

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di laurea triennale in Ottica e Optometria

Tesi di laurea

Retinoscopia dinamica secondo Nott: influenza delle dimensioni del target sulla risposta accomodativa.

Relatore: Prof. Anto Rossetti

Correlatore: Prof. Luca Stanco

Laureando: Ferro Davide
Matricola: 1024105

Anno accademico 2014/2015

INDICE

SIGLE E SIMBOLI UTILIZZATI.....	1
INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO 1 – La retinoscopia.....	5
1.1 Cos'è la retinoscopia.....	5
1.2 Retinoscopio.....	6
1.3 Il riflesso del fondo oculare.....	6
1.4 Tecniche d'esame della retinoscopia dinamica.....	7
1.4.1 Monocular estimate method (MEM).....	7
1.4.2 Tecnica di Cross.....	8
1.4.3 Tecnica di Sheard.....	8
1.4.4 tecnica di Tait.....	8
1.4.5 Tecnica di Bell	9
1.4.6 Tecnica di Nott.....	9
CAPITOLO 2 – L'accomodazione.....	11
2.1 Cenni di anatomia e fisiologia.....	11
2.2 Triade accomodativa.....	11
2.3 Lag e lead accomodativo.....	12
CAPITOLO 3 – Studio	15
3.1 Scopo.....	15
3.2 Soggetti.....	15
3.3 Strumenti.....	16
3.4 Procedura.....	21
3.5 Risultati.....	22
3.6 Discussione.....	28
3.6.1 La risposta accomodativa.....	28
3.6.2 Riduzione dell'errore nella risposta accomodativa....	29
3.7 Conclusioni.....	30
Bibliografia.....	31

SIGLE E SIMBOLI UTILIZZATI

\pm	più meno
$>$	maggiore
$<$	minore
\geq	maggiore o uguale
Δ	delta: differenza tra due valori
σ	sigma

LogMAR: progressione definita dal logaritmo del minimo angolo di risoluzione.

LogRAD progressione definita dal logaritmo del minimo angolo di risoluzione.
Utilizzata per le distanze di lettura.

MEM: monocular estimate method

ca. circa

CA/C convergence-accomodation/convergence

AC/A accomodationconvergence/ accomodation

INTRODUZIONE

La retinoscopia dinamica è una tecnica oggettiva per valutare lo stato refrattivo dell'occhio a distanza prossimale. Grazie ad essa è possibile valutare lo stato accomodativo del soggetto. In condizioni standard l'accomodazione risulta in difetto (lag accomodativo) rispetto alla richiesta accomodativa legata alla distanza di osservazione.

Lo scopo di tale studio è quello di verificare se esiste relazione tra le dimensioni della mira di osservazione (*target*) e la risposta accomodativa.

In particolare ci si aspetta che una mira richiedente un'acuità visiva maggiore implichi uno sforzo accomodativo superiore, con conseguente diminuzione del lag accomodativo rispetto ad una mira di acuità inferiore posta alla stessa distanza.

Le mire di osservazione sono state costruite a partire dalla TAVOLA 1 DI RADNER per distanza di lettura di 0,40 m utilizzando le dimensioni 0,7 logRAD, 0,4 logRAD e 0,1 logRAD.

Per lo studio sono stati scelti 30 soggetti di età compresa tra 15 e 23 anni con anamnesi oculare negativa, visus di 0,0 logRAD (10/10) monoculare e stereopsi inferiore a 140" d'arco a distanza prossimale (0,40 m).

È stata fatta scegliere loro una delle tre mire senza mostrarla all'esaminatore. È stato poi chiesto loro di leggere lentamente ciò che vi era scritto (il testo era per le tre mire il medesimo per evitare bias).

Al soggetto veniva effettuata la retinoscopia dinamica utilizzando un retinoscopio a striscia con specchio piano, secondo la tecnica Nott. Il valore misurato è quello del primo neutro. La misura è stata rilevata utilizzando una barra rigida in alluminio opportunamente millimetrata.

I risultati mostrano come i soggetti rispondano in modo coerente al test ossia come sia presente un aumento della risposta accomodativa con il diminuire dell'acuità visiva richiesta dalla mira. È stata valutata la significatività della riduzione del lag accomodativo in funzione delle variazioni nelle dimensioni angolari della mira. Il risultato finale mostra una dipendenza significativa tra le due variabili. Lo studio pertanto rivela una tendenza alla riduzione del lag accomodativo all'aumento dell'acuità visiva richiesta dalla mira per ogni singolo soggetto. L'entità di tale andamento non è stata tuttavia valutabile a causa dell'utilizzo di sole tre mire.

Capitolo 1

La retinoscopia

Nel capitolo 1 viene descritta la tecnica della retinoscopia come esame obiettivo per la quantificazione del difetto refrattivo, in particolare esaminando strumenti e tecniche utilizzate.

1.1 Cos'è la retinoscopia

La retinoscopia è una tecnica d'esame che ha lo scopo di ottenere una misura oggettiva dello stato refrattivo dell'occhio del soggetto.

Nella *retinoscopia statica* lo stato refrattivo viene misurato mentre il soggetto fissa un oggetto a distanza elevata (4-6 metri) mentre l'esaminatore è a breve distanza.

Nella *retinoscopia dinamica*, lo stato refrattivo viene determinato mentre il soggetto osserva un oggetto posto a distanza prossimale, generalmente uguale o vicina al piano del retinoscopio. [1]

La scoperta della retinoscopia viene generalmente attribuita a Bowman (1859) che per primo descrisse le osservazioni del riflesso del fondo oculare effettuate con l'oftalmoscopio di Helmholtz su una cornea astigmatica affetta da cheratocono.

La prima vera interpretazione della retinoscopia è però da attribuire all'oftalmologo francese Cuignet che alla fine del XIX secolo, tramite l'osservazione con un oftalmoscopio a specchio piano notò che se muoveva la sorgente luminosa il riflesso del fondo oculare si muoveva nella stessa direzione (riflesso concorde) o in direzione opposta (riflesso discorde) a seconda del difetto refrattivo del soggetto. Inoltre Cuignet notò differenze di movimento e luminosità del riflesso sui vari meridiani di osservazione.

Egli attribuì tale riflesso alla cornea e fu il suo allievo Mengin a capire, seguendo le intuizioni di Landolt, che il riflesso era di origine retinica e non corneale. [2] La teorizzazione come metodo refrattivo quantitativo è di H. Parent (fine XIX sec.).

1.2 Retinoscopio

Il retinoscopio è lo strumento utilizzato nella tecnica della retinoscopia.

Un moderno retinoscopio è composto principalmente da una sorgente luminosa (lampadina). Il filamento di tale lampadina distingue i retinoscopi a *spot*, il cui fascio luminoso risulta circolare; dai retinoscopi a *striscia*, il cui fascio appare più allungato ed è generalmente di orientamento variabile (nei vari meridiani). Questi ultimi retinoscopi permettono una migliore interpretazione dell'astigmatismo mentre i primi risultano più agevoli nelle osservazioni qualitative del riflesso (qualità, colore, intensità...).

Lo specchio è un altro elemento importante: esso può essere *piano* (nella maggior parte dei casi) o *concavo*. I moderni retinoscopi hanno la possibilità di variare questa opzione tramite l'utilizzo della ghiera di regolazione. Essa sposta la lente collimatrice simulando l'effetto di uno specchio concavo. L'utilizzo dei due specchi può essere utile per la conferma dell'osservazione effettuata in quanto i riflessi osservati risultano di entità opposta a seconda del tipo di specchio utilizzato.

La lente collimatrice viene utilizzata oltre che per simulare gli effetti dello specchio concavo anche per collimare i raggi della sorgente luminosa in caso di specchio piano in modo che il riflesso osservato nella pupilla sia a fuoco sul piano retinico in un soggetto emmetrope, tenuto conto della distanza di osservazione.

1.3 Il riflesso del fondo oculare

La tecnica della retinoscopia consiste nell'osservazione del riflesso del fondo oculare.

Tale riflesso, se si utilizza uno specchio piano può essere:

- **concorde:** muovendo il retinoscopio, il riflesso si muoverà nello stesso senso. Otticamente il riflesso concorde implica che il piano retinico sia coniugato con un piano posteriore all'esaminatore, ciò accade quando il fuoco dell'occhio è posteriore alla retina.
- **discorde:** muovendo il retinoscopio il riflesso si muoverà nel senso opposto rispetto ad esso. Otticamente il riflesso discorde implica che il piano retinico sia coniugato con un punto posto tra l'osservatore e l'esaminato (il fuoco cade anteriormente alla retina).

- **Riflesso neutrale (o neutro):** tale condizione, di difficile interpretazione, si verifica quando la retina è coniugata otticamente con lo specchio del retinoscopio. Il fondo oculare risulterà egualmente illuminato e non subirà variazioni muovendo il retinoscopio.

Il riflesso neutro viene generalmente suddiviso in PRIMO NEUTRO ossia il riflesso ottenuto passando da un riflesso concorde a uno neutro e in SECONDO NEUTRO ossia il riflesso ottenuto subito prima del valore di inversione da concorde a discorde. Questo è caratteristico della retinoscopia dinamica in quanto l'accomodazione può mantenere la focalizzazione per diverse condizioni ottiche. In questo studio si considererà solo il primo neutro (o neutro inferiore).

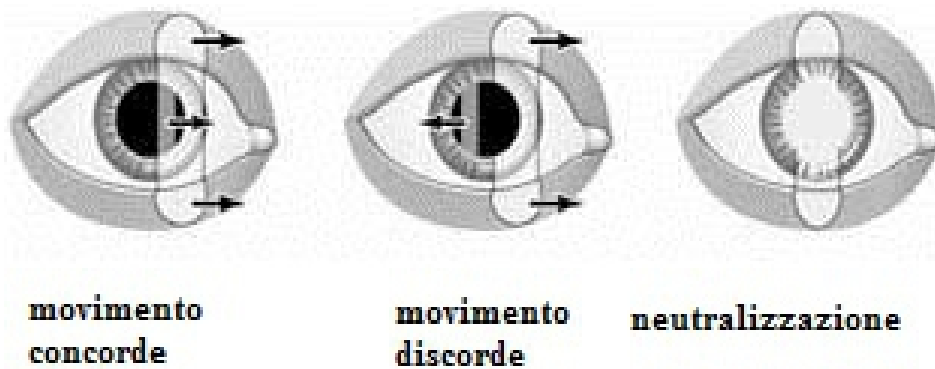


Figura 1: Riflesso retinoscopico

1.4 Tecniche di retinoscopia dinamica

La retinoscopia dinamica ha lo scopo di misurare in modo oggettivo lo stato accomodativo del soggetto esaminato. Sin dall'inizio molti professionisti hanno proposto tecniche per valutare lo stato del sistema visivo a distanza prossimale mediante retinoscopia. Al seguito saranno elencate le più famose tecniche di retinoscopia dinamica.

1.4.1 Monocular Estimate Method (MEM)

La tecnica di retinoscopia dinamica MEM ha come scopo quello di determinare la posizione di focalizzazione del soggetto a distanza prossimale.

Per tale tecnica la mira di osservazione consiste in un gruppo di lettere o immagini (a seconda del grado di istruzione del soggetto esaminato), poste attorno ad un foro di osservazione di circa 1,5 cm. La mira viene attaccata direttamente sul retinoscopio e l'esaminatore si pone alla distanza di Harmon del soggetto che indossa generalmente la correzione per distanza anche se si può scegliere di utilizzare un'ipotetica correzione per vicino oppure nessuna correzione. A tale distanza viene osservato il tipo di riflesso del fondo oculare e, mediante l'utilizzo di lenti tale riflesso viene neutralizzato. Particolarità è che la lente deve essere inserita monocularmente e tolta rapidamente (ca. 1") in modo che essa non possa influire sull'accomodazione stessa.

La MEM è molto utilizzata perché attendibile e comoda anche se non di così facile esecuzione.

1.4.2 Tecnica di Cross

La procedura è stata descritta da uno dei pionieri delle retinoscopie dinamiche Andrew J. Cross nel 1911, con lo scopo di trovare un'alternativa alla refrazione in cicloplegia nei casi di ipermetropia latente.

Essa consiste nell'osservazione del riflesso del fondo ottenuto con la correzione per distanza dopo aver rimosso il fattore correttivo per la distanza (riflesso concorde). Con l'aggiunta di lenti positive su entrambi gli occhi si arriva al valore diottrico di inversione (riflesso discorde) passando per i due valori neutro (inferiore e superiore).

1.4.3 Tecnica di Sheard

Tale tecnica, studiata da Charles Sheard nel 1920, si differenzia dalla tecnica secondo Cross in quanto essa prevede la sola neutralizzazione del riflesso (primo neutro) del fondo oculare considerando eccessivo il valore di inversione del riflesso (secondo neutro, valore analogo all'accomodazione relativa negativa). La tecnica secondo Sheard prevede inoltre di diminuire il valore ottenuto in retinoscopia di circa 0,50 D (a 0,40 m) o 0,75 D (a 0,33 m), valore attribuito al cosiddetto lag di accomodazione.

1.4.4 Tecnica di Tait

Tale tecnica è il risultato di uno studio di Tait del 1953 sulla tecnica di Sheard. Il test si svolge a distanza di 0,33 m prevede che alla correzione soggetto venga addizionato un valore positivo arbitrario (annebbiamento) in modo che il riflesso risulti discorde. Tale

valore positivo viene progressivamente ridotto sino ad ottenere la neutralizzazione. Tale valore è generalmente superiore di circa 1,50 D rispetto al valore trovato da Sheard.

Una tecnica simile è stata adottata nel test #5 del metodo OEP con la differenza che le lenti positive vengono progressivamente aggiunte e la distanza di esecuzione è di 50 cm.

1.4.5 Tecnica “Bell”

La tecnica prevede l'utilizzo di una campanella o di una sfera metallica come mira di osservazione e la focalizzazione avviene appunto sull'immagine riflessa. L'esaminatore si pone a 0,50 m dal soggetto ed osserva il riflesso del fondo oculare. Muovendo la mira di osservazione, l'esaminatore trova il punto in cui il riflesso si neutralizza. La distanza tra la mira e il retinoscopio è il cosiddetto lag o lead di accomodazione.

1.4.6 Tecnica Nott

Tale tecnica prevede che la mira sia posta a 0,40 m mentre l'esaminatore si sposta rispetto tale mira sino all'osservazione del riflesso neutro. La distanza tra mira e retinoscopio, convertita in diottrie corrisponde al Lag o Lead di accomodazione.

Capitolo 2

L'accomodazione

Nel capitolo 2 si tratta il meccanismo dell'accomodazione accennando alle strutture coinvolte e ai fattori che la influenzano.

2.1 Cenni di anatomia e fisiologia

L'accomodazione è il processo per il quale un oggetto posto a distanza finita viene messo a fuoco sul piano retinico garantendo un'immagine nitida.[3]

La principale struttura anatomica coinvolta è il cristallino, il quale varia la curvatura della sua faccia anteriore aumentando il suo potere refrattivo. Responsabile della variazione della curvatura del cristallino è il muscolo ciliare. Situato nella pars plicata (terzo anteriore del corpo ciliare) tra sclera e processi ciliari, il muscolo ciliare è costituito da fibre lisce a decorso longitudinale (quelle più esterne), radiali e circolari (quelle più interne). La sua contrazione, mediata da un'innervazione parasimpatica, controlla l'accomodazione mediante l'azione sul legamento sospensorio (zonula di Zinn) del cristallino. [4]

La via afferente dell'accomodazione è data da almeno 3 stimoli esterni:

1. sfuocamento dell'immagine retinica centrale
2. aberrazione cromatica oculare
3. coscienza della prossimità dell'oggetto, grandezza dell'oggetto

La via efferente parte dai nuclei di Edinger - Westphal. Le fibre raggiungono il ganglio ciliare dove fanno sinapsi. Le fibre post gangliari vanno ad innervare il muscolo ciliare.

2.2 Triade accomodativa

Il processo dell'accomodazione comporta sempre anche fenomeni di miosi e convergenza. I tre processi insieme sono definiti *triade accomodativa*.

È stato dimostrato che esiste una reciproca azione tra convergenza e accomodazione e viceversa. [5]

Donders [6] per primo nel 1864 descrisse la relazione tra accomodazione e convergenza come “non casuale” sottolineando tuttavia una certa indipendenza tra le due funzioni (chiamandola accomodazione relativa e convergenza relativa).

In studi successivi [7][8][9] si discusse sulla possibile indipendenza di queste due funzioni. Ames e Gliddon [10] conclusero che accomodazione e convergenza sono linearmente dipendenti e che non vi è stimolo di accomodazione che non provochi convergenza e viceversa.

Il concetto di accomodazione di convergenza indica la quantità di accomodazione indotta dall'innervazione di convergenza in assenza della necessità di focalizzazione precisa. [11]

Tale legame è definito dal rapporto CA/C (Convergence Accomodation/Convergence). Il rapporto CA/C indica la quantità di accomodazione (espressa in diottrie) indotta da uno stimolo di convergenza (espresso in diottrie prismatiche). [11]

Invece, il concetto di convergenza accomodativa indica la quantità di convergenza indotta dall'innervazione di accomodazione in assenza della necessità di mantenere la fusione. [11] Tale legame è definito dal rapporto AC/A (Accommodation Convergence/Accommodation). Il rapporto AC/A indica la quantità di convergenza accomodativa (espressa in diottrie prismatiche) indotta da uno stimolo accomodativo (espresso in diottrie). [11]

Nel 1957 Fincham e Walton [5] nel loro studio ribadirono il concetto di dipendenza tra accomodazione e convergenza (sottolineando il ruolo dell'età) ma dimostrarono anche l'esistenza dell'accomodazione e della convergenza relative. Tali aspetti fisiologici descrivono il grado di libertà delle due funzioni e vengono spiegate come un gioco di forze dovute alla vergenza ottica (che stimola accomodazione), allo stimolo di fusione unito alla consapevolezza della vicinanza dell'oggetto (che stimola convergenza) e alla tolleranza all'errore (di focalizzazione o fusione) del sistema visivo.

2.3 Lag, lead accomodativo

A livello teorico si suppone che la domanda accomodativa richiesta per osservare un oggetto a distanza prossimale corrisponda all'inverso della distanza, misurata in metri,

di tale oggetto dall'osservatore.

Sheard [12] nel 1920 evidenziò che l'accomodazione appare – in condizione fisiologica - in difetto (*lag accomodativo*) rispetto al piano di osservazione di circa 0,50/0,75 D.

Morgan [13] nel 1944, durante il suo studio sull'interazione accomodazione convergenza notò che indipendentemente dallo stimolo, la risposta accomodativa risultava in difetto di un valore medio di 0,75 D.

Tale situazione, ora largamente accettata come fisiologica viene definita lag accomodativo e definita come un errore focale “ipermetropico” (o meglio pseudopresbiopico perché solo prossimale) che non provoca sfuocamento in quanto non eccede mai la profondità di fuoco dell'occhio.[14]

Luckiesh and Moss [15] spiegarono il fenomeno attribuendolo all'aberrazione sferica.

Fichman e Walton [5] invece, osservarono che il lag accomodativo è più evidente in soggetti che presentano un'alta convergenza accomodativa. Essi sostengono che questi soggetti, in condizioni monoculari, producano convergenza per stimolare l'accomodazione necessaria alla focalizzazione dell'oggetto a distanza ravvicinata. Ne risulta che in condizioni binoculari lo stimolo di convergenza dà priorità alla fusione dell'immagine lasciando l'accomodazione in difetto.

Inoltre, in condizioni binoculari normali, l'errore sulla fusione è meno tollerato dal sistema visivo (può causare diplopia) pertanto lo stimolo di convergenza risulta dominante sull'accomodazione.

Essi conclusero che la risposta accomodativa, oltre ad essere influenzata dalla vergenza ottica è influenzata anche dallo sforzo di convergenza. Tale situazione produrrà la minima innervazione per la contrazione del muscolo ciliare.

L'effettiva risposta accomodativa può essere clinicamente interpretata come indice di una normale o anomala condizione refrattiva e/o binoculare.

Un lag accomodativo alto ($>+0,75$ D) può essere associato a:

- esoforia da vicino, anche con riserve fusionali negative insufficienti
- insufficienza accomodativa
- ipermetropia non corretta o sotto corretta

- miopia ipercorretta

Un lag accomodativo basso ($<+0,50D$) o un lead accomodativo possono essere invece indice di:

- exoforia da vicino con riserve fusionali positive insufficienti.
- spasmo accomodativo
- miopia sotto corretta o non corretta

Ciascuna condizione può essere variamente interconnessa e non è sempre agevole identificare una singola causa.

Capitolo 3

Studio

In questo capitolo viene descritto lo studio sperimentale sul quale si basa la tesi.

3.1 Scopo

Lo scopo dello studio è verificare la relazione tra le dimensioni della mira di osservazione e la risposta accomodativa, ossia l'eventuale errore nella risposta accomodativa.

L'ipotesi da verificare è quella che target di dimensioni angolari minori (misurate in LogMAR) richiedano uno sforzo accomodativo superiore rispetto a target di dimensioni angolari maggiori, posti alla stessa distanza.

3.2 Soggetti

Trenta soggetti (19 maschi e 11 femmine) di età compresa tra 15 e 23 anni ($20.63 \pm 2,02$) sono stati scelti per questo studio. Tutti i soggetti si sono sottoposti al test con la correzione abituale per distanza o senza se non la usavano.

Ad ogni soggetto, sono stati effettuati i seguenti test preliminari a distanza prossimale di 0,40 m:

- acuità visiva, utilizzando la tavola 1 del test di lettura di Radner [16]
- stereopsi utilizzando il test dei cerchi di Wirt (detto anche Titmus test)
- dominanza oculare (con tecnica di puntamento).

Ciascuno dei trenta soggetti presentava una buona stereopsi (almeno inferiore a 140") e un'acuità almeno di 0,0 LogMar (10/10 nella comune notazione decimale) ad una distanza di 0,40 m.

3.3 Strumenti

Nello studio è stato utilizzato uno strumento commerciale diffuso: il retinoscopio “Ri-scope” (ditta Riester, DE). La struttura dello strumento è semplice e si considera che l’osservazione sia pressoché analoga con qualsiasi strumento affine anche di altri produttori (nei testi generali non si evidenzia nessuna particolarità).

Per standardizzare le distanze è stata utilizzata un'asta metallica rigida alla quale è stato applicato un foglio di carta millimetrato (sensibilità 0,005 m).

Alla distanza di 0,40 m è stata applicata e fissata, in modo da non poter essere spostata, una clip di sostegno per le mire di osservazione. L'asta veniva appoggiata alla fronte del soggetto poco sopra la radice del naso e tenuta dal soggetto stesso, per minimizzare eventuali piccoli movimenti del capo.

Un cursore mobile è stato utilizzato per evitare errori di parallasse o imprecisioni nelle misurazioni.

Le mire di osservazione sono state costruite a partire dalla tavola numero 1 di Radner per distanza di lettura. Il testo, identico per tutte le mire è stato ricavato scrivendo in sequenza le frasi utilizzate nella tavola di Radner per le dimensioni di 0,7; 0,4 e 0,1 LogMAR (rispettivamente 2/10, 4/10, 8/10 nella comune notazione decimale); l’incremento di 0,3 LogMAR indica un fattore 2 di variazione delle dimensioni.

In questo modo i soggetti erano impegnati e l'esaminatore aveva maggior tempo a disposizione per la misura.

Le mire di osservazione, stampate in carta di alta qualità, sono state fissate su un supporto rigido. I supporti sono stati costruiti identici per forma, dimensione e colore in modo da non dare indicazioni (bias) all'esaminatore durante lo svolgimento del test e di forma rettangolare con il lato verticale più lungo in modo da consentire all'esaminatore di vedere gli occhi dell'esaminato.



Figura 2: Retinoscopio "ri-scope" Riester

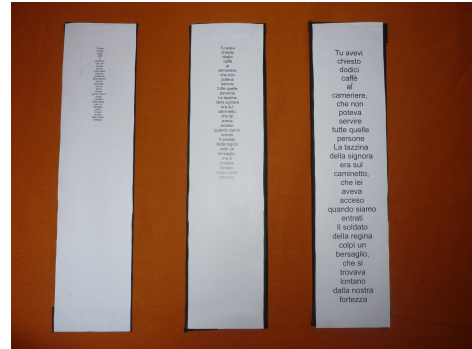


Figura 3: mire di osservazione (fronte)



Figura 4: mire di osservazione (retro)

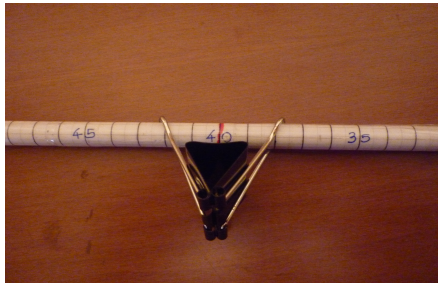


Figura 5: supporto per l'alloggio della mira di osservazione

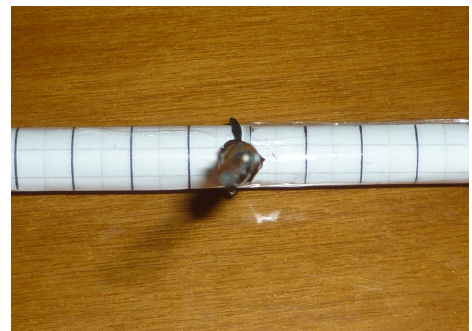


Figura 6: cursore mobile

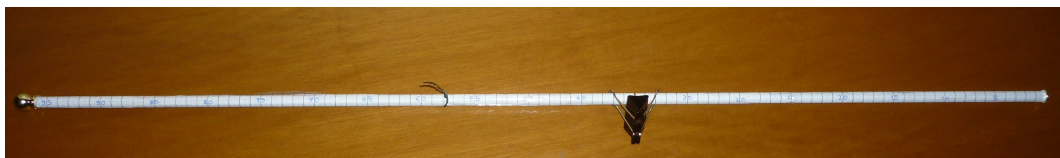


Figura 7: asta graduata

Tu avevi
chiesto
dodici
caffè
al
cameriere,
che non
poteva
servire
tutte quelle
persone
La tazzina
della signora
era sul
caminetto,
che lei
aveva
acceso
quando siamo
entrati
Il soldato
della regina
colpì un
bersaglio,
che si
trovava
lontano
dalla nostra
fortezza

Figura 8: Mira di osservazione di 0,7 LogMAR

Tu avevi
chiesto
dodici
caffè
al
cameriere,
che non
poteva
servire
tutte quelle
persone
La tazzina
della signora
era sul
caminetto,
che lei
aveva
acceso
quando siamo
entrati
Il soldato
della regina
colpì un
bersaglio,
che si
trovava
lontano
dalla nostra
fortezza

Figura 9: Mira di osservazione di 0,4 LogMAR

Tu avevi
chiesto
dodici
caffè
al
cameriere,
che non
poteva
servire
tutte quelle
persone
La tazzina
della signora
era sul
caminetto,
che lei
aveva
acceso
quando siamo
entrati
Il soldato
della regina
colpi un
bersaglio,
che si
trovava
lontano
dalla nostra
fortezza

Figura 10: mira di osservazione di 0,1 LogMAR

3.4 Procedura

I test sono stati svolti in condizione di luce ambientale (18 lux) con un faretto puntato ad illuminare la mira che garantiva un'illuminazione di 70 lux.

Ai soggetti, sono stati richiesti i dati generali per quanto concerne sesso e età. Sono stati a questo punto sottoposti ai test preliminari tutti effettuati alla distanza prossimale di 0,40 m con correzione abituale per distanza se in uso.

L'acuità visiva è stata misurata utilizzando la tavola 1 di Radner. Ai soggetti era richiesta un'acuità visiva monoculare di almeno 0,0 LogMar.

Per la stereopsi è stato utilizzato il test di Wirt dei cerchi (Titmus). Il soggetto, dopo aver indossato gli occhiali polarizzati, era invitato ad indicare in quale posizione secondo lui si trovava il cerchio in rilievo (destra, sinistra, alto o basso). Il valore minimo richiesto era $\leq 140''$ d'arco.

La dominanza oculare è stata valutata ponendo di fronte al soggetto uno specchietto di circa 1,5 cm di diametro (dominanza oculare di fissazione o di puntamento). Al soggetto veniva chiesto di fissare il proprio naso riflesso nello specchio mentre veniva ad esso ocluso un occhio alla volta dall'esaminatore (secondo una comune procedura d'uso clinico). L'occhio che manteneva l'allineamento è stato considerato l'occhio dominante. La dominanza oculare è determinata clinicamente in diversi modi (di fissazione, sensoriale, di rivalità binoculare), comunque Moest e Fischer (2011) [18] considerano un buon compromesso una dominanza di fissazione.

A questo punto è stato chiesto ad ogni soggetto di scegliere in modo casuale una delle tre mire adagiate sul tavolo girate, in modo da non poter essere riconosciute dall'esaminatore, e di apporla sull'apposito supporto dell'asta metallica. E' stato quindi chiesto ad ognuno di essi di sostenere l'asta con le mani appoggiandone l'estremità alla propria fronte.

Il soggetto a questo punto è stato invitato a leggere lentamente e a voce alta il testo scritto nella mira. La lettura a voce alta non ha comportato nessun bias all'esaminatore in quanto il contenuto era il medesimo per le tre mire.

A questo punto l'esaminatore, iniziava l'osservazione a una distanza di 0,40 m, quindi sullo stesso piano della mira di osservazione, puntava il retinoscopio verso l'occhio dell'esaminato e ne osservava il riflesso. In caso di riflesso concorde l'esaminatore, si

allontanava dalla mira di osservazione. Al contrario, in caso di riflesso discorde, si avvicinava. Per tale studio è stato scelto di annotare la misura del primo neutro, corrispondente alla distanza per la quale il riflesso passava da concorde a neutro in modo sostenuto (o stabile). La misura veniva annotata in un'apposita scheda e ripetuta per l'altro occhio.

3.5 Risultati

I dati sono stati raccolti per entrambi gli occhi ma essendo i risultati totalmente sovrapponibili è stato scelto di considerare solamente il campione relativo all'occhio dominante.

Soggetti	0,7 LogMar	0,4 LogMar	0,1 LogMar
	lag/lead (D)	lag/lead (D)	lag/lead (D)
1	0,68	0,61	0,50
2	0,78	0,61	0,00
3	-0,36	-1,50	-2,50
4	0,83	0,68	0,50
5	1,17	1,07	0,83
6	1,07	0,96	0,83
7	1,07	0,83	0,50
8	-0,36	-0,53	-0,83
9	0,75	0,68	0,61
10	0,50	0,17	0,00
11	0,75	0,61	0,50
12	0,91	0,68	0,50
13	0,68	0,28	0,00
14	1,36	1,32	1,13
15	0,61	0,00	-0,20
16	0,75	0,68	0,61
17	0,83	0,68	0,00
18	0,96	0,89	0,83
19	0,96	0,68	0,50
20	1,07	0,96	0,68
21	0,68	0,50	0,37
22	-0,83	-1,50	-3,06
23	-0,36	-0,53	-1,50
24	1,13	1,01	0,89
25	0,58	0,17	-0,13
26	0,50	0,58	0,00
27	0,83	0,68	0,28
28	0,12	0,00	-0,36
29	0,68	0,42	0,12
30	0,75	0,50	0,17

Tabella 1: Dati raccolti

Da una prima osservazione si nota come i valori misurati risultino molto eterogenei. Ciò può essere spiegato dal fatto che la risposta accomodativa è molto soggettiva e influenzata da molti fattori quali l'attenzione, lo stato refrattivo e la condizione binoculare del singolo soggetto.

Il GRAFICO 1 illustra globalmente la risposta di ogni singolo soggetto all'analisi delle tre mire, in termini di errore nella risposta accomodativa del singolo. Esso mostra il reale piano di osservazione del soggetto. Questo infatti non si trova a 0,40 m, sul piano della mira, ma in una posizione diversa, perciò la risposta accomodativa dei soggetti è diversa dalle 2,50 D teoriche.

Come si nota bene dal grafico la risposta del singolo soggetto è perfettamente coerente per le tre mire. In particolare la mira di 0,7 LogMAR produce una risposta accomodativa inferiore mentre la mira di 0,1 LogMAR produce una risposta accomodativa maggiore. La curva prodotta dalla mira di 0,4 LogMAR giace tra le due. L'unico soggetto a rispondere in maniera anomala per quanto riguarda le mire di osservazione di 0,7 e 0,4 LogMar è il soggetto numero 26. Essendo il caso unico, ed essendo comunque l'anomalia molto ridotta, è stato considerato come una fluttuazione della misura.

Questa condizione indica che clinicamente può presentarsi anche una risposta di questo tipo che può essere causa di confusione nell'esame visivo.

Tra i soggetti esaminati quattro di essi (i numeri 3, 8, 15 e 22) hanno manifestato una condizione di Lead accomodativo. Tale condizione viene considerata clinicamente anomala e pertanto tali soggetti sono stati esclusi dall'analisi statistica.

Il GRAFICO 2 mostra la risposta di ogni singolo soggetto che presenti una condizione fisiologica di lag accomodativo nei confronti delle mire di osservazione. Anche in questo caso si nota come le risposte siano coerenti per tutti i soggetti. Da un'analisi qualitativa si nota come tre soggetti (evidenziati in verde) passino da una condizione di lag accomodativo a una condizione di lead accomodativo. Tale situazione può trovare una spiegazione in una relazione con la convergenza, in un AC/A elevato o in un banale errore di misura.

Dato che le misure dipendono fortemente dal soggetto analizzato, è stato scelto di utilizzare come estimatore statistico la variazione dell'errore della risposta accomodativa

nelle varie situazioni.

E' stata pertanto calcolata la differenza dell'errore accomodativo tra le varie mire. Della distribuzione ottenuta è stata selezionato solo il 90%, eliminando la coda a destra, allo scopo di mantenere il più possibile coerente il campione statistico. In questo modo il campione su cui si è svolta l'analisi è stato ridotto a 26 soggetti.

Dal GRAFICO 3 si nota come l'andamento della riduzione del lag accomodativo sia un andamento normale e dalla sola osservazione grafica si nota come il picco di riduzione tra la mira di 0,7 LogMAR e 0,4 LogMAR (curva evidenziata in blu) sia molto simile a quello che vi è tra la mira di 0,4 LogMAR e quella di 0,1 LogMAR (curva evidenziata in giallo) mentre la riduzione della risposta accomodativa tra la mira di 0,7 LogMAR e quella di 0,1 LogMAR (curva evidenziata in rosso) risulti prevedibilmente maggiore. Tale osservazione è coerente se si pensa che la scala LogMAR comporta una riduzione lineare delle dimensioni delle lettere che compongono la mira. E' pertanto corretto osservare che il gap tra le mire 0,7 e 0,4 LogMAR sia molto simile a quello tra le mire 0,4 e 0,1 LogMAR, ed è inoltre giustificabile osservare una riduzione maggiore del lag accomodativo tra le mire di 0,7 e 0,1 LogMAR dato il gap doppio esistente tra le loro dimensioni.

Per stabilire la significatività di tali osservazioni è stato scelto di utilizzare come valore di riferimento il valore modale delle tre curve e di svolgere uno Z-test per valutare la significatività dei risultati. Con tale test si vuole verificare che le riduzioni del lag accomodativo, $\Delta 1$ e $\Delta 3$, siano le stesse mentre il valore $\Delta 2$ sia differente da queste. In tal caso si andrebbe a certificare una possibile linearità di riduzione del lag accomodativo legata alle dimensioni angolari della mira di osservazione.

Dallo Z-test risulta che i valori modali delle curve $\Delta 1$ e $\Delta 3$ sono separati di $0,69 \pm 0,03 \sigma$ mentre il valore modale della curva $\Delta 2$ dista da $\Delta 3$ $5,5 \pm 0,03 \sigma$ e da $\Delta 1$ $6,6 \pm 0,03 \sigma$.

Possiamo stabilire perciò che la riduzione tra $\Delta 1$ e $\Delta 3$ è la stessa con una significatività del 75% mentre la riduzione di $\Delta 2$ confrontata con gli altri valori è molto significativa (>99,9%). Tali valori sono stati ottenuti utilizzando come valore di riferimento le mode calcolate sulla distribuzione della riduzione del lag accomodativo. L'errore considerato sulla moda è stato ottenuto dividendo lo scarto quadratico medio per la radice quadrata del campione statistico. I punti Z ottenuti nel test sono stati poi convertiti in probabilità usando l'apposita tabella.

E' stata perciò ipotizzata una relazione lineare tra la variazione delle dimensioni della mira e la riduzione del lag accomodativo.

Il GRAFICO 4 mostra di quanto si riduce il lag accomodativo con il variare delle dimensioni della mira. Ipotizzando un andamento lineare è stata calcolata la retta di regressione la quale mostra un coefficiente angolare di $0,89 \pm 0,07$. Tale valore implica una significativa variazione di lag accomodativo con mire di dimensioni diverse. Tuttavia la risposta complessiva non si può certamente definire lineare dato che la retta interpolatrice non è compatibile con il punto (0,0). Stabilire l'entità dell'andamento corretto non è però possibile essendo stati raccolti dati per sole 3 mire.

E' risultato inoltre che nel passare dalla mira di 0,7 LogMAR alla mira di 0,1 LogMAR il 73% $\pm 15\%$ dei soggetti ha avuto una variazione di lag accomodativo $\geq 0,25D$ mentre tra la mira di 0,7 LogMAR e quella di 0,4 LogMAR il 27% $\pm 11\%$ ha avuto una variazione $\geq 0,25D$ e nel passaggio tra 0,4 LogMAR e 0,1 LogMAR il 42% dei soggetti ha avuto una differenza $\geq 0,25D$.

Ciò dimostra, nonostante l'alta percentuale di errore la tendenza ad una variazione significativa nel passaggio tra una mira di bassa acuità visiva (0,7 LogMAR) ad una ad alta acuità visiva (0,1 LogMAR) sottolineando il ruolo critico della mira stessa nel test e nei risultati.

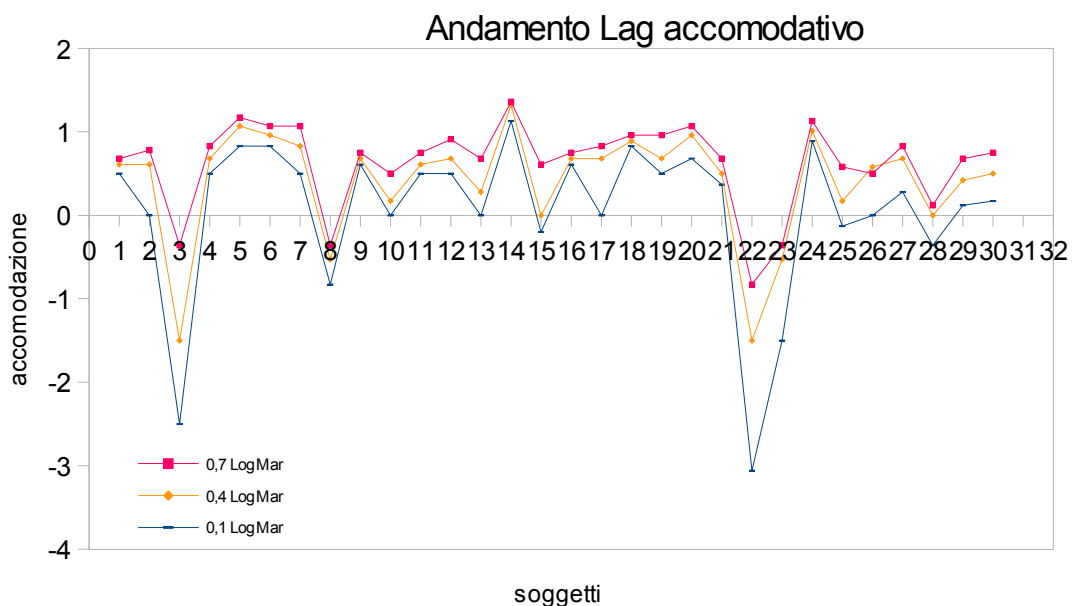


Grafico 1: Andamento dell'errore sulla risposta accomodativa in funzione della mira di osservazione.

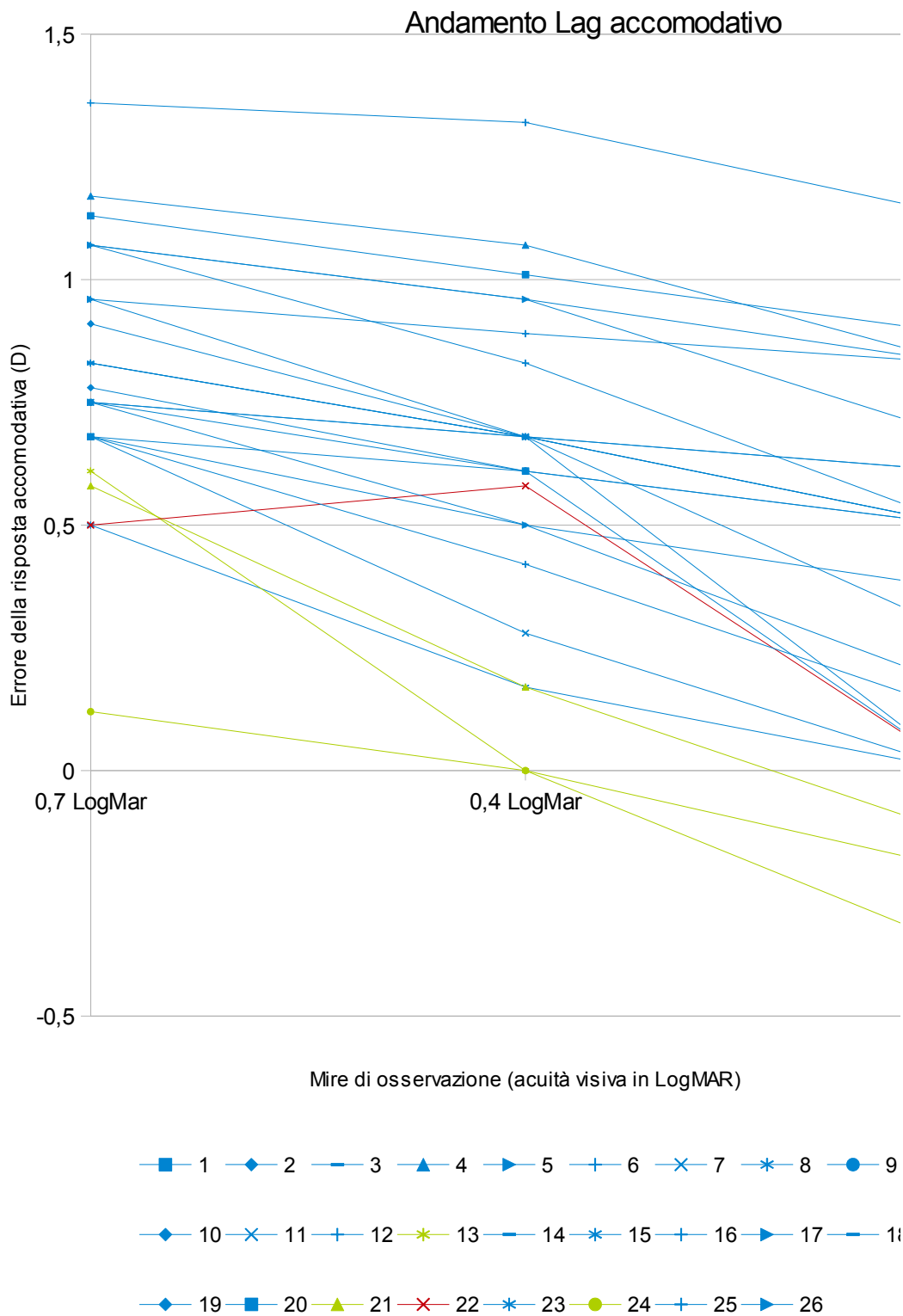


Grafico 2: Andamento della risposta accomodativa in funzione delle mire di osservazione in soggetti manifestanti lag accomodativo

riduzione risposta accomodativa

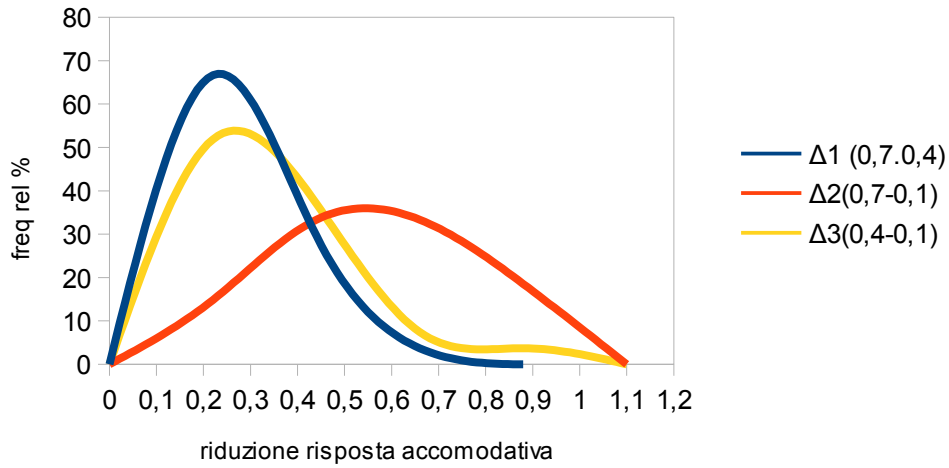


Grafico 4: Distribuzione della riduzione del lag accomodativo. Il grafico mostra di quanto si è ridotto il lag accomodativo confrontando i valori tra due

Andamento risposta accomodativa (errore in D)

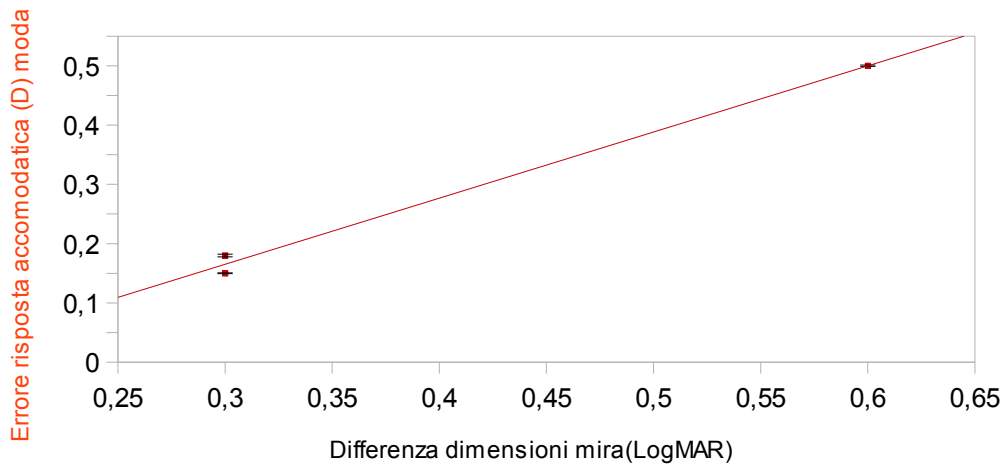


Grafico 3: Andamento della riduzione del lag accomodativo al variare delle dimensioni della mira di osservazione

3.6 Discussione

3.6.1 La risposta accomodativa

La risposta accomodativa di un soggetto è influenzata da più fattori: [19]

- Un fattore tonico dovuto allo stato dei muscoli extra oculari
- Un fattore accomodativo
- Un fattore di convergenza dovuto alla consapevolezza della prossimità dell'oggetto osservato
- Un fattore di fusione

I soggetti sono stati scelti indipendentemente dal loro stato refrattivo e binoculare. Il criterio di selezione del campione test era un'acuità visiva a 0,40 m di 0,0 LogMAR (10/10 anche con correzione) e visione binoculare attiva. E' possibile pertanto che i soggetti esaminati mostrassero anomalie accomodative o di vergenza non prese in considerazione nello studio, ma non elevate.

Un altro fattore che può aver influenzato le misure è lo stato ametropico dei soggetti. E' infatti noto che la risposta accomodativa è influenzata dallo stato refrattivo del soggetto [14][20]. Nakatsuka et al [14] hanno rilevato che i soggetti miopi (>1 D) mostrano un lag accomodativo inferiore rispetto a soggetti emmetropi e che il lag accomodativo è influenzato anche dallo stato eteroforico e da eventuali ametropie non corrette adeguatamente (tutti i soggetti usavano la loro abituale correzione).

E' possibile pertanto che alcune correzioni in uso dai soggetti esaminati non fossero quelle ottimali e ciò può aver contribuito ad una maggiore disomogeneità dei valori di lag e lead calcolati.

Un altro fattore che può aver influenzato le misure è il grado di attenzione del soggetto. E' stato dimostrato [5] che se un soggetto osserva un oggetto senza prestarne attenzione l'accomodazione e la convergenza vengono ridotti con conseguente aumento del lag accomodativo. Viceversa se un soggetto osserva con molta attenzione i dettagli di un oggetto la sua accomodazione e la sua convergenza aumentano con conseguente diminuzione dell'errore nella risposta accomodativa. Tale sorgente d'errore è stata limitata dal fatto che tutti i soggetti hanno letto lentamente e a voce alta il testo delle mire di osservazione ma il calo di attenzione può esser stato favorito dal fatto che il soggetto per 3 volte dovesse leggere il medesimo testo. Il problema può essere risultato

accentuato nei casi in cui le mire di dimensioni maggiori siano state lette per ultime. Esse infatti, oltre a comportare uno sforzo visivo minore potevano risultare poco interessanti anche dal punto di vista del contenuto con conseguente inquinamento dei dati.

Nonostante queste ipotesi, le risposte e i dati osservati (v. di seguito) appaiono coerenti e omogenei

3.6.2 Riduzione dell'errore nella risposta accomodativa

Scopo dello studio era di verificare se la risposta accomodativa variava in funzione della dimensione della mira di osservazione. Il GRAFICO 1 evidenzia come ogni singolo soggetto risponda in modo coerente e omogeneo all'ipotesi formulata. Unico caso è il soggetto numero 26 che manifesta valori discordanti tra la mira 0,7 e 0,4 LogMAR. Tale soggetto è stato trascurato in quanto il suo valore non è stato considerato significativo. Il grafico mostra come la risposta accomodativa aumenti con il diminuire delle dimensioni della mira di osservazione. Apparentemente in letteratura, gli studi effettuati sulla risposta accomodativa sono stati effettuati senza valutare il ruolo delle dimensioni della mira di osservazione e le variazioni sono state spesso misurate andando a cambiare la distanza della mira oppure variando la vergenza dei raggi tramite l'inserimento di lenti (che modificano la dimensione apparente della mira).

Questo studio rivela che ponendo la distanza di osservazione costante le dimensioni della mira hanno un'influenza sull'accomodazione e in particolare i soggetti aumentano la risposta accomodativa con il diminuire delle dimensioni della mira. Il ruolo della mira di osservazione è enfatizzato anche dal fatto che il $73\% \pm 15\%$ dei soggetti manifestasse una diminuzione del lag accomodativo

$\geq 0,25$ D.

Non avendo riscontrato in letteratura specifici studi che valutino l'influenza delle dimensioni del target sulla risposta accomodativa per questo tipo di tecnica la spiegazione di tale fenomeno è la proposta seguente. La chiara tendenza a ridurre l'errore della risposta accomodativa può essere spiegata dal fatto che il task di lettura di lettere più piccole obbliga il soggetto a una migliore focalizzazione (= minor errore) nonostante l'acuità visiva sia alla sua portata. Ciò si può essere associato a una maggiore attenzione del soggetto con conseguente aumento dell'accomodazione [5].

Appare pertanto plausibile che dovendo discriminare lettere di dimensioni più piccole il sistema visivo del soggetto sia meno tollerante all'errore con il risultato di un'accomodazione più accurata e perciò più vicina al valore teorico dell'accomodazione.

3.7 Conclusioni

Dallo studio è emersa una chiara tendenza dei singoli soggetti ad una riduzione dell'errore nella risposta accomodativa (lag accomodativo) con l'aumentare dell'acuità visiva richiesta nelle mire di osservazione. Tale riduzione è risultata statisticamente significativa anche se non è stato possibile stabilirne l'andamento a causa delle poche mire utilizzate. Non è stato inoltre possibile stabilire un valore di lag accomodativo medio per ogni mira utilizzata a causa dei molti fattori soggettivi che lo influenzano.

Sarebbe interessante ripetere lo studio utilizzando un campione più omogeneo in modo da non avere misure potenzialmente influenzate da fattori quali lo stato binoculare e refrattivo del singolo soggetto. Sarebbe inoltre interessante valutare il lag accomodativo utilizzando più mire di osservazione in modo da capire l'entità dell'andamento della riduzione emerso in questo studio.

Bibliografia

- [1] Grosvenor T., Objective refraction In: Grosvenor T. Primary care optometry Fifth edition, Boston [etc.] : Butterworth-Heinemann, c2007 . 183-207
- [2] Corboy, John M., Retinoscopy: its use and development In: Corboy, John M. The retinoscopy book: an introductory manual for eye care professional Fifth edition, Thorofare:Slack incorporated; 2003
- [3] Fruscella S., Cristallino In: Bucci Massimo G. Oftalmologia, Roma: Universo; 1993. 225-262
- [4] P. Pivetti Pezzi, Uvea In: Bucci Massimo G. Oftalmologia, Roma: Universo; 1993.185-223
- [5] E.F. Fincham, J. Walton, The reciprocal action of accomodation and convergence, "J. Physiol" 1957 137, 488 – 508
- [6] Donders, F.C., The anomalies of accomodation and refraction of the eye, London: The new Sydenham society, 1864. 110
- [7] Maddox, E.C., The clinical use of prisms, second edition, London: John Wrightland Co., 1893
- [8] Cross A. J., Dynamic Skiametry in theory and practice, New York, 1911
- [9] Kletzkey D., The starting point of the relationship between convergence and accomodation, "Amer. Journ. Physiol. Optics." 1923 4: 228
- [10] Ames A. e Gliddon G. Ocular measurements, "Trans. Sect. Opthal. A.M.A. " 1928 26:1
- [11] Rossetti A. Gheller P., Manuale di optometria e contattologia, Bologna: Zanichelli, 2003
- [12] Sheard C., Dinamyc Skiametry and methods of testing the accomodation and convergence of the eyes, Chicago: Cleveland Press, 1920
- [13] Morgan M. W. Jr., The nervous control of accomodation, "Amer. Journ. Optometry" 1944 21: 3-87

- [14] Nakatsuka C., Hasebe S., Nonaka F., Ohtsuki H. Accomodative lag under habitual seeing condition: comparison between adult myopes and emmetropes, Japanese Journ. Opt. Vol 47, 2003 291-298
- [15] Luckiesh M. e Moss F., Comparison of a new sensiometric method with usual technics of refraction, "Arch. Ophth", 1943 30:489.
- [16] Versione it. a cura di: Calossi A, Boccardo L, Fossetti A, Radner W. (2012) Tavole di lettura di Radner. Test standardizzato per valutare l'acuità e la velocità di lettura. Norbert Werner Ges.m.b.H, Vienna.
- [17] J AAPOS., Validity of the Titmus and Randot circles tasks in children with known binocular vision disorders. Fawcett SL, Birch EE. 2003 Oct;7(5):333-8.
- [18] Moest P., Fischer C., The dominant eye: how to assess the different tasks in the pair of eyes, presentazione orale all'EAEO meeting di Praga 2011
- [19] Morgan W., Accomodation and its relationship to convergence, "American Journ. Opt." 1944 183-
- [20] McBrient N., Millodot M. The effect of a refractive error on the accomodative response gradient, "Ophthal. physiol. Opt." 1986, Vol 6 num. 2, 145-149