,57	0,41
25	0,45	0,55
26	1,1	1,03
27	0,56	0,62
28	0,99	0,5
29	0,96	0,77
30	0,78	0,27
31	0,99	0,59
32	0,67	0,15
33	0,82	0,45
MEDIA	0,91	0,53
DEV.ST.	0,27	0,26
t		6,7E-09

La media corrisponde a $0,06 \pm 0,13$ LogMAR per quanto riguarda la rotazione della testa di 20° , mentre corrisponde a $0,32 \pm 0,22$ LogMAR per la rotazione dell'asse. Anche qui si può notare la grande differenza tra le acuità visive dei soggetti con 20° di rotazione della testa e 20° dell'asse della lente correttiva, si vede che la visione è migliore con l'inclinazione della testa tranne nei casi 17, 18, 25 e 27 (visualizzati in rosso).

La differenza tra la rotazione del capo e della lente correttiva è altamente significativa sia per rotazione a 10° sia per la rotazione a 20° .

Essendo la deviazione standard abbastanza simile si possono confrontare i risultati.

Dai risultati si deduce che *un errore di 20° dell'asse della lente compensatrice dell'astigmatismo causa una diminuzione anche molto consistente dell'acuità.*

Il valore di p indica che questa differenza, rilevata in ogni singolo soggetto, non è attribuibile al caso, pertanto *i risultati del test confermano l'ipotesi sperimentale.*

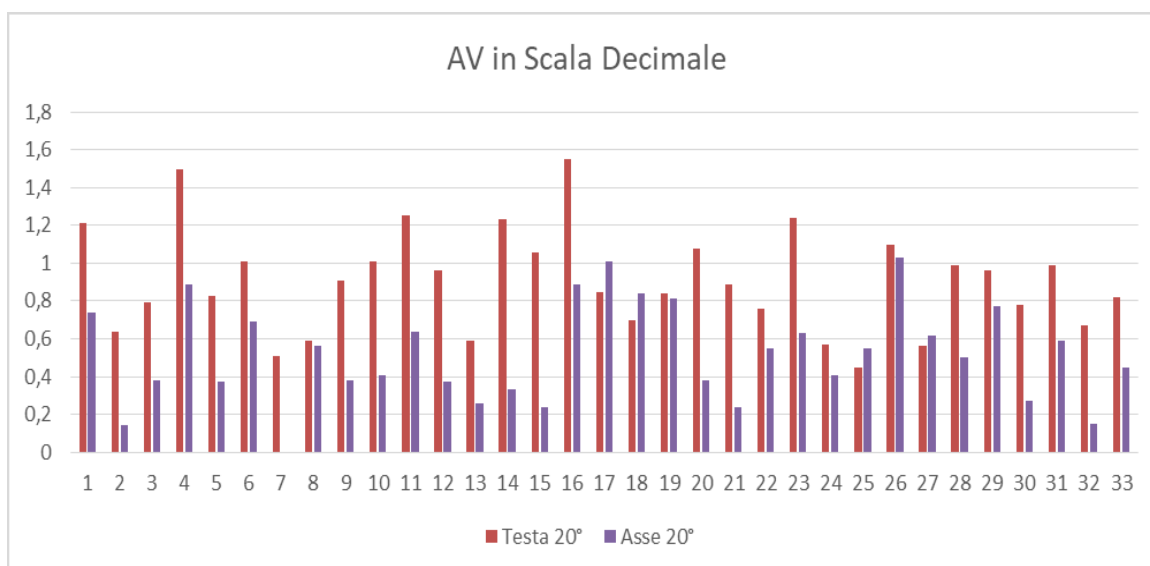


Figure 19

Per visualizzare meglio il confronto si osservano le seguenti tabelle (12 e 13) e i rispettivi grafici, che indicano la differenza tra le due condizioni prese in esame:

Tabella XII: differenza di acuità ottenuta fra rotazione della testa 10° e rotazione dell'asse 10° per singolo soggetto

	inclinazione 10°/testa 10°	
	VA	logMAR
1	0,28	-0,16
2	0,35	-0,3
3	-0,07	0,04
4	0,87	-0,31
5	0,05	-0,02
6	0,18	-0,08
7	0,24	-0,03
8	-0,3	0,17
9	0,56	-0,34
10	0,12	-0,07
11	0,86	-0,39
12	1,01	-0,58
13	0,45	-0,46
14	0,69	-0,37
15	0,52	-0,37
16	0,19	-0,06
17	0,1	-0,05
18	0,12	-0,07
19	-0,08	0,03
20	0,33	-0,18
21	0,42	-0,34
22	-0,01	0,01
23	0,36	-0,14
24	0,14	-0,13
25	0,23	-0,22
26	0,32	-0,12
27	0,19	-0,11
28	0,24	-0,18
29	-0,02	0,01
30	0,48	-0,35
31	0,28	-0,13
32	0,54	-0,61
33	0,12	-0,06
MEDIA	0,30	-0,18
DEV.ST.	0,29	0,19
t		1,09196E-06

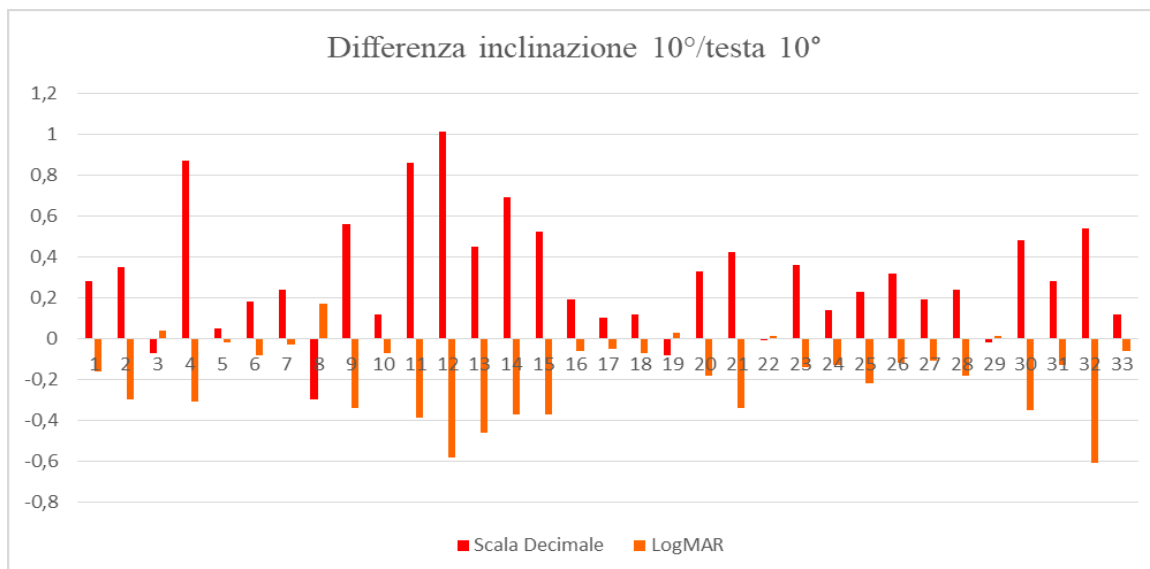


Figura 20

La tabella e il corrispondente grafico riportano i valori ottenuti dalla differenza fra l'AV ottenuta con la rotazione della testa e quella ottenuta con la rotazione dell'asse di 10°.

La media della differenza tra i valori con testa inclinata di 10° e con asse inclinata di 10° è di $-0,18 \pm 0,19$ LogMAR, la maggior parte dei risultati è negativa, significa che la visione è migliore quando i soggetti ruotano la testa. I risultati evidenziati in rosso indicano il contrario.

Tabella XIII: differenza fra rotazione della testa 20° e rotazione dell'asse 20°

	inclinazione20°/testa20°	
	VA	logMAR
1	0,47	-0,21
2	0,5	-0,66
3	0,41	-0,33
4	0,61	-0,23
5	0,46	-0,36
6	0,32	-0,16
7	0,01	-0,03
8	0,03	-0,02
9	0,53	-0,38
10	0,6	-0,4
11	0,61	-0,29
12	0,59	-0,41
13	0,33	-0,35
14	0,9	-0,58
15	0,82	-0,64
16	0,66	-0,24
17	-0,16	-0,07
18	-0,16	0,08
19	0,03	-0,02
20	0,7	-0,45
21	0,65	-0,56
22	0,21	-0,14
23	0,61	-0,29
24	0,16	-0,14
25	-0,1	0,08
26	0,07	-0,03
27	-0,06	0,05
28	0,49	-0,3
29	0,19	-0,1
30	0,51	-0,46
31	0,4	-0,23
32	0,52	-0,66
33	0,37	-0,25
MEDIA	0,37	-0,27
DEV.ST.	0,29	0,21
t		6,4E-09

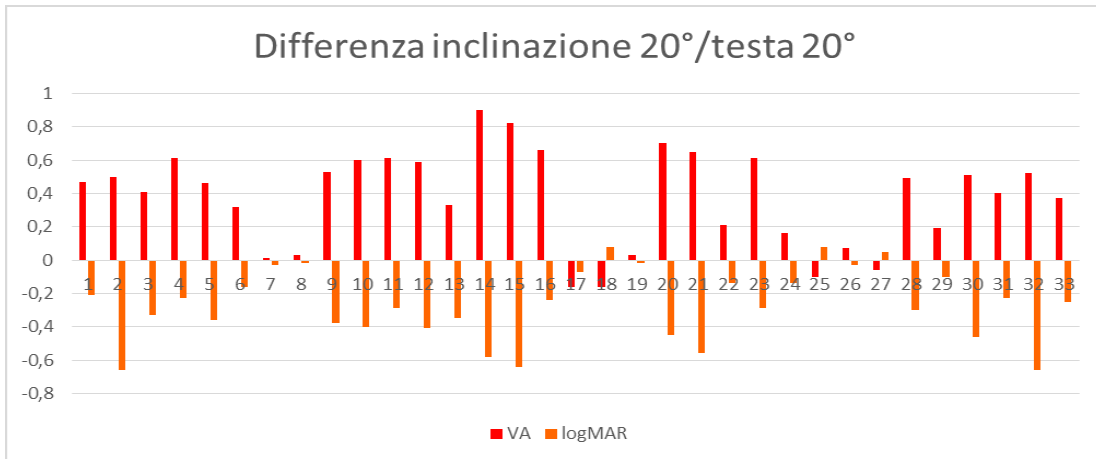


Figura 21

La tabella e il corrispondente grafico riportano i valori ottenuti dalla differenza fra l'Acuità visiva ottenuta con la rotazione della testa e quella ottenuta con la rotazione dell'asse di 20°.

La media della differenza tra i valori con testa inclinata di 20° e con asse inclinata di 20° è di $-0,27 \pm 0,21$ LogMAR, la maggior parte dei risultati è negativa, significa che la visione è migliore quando i soggetti ruotano la testa.

3.3 CONFRONTO SENSIBILITA' AL CONTRASTO

Nelle seguenti tabelle (14 e 15) sono riportati i risultati della sensibilità al contrasto in condizioni di 10° di inclinazione della testa e spostamento di 10° dell'asse compensatrice.

Tabella XIV: test della sensibilità al contrasto, confronto tra testa ruotata di 10° e asse della lente compensatrice di 10°

	SC Weber (%)	
	Testa 10°	Asse 10°
1	1,89	
2	2,04	
3	2,11	
4	2,88	
5	3,42	
6	3,3	
7	3,76	
8	3,69	
9	4,69	
10	2,74	
11	3,29	3,11
12	4,32	3,07
13	3,5	3,42
14	2,94	3,46
15	3,67	6,35
16	2,88	2,83
17	3,76	3,17
18	3,7	3,7
19	3,93	5,54
20	3,55	3,91
21	3,8	5,28
22	3,03	3,05
23	1,66	1,57
24	4,22	2,82
25	2,24	4,54
26	0,6	2,19
27	1,66	2,58
28	4,37	8,3
29	4,36	3,37
30	3,55	3,31
31	3,17	3,64
32	3,5	3,63
33	1,87	2,13
MEDIA	2,97	3,71
DEV.ST.	1,67	2,20
t		0,055595808

Come si può notare nella tabella ai primi 10 soggetti non è stato effettuato il test della sensibilità al contrasto con asse ruotata di 10°. Di conseguenza i dati sono rivolti solamente dall'undicesimo soggetto in poi.

Tabella XV: valori SC da 11 in poi con testa inclinata di 10° e asse compensatrice ruotata di 10°

	SC Weber (%)	
	Testa 10°	Asse 10°
11	3,29	3,11
12	4,32	3,07
13	3,5	3,42
14	2,94	3,46
15	3,67	6,35
16	2,88	2,83
17	3,76	3,17
18	3,7	3,7
19	3,93	5,54
20	3,55	3,91
21	3,8	5,28
22	3,03	3,05
23	1,66	1,57
24	4,22	2,82
25	2,24	4,54
26	0,6	2,19
27	1,66	2,58
28	4,37	8,3
29	4,36	3,37
30	3,55	3,31
31	3,17	3,64
32	3,5	3,63
33	1,87	2,13
MEDIA	3,20	3,69
DEV.ST.	1,30	1,64
t		0,038451

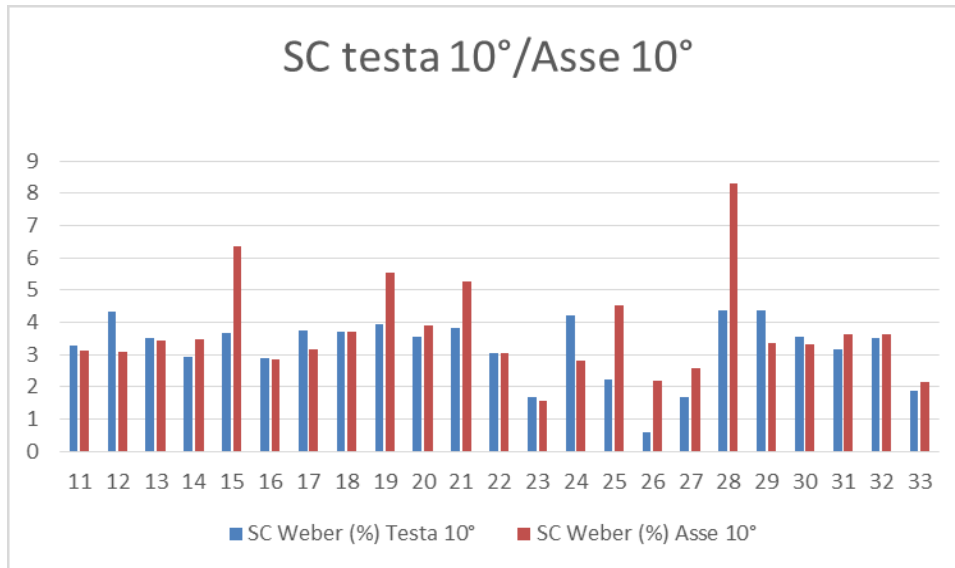


Figura 22

Si può notare che la media dei valori con l'inclinazione della testa di 10° è di $3,20 \pm 1,30$ unità logaritmiche e con l'asse inclinato di 10° la media è di $3,69 \pm 1,64$.

La deviazione standard è piuttosto alta però simile tra i due valori.

In 8 casi la SC con l'asse inclinato è risultata maggiore rispetto all'inclinazione della testa, nel n 18 i risultati sono risultati uguali.

Complessivamente la SC risulta migliore con la rotazione della testa rispetto al disallineamento del cilindro correttore, ma questa differenza, pur significativa, è minore di quella rilevata per l'AV.

Nella seguente tabelle vengono confrontati i dati tra testa ruotata di 20° e asse della lente compensatrice ruotata di 20°.

Tabella XVI: test della sensibilità al contrasto, confronto tra testa ruotata di 10° e asse della lente compensatrice di 20°

	SC Weber (%)	
	Testa 20°	Asse 20°
1	2,61	
2	1,9	
3	2,63	
4	2,94	
5	3,03	
6	3,68	
7	2,77	
8	2,61	
9	3,52	
10	3,58	
11	3,35	5,26
12	3,2	3,58
13	4,45	5,07
14	3,5	8,06
15	3,17	6,83
16	2,88	2,9
17	3,3	3,6
18	3,08	2,94
19	4,35	4,44
20	3,35	4,96
21	3,45	6,89
22	3,35	3,32
23	2	2,72
24	5,56	6,06
25	2,42	4,02
26	1,68	2,51
27	1,3	1,96
28	4,69	14,93
29	5,37	7,58
30	3,71	5,22
31	3,22	3,37
32	3,23	5,36
33	1,38	2,18
MEDIA	3,19	4,98
DEV.ST.	1,82	3,49
t		0,00854

Come si può notare nella tabella ai primi 10 soggetti non è stato effettuato il test della sensibilità al contrasto con asse ruotata di 20°. Di conseguenza i dati sono rivolti solamente dall'undicesimo soggetto in poi.

Tabella XVII: valori SC da 11 in poi con testa inclinata di 20° e asse compensatrice ruotata di 20°

	SC Weber (%)	
	Testa 20°	Asse 20°
11	3,35	5,26
12	3,2	3,58
13	4,45	5,07
14	3,5	8,06
15	3,17	6,83
16	2,88	2,9
17	3,3	3,6
18	3,08	2,94
19	4,35	4,44
20	3,35	4,96
21	3,45	6,89
22	3,35	3,32
23	2	2,72
24	5,56	6,06
25	2,42	4,02
26	1,68	2,51
27	1,3	1,96
28	4,69	14,93
29	5,37	7,58
30	3,71	5,22
31	3,22	3,37
32	3,23	5,36
33	1,38	2,18
MEDIA	3,30	4,95
DEV.ST.	1,40	2,91
t		0,00106

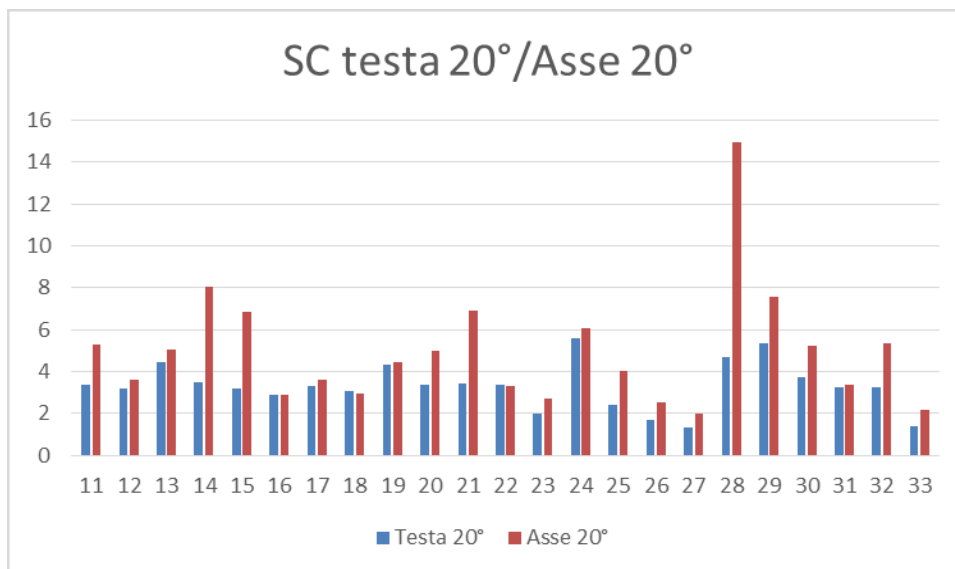


Figura 23

La media dei valori con l'inclinazione della testa di 20° è di $3,30 \pm 1,40$ unità logaritmiche e con l'asse inclinato di 20° la media si alza di $4,95 \pm 2,91$.

Come si nota, c'è maggiore riduzione dell'AV con la rotazione dell'asse e minore riduzione dell'AV con l'inclinazione della testa. Nonostante si tratti di portatori adattati alla correzione e la misura sia stata condotta a breve distanza di tempo, per limiti strumentali, non si è riusciti a valutare simultaneamente la variazione nell'AV e la rotazione dell'occhio. Dai dati risulta che: sia l'occhio dei portatori di lenti astigmatiche, sia dei non portatori tendono a non compensare la rotazione della testa, in accordo con altri dati di Jumpet et al. 2002. Pertanto, la tradizionale nozione che gli occhi ruotano per controbilanciare la rotazione della testa non trova sostegno da questi dati.

In tal caso, la rotazione della testa genera una rotazione della lente correttiva dell'astigmatismo di 10° o 20° circa (la media a 10° è di $0,05 \pm 0,13$ LogMAR, a 20° è di $0,06 \pm 0,13$ LogMAR) ma la riduzione dell'AV è altamente significativa mentre quella della SC (la media a 10° è di $3,20 \pm 1,30$, a 20° è di $3,30 \pm 1,40$) è minore, sebbene significativa.

Pertanto rimangono aperte due ipotesi sulla relazione tra rotazione della testa e acuità risultante:

- a) Durante l'osservazione con correzione in posizione (valutazione AV o SC), la rotazione dell'occhio sia minore di quella misurata successivamente con la topografia, con stessa inclinazione ma senza correzione in posizione. L'assenza di una mira di cui è richiesta la visione nitida, durante il test di topografia corneale, potrebbe giustificare che la rotazione *non presenti compensazione* o la presenti solo in parte durante la topografia. In un analogo lavoro precedente (Marcuz 2010, su diverso campione) la riduzione della compensazione era ~30% o ~40%.
- b) Che siano presenti strategie di compensazione - ad es. di natura percettiva - che rendono l'AV a testa inclinata molto migliore di quella ottenuta con la rotazione deliberata del cilindro correttore.

Le due ipotesi (a) e (b) concordano entrambe con il comune sentire delle persone che portano correzione astigmatica con occhiali che non lamentano grossolana alterazione visiva con la testa inclinata.

3.4 CONFRONTO CON IL GRUPPO CONTROLLO

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati dei test del gruppo controllo.

Tabella XVIII: sono riportati i dati del gruppo controllo, testa dritta, rotazione testa 10° e 20° con scala LogMAR.

AV (scala logMAR)			
	Testa dritta	Rotazione testa 10°	Rotazione testa 20°
1	-0,05	-0,06	-0,08
2	0,4	0,31	0,31
3	0,06	-0,09	0,12
4	0,04	0,22	0,09
5	-0,08	-0,02	-0,15
6	-0,21	-0,15	-0,2
7	-0,02	-0,07	0,02
8	0,18	-0,02	-0,08
9	-0,12	-0,24	-0,19
10	-0,07	-0,1	-0,03
11	0,03	0,03	0,03
12	0,08	0,24	0,19
13	-0,02	-0,12	-0,14
14	0,11	-0,08	0,15
MEDIA	-0,01	-0,01	0,00
DEV.ST.	0,10	0,16	0,15
t	0,197245142		0,288833581

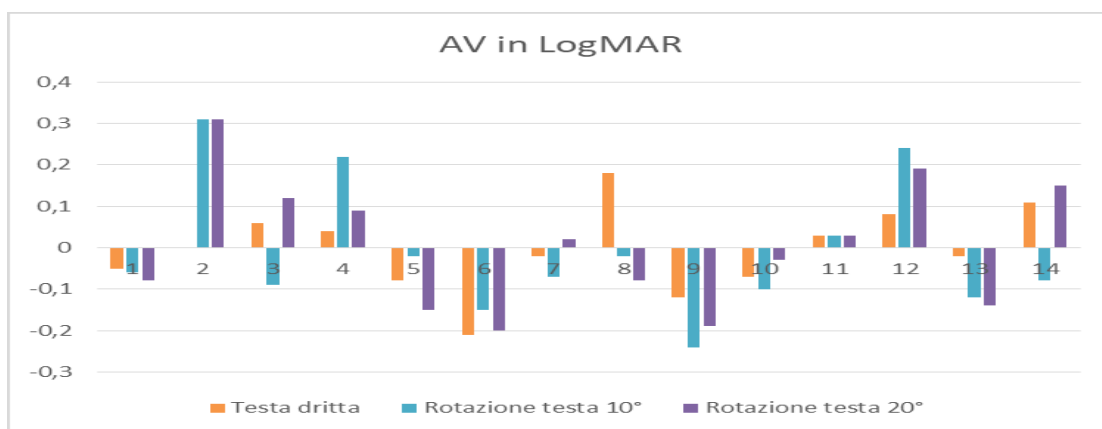


Figura 24

Il test t per dati appaiati è stato effettuato confrontando la condizione di testa dritta prima con la condizione di rotazione della testa di 10° e poi con la rotazione di 20° . Rispettivamente $t = 0,19724$ e $t = 0,28883$, troppo alti per poter considerare i dati significativi, si può dedurre invece che siano attribuiti al caso.

Tabella XIX: sono riportati i dati del gruppo controllo, testa dritta, rotazione testa 10° e 20° con scala decimale.

	AV (scala decimale)		
	Testa dritta	Rotazione testa 10°	Rotazione testa 20°
1	1,13	1,15	1,19
2	0,4	0,49	0,49
3	0,87	1,24	0,77
4	0,9	0,61	0,82
5	1,19	1,04	1,4
6	1,61	1,42	1,58
7	1,09	1,17	0,96
8	0,67	1,05	1,19
9	1,31	1,72	1,55
10	1,17	1,26	1,08
11	0,94	0,93	0,94
12	0,82	0,58	0,65
13	1,06	1,32	1,32
14	1,27	1,21	0,71
MEDIA	1,03	1,09	1,05
DEV.ST.	0,30	0,34	0,34

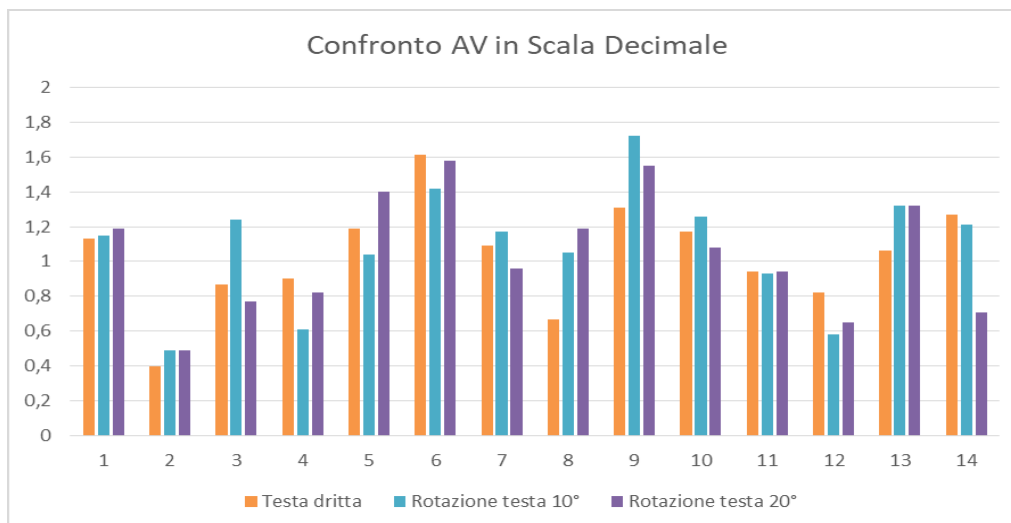


Figure 25

Per confrontare con più facilità seguono alcune tabelle nelle quali è calcolata la differenza rispettivamente fra acuità con testa dritta e testa ruotata di 10°, testa dritta e testa ruotata di 20°, testa ruotata di 10° e ruotata di 20°.

Tabella XX:

	logMAR		
	Testa dritta - rotazione 10°	Testa dritta - rotazione 20°	Rotazione 10° -rotazione 20°
1	-0,01	-0,03	-0,02
2	0,09	0,09	0
3	0,15	-0,06	0,21
4	-0,18	-0,05	0,13
5	0,1	-0,07	-0,13
6	0,06	0,01	-0,05
7	-0,05	0,04	0,09
8	0,2	0,06	-0,06
9	-0,12	-0,07	0,05
10	-0,03	0,04	0,07
11	0	0	0
12	-0,16	-0,11	0,05
13	0,1	0,12	0,02
14	0,03	-0,26	-0,23
MEDIA	0,01	-0,02	0,01
DEV.ST	0,11	0,10	0,11
t	0,197245142	0,288833581	0,323805344

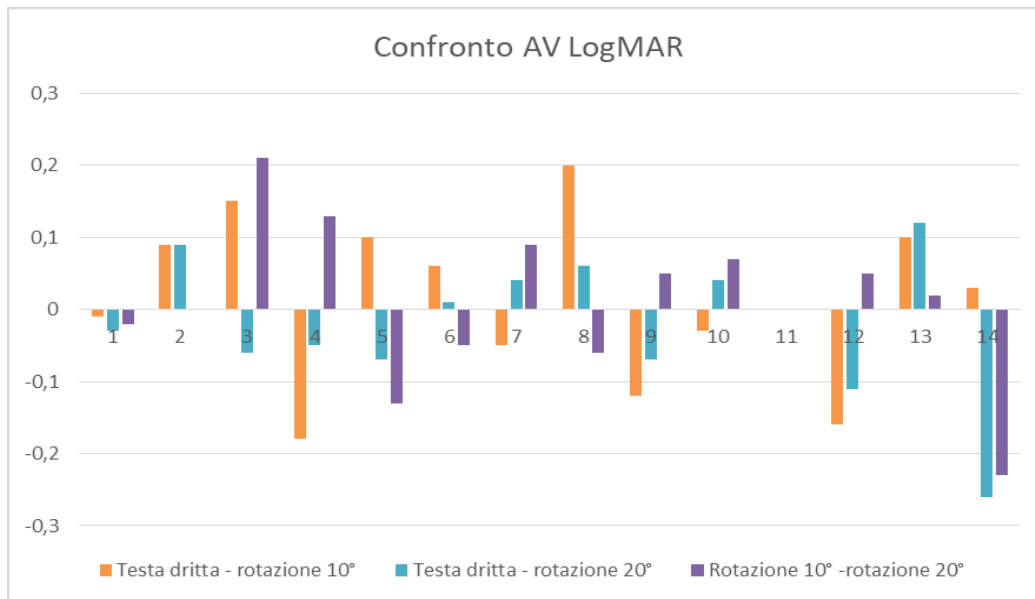


Figura 26

La media dell'acuità è uguale per i primi due casi, con testa dritta e inclinata di 10° e corrisponde a -0,01 LogMAR invece per l'inclinazione di 20° è di 0,0 LogMAR; molto simili.

Questo risultato conferma che i dati presi nel gruppo studio siano buoni quindi non attribuiti al caso.

Nelle seguenti tabelle si osservano i dati riguardo la sensibilità al contrasto:

Tabella XXI

	SC (%)		
	Naturale	Rotazione testa 10°	Rotazione testa 20°
1	2,29	2,18	2,65
2	2,18	2,52	1,78
3	5,58	3,24	4,01
4	4,98	2,92	5,57
5	3,65	2,93	2,88
6	2,88	3,46	2,94
7	3,92	3,48	5,29
8	0,2	3,43	3,42
9	0,2	2,25	2,24
10	3,36	3,18	3,43
11	3,71	3,5	3,7
12	2,75	2,68	4,32
13	1,18	1,31	1,63
14	1,16	1,08	1,14
MEDIA	2,72	2,73	3,21
DEV.ST.	1,64	0,79	1,31
t	0,491062762		0,075494184

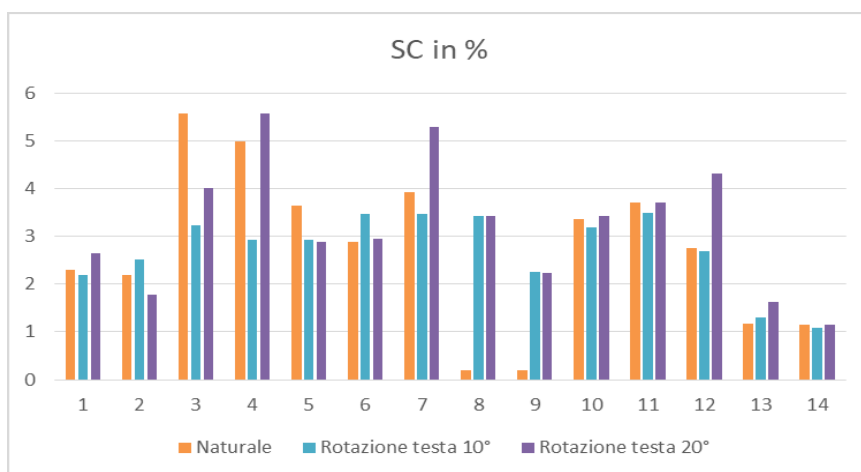


Figura 27

Dalle medie si può notare che tra la prima e la seconda condizione non vi siano enormi differenze, infatti la media della SC a testa dritta è di $2,72 \pm 1,64$ unità logaritmiche e con rotazione della testa di 10° di $2,73 \pm 0,79$ unità logaritmiche, invece con la testa inclinata di 20° la media è di $3,21 \pm 1,31$ unità logaritmiche.

Il valore di t non è significativo per la rotazione a 10° (0,49) né per l'inclinazione a 20° (0,07).

3.5 CONFRONTOTOPOGRAFIE

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti dalle topografie effettuate con testa dritta, testa inclinata di 10° (tabella XXII) e 20° (tabella XXIII).

Tabella XXII

CASO N.	T. Dritta	Rot. Testa 10°	Diff. 10°	Comp. 10°	Comp. 10° pos.
1	42,03 @171	42 @160	11	1	1
2	40,84 @ 180	40,79 @ 172	12	2	2
3	40,86 @180	40,82 @ 166	14	4	4
4	44,31 @ 180	44,39 @ 170	10	0	0
5	45,42 @ 66	45,35 @ 53	13	3	3
6	41,39 @ 16	40,98 @ 166	30	0	0
7	43,15 @ 180	43,25 @ 168	12	2	2
8	43,12 @ 166	42,62 @ 149	17	7	7
9	43,67 @ 180	43,94 @ 162	18	8	8
10	43,96 @ 180	44,20 @ 162	18	8	8
11	43,30 @12	43,30 @ 180	12	2	2
12	40,93 @ 57	40,97 @ 64	7	-3	3
13	43,07 @ 163	42,22 @ 149	14	4	4
14	41,78 @ 180	41,73 @ 165	15	5	5
15	41,91 @ 12	41,90 @ 180	12	2	2
16	42,34 @ 4	42,25 @ 169	15	5	5
17	42,49 @ 180	42,54 @ 163	17	7	7
18	45,25 @ 117	45,25 @ 110	7	-3	3
19	46,03 @ 59	45,77 @ 50	9	-1	1
20	44,62 @ 170	44,45 @ 151	19	9	9
21	44,17 @ 26	44 @ 12	14	4	4
22	43,08 @ 180	42,97 @ 169	11	1	1
23	43,29 @ 176	43,34 @ 160	16	6	6
24	40,60 @ 173	40,60 @ 158	15	5	5
25	45,05 @ 77	45,06 @ 62	15	5	5
26	45,35 @ 148	45,43 @ 138	10	0	0
27	43,11 @ 64	43,60 @ 55	9	-1	1
28	44,70@ 10	44,63 @ 180	10	0	0
29	44,5 @ 164	44,59 @ 154	10	0	0
30	43,67 @ 115	43,55 @ 105	10	0	0
31	43,89 @ 66	43,83 @ 52	14	4	4
32	41,75 @ 44	42,58 @ 44	10	0	0
33	42,74 @ 76	42,73 @ 79	2	0	0
media					3,30
dev.stan.					2,88

Tabella XXIII

CASO N.	T. Dritta	Rot. Testa 20°	Differenza 20°	Comp. 20°	Comp. 20° pos.
1	42,03 @171	42 @ 155	16	-4	4
2	40,84 @ 180	40,90 @ 167	13	-7	7
3	40,86 @180	41,11 @ 157	23	3	3
4	44,31 @ 180	44,43 @ 165	15	-5	5
5	45,42 @ 66	45,49 @ 46	20	0	0
6	41,39 @ 16	41,03 @ 170	36	16	16
7	43,15 @ 180	43,20 @ 161	19	-1	1
8	43,12 @ 166	42,46 @ 137	29	9	9
9	43,67 @ 180	43,99 @ 155	25	5	5
10	43,96 @ 180	44,46 @ 158	22	2	2
11	43,30 @12	43,45 @ 176	16	-4	4
12	40,93 @ 57	41,62 @ 78	21	1	1
13	43,07 @ 163	42,40 @ 133	30	10	10
14	41,78 @ 180	41,71 @ 162	18	-2	2
15	41,91 @ 12	41,95 @ 175	17	-3	3
16	42,34 @ 4	42,51 @ 159	25	5	5
17	42,49 @ 180	42,55 @ 153	27	7	7
18	45,25 @ 117	45,20 @ 98	19	-1	1
19	46,03 @ 59	45,89 @ 44	15	-5	5
20	44,62 @ 170	44,49 @ 146	24	4	4
21	44,17 @ 26	44 @ 174	32	12	12
22	43,08 @ 180	43,08 @ 156	24	4	4
23	43,29 @ 176	43,31 @ 157	19	-1	1
24	40,60 @ 173	40,58 @ 152	21	1	1
25	45,05 @ 77	44,91 @ 60	17	-3	3
26	45,35 @ 148	45,28 @ 133	15	-5	5
27	43,11 @ 64	43,64 @ 45	19	-1	1
28	44,70@ 10	44,64 @ 175	15	-5	5
29	44,5 @ 164	44,68 @150	14	-6	6
30	43,67 @ 115	43,65@98	17	-3	3
31	43,89 @ 66	43,81 @ 45	21	1	1
32	41,75 @ 44	42,59 @ 44	0	0	0
33	42,74 @ 76	42,72 @ 74	2	2	2
media					4,11
dev.stan.					2,91

Controllo rotazione oculare di compensazione del gruppo controllo

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti dalle topografie effettuate con testa dritta, testa inclinata di 10° (tabella XXIV) e 20° (tabella XXV) riguardo il gruppo controllo.

Tabella XXIV

N	T. Dritta	Rot. Testa 10°	Differenza 10°	Comp. 10°	Comp. 10° pos.
1	43,70 @174	43,91 @155	19	9	9
2	45,28 @ 11	45,16 @ 178	13	3	3
3	41,31 @ 171	41,31 @ 156	15	5	5
4	41,16 @ 180	41,08 @ 161	19	9	9
5	44,7 @ 180	44,86 @ 171	9	-1	1
6	44,33 @ 180	44,53 @ 168	12	2	6
7	42,93 @ 4	42,94 @ 173	11	1	1
8	42,70 @ 104	42,69 @ 90	14	4	4
9	42,62 @ 107	42,87 @ 94	13	3	3
10	43,26 @ 112	43,41 @ 104	8	-2	2
medie					3,9
dev.stand					2,96

Tabella XXV

N	T. Dritta	Rot. Testa 20°	Differenza 20°	Comp. 20°	Comp. 20° pos.
1	43,70 @174	43,90 @ 149	25	5	5
2	45,28 @ 11	45,34 @ 162	29	9	9
3	41,31 @ 171	41,14 @ 140	31	1	1
4	41,16 @ 180	41,19 @ 148	32	2	2
5	44,7 @ 180	44,57 @ 170	10	-10	10
6	44,33 @ 180	44,58 @ 166	14	-6	6
7	42,93 @ 4	42,88 @ 160	24	4	4
8	42,70 @ 104	42,58 @ 83	21	1	1
9	42,62 @ 107	42,78 @ 82	25	5	5
10	43,26 @ 112	43,28 @ 97	15	-5	5
medie					4,8
dev.stan.					3,04

Si può notare che le topografie del gruppo controllo **sono quasi identiche con piccole variazioni** al gruppo studio. Ciò significa che la rotazione di compensazione degli occhi nei soggetti astigmatici variano molto poco rispetto al gruppo controllo.

Si è valutato il valore t tra la rotazione 10° nel gruppo studio e nel gruppo controllo, rispetto alle medie (media g. controllo **3,9 ± 2,96**; media g. studio **3,30 ± 2,88**) il valore di $t= 0,13944$ quindi un valore non significativo per lo studio; riguardo la rotazione a 20° (media g. controllo **4,8 ± 3,04**; media g. studio **4,11 ± 2,91**) il valore $t= 0,20973$, troppo alto per essere significativo.

4 DISCUSSIONE

Come si è potuto evincere dallo studio, i soggetti compensano l'inclinazione della testa per una piccola parte. Sappiamo però che, la presenza di una correzione ottica crea un errore di rotazione tra la correzione astigmatica e l'occhio astigmatico, portando all'insorgenza di un astigmatismo residuo e ad una correzione inadeguata che altera visione e acuità. In portatori di lenti a contatto l'effetto è minimo o nullo poiché la correzione, a differenza degli occhiali, la Lac ruota con gli occhi.

Nell'analisi sono stati presi in considerazione soggetti portatori di occhiali con correzione abituale dell'astigmatismo $\geq 1D$ ed un gruppo controllo dove i soggetti non presentavano astigmatismo o l'entità era $< 1D$ o la correzione non astigmatica nell'occhiale.

Ad esempio pensando ad un soggetto portatore di occhiali con una correzione di astigmatismo da 1D a 1,50D la cui correzione è posizionata in modo errato oltre ± 4 gradi di tolleranza (ISO riportate in precedenza) dovrebbe lamentare una riduzione dell'acuità e in genere un peggioramento visivo (superando la tolleranza 4 gradi si considera che, nella media, la visione peggiora).

La tolleranza ISO è una tolleranza costruttiva, ma il peggioramento della visione che si verifica tende, nel comune uso, a far sì che i soggetti evitino di adottare una postura del capo inclinata.

Quando si effettua una visita optometrica, i soggetti sono invitati a mantenere la testa dritta. Nel momento in cui il soggetto inclina la testa la situazione si modifica e questi parametri cambiano considerevolmente. Dai risultati di questo studio, si evidenzia che il soggetto però, riesce a compensare comunque la visione anche se il VOR compensa correttamente. Più precisamente dai dati dello studio si evidenzia che, quando si inclina la testa la visione nell'astigmatico si riduce significativamente (di conseguenza la persona tenderà a non inclinare la testa) ma che tale riduzione di visione è molto minore di quella simulata ruotando l'asse del cilindro correttore (condizione otticamente analoga); questa riduzione non si presenta nel gruppo di controllo, la rotazione dell'occhio è simile.

Un esempio evidente si può notare nella figura 28, durante una gara di motociclismo. I piloti in piega con la moto molto inclinata, hanno la testa che rimane il più dritta possibile. Questo è legato a vari aspetti, da un limite del sistema dell'equilibrio nell'orecchio interno, il quale non riesce a compensare un'inclinazione così ampia; da limiti riguardanti l'equilibrio binoculare (entrambi aspetti che esulano dagli argomenti trattati in questa tesi) ed è una condizione simbolica per il nostro argomento.



Figura 28: durante una gara si può notare come la moto è molto inclinata mentre il capo più dritto possibile.

Dallo studio sono emerse alcune condizioni significative:

- I soggetti astigmatici portatori di occhiali che inclinano la testa hanno un **acuità visiva** lievemente ridotta ma significativamente migliore rispetto a quella ottenuta ruotando la lente correttiva ma con testa dritta, questo sia a 10° di inclinazione che a 20° , il valore di p indica che questa differenza, rilevata in ogni singolo soggetto, non è attribuibile al caso, pertanto ***i risultati del test confermano l'ipotesi sperimentale.***

Si deduce quindi che, se viene fatto un errore di compensazione dell'asse della lente, quindi magari un montaggio sbagliato di 10° , il soggetto probabilmente si lamenterà di vedere male. Mentre con l'inclinazione della testa di 10° (condizione che si può presentare nell'uso quotidiano) la visione non sarà molto alterata; nonostante le due condizioni siano otticamente uguali, se non si presentano movimenti di compensazione.

- Con le misure di **sensibilità al contrasto** la visione è lievemente ridotta con l'inclinazione della testa ma significativamente migliore rispetto alla rotazione dell'asse compensatrice sia con 10° che con 20° .

Nel gruppo controllo i dati e la valutazione di t non evidenziano variazioni significative (troppo alti per poter considerare i dati statisticamente validi, si può dedurre invece che siano attribuiti al caso).

- Le topografie per verificare la contro rotazione dell'occhio quando la testa è inclinata indicano che la compensazione simile nel gruppo test e nel gruppo controllo. I valori di t non sono significativi statisticamente.

Dai risultati delle topografie si considera che i soggetti astigmatici e non astigmatici compensino allo stesso modo, senza molte differenze (questo rafforza i dati di Jampel e Shi, 2002) [20].

Il VOR è soggetto ad adattamento sia a breve che a lungo termine quindi le topografie prese in considerazione in questo studio possono anche essere di questo fenomeno.

I nuclei vestibolari infatti non ricevono input solo dal sistema del labirinto (sacculo e utricolo) ma anche informazioni legate a stimoli visivi e propriocettivi [21].

Infatti un'ipotesi per poter spiegare questo fenomeno è che siano presenti strategie di compensazione ad esempio di natura percettiva, durante la fase del movimento, (secondo Jampel [20]), si presenta compensazione ma in posizione statica raggiunta l'inclinazione la contro-rotazione non è più presente e quindi c'è un minimo di disallineamento che è individuale, che però potrebbe essere anche un limite della misura; il tutto prende coerenza valutando i risultati dell'acuità che indicano che non c'è una riduzione dell'acuità, molto inferiore a quella della rotazione dell'asse dell'astigmatismo.

I movimenti oculari torsionali sono movimenti indotti dalla rotazione della testa attorno ad un asse orizzontale o verticale, i movimenti torsionali avvengono attorno ad un asse posteriore e probabilmente sono causati dalla stimolazione dei canali semicirculari e non dagli otoliti. Gli otoliti possono contrastare gli effetti della gravità e contribuire alla stabilità degli occhi e della testa nello spazio. In qualunque movimento il VOR agisce per ristabilire uno stato di equilibrio.

Un'altra ipotesi per i risultati di questo studio è che durante l'osservazione della mira con la testa in posizione inclinata, il sistema VOR cambi risposta rispetto alla posizione nel topografo. Non è stato possibile valutare la posizione dell'occhio simultaneamente alla

valutazione nell'AV per limiti strumentali (gli strumenti prevedono condizioni di test incompatibili). Per ridurre gli effetti le varie misure sono state eseguite a breve distanza di tempo ma questo non risolve il dubbio.

Ci si pone il problema della strumentazione adeguata per questo studio. La topografia presenta per i poteri locali variabilità, però questo non dovrebbe influire sulla misura dei meridiani principali. Altri studi hanno valutato il VOR con videocamere ed oculografia a infrarossi, i cui video sono stati poi rielaborati per ottenere i dati, mentre il topografo genera un'istantanea, non dinamica. Ci si pone il problema che il topografo non sia lo strumento più adatto per valutare la risposta del sistema del VOR, ma la topografia è uno strumento diffuso e i cui dati sono robusti, ripetibili e relativamente facili da ottenere. Particolare favorevole della valutazione della topografia corneale è una valutazione precisa della torsionale dell'occhio (con i metodi di video-oculografia che valutano la trama dell'iride, questo è più difficoltoso e/o meno preciso), e adottare la tecnica presentata in [20] non risolverebbe il problema.

CONCLUSIONI

L'astigmatismo è uno degli errori di rifrazione più comuni riscontrati e gestiti nella pratica clinica oftalmica. L'astigmatismo non corretto provoca un'ampia gamma di deficit visivi e adattamenti visivi a breve e lungo termine. Anche quantità relativamente piccole di astigmatismo non corretto possono influenzare le prestazioni visive, in particolare per compiti con richieste di elevata acutezza. La correzione precisa e affidabile dell'astigmatismo è quindi fondamentale.

È stato rilevato che i soggetti astigmatici del campione presentano un'acuità visiva significativamente maggiore con la rotazione della testa rispetto alla rotazione della lente compensatrice con la stessa entità. Questa variazione non si presenta nel gruppo controllo.

Dai dati risulta inoltre che sia l'occhio dei portatori di lenti astigmatiche, sia dei non portatori tendono a non compensare la rotazione della testa. Pertanto la tradizionale nozione che gli occhi ruotano per controbilanciare la rotazione della testa non trova sostegno da questa tesi, come rilevato in altri studi con metodiche diverse (Jampel, Shi, 2002).

Poiché il numero è contenuto di soggetti e vi sono altri fattori (indicate nella discussione), non si può essere certi della valutazione del VOR nello specifico gruppo di soggetti astigmatici ma sembra più probabile una compensazione di tipo percettiva. Si auspicano ulteriori approfondimenti con una misura simultaneamente della visione e della rotazione dell'occhio.

5 BILIOGRAFIA

- (1) A. Rossetti, P.Gheller. Manuale di Optometria e contattologia, II ed. Zanichelli, 2003
- (2) K.M. Williams, V.J.M. Verhoeven, P. Cumberland, A. Hofman, C.M. Van Duijn, J.R. Vingerling, *et al.* Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology, 2003
- (3) Scott A. Read, Stephen J. Vincent and Michael J. Collins, The visual and functional impacts of astigmatism and its clinical management, 2014
- (4) AS/NZS ISO 21987 Ophthalmic optics - Mounted spectacle lenses 2011
- (5) A. Rossetti, P.Gheller. Manuale di Optometria e contattologia, II ed. Zanichelli, 2003
- (6) O'Leary CI, Evans BJ. Criteria for prescribing optometric interventions: literature review and practitioner survey. *Ophthalmic Physiol Opt* 2003.
- (7) Dabkowski JA, Roach MP & Begley CG. Soft toric versus spherical contact lenses in myopes with low astigmatism, 1992
- (8) Read SA, Collins MJ, Carney LG, A review of astigmatism and its possible genesis. *Clin Exp Optom*, 2019
- (9) Hidenag Kobashi, Kazutaka Kamiya, Kimiya Shimizu, Takushi Kawamorita, Hiroshi Uozato, Effect of axis orientation on visual performance in astigmatic eyes 2012
- (10) Qing-Qing Tan, Bai-Wei Wen, Xuan Liao, Jing Tian, Jia Lin Chang-Jun Lan Optical quality in low astigmatic eyes with or without cylindrical correction 2019
- (11) Michael Fetter, Vestibulo-ocular reflex, 2007

- (12) E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel, S.A. Siegelbaum, A.J. Hudspeth Principi di Neuroscienze Quarta edizione, 2019
- (13) Baloh RW and Honrubia V. 1983
- (14) Mark L. Latash Neurophysiological basis of movement, 1998
- (15) E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel, S.A. Siegelbaum, A.J. Hudspeth Principi di Neuroscienze Quarta edizione, 2019
- (16) Herschel P. Goldstein and Alan B. Scott, Chapter 23 Ocular Motility
- (17) Bach M. The Freiburg Visual Acuity Test—Automatic measurement of visual acuity. Optom Vis Sci. 1996
- (18) Cicchitelli, Giuseppe; Minozzo, Marco; D'Urso, Pierpaolo, Statistica: principi e metodi, 2017
- (19) Cicchitelli, Giuseppe; Minozzo, Marco; D'Urso, Pierpaolo, Statistica: principi e metodi, 2017
- (20) Jampel RS, Shi DX. The absence of so-called compensatory ocular countertorsion: the response of the eyes to head tilt. Arch Ophthalmol. 2002 Oct;120(10):1331-40. doi: 10.1001/archophth.120.10.1331. PMID: 12365912
- (21) M. X. Repka, Duane's System of Ophthalmology 2005, Chapter 4: Supranuclear Control of Eye Movements.