



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Corso di Laurea Triennale in
OTTICA E OPTOMETRIA

Tesi di laurea

Disparità di fissazione e correzione prismatica della foria associata

Fixation disparity and associated phoria's prismatic correction

Relatore: Prof. Facchin Paolo

Laureanda: Gallo Elena

Matricola: 1153759

Anno Accademico 2019/2020

Abstract.....	1
Introduzione.....	2
1. GENERALITA' SULLA VISIONE BINOCULARE	3-5
1.1 – La percezione: rivalità binoculare e stereopsi.....	5-7
2. ANOMALIE DELLA VISIONE BINOCULARE.....	8-9
2.1 – Deviazioni: Eteroforia e disparità di fissazione.....	9-12
2.2 – Strabismo e Ambliopia.....	12-14
3. DEFINIZIONE DELLA DISPARITA' DI FISSAZIONE.....	15-16
3.1 – Estensione dell'area di Panum.....	17-18
3.2 – Natura della disparità di fissazione.....	19-20
3.3 – Approccio motorio.....	21-25
3.4 – Approccio sensoriale.....	25-26
3.5 – La disparità di fissazione oggettiva e soggettiva.....	26-27
3.6 – Metodo di indagine oggettivo e soggettivo della disparità di fissazione.....	28-32
4. DEFINIZIONE DI FORIA ASSOCIATA E FORIA DISSOCIATA.....	33-35
4.1 – Misurazione della foria associata con il test di Mallet.....	35-39
4.2 – Teoria di Haase: MKH.....	39-44
5. CORREZIONE PRISMATICA.....	45-47
Conclusion.....	48-49
Bibliografia.....	50-56

Abstract

Lo scopo di tale elaborato è quello di indagare la disparità di fissazione, la foria associata e l'eventuale correzione prismatica. Sono stati introdotti i concetti fondamentali della disparità di fissazione, confrontando le varie ipotesi sulla sua natura; esistono, tuttavia, due diversi approcci per la sua analisi e la sua gestione clinica. L'approccio motorio, utilizzato in America, si concentra sulla domanda di vergenza forzata data dai prismi e il conseguente cambiamento della disparità di fissazione. L'approccio sensoriale, utilizzato in Europa, pone l'attenzione sull'adattamento sensoriale del sistema binoculare quando è presente una disparità di fissazione. Successivamente, vengono analizzati i metodi di indagine oggettivi e soggettivi che comprendono: tracker-oculare, Disparometro di Sheedy, Saladin Card e Wesson Card. Viene introdotta la differenza tra foria dissociata e foria associata (cioè la minima quantità prismatica che porta la disparità di fissazione a zero). Dopo una breve introduzione dei test utilizzati per la foria dissociata, sono stati analizzati e confrontati il Mallet Unit Fixation Disparity Test e il metodo MKH di Haase per la foria associata. Le varie indicazioni sulla correzione prismatica analizzate sono d'accordo nel definire la foria associata e il Self Selected Prism come i migliori indicatori; tuttavia non esiste ancora un iter preciso nella clinica optometrica. Questa tesi si presenta come una review scientifica. I diversi articoli presentati nella letteratura scientifica e nelle banche di dati scientifici online sono stati analizzati e sintetizzati, e i risultati sono stati riportati nello scritto.

INTRODUZIONE

Vedere con due occhi è un aspetto molto importante nella visione dell'uomo. La visione binoculare riferisce all'integrazione delle immagini percepite dai due occhi per ottimizzare la performance visiva e la percezione stereoscopica (profondità). Una normale funzione binoculare richiede una rotazione orizzontale identica dei due occhi per un target posto all'infinito. La nostra società, tuttavia, è diventata sempre più dipendente da compiti a distanza ravvicinata, come leggere, lavorare alla scrivania o lavorare al computer. Durante la visione naturale i due occhi sono diretti precisamente verso un target, e l'immagine di questo target viene proiettata vicino al centro della retina di ogni occhio. In soggetti non-strabici le due immagini vengono fuse nel cervello se sono di un'adeguata qualità. Un aspetto della visione binoculare è la disparità di fissazione, la quale riferisce a una condizione in cui l'angolo di vergenza tra i due assi visivi non è ottimamente allineato e le immagini retiniche non sono perfettamente sovrapposte durante il processo fusionale. Questo piccolo disallineamento (misurato in minuti d'arco), viene tollerato grazie all'esistenza dell'area di Panum. La presenza della disparità di fissazione, inoltre, è un importante indicatore di stress binoculare e/o di foria scompensata. Quest'ultima può essere misurata con due linee del nonio presentate con una parziale dissociazione data dalla polarizzazione, e la loro posizione può essere cambiata con l'inserimento di lenti o prismi. La più piccola quantità prismatica che annulla la disparità di fissazione prende il nome di foria associata. Esistono vari metodi per analizzare la disparità di fissazione e la foria associata. L'obiettivo di questo studio è basato sulla ricerca nella letteratura di informazioni relative la disparità di fissazione oggettiva e soggettiva, la foria associata, i test utilizzati per la loro misurazione e le teorie di correzione prismatica relative alla foria associata.

Capitolo 1 – GENERALITA' SULLA VISIONE BINOCULARE

Quando i due occhi sono attivi a formare un'unica percezione si parla di binocularità. [1]

La visione binoculare singola è un processo corticale realizzato mediante un uso corretto e coordinato di entrambi gli occhi; le immagini retiniche provenienti dai due occhi vengono integrate e interpretate come un'immagine singola. Questo include lo sviluppo neuro-anatomico e funzionale prima e dopo la nascita; non solamente il corretto sviluppo anatomico degli occhi ma anche il movimento degli stessi attraverso i muscoli extraoculari (EOMs). In parallelo tutte le strutture neurali del cervello dedicate alla percezione visiva devono svilupparsi in modo appropriato. [2]

Come risultato ogni neurone della corteccia visiva primaria (V1) diviene capace progressivamente di codificare differenti caratteristiche della scena visiva, come la direzione e l'orientamento dei movimenti. In seguito molti di questi diventano "binoculari", cioè capaci di essere attivati da entrambi gli occhi. [2]

L'organizzazione dello spazio visivo prende come centro la fovea e questa localizzazione viene detta foveocentrica. [1]

La fissazione bifoveale, infatti, non è presente alla nascita e la fissazione è monoculare; quest'ultima è però inadeguata in quanto richiede che il soggetto sia cosciente della presenza dell'oggetto, che abbia un certo interesse, nei suoi confronti, e la capacità di mantenere l'attenzione. Questo impegno cognitivo è troppo elevato per un neonato e la fissazione foveale è rudimentale e instabile. [3]

Secondo Hubel, Wiesel e Buisseret la 'qualità' dell'esperienza visiva post-natale e dei movimenti oculari gioca un ruolo fondamentale, soprattutto durante il periodo critico. Alla fine di questo processo, se avvenuto correttamente, si sviluppa una percezione visiva ottimale in termini di acuità, visione del colore, percezione del contrasto e visione binoculare (che garantisce la stereopsi). [2]

Una delle funzioni principali del sistema visivo è stimare la posizione tridimensionale degli oggetti nello spazio. [4] Hering nel 1879 affermò che per un osservatore monoculare, la direzione può essere quantificata dall'azimuth e dall'elevazione (rispettivamente gli angoli orizzontali e verticali) del punto stimolato sulla retina; esiste una mappa uno-a-uno tra le coordinate sferiche della superficie retinica e l'azimuth-elevazione percepiti.

Per un osservatore binoculare invece la mappatura delle coordinate dell'immagine retinica è più complicata. La fovea rappresenta il *punto zero*; i campi visivi dei due occhi sono legati reciprocamente in modo che ogni area retinica dell'occhio destro (in una certa posizione e distanza dalla fovea) trova nell'occhio sinistro un'identica area omologa. Queste aree spazialmente omologhe prendono il nome di *punti corrispondenti*. [4]

La localizzazione di questi punti definisce l'oroptero empirico. L'oroptero contiene i punti di fissazione e i punti oggetto; è una superficie che in condizioni ideali e simmetriche presenta un meridiano di forma circolare (cerchio di Vieth-Muller). L'oroptero determinato empiricamente differisce dal cerchio essendo più una conica la cui eccentricità aumenta con la distanza di fissazione. I punti sull'oroptero stimolano aree corrispondenti e sono fusi in una singola percezione, quelli che cadono fuori danno luogo alla diplopia fisiologica. [1][4]

Durante la fissazione lo scopo del meccanismo oculomotore, oltre alla stabilizzazione dell'immagine retinica, è di controllare e aggiustare la percezione dell'immagine per un ottimale processamento visivo. [5] Il sistema binoculare manifesta dei movimenti fusionali (fusione motoria); qualora vi sia uno squilibrio muscolare, questi movimenti variano la posizione oculare per permettere il mantenimento della fusione. La convergenza verso un oggetto vicino è un movimento estremamente comune, la divergenza è il movimento verso un oggetto più lontano, ma si pensa sia solo un fenomeno passivo (assenza di convergenza). [1] Oggi gli scienziati sono d'accordo nel definire tre movimenti oculari principali durante la fissazione binoculare:

1. Tremori: nella fisiologia viene chiamato anche nistagmo, è aperiodico e ha una frequenza di circa 90 Hz. È il più piccolo tra i movimenti oculari per questo difficilmente registrato in modo accurato.
2. Microsaccadi: vengono anche chiamate 'flicks', sono dei piccoli movimenti che si verificano durante la fissazione volontaria. Hanno una durata media di 25 ms.
3. Drifts: avvengono nello stesso momento dei tremori, consistono in movimenti lenti degli occhi che avvengono nel periodo tra le microsaccadi. Hanno il ruolo di compensazione nel mantenere la fissazione in assenza di microsaccadi, o quando quest'ultime sono inadeguate. [5][6]

In conclusione l'apparato muscolare estrinseco con la sua attività e l'organizzazione retino-corticale collaborano per formare due immagini retiniche sovrapponibili e fusibili in una unica. [1]

1.1 – La percezione: rivalità binoculare e stereopsi

Nella didattica gli aspetti evolutivi della visione binoculare, e di conseguenza della percezione, seguono il modello proposto da Claude Worth nel 1915. Questo modello consiste in tre fasi denominate *tre gradi della binocularità*: percezione simultanea, fusione e stereopsi. [1]

Fino ai 4 mesi la visione è di tipo monoculare alternata, questa fase viene superata intorno al sesto mese quando tende a scomparire il fenomeno della soppressione di una delle due immagini. Queste vengono quindi percepite, elaborate e proiettate nel campo visivo simultaneamente. La fusione motoria si realizza successivamente quando il sistema è capace di coordinare i movimenti degli occhi, in modo tale da far cadere i punti oggetto su

punti retinici corrispondenti. La fusione sensoriale invece è la capacità psichica di ricavare una rappresentazione unica partendo da due immagini retiniche simili. [1][7]

La fusione motoria e sensoriale condivide lo stesso stimolo iniziale di disparità retinica binoculare orizzontale, ed entrambe le risposte a tale stimolo presentano componenti transienti e toniche. [8]

Quando due immagini simili nella forma, ma diverse per alcuni particolari cadono su due aree retiniche corrispondenti, possono essere fuse in un'unica immagine che percettivamente oscilla tra le caratteristiche dell'una e dell'altra con una frequenza massima di 30 Hz. [1][7] Hering nel 1879 e B. B. Breese nel 1889 concordano sul fatto che invece di formare una percezione stabile, le due immagini prevalgono una sull'altra per alcuni secondi alternandosi; questa fisiologica prevaricazione sensoriale tra le due afferenze percettive viene chiamata *rivalità binoculare*. [1][9]

Secondo alcuni studi la rivalità binoculare ha inizio a livello della corteccia visiva primaria (V1) con la competizione di neuroni monoculari, o nel nucleo genicolato laterale (LGN) del talamo. [9] I risultati di un altro studio, condotto con una serie di esperimenti elettrofisiologici su delle scimmie, mostra come il meccanismo neuronale che governa la rivalità binoculare si svolga primariamente in aree visive laterali. Negli ultimi anni è emerso un modello ibrido che incorpora entrambi gli studi precedenti, il quale afferma che la rivalità comprende competizioni neuronali a diversi livelli del pathway visivo. [10]

Le immagini retiniche di un oggetto risultano quindi leggermente differenti, creando una *disparità retinica binoculare orizzontale* (in condizioni fisiologiche); questa viene utilizzata dalla psiche per trarre informazioni sulla profondità e posizione spaziale dell'oggetto. Tale fenomeno prende il nome di *stereopsi*. [7]

È conosciuto da tempo come il fenomeno della rivalità binoculare e della stereopsi possano avvenire simultaneamente, e numerosi recenti articoli di Su, He & Ooi nel 2009, hanno riconfermato questa teoria. Esistono situazioni in cui la rivalità perturba, o addirittura distrugge, la stereopsi, indicando come i due meccanismi non sono indipendenti. Per esempio la qualità della stereopsi in presenza della rivalità binoculare dipende dal contrasto

tra le due mezze-immagini: la stereopsi domina quando il livello di contrasto è basso, mentre domina la rivalità quando il contrasto è alto. [11]

La stereopsi solitamente viene suddivisa in locale e globale. Secondo Ogle nel 1964 e Sperling 1970 la stereopsi locale richiede un alto livello di similitudine tra le due mire, con un range di disparità inferiore a $1-2^\circ$. La stereopsi globale comprende la valutazione della superficie, e le mire possono essere prive di caratteristiche ben definite, il range di disparità orizzontale può superare $1-2^\circ$. [12]

Nel loro studio Bishop e Pettigrew (1986) hanno riconosciuto come anche la disparità retinica verticale possa contribuire a stimare la distanza assoluta, in quanto quella orizzontale da sola non riesce. Questo è stato evidenziato dal fatto che nel campo percettivo di V1 i neuroni hanno spesso una sintonizzazione verticale oltre che orizzontale. L'importanza della disparità verticale nella stereopsi è stata sostenuta anche in lavori successivi.

Per quanto riguarda il pathway corticale coinvolto nella stereopsi, grazie alla tomografia a emissione di positroni (PET) e l'fMRI, Gulyàs & Ronald nel 1994 hanno studiato la distribuzione corticale del processo di stereopsi nel cervello. Questi studi hanno confermato che gli stimoli relativi alla disparità retinica sono distribuiti sia nella via dorsale sia in quella ventrale. [11]

Capitolo 2 – ANOMALIE DELLA VISIONE BINOCULARE

Le anomalie accomodative e le disfunzioni binoculari non-strabismiche sono dei disordini della visione che interessano la performance binoculare e visiva dei soggetti, in modo particolare quando lo stimolo è a distanza ravvicinata. Vi sono diverse classificazioni che categorizzano i disordini binoculari. [13]

Le anomalie accomodative sono caratterizzate da un'inadeguata accuratezza e sostenibilità dell'accomodazione, un'inadeguata ampiezza, flessibilità e facilità accomodativa; non coinvolgono tuttavia anomalie neuromuscolari dell'apparato visivo. Questa inadeguatezza influenza l'abilità degli occhi di focalizzare l'oggetto chiaramente causando una sfuocatura dell'immagine retinica. La classificazione originale usata è quella proposta da Donders che suddivide le anomalie in tre categorie: insufficienza accomodativa, inerzia accomodativa e eccesso accomodativo. Successivamente Scheiman e Wick, facendo riferimento al modello proposto da Duane nel 1915, proposero una classificazione composta da sette categorie.

Le anomalie binoculari implicano movimenti disgiunti degli occhi e comprendono la convergenza, la divergenza, vergenze verticali e torsionali; solitamente tali anomalie vengono compensate dal sistema di vergenze fusionali se la risposta di vergenza può compensare la domanda. La classificazione di Duane suddivide i disordini di vergenza in quattro gruppi principali: insufficienza di convergenza, eccesso di convergenza, insufficienza di divergenza ed eccesso di divergenza. Partendo dal modello di Duane, Tait nel 1915 estese la classificazione alle anomalie binoculari non-strabismiche. I problemi binoculari sono descritti in base al tipo di eteroforia misurata per il lontano e il vicino, e anche se ci sono quattro tipi, si possono raggruppare in due gruppi principali: esoforia ed exoforia. Se un'esoforia è maggiore nel vicino rispetto al lontano e il rapporto AC/A (convergenza accomodativa/accomodazione) è superiore alla norma è presente un eccesso di convergenza, se l'esoforia è superiore nel lontano rispetto al vicino e il rapporto AC/A è basso è presente un'insufficienza di divergenza. Mentre in un'exoforia maggiore nella

fissazione da vicino rispetto al lontano con AC/A basso c'è un'insufficienza di convergenza, e in un'exoforia maggiore per il lontano rispetto al vicino con AC/A alto è presente un eccesso di divergenza. [14]

Vi sono diversi sintomi e segni relativi ai disordini accomodativi e binoculari. I sintomi più comuni possono includere visione sfuocata per il vicino e il lontano, mal di testa, diplopia, astenopia, difficoltà nella lettura, difficoltà nel mantenere una visione nitida per un lungo periodo di tempo.

Tuttavia vi è uno scarso consenso nella letteratura scientifica su quali siano i criteri diagnostici da usare per definire ogni anomalia, poiché esiste una grande differenza tra le varie disfunzioni accomodative e binoculari. [13]

Le deviazioni binoculari non-strabismiche prendono il nome di eteroforie quando la compensazione è efficace, mentre quando la compensazione fallisce dà luogo a disallineamenti manifesti degli occhi chiamati eterotropie, conosciute anche come 'strabismo'. Nell'uomo lo strabismo è solitamente orizzontale, nello studio eseguito da McKean-Cowdin et al. nel 2013 è presente in circa il 3,6% degli asiatici, il 3,2% dei bianchi non ispanici, e circa il 2,5% della popolazione nera e latina sotto l'età di 6 anni secondo lo studio eseguito da Multi-ethnic Pediatric Eye Disease Study Group nel 2008. [18]

2.1 – Deviazioni: eteroforia e disparità di fissazione

Una normale e funzionale visione binoculare, includendo le componenti motorie e sensoriali, garantisce un appropriato allineamento degli assi visivi. Mentre la fusione sensoriale unisce le immagini dei due occhi, la fusione motoria è responsabile nell'allineare gli assi visivi in modo tale che la fusione sensoriale venga mantenuta. [15][16][17]

In soggetti non-strabici, le due immagini vengono fuse nel cervello se sono di un'adeguata qualità. Tuttavia, con specifiche condizioni cliniche dei test, il target viene presentato

solamente ad un occhio per impedire la fusione ed evidenziare la deviazione angolare dell'occhio non stimolato. L'eterotropia, o strabismo, è una deviazione manifesta degli occhi in quanto la fusione binoculare non funziona in modo appropriato; l'eteroforia invece è una deviazione latente che diviene evidente solamente quando il meccanismo di fusione viene distrutto. [16][17]

L'ortoforia indica l'assenza di ogni movimento durante la dissociazione, l'oggetto forma la sua immagine su due aree retiniche corrispondenti.

L'eteroforia invece viene classificata in base alla direzione del movimento degli occhi quando sono dissociati; l'esoforia descrive un movimento orizzontale 'verso l'interno', cioè un occhio fissa un punto più vicino rispetto a quello di riferimento, mentre l'exoforia è un movimento 'verso l'esterno', indica la fissazione di un punto più lontano rispetto a quello di riferimento. I movimenti dissociativi verticali degli occhi sono: iperforia destra o ipoforia sinistra, l'occhio destro fissa una posizione più alta rispetto al sinistro, e iperforia sinistra o ipoforia destra descrive esattamente il contrario; sono meno frequenti ma spesso sono in combinazione con le eteroforie orizzontali. Le forie torsionali sono: l'incicloforia, gli occhi durante la fissazione ruotano 'verso il naso', nell'exocicloforia ruotano 'verso le tempie'. [1][17]

Piccole quantità di eteroforia possono portare a sintomi visivi (astenopia), tranne quando sono compensate senza eccessivo sforzo dal sistema di vergenza. Inversamente, anche se la foria è significativa, può risultare asintomatica se le capacità di compensazione del soggetto sono sufficienti. [16] Il sistema di vergenze viene classificato, secondo il modello di Maddox, in quattro elementi distinti. La vergenza tonica, anche conosciuta come 'la posizione di riposo degli occhi', è il risultato del tono dei muscoli extraoculari ed equivale all'eteroforia per un target posto all'infinito. La vergenza accomodativa è data da una relazione sinergica con l'accomodazione. La vergenza prossimale avviene quando vi è la consapevolezza di un target posto a distanza ravvicinata e infine la vergenza fusionale risulta in risposta a una disparità dell'immagine retinica per mantenere la stessa fissazione nei due occhi. [19]

Solitamente la convergenza fusionale viene misurata ponendo davanti ad un occhio un prisma a base esterna (base del prisma rivolta verso la tempia), l'occhio è costretto ad addurre per mantenere la visione singola; in queste condizioni la convergenza fusionale è robusta, sostenendo un massimo di 18° per il target a distanza ravvicinata e 15° per un target otticamente all'infinito. [7]

La divergenza è richiesta psicologicamente per ridurre la convergenza nello shift dal vicino al lontano, ma normalmente il range di divergenza fusionale è inferiore a quello della convergenza. Viene misurata ponendo un prisma a base nasale davanti ad un occhio, quest'ultimo abduce per mantenere il target singolo. La divergenza fusionale riesce a sostenere circa 3° per il vicino e 2° per il lontano secondo Demer and Clark nello studio eseguito nel 2018. La divergenza tipicamente, ma non sempre, è più lenta della convergenza. [18]

La condizione di equilibrio binoculare è presente con ortoforia a distanza o leggera exoforia, e exoforia prossimale (4-8 Dp). [1][18]

Ci sono diversi modi per misurare l'eteroforia, i più comuni sono il Cover test e Thorington test modificato. Il cover test unilaterale consiste nell'occludere un occhio e osservare l'altro; se l'occhio non occluso si muove per mantenere la fissazione, il soggetto presenta eterotropia. Se al contrario non si verifica nessun movimento, quest'ultimo viene occluso e si osserva l'altro. Una volta stabilito che nemmeno l'altro occhio si muove, si esegue il cover-uncover per determinare se il soggetto ha un'eteroforia. Il procedimento è uguale al precedente, ma stavolta si osserva il movimento dell'occhio occluso subito dopo essere scoperto; se è presente una foria l'occhio occluso si muove nella sua posizione eteroforica e quando viene scoperto fa un movimento nella direzione opposta per recuperare la fissazione. Il cover alternato porta alla luce la massima deviazione oculare, in questo caso l'occlusione viene velocemente alternata tra i due occhi, per impedire qualsiasi momento di fissazione binoculare. In tutte le tre varianti la deviazione può essere quantificata con la barra dei prismi, attraverso la quantità di diottrie prismatiche necessarie per eliminare il movimento di recupero.

Questo test, tuttavia, soffre di alcune limitazioni in quanto non è oggettivo; infatti è stato dimostrato da diversi autori che in condizioni ottimali, il più piccolo movimento percepito dall'esaminatore senza aiuti risulta di 2 DP.

Più recentemente numerosi studi hanno utilizzato dei tracker per misurare l'eteroforia in modo oggettivo, confrontando i risultati con i metodi clinici. Han et al. hanno utilizzato un tracker limbus to limbus ed un haploscope, dimostrando una precisione tra 0.7 e 1.1 DP, e una risoluzione di 0.17 DP. [15]

A differenza dell'eteroforia la disparità di fissazione indica un disallineamento residuo della fovea all'interno dell'area di Panum, che persiste dopo che il sistema di vergenze ha compensato il bias neuromuscolare quando la fusione è permessa. [20] Tuttavia il concetto di disparità di fissazione verrà approfondito nei capitoli successivi.

2.2 – Strabismo e ambliopia

Qualsiasi alterazione dell'esperienza visiva post-natale e/o dei movimenti oculari durante il periodo critico (che corrisponde al periodo di massima plasticità) porta a un anomalo sviluppo di varie strutture nel cervello, sia dal punto di vista anatomico che funzionale. [2]

Nei bambini, una precoce esperienza visiva anomala può distruggere l'allineamento interoculare degli assi visivi generando strabismo, interferire con lo sviluppo sensoriale producendo ambliopia, e alterare il corso dell'emmetropizzazione causando un'ametropia in uno o entrambi gli occhi. Ognuna di queste condizioni può da sola alterare l'esperienza visiva, tuttavia l'ambliopia è fortemente associata alla presenza di anisometropia e/o strabismo durante l'infanzia. [21]

Lo strabismo riferisce ad un disallineamento oculare manifesto, che interessa circa il 2-3% della popolazione mondiale; quando si instaura nell'infanzia induce un anomalo sviluppo del pathway genicolo-corticale e delle connessioni interemisferiche attraverso il corpo

calloso. In parallelo, i neuroni e la mappa neuronale nella corteccia visiva primaria (V1), come anche quelli nelle aree visive provenienti dalla via dorsale e ventrale, sviluppano proprietà funzionali. [2][21][22]

Le ipotesi sull'eziologia dello strabismo si sono evolute in due gruppi principali: la teoria 'sensoriale e motoria' e la teoria 'centrale e periferica'. La "Classification of Eye Abnormalities and Strabismus" (CEMAS) si basa principalmente sull'opposizione sensoriale-motoria. La classificazione è:

- 1- Eterotropie orizzontali; concomitanti e non-concomitanti, o convergenti e divergenti.
In questa sezione sono incluse anche la precoce eterotropia nell'infanzia, paralisi dei nervi, esotropia accomodativa e exotropia costante o intermittente.
- 2- Eteroforie orizzontali
- 3- Incicloforie e forme speciali di strabismo: come per esempio disfunzioni o paralisi dei muscoli obliqui.

In contrasto con la precedente vi è un'altra via di classificazione data da Pèchereau nel 2013, in accordo con la teoria 'centrale e periferica'. L'autore classifica lo strabismo di origine 'periferica' come il risultato di anomalie a livello dei muscoli oculomotori o della loro innervazione (per esempio, distrofie muscolari e paralisi del III, IV, o VI nervo cranico). Include anche anomalie del sistema oculomotore in seguito a fratture orbitali. Per quanto riguarda l'origine 'centrale', l'autore ha incluso diversi tipi di strabismo in base a: (a) tipologia di deviazione (verticale o orizzontale, convergente o divergente, con o senza ciclo-torsione dell'occhio); (b) l'età di insorgenza dello strabismo; (c) se la deviazione è costante o intermittente. Ha sottolineato anche l'importanza dell'analisi dello stato binoculare nella classificazione dello strabismo, che dipende da una normale (o potenzialmente normale) o anomala binocularità. [2]

L'ambliopia è un disordine neuro-evolutivo della corteccia visiva che si verifica quando l'esperienza visiva binoculare viene distrutta nell'infanzia precoce. [24] Tipicamente viene definita clinicamente da un'acuità ridotta e accompagnata da uno o più fattori ambliogenici, come strabismo, anisometropia, elevato errore refrattivo e cataratta. Nonostante

l'ambliopia sia anche binoculare, comunemente colpisce solamente un occhio di bambini con strabismo, anisometropia, o entrambi. Questi fattori interferiscono con il normale sviluppo del pathway visivo, con un conseguente danneggiamento funzionale e strutturale della corteccia visiva. [23]

La teoria predominante data da Harrad et al. nel 1996 è che l'ambliopia sia il risultato di una mancata corrispondenza delle immagini provenienti da ogni occhio; un occhio è favorito mentre le informazioni provenienti dall'altro occhio sono soppresse.

Due grandi studi eseguiti da Birch and Holmes nel 2010 e dal Pediatric Eye Disease Investigator Group nel 2002, hanno definito il profilo clinico dei bambini con ambliopia:

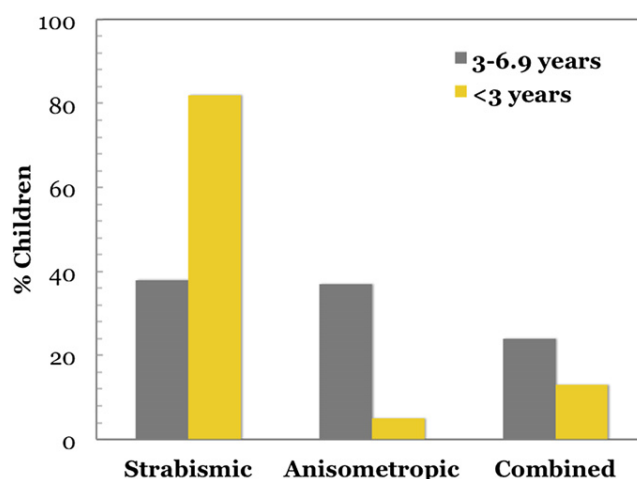


Figura 1. Percentuale di bambini sotto i <3 anni e dai 3 ai 6,9 anni con strabismo, ambliopia o entrambi. [23]

Nei bambini con età compresa tra i 3 e i 6,9 anni: circa il 40% degli ambliopi presenta strabismo o anisometropia, mentre più del 20% presenta entrambe. Invece nel gruppo di bambini ambliopi sotto i 3 anni: l'82% è associato con lo strabismo, solamente il 5% con l'anisometropia e il 13% con entrambi. Con altri due studi fatti in Inghilterra da Shaw et al. nel 1988 e Woodruff et al. nel 1994 è stato possibile affermare che i fattori responsabili dell'ambliopia variano con l'età. [23]

Capitolo 3 – DEFINIZIONE DELLA DISPARITA' DI FISSAZIONE

La disparità di fissazione è una condizione della visione binoculare in cui il punto di fissazione non viene proiettato nel centro della fovea di entrambi gli occhi. [25][26] Quindi la sua presenza indica un leggero disallineamento di un occhio, rispetto all'altro, durante la fissazione di un oggetto, o un piccolo errore a carico di entrambi, quando la è fusione permessa. [26][28]

Le immagini non stimolano due aree perfettamente corrispondenti della retina, ma cadono comunque all'interno dell'area fusionale di Panum; così l'oggetto viene visto singolarmente. La disparità di fissazione permette la fusione e una visione binoculare singola, senza una precisa fissazione bifoveale: infatti le immagini retiniche di un punto vengono fuse quando cadono in due punti non corrispondenti, ma sempre all'interno dell'area di Panum. [27][28] Il valore angolare è dato dal livello di slittamento tra le due immagini. La visione convenzionale indica che la disparità di fissazione ha un valore tra i 5' e i 10' (minuti d'arco) e raramente eccede i 10' secondo Sheedy. In persone con una visione binoculare normale, la disparità di fissazione e la sua variabilità durante una fissazione costante è solitamente < 5'. Tipicamente l'ammontare di essa varia in base alla domanda di vergenza forzata; diventando più convergente (eso-deviazione) con il prisma a base interna (BI), e più divergente (exo-deviazione) con il prisma a base esterna (BO). Il valore del prisma che neutralizza la disparità di fissazione prende il nome di *foria associata*.

Mentre la disparità di fissazione e la foria associata vengono misurate durante la visita optometrica usando tecniche soggettive e stimoli vectografici, la variabilità di vergenza viene raramente valutata. Gli strumenti diagnostici utilizzati per verificare la disparità di fissazione per il lontano e il vicino differiscono in base alla grandezza e posizione delle linee del nonio e in base alle caratteristiche del blocco fusionale binoculare.

Parameters of fixation disparity charts^a

Chart Type	Nonius Test Lines			Fusion Locks			
	Length (min arc)	Width (min arc)	Separation (min arc)	Type	Location	Vertical dimension/ separation (min arc)	Horizontal dimension (min arc)
Distance Tests							
Mallett unit ^b	18.3	5.2	20.6	Rectangular patch + letters (OXO)	Central	12.6 9.2 (height)	57.3 9.2
				Frame	Peripheral	83.1	83.1
AO Vetographic slide ^b	36.9	2.6	25.0	Ring	Central	14.6	14.6
Woolf Card	14.9	1.2	8.6	Horizontal bar Letters	Central Peripheral	2.6 75.1	61.3
Near Tests							
Borish Card ^b	94.5	6.5	64.5	Ring	Central	38.7	38.7
Disparometer (From Vision Analysis)	34.4	8.6	9.7	Circular frame + flanking letters	Peripheral	86.0	146.1 (separation of letters)
Mallett unit ^b	25.8	8.6	27.9	Rectangular patch + letters (OXO) paragraphs around circular path	Central Peripheral	21.5 12.9 (height) 113.9	88.1 12.9 113.9
Wesson Card	21.5	3.0	8.6	Square window- frame	Peripheral	103.1	103.1
Woolf Card	25.9	1.3	17.2	Horizontal bar Letters	Central Peripheral	6.5 128.9	103.1

Figura 2. Dimensioni delle linee del nonio e del blocco fusionale nei test per la disparità di fissazione. [29]

Molti studi hanno comparato le misure della disparità di fissazione usando questi strumenti per determinare se i risultati variassero in base allo strumento. Per esempio, Wesson e Koenig non trovarono nessuna differenza tra i risultati ottenuti con la Wesson Card e il Disparometro. In contrasto, Brownlee e Goss presentarono i risultati mostrando delle significative differenze tra i due, mentre Dittmore et al. non trovarono differenze se la presenza nei soggetti di eteroforie veniva tenuta in considerazione nell'analisi dei dati. Come mostrato nella tabella (Figura 2.), non solo i due strumenti differiscono per il tipo e la locazione del blocco fusionale, ma anche per la grandezza e la separazione delle linee del nonio. [29]

3.1 – Estensione dell'Area di Panum

Prima che Panum proponesse che un punto retinico in un occhio corrispondesse con un'area retinica piuttosto che un punto nell'altro occhio, la visione binoculare singola veniva spiegata con la teoria dei punti retinici corrispondenti. Infatti ogni punto della retina doveva avere un punto corrispondente nella retina dell'altro occhio, così la stimolazione simultanea di questi due punti corrispondenti generava un'immagine percepita singolarmente. Inoltre veniva considerato che la stimolazione di due punti retinici non corrispondenti desse diplopia.

L'area retinica di corrispondenza che rappresenta l'ammontare totale di disparità compatibile con una visione singola venne descritta da Panum (1858) e riconosciuta come '*Area fusionale di Panum*'. [30]

Per uno stimolo in un preciso punto retinico di un occhio, l'area retinica dell'altro occhio per la quale lo stimolo appare fuso, indica l'area di Panum per quel particolare punto retinico: si tratta quindi di una tolleranza rispetto agli errori o disparità della fissazione. Disparità che eccedono l'area di Panum danno luogo a diplopia o rivalità retinica. Classicamente quest'area viene considerata fissa e con una determinata estensione. [31][1]

La presenza dell'area di Panum permette il mantenimento della visione singola durante la percezione stereoscopica della profondità, nonostante ci siano costanti disparità delle immagini retiniche dovute ai vari movimenti dei muscoli extraoculari. Per esempio, durante la fissazione di un oggetto stabile, i drifts e le saccadi cambiano continuamente la vergenza oculare in diverse quantità: 15'' d'arco per Riggs e Ratliff, 1' d'arco per Krausopf, 5' d'arco per Hebbard e 2-4' d'arco per St. Cyr e Fender. [31] Infatti la stereopsi può essere suddivisa in tre processi principali: il primo si svolge all'interno dell'area di Panum, stabilendo una correlazione tra le aree retiniche dell'immagine destra e sinistra le quali hanno varie disparità. Il secondo processo consiste nella registrazione corticale delle

immagini percepite dai due occhi e un terzo processo che consiste nella convergenza degli occhi per compensare la disparità retinica. [32].

Nel 1967, Fender e Juleszl usarono un paio di immagini retiniche stabili mostrate entro un limitato range di disparità, dimostrando che la fusione avviene anche per disparità più grandi dei valori convenzionali dell'area di Panum (15-20'). [33][1]

Determinati parametri degli stimoli possono influenzare l'ampiezza dell'area fusionale. Kertesz dimostrò l'importanza della grandezza dello stimolo; Kulikowski e Schor mostrarono che alte frequenze spaziali dello stimolo riducono l'area fusionale; Schor e Tyler trovarono che l'area fusionale è 'una combinazione di un'area costante minima con un'area che si può ampliare in risposta a disparità che variano nel tempo'. [33]

I limiti verticali e orizzontali dell'area di Panum sono stati frequentemente studiati, mostrando una grandezza minore per il meridiano verticale rispetto a quello orizzontale. In uno studio svolto con lo scopo di misurare i limiti dell'area di Panum in otto diverse direzioni da 0° a 360° a step di 45° è stato dimostrato che: il meridiano orizzontale è il più grande (32-41' d'arco), quello verticale è il più piccolo (25-27' d'arco). I limiti dell'area nella parte nasale non sono simmetrici rispetto a quella temporale. Dimostrando così che l'area di Panum assume una forma ellittica centrata nasalmente rispetto a quella descritta da Fender e Juleszl. [30]

In conclusione l'area di Panum non dovrebbe essere più considerata come una regione fissa e costante, in quanto dipende dalle proprietà spaziali e temporali della disparità. [31]

3.2 – Natura della disparità di fissazione

Dalla sua scoperta da parte di Hofmann e Bielschowsky nel 1900, la disparità di fissazione passò dall'essere una curiosità ad uno strumento clinico di considerevole valore nell'investigazione e trattamento dell'eteroforia. Nel 1928 Ames e Gliddon pubblicarono i risultati del loro studio, considerato una delle prime maggiori investigazioni sulla disparità di fissazione; nel loro studio era stata chiamata '*retinal slipt*'. Trovarono una precisa correlazione tra la direzione dell'eteroforia e quella della disparità, notarono anche che la quantità di diottrie prismatiche necessarie per neutralizzare la disparità è solitamente minore rispetto a quella per neutralizzare l'eteroforia. [34]

Secondo Ogle nel 1951 la disparità di fissazione è fisiologica, e interpretata come un errore intenzionale che provvede da stimolo al sistema di vergenze. Nel 1974 Mallet la propose invece come un segno di stress del sistema di vergenza, e l'utilizzo della disparità di fissazione come segno per identificare uno stress è stato suggerito da altri designers di apparati clinici, come Sheedy e Haase. È stato dimostrato come l'introduzione di un prisma induca disparità di fissazione, e i designers dei test assumono che lo stress prismatico ne sia la causa; per questo la presenza di disparità in un soggetto, in assenza di un prisma, è indice di visione binoculare sotto stress. Nei loro studi Ogle, Pickwell, Saladin e Sheedy hanno stabilito che anche in soggetti non-sintomatici è presente la disparità di fissazione, dimostrando che quest'ultima da sola non può indicare la presenza di una foria scompensata. [35]

In parziale accordo con Ogle, Carter la considera come un microstrabismo, il quale esiste in presenza di una corrispondenza retinica normale e una visione binoculare singola. All'interno dei limiti imposti dall'area di Panum, il valore della disparità di fissazione è in funzione, in modo più o meno lineare, alla difficoltà di mantenere una precisa fusione motoria.

Palmer e von Noorden nel loro studio con un aploscopio a differenza di fase hanno concluso che non vi è nessuna correlazione tra la disparità di fissazione e l'eteroforia. In completa contraddizione, McCollugh afferma come la disparità sia il risultato di un'inabilità del soggetto nel compensare in modo efficiente l'eteroforia. [36]

Maddox sottolineò come tutte le risposte del sistema di vergenza abbiano una componente tonica. Infatti quando gli occhi fissano un target posto a distanza ravvicinata, l'aumento di accomodazione produce una componente di convergenza accomodativa. Questo 'supplemento fusionale' viene aggiunto, quando necessario, per allineare gli occhi dando una visione singola. [37] Anche Ogle et al. notò una piccola correlazione tra le misurazioni della foria dissociata e della foria associata (lo stimolo di vergenza richiesto per una disparità di fissazione pari a zero). Questo li portò a concludere che la foria monoculare 'non può essere considerata una misura dello squilibrio dei muscoli extraoculari quando la fusione non è permessa'. [38] Per esempio è ben conosciuta l'influenza dello stimolo accomodativo e i relativi cambi della convergenza accomodativa nella disparità di fissazione. [39]

Ogni interazione della vergenza fusionale con la risposta accomodativa produrrà un cambio nello stimolo alla sfocatura dovuto al feedback accomodativo. Questo cambio modifica di conseguenza la convergenza accomodativa e quindi la misura della disparità di fissazione. Perciò il sistema accomodativo totale può influenzare la disparità di fissazione se viene misurata nel modo tradizionale. [37] La relazione funzionale tra la disparità di fissazione e la convergenza o divergenza forzata mostra considerevoli variazioni interindividuali. Alcune di queste variazioni potrebbero essere attribuite al di fuori del sistema di vergenza fusionale, come per esempio alle interazioni tra l'accomodazione e la vergenza. [38]

3.2 – Approccio motorio

Da quando è stata resa popolare da Ogle nel 1949, la disparità di fissazione ha suscitato un certo interesse. Diverse strategie per la sua valutazione e gestione sono state proposte nella letteratura inglese e tedesca. Negli Stati Uniti la strategia dominante emersa negli ultimi tre decenni ha base motoria. In questa, il sistema binoculare viene ‘stressato’ da una determinata richiesta di vergenza sotto forma di prismi. Le variazioni di disparità di fissazione vengono tracciate su una curva. Le componenti della curva risultante vengono analizzate portando a delle raccomandazioni cliniche.

Nell’Europa centrale, l’analisi della disparità di fissazione ha un approccio differente, enfatizzando il punto di vista sensoriale rispetto a quello motorio. La disparità è vista come un adattamento sensoriale ad un piccolo disallineamento oculare. Con il tempo, questo adattamento sensoriale che comincia nel centro dell’area di Panum (PA), comincia a espandersi nelle regioni periferiche della PA. Quest’ultima può allargarsi nella direzione della deviazione. La determinazione di questa espansione dell’adattamento sensoriale attraverso targets di varia grandezza fornisce le basi per l’analisi e l’intervento clinico. [20]

Per quanto riguarda l’approccio motorio, molti clinici sono soddisfatti nel misurare solamente la foria associata (il prisma richiesto per ridurre la disparità di fissazione a zero), l’utilizzo invece della ‘*full-forced vergence fixation disparity curve*’ (FDC) porta più informazioni cliniche. La procedura utilizzata comunemente consiste nel test di vernier con linee del nonio di una grandezza fissata, polarizzate così una linea è vista da ogni occhio. Lo scopo del test, per il soggetto, è di riferire quando le due linee del nonio sono allineate con quella di riferimento. La strategia per il clinico è di cambiare la domanda di vergenza forzata con un ammontare conosciuto di diottrie prismatiche, e poi tracciare il risultante cambio di disparità di fissazione su un grafico: [28]

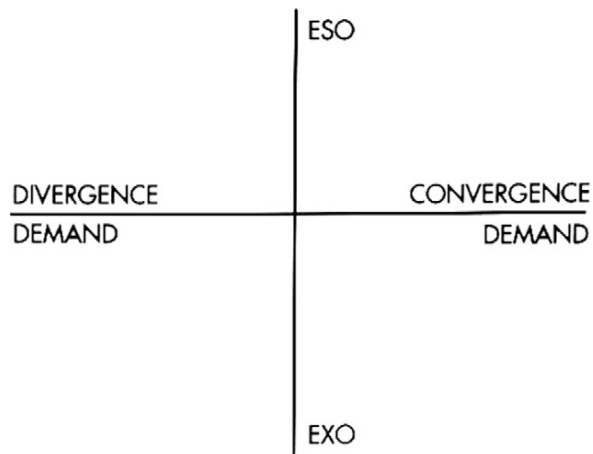


Figura 3. Assi principali del grafico per la disparità di fissazione. [20]

Comunemente per creare la FDC si utilizzano due test: il disparometro e la Wesson card. I componenti generati con questi test possono essere simili o diversi. [40] L'intersezione con l'asse Y indica la disparità di fissazione misurata in minuti d'arco. Una disparità di fissazione eso è registrata al di sopra dell'asse orizzontale, mentre una disparità exo al di sotto. [20] La maggior parte delle disparità di fissazione sono minori di 6' d'arco, ma possono anche essere più grandi di 30' d'arco. [41]

L'intersezione con l'asse X indica l'ammontare di diottrie prismatiche necessarie per portare la disparità di fissazione a zero. La neutralizzazione della disparità, chiamata foria associata, veniva utilizzata clinicamente come misura della disparità stessa. [20] C'è da considerare che l'intersezione con l'asse X è limitata alla valutazione di deviazioni orizzontali. [42]

Il tipo di curva si pensa indichi il risultato dell'adattamento della vergenza. [43] Esistono quattro tipi di curve principali:

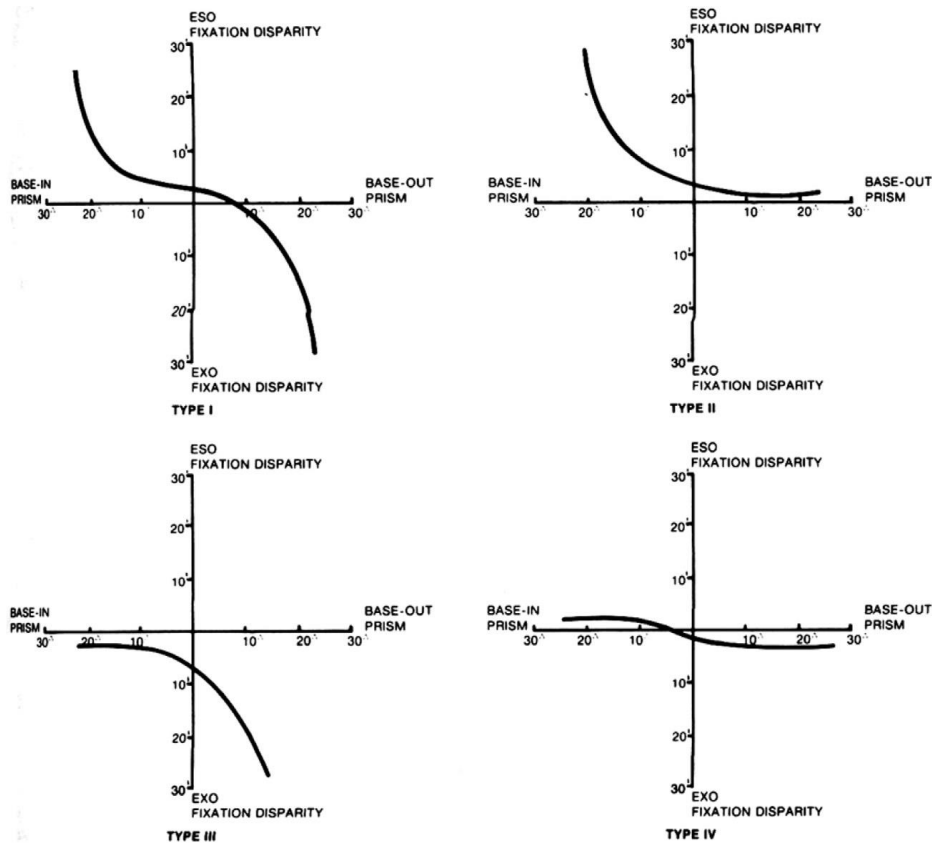


Figura 4. I quattro diversi tipi di curve della disparità di fissazione. [20]

Questi tipi di curve rappresentano la tendenza all'adattamento ad un prisma a base interna rispetto ad un prisma a base esterna.

1. Tipo I: tendenza ad adattarsi equamente al prisma a base interna ed esterna.
2. Tipo II: mostrano un maggiore adattamento al prisma base esterna e tende ad avvenire principalmente in soggetti con esoforia.
3. Tipo III: soggetti che si adattano solo parzialmente al prisma a base esterna, ma si adattano bene al prisma a base interna. Questi soggetti tendono a presentare exoforia in condizioni di visione dissociata.
4. Tipo IV: indica un sistema binoculare scarsamente funzionante. [20]

Un cambiamento nella grandezza del target o del blocco fusionale potrebbe cambiare le componenti della curva, specialmente in soggetti sintomatici. [44]

Successivamente al tipo di curva, la pendenza indica un parametro importante. È stato dimostrato che una pendenza più piatta è associata a soggetti asintomatici, mentre una

pendenza più marcata è correlata alla presenza di sintomi. [72] Di solito viene misurata tra 3 DP base esterna e 3 DP base interna, e forma il rapporto $\Delta Y/6$. Per scopi clinici, una pendenza maggiore di 1.0 è considerata a rischio. Infatti in un soggetto con una ‘efficiente disparità di fissazione’, la curva sarà piatta. Per scopi generali, la pendenza può essere concettualizzata pensando al punto della disparità di fissazione come ‘pseudo-fovea’; se quel punto è effettivamente la pseudo-fovea, allora la domanda di vergenza incontrerà la risposta di vergenza le quali recuperano lo stesso punto. [20]

Il training visivo viene utilizzato con lo scopo di sviluppare un migliore adattamento prismatico. [46] Solitamente viene utilizzato per il tipo di curva I e III; il training visivo converte il tipo III in I e appiattisce la pendenza della curva I. La prescrizione di prismi viene usata esattamente come nel metodo grafico. È raccomandato correggere con il valore prismatico che equivale al punto in cui la curva si appiattisce; è consigliato nel tipo II e può essere una buona soluzione anche per la tipologia I e III quando il training visivo è impraticabile. Se non ci sono punti in cui la curva si appiattisce si può considerare il punto di intersezione con l’asse X. [20] Spesso correggere solamente la disparità verticale permette alla fusione sensoriale di provvedere ad una migliore fissazione. Così la disparità orizzontale potrebbe essere più facilmente compensata dalla vergenza fusionale. [47] Possono essere utilizzate anche le lenti positive o negative come nel metodo grafico. Le lenti positive spostano la curva in basso verso la parte exo e il prisma a base interna. Le lenti negative portano la curva, al contrario, verso la parte eso e il prisma a base esterna. Sono particolarmente utili per il tipo II e per il tipo I quando è presente instabilità accomodativa. Le lenti che portano il valore della disparità di fissazione a zero provvedono ad un’ottima compensazione nel vicino per i soggetti eso. [48] Normalmente la curva della disparità di fissazione è ripetibile per la maggior parte dei soggetti; per altri invece la disparità di fissazione sembra continuamente cambiare. In questi soggetti le linee di vernier appaiono in movimento e la curva diventa poco ripetibile. Generalmente sono soggetti che presentano anomalie del sistema accomodativo, quindi il cambio di convergenza

accomodativa porta ad una fluttuazione della disparità di fissazione. Il training accomodativo, in questo caso, è raccomandato per risolvere questa situazione. [72]

3.3 – Approccio sensoriale

Nello stesso momento in Europa, un differente approccio per capire e utilizzare la disparità di fissazione è stato utilizzato. Questa visione enfatizza l'adattamento del sistema binoculare alla presenza della disparità di fissazione. Questo approccio ha lo scopo di investigare lo stato del sistema sensoriale visivo con nessuna domanda fusionale addizionale.

Abel credeva che aggiungere stimoli periferici poteva provvedere a delle condizioni visive più realistiche. Successivamente nel 1956 Haase presentò il Polatest al congresso dell'associazione di Optometria tedesca. Il Polatest utilizza una tecnica chiamata polarizzazione positiva; le figure del test sono polarizzate a $45^\circ/135^\circ$, mentre lo sfondo non lo è. Attualmente esistono due tipi di Polatest: quello Classico composto da uno schermo illuminato dal retro, e un Polatest elettronico chiamato E o E II dove il test viene presentato su uno schermo a cristalli liquidi. [20]

Haase credeva che se il sistema di vergenza è stressato, la vergenza fusionale non incontra completamente la domanda, così appare un piccolo errore di allineamento. Il primo step nello sviluppo della disparità è un piccolo spostamento all'interno dell'area di Panum. Nei primi anni Haase utilizzo il termine 'fusione disparata', che successivamente diventò '*disparità di fissazione di tipo I*'.

Se questa 'fusione disparata' continua nel tempo, lo spostamento temporaneo diventa sempre più permanente; questo cambiamento sensoriale viene 'incorporato' e l'area di

corrispondenza si adatta diventando più larga. Di conseguenza l'area di Panum si può allargare: prende il nome di '*disparità di fissazione di tipo II*'.

Haase suddivise l'eteroforia in una parte compensata dal sistema motorio e una parte compensata dal sistema sensoriale. Differenti test permettono al clinico di differenziare e misurare ogni parte del sistema separatamente. Il cross test mostra la parte compensata dal sistema oculomotore, mentre il pointer test mostra il primo livello della compensazione sensoriale. I test per il bilanciamento binoculare sono utili nel mostrare piccoli disallineamenti all'interno dell'area di Panum. [20] La sequenza di test verrà descritta nel capitolo successivo.

3.4 – La disparità di fissazione soggettiva e oggettiva

La disparità di fissazione riferisce una condizione in cui i due assi visivi non sono perfettamente allineati e le immagini retiniche dei due occhi non sono ottimamente sovrapposte durante il processo fusionale. [50]

La disparità oggettiva (oFD) si riferisce alla posizione oculomotrice degli occhi, l'angolo di vergenza tra i due assi visivi è misurato con dei trackers usando una procedura di calibrazione monoculare; il target fissato con l'occhio sinistro da solo si assume che venga proiettato al centro della fovea e le corrispondenti posizioni dell'occhio sinistro e destro definiscono il teorico angolo di vergenza V_0 , che rappresenta lo stato ottimale, cioè disparità di fissazione oggettiva pari a zero (oFD=0). Questa calibrazione monoculare del tracker definisce lo stato di riferimento per la disparità oggettiva. Ogni stato di deviazione della vergenza rappresenta una disparità di fissazione oggettiva che può arrivare ad un valore di 60' d'arco. [50]

La disparità di fissazione soggettiva sembra sia influenzata da due processi: l'aggiustamento da parte dei muscoli extraoculari degli assi visivi (disparità oggettiva) e la mappatura delle direzioni visive date dalla fusione sensoriale. [52] Tradizionalmente, la misura psicofisica della deviazione delle linee del nonio, era riferita alla disparità di fissazione soggettiva con l'assunzione (falsa) che indicasse la posizione di vergenza degli assi visivi. [51] Tuttavia, anche se gli stimoli binoculari sono fusi, le due linee del nonio monoculari sono fisicamente allineate ma potrebbero essere percepite in differenti direzioni visive. Questa misura psicofisica della deviazione del nonio è riferita alla disparità di fissazione soggettiva (sFD). Il risultato del test del nonio non equivale alla misura psicofisica dell'errore della vergenza motoria misurato con i trackers oculari. [50]

In condizioni di fusione, il risultato psicofisico della disparità di fissazione soggettiva non è d'accordo con quello dei tracker oculari (disparità di fissazione oggettiva). [53]

La disparità di fissazione oggettiva rappresenta l'errore di vergenza, $oFD = V \pm V_0$ con $V_0 = 2 \arctan(p/2D)$, dove 'p' indica la distanza inter-pupillare tra i due occhi e 'D' la distanza dal target. Se si assume che la deviazione delle linee del nonio 'd' indichino l'errore di vergenza, la disparità di fissazione soggettiva sarebbe definita dall'equazione $sFD = 2 (\arctan((p+d)/2D) - \arctan(p/2D))$. Tuttavia dal momento che le misure della oFD e sFD differiscono, e le linee del nonio non indicano l'angolo di vergenza, la disparità di fissazione soggettiva è definita semplicemente come l'ammontare angolare della deviazione del nonio $sFD = \arctan(d/D)$. Questa definizione non riferisce alla posizione degli assi visivi, ma riflette la separazione angolare delle linee del nonio a livello corticale, simile alla disparità retinica delle immagini stereoscopiche dei due occhi. Questa distinzione tra le due definizioni enfatizza la differente natura dei due tipi di disparità di fissazione. [51]

3.5 – Metodo di indagine oggettivo e soggettivo della disparità di fissazione

Una misurazione oggettiva della DF è ottenuta attraverso la registrazione dei movimenti oculari misurando l'angolo di vergenza. Questa misurazione viene eseguita in condizioni dinamiche. [54]

La misurazione della disparità di fissazione oggettiva viene fatta registrando i movimenti oculari binoculari: questo include la calibrazione di ogni occhio separatamente, il target monoculare viene proiettato al centro della fovea rispetto al quale viene calcolata la disparità di fissazione oggettiva. [53] In uno studio sulla disparità di fissazione è stato utilizzato l'EyeLink II tracker che rileva la posizione del centro della pupilla. Ogni prova durava 1 minuto, durante il quale il soggetto fissava un target che comprende un blocco fusionale periferico e centrale (XOX, circondato da una cornice) e due linee del nonio. La linea superiore viene presentata all'occhio destro, mentre quella inferiore all'occhio sinistro. Il soggetto poteva utilizzare un mouse per spostare le linee del nonio orizzontalmente al fine di allinearle. La risultante deviazione del nonio è stata registrata come la misura della disparità di fissazione soggettiva, contemporaneamente, veniva registrata la corrispondente grandezza della pupilla e la posizione dei due occhi. Durante il minuto, il soggetto compie tipicamente dai 10 ai 20 aggiustamenti del nonio. Questo è anche il numero delle singole registrazioni della disparità di fissazione oggettiva. Per minimizzare gli artefatti dovuti ai possibili movimenti laterali e obliqui della testa, sono stati applicati: un appoggio per il mento e la fronte, una banda attorno alla testa e degli appoggi sulle tempie. Il corretto posizionamento degli occhi è stato controllato da una videocamera posta accanto alla testa. [51]

Un metodo alternativo è il tracking-oculare a infrarosso; un vantaggio è che non è invasivo. Questo strumento è provvisto di un software di analisi che determina la posizione di sguardo (cioè la proiezione della linea di fissazione sulla superficie osservata), generalmente sullo schermo di un computer. Infatti le posizioni di sguardo dei due occhi

non possono essere utilizzate direttamente come misura della disparità di fissazione. Considerando che la DF è la differenza tra l'angolo di vergenza ideale e quello attualmente misurato, si compiono una serie di calcoli trigonometrici che determinano la DF a partire dalle misurazioni fatte con il tracker-oculare a infrarossi della posizione di fissazione dei due occhi. [54]

Il disparometro è stato introdotto da Sheedy e Saladin nel 1975. Questo test a differenza di quello di Mallet (test per la foria associata) può misurare la quantità di disparità di fissazione attraverso lo spostamento fisico delle linee del nonio fino a che il soggetto le percepisce allineate. L'angolo sotteso tra il disallineamento e il punto del soggetto allineamento rappresenta la disparità di fissazione. Sheedy nel 1980 fece un'analisi dettagliata per l'utilizzo di questo strumento; sotto condizioni di vergenza forzata, usando prismi a base interna ed esterna, l'ammontare di disparità cambia. Quindi, può essere tracciato un grafico in relazione alla quantità di diottrie prismatiche poste davanti agli occhi e la risultante disparità di fissazione. È composto da un disco nero percepito da entrambi gli occhi (blocco fusionale periferico) che sottende un angolo di $1,5^\circ$ quando è utilizzato a 40 cm, contiene due linee verticali bianche (linee del nonio) che sono viste una da ogni occhio attraverso un filtro polarizzato. Attorno al disco nero vi sono delle lettere che si rimpiccioliscono, agendo da blocco periferico addizionale e stabilizza l'accomodazione durante il test. Il disco nero, le linee del nonio e il blocco fusionale periferico sono illuminati dall'esterno. [55]



Figura 5. Sulla sinistra è rappresentato il disparometro di Sheedy per la distanza, mentre sulla destra il disparometro per la distanza ravvicinata (40 cm). [55]

Un altro test è la Saladin card, questo viene eseguito a 40 cm; il soggetto indossa degli occhiali polarizzati e tiene la Saladin card all'altezza degli occhi. Una penlight viene tenuta a 2,5 cm dietro la card illuminando ogni cerchio a turno e il soggetto riferisce in quale cerchio percepisce le linee del nonio perfettamente allineate. Lo scopo è di registrare il corrispondente valore di FD dalla card. Le misurazioni della FD vengono eseguite attraverso una sequenza di nessun prisma, 3dp BI, 3dp BO, 6dp BI, 6dp BO, 9dp BI, 9dp BO, 16dp BO e 20dp BO. Per prevenire l'adattamento prismatico, è l'esaminatore a porre davanti all'occhio destro del soggetto il prisma per non più di 15 s. Al soggetto è richiesto di riferire quando una delle due linee del nonio scompare (soppressione). Se si è verificata una soppressione, la penlight viene fatta tremolare nel tentativo di rompere la soppressione. Se il soggetto fallisce ad ottenere la fusione attraverso il prisma entro i 5 s, il test viene stoppato e non viene registrata nessuna FD per quella direzione del prisma. [56]

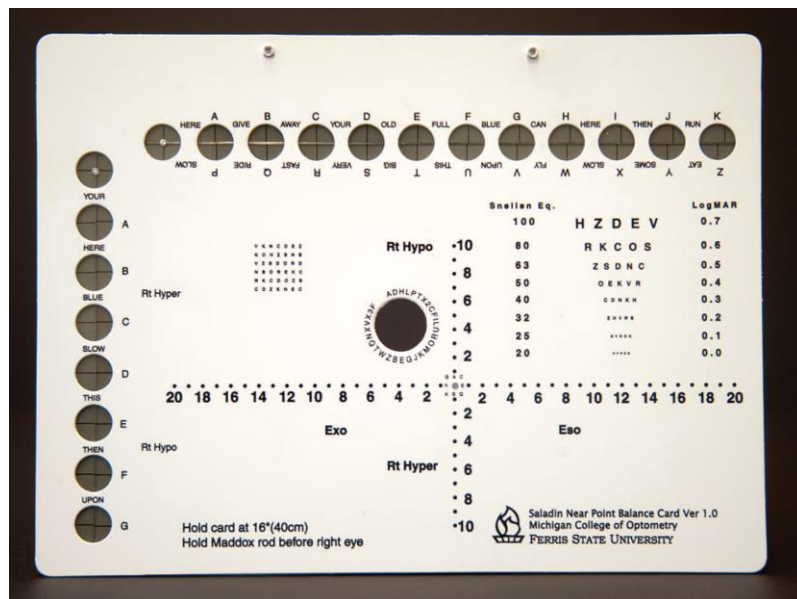


Figura 6. Rappresentazione della Saladin Card. [55]

La misura della disparità di fissazione con la Wesson Card è ottenuta chiedendo al soggetto di guardare la Wesson card presentata sull'asta del forottero ad una distanza di 40 cm attraverso delle lenti polarizzate. Al soggetto viene richiesto di identificare su quale linea target (colorata) punta la freccia. Il livello di FD corrispondente al responso del soggetto esaminato viene registrato. [57]

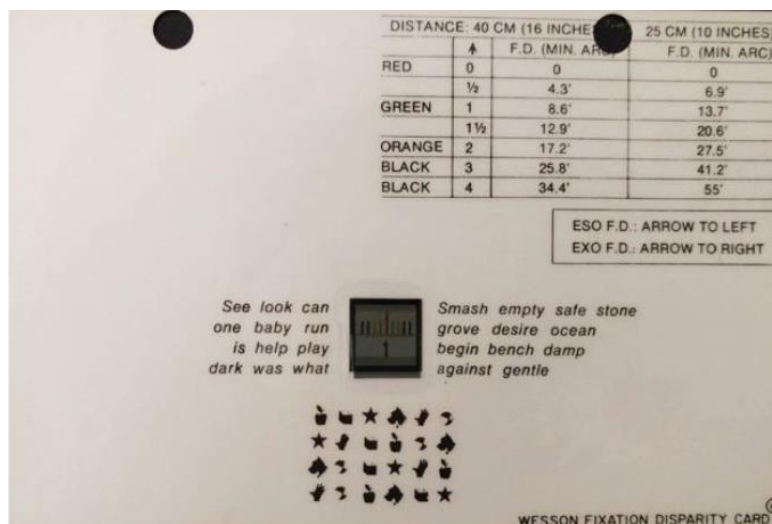


Figura 7. Wesson Fixation Disparity Card. [57]

È ben stabilito come la disparità di fissazione vari in base alla grandezza dei blocchi fusionali binoculari. Generalmente è minore quando viene determinata con il blocco fusionale centrale da solo rispetto a quello periferico. La FD è circa 1,5- 3 volte più piccola quando vengono usati entrambi i blocchi fusionali centrale e periferico, rispetto a quella misurata con solamente quello periferico. È stato dimostrato inoltre che l'inclusione di un blocco fusionale centrale dà meno variabilità nelle misurazioni della disparità di fissazione. [58]

Il disallineamento degli occhi misurato oggettivamente durante la vergenza forzata tende ad essere maggiore rispetto al disallineamento soggettivo delle linee del nonio, e la disparità di fissazione oggettiva (OFD) rilevabile sotto parziale dissociazione data dalla polarizzazione non è sempre presente in condizioni non-dissociate. Questa relazione instabile tra SFD e OFD implica che la corrispondenza retinica cambia sotto l'influenza di una parziale dissociazione e stress binoculare. [59]

Una comparazione tra questi strumenti ha dimostrato che la Saladin card porta a delle misurazioni più ripetibili e di una grandezza minore rispetto a quelle ottenute con il Disparometro. Le misurazioni di entrambi gli strumenti tendono ad avere la stessa direzione (eso ed exo). In contrasto, Ngan et al. trovarono che la Saladin card e la Wesson FD card

non producono dei dati sufficientemente simili usando le stesse regole. Corbett e Mapless dimostrarono che la Saladin card ha una buona attendibilità di retest. [56]

Capitolo 4 – DEFINIZIONE DI FORIA ASSOCIATA E FORIA DISSOCIATA

Ogle nel suo lavoro distinse la foria dissociata dalla foria associata. La foria dissociata è definita come la deviazione dalla posizione di ortovergenza che si verifica quando non vengono forniti dei blocchi fusionali periferici. La foria associata è la deviazione che compare sotto la correzione prismatica della disparità di fissazione: la foria associata equivale al ‘prisma di allineamento’ che annulla la disparità. Per evitare gli strumenti tecnici per misurare la posizione degli occhi oggettivamente, la disparità di fissazione viene comunemente determinata con la percezione della direzione delle linee del nonio monoculari da parte del soggetto, incorporate in contorni binoculari. [60][61]

Sia la foria associata che quella dissociata venivano raccomandati come indicatori per la correzione prismatica in caso di astenopia, però recentemente la foria associata viene preferita, in quanto lo stimolo è più simile alle condizioni di visione naturale; infatti ad entrambi gli occhi sono presentati targets con una quasi identica configurazione. [60] La differenza fondamentale tra la disparità di fissazione e la foria associata sta nel fatto che il soggetto quando guarda un test per la FD, ogni tendenza a deviare dalla posizione di ortovergenza viene largamente tenuta sotto controllo; perché la disparità dei contorni fusionali binoculari funziona come segnale di errore. Quindi il feedback fusionale sta funzionando. Nei test per la foria associata, vengono aggiunti i prismi. La richiesta e il continuo aggiustamento del potere prismatico annullano qualsiasi disparità dei contorni fusionali binoculari. Questo continuo ripristino artificiale del segnale di errore a zero significa che il feedback fusionale non può adempiere al suo scopo, cioè stabilizzare un certo angolo di vergenza. [60]

Ogle conìò il nome ‘foria associata’ perché, nei rispettivi test, i contorni fusionali provvedono da associazione sensoriale tra i due occhi. Questa associazione sensoriale, tuttavia, è incompleta, poiché le linee del nonio sono degli stimoli monoculari. Da qui il termine ‘foria associata incompleta’ sarebbe stato più appropriato. In questo studio hanno

suggerito che 'la foria associata completa' potrebbe essere determinata con il 'Self-Selected Prism' (SSP): i soggetti guardano uno scenario che permetta completamente la fusione e aggiustano un prisma variabile, così da far risultare la visione più rilassante. Il concetto di SSP implica che la posizione di vergenza a riposo venga trovata in condizioni naturali con dei markers monoculari, sotto la ragionevole assunzione che i soggetti minimizzino la disparità tra le due immagini retiniche, e generalmente riescono a portare la disparità vicina allo zero. [61]

Per quanto riguarda la foria dissociata, questa è una parte importante nella valutazione della visione binoculare. Il test più usato comunemente per la foria dissociata soggettiva è il test di Von Graefe. Un altro test considerato più ripetibile rispetto a precedente è il Thorington test, oltre al Maddox rod test. Nel test di Von Graefe viene posto un prisma di 12dp BI davanti all'occhio destro e uno di 6dp BA (base alta) davanti all'occhio sinistro, usando i prismi rotanti del forottero. Il soggetto è istruito nel mantenere chiaro il target della card posta a 40 cm. Il prisma BI viene ridotto, e il soggetto riferisce quando il target superiore è allineato a quello inferiore. Il valore in diottrie prismatiche viene registrato. Può anche essere utilizzata la Borish NearPoint Card, dove i contorni hanno la forma di un diamante e all'interno sono presentate delle lettere. Il procedimento è identico al precedente; il soggetto mantiene nitido il target composto dalle lettere e riferisce quando i due diamanti sono allineati verticalmente. [62] Nel Thorington Test modificato il target di fissazione è la Bernell Muscle Imbalance Measure (MIM) card, che consiste in un asse verticale e uno orizzontale marcati con dei numeri calibrati per essere letti in diottrie prismatiche quando la card è posta a 40 cm. Al centro della scala graduata, c'è un orifizio attraverso il quale la luce di un penlight viene diretta verso la faccia del soggetto. L'asse orizzontale del Maddox rod rosso viene posizionato davanti all'occhio destro. Il soggetto è istruito nel guardare la luce al centro della card, e indicare se la linea rossa verticale percepita dall'occhio destro si trova sullo spot chiaro (ortoforia), alla sua destra (esoforia) o alla sua sinistra (exoforia). Nelle ultime due situazioni il soggetto riferisce il numero. [62][63]

Nel Maddox rod test una penlight viene utilizzata come target di fissazione. Un Maddox rod rosso viene posto con il suo asse orizzontale davanti all'occhio destro. Al soggetto è richiesto di guardare verso la luce; se lo spot bianco (visto dall'OD) e la linea rossa verticale (vista dall'OS) non si sovrappongono, viene posto un prisma di 12dp BI davanti all'OD per separare chiaramente la linea rossa e la luce. Successivamente, il prisma a BI viene lentamente ridotto (circa 2dp/s), fino a che i due target si sovrappongono. Il potere prismatico e la direzione della deviazione vengono registrati. [63]

4.1 – Misurazione della foria associata con il test di Mallet

Mallet interpretò la disparità di fissazione come un segno di stress quando i riflessi fusionali sono incapaci di mantenere una perfetta sovrapposizione dei normali corrispondenti campi percettivi, e vi è una considerevole evidenza che supporta ciò. Joshua e Bishop nel 1970 trovarono che il responso binoculare dato da un'ottima sovrapposizione dei campi percettivi è maggiore di circa il 45% rispetto alla somma dei responsi monoculari. La disparità di fissazione, rilevata con la Mallet unit, è associata alla riduzione del potenziale binoculare evocato.

Il 'Mallet Unit Fixation Disparity Test' viene comunemente utilizzato nella pratica optometrica in UK. È composto da un blocco fusionale centrale, OXO ed è visto da entrambi gli occhi e i due marker monoculari (linee del nonio) in linea con la X sono visti uno da ogni occhio attraverso l'utilizzo di filtri polarizzati. Lo strumento invece di misurare la disparità di fissazione angolare, determina il potere prismatico o sferico che elimina la disparità di fissazione. Questa variabile è stata chiamata foria associata o, più recentemente da parte dell'International Standards Organisation nel 2002, il 'prisma di allineamento' o 'sfera di allineamento'. [64]

La Mallet Near Vision Unit viene posta ad una distanza di 40 cm. Le tre lettere XOX sono nere; queste sono incluse in un rettangolo bianco, illuminato internamente (212 cd/m²). Le lettere hanno un diametro di 16,8' d'arco e le linee hanno uno spessore di 4,2' d'arco. In addizione il display contiene due linee del nonio: una posta sopra e una sotto la X. Le linee del nonio consistono in due barre verticali polarizzate e illuminate internamente di colore verde (32,9 cd/m²); ogni linea ha una lunghezza di 33,6' d'arco e una larghezza di 12,6' d'arco. L'intervallo tra le linee e OXO è di 4,2' d'arco. Uno sfondo circolare di 55' d'arco circonda le linee verdi del nonio e OXO che si trova all'interno del rettangolo bianco. Lo sfondo è composto da un testo. Il soggetto guarda il test attraverso delle lenti polarizzate. [61]

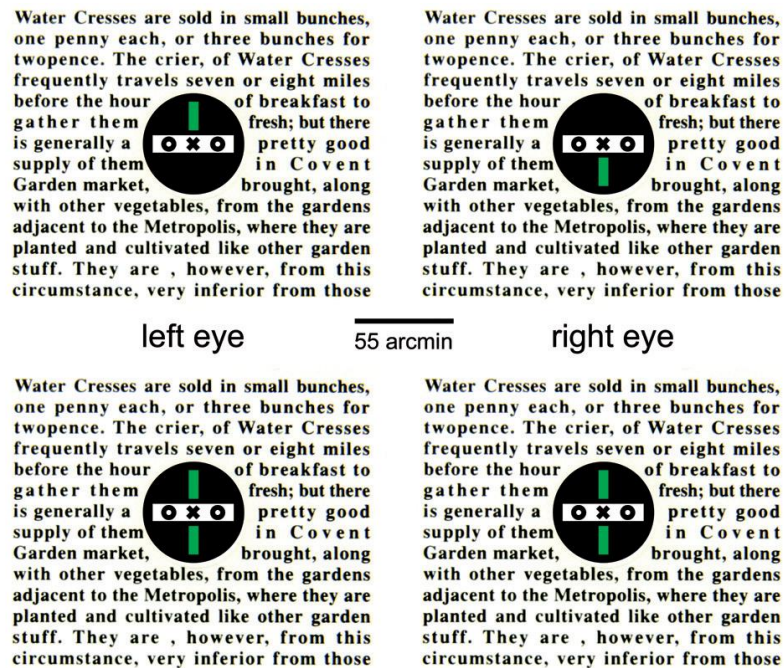


Figura 8. Mallet Near Vision Unit. [64]

I filtri polarizzati provvedono ad una completa separazione tra le linee del nonio per l'occhio destro e sinistro. Mentre tutte le altre caratteristiche sono presentate ad entrambi gli occhi. [61]

Se il soggetto vede un disallineamento tra le linee del nonio, deve cercare di allinearle con un'escursione minore possibile, al fine di percepirlle stabili una rispetto all'altra. Se

l'osservatore non percepisce nessuna deviazione all'inizio del test, o le linee del nonio oscillano intorno allo zero, lei o lui viene incoraggiato a 'giocare' con la leva e impostare il prisma al fine di allineare le linee più stabilmente possibile. Al soggetto viene continuamente ricordato di guardare al centro di OXO; viene istruito nell'ignorare le linee del nonio anche se a volte sembrano scomparire. Per quanto riguarda il 'Self Selected Prism', i filtri polarizzati vengono rovesciati in modo tale che il soggetto veda tutte le caratteristiche del test con entrambi gli occhi, comprese le linee del nonio. Al soggetto è richiesto di guardare sempre al centro di OXO, e di aggiustare il prisma fino a che la visione non risulta rilassante. [60][61]

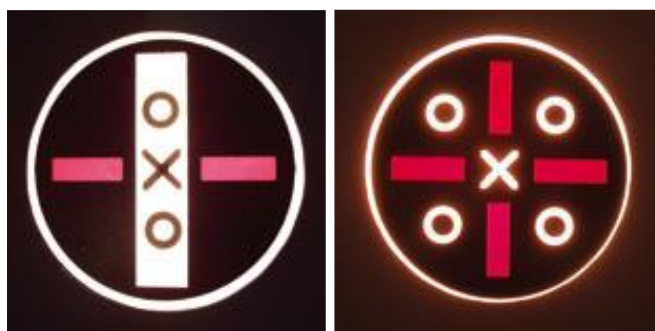


Figura 9. A sinistra Mallet Distance Fixation Disparity Test verticale, a destra Dual Fixation Disparity Test.

[64]

Nello studio [60] svolto su 20 soggetti le misurazioni della foria associata, determinate in condizioni artificiali, sono state considerate surrogate rispetto a quelle del Self Selected Prism, in quanto quest'ultimo anticipa una situazione più realistica dove il soggetto indossa gli occhiali con la correzione prismatica. È stato studiato come queste misurazioni surrogate della foria associata possano predire una correzione prismatica confortevole in quanto simili, perché i parametri utilizzati in entrambi i test sono determinati dall'apertura del feedback per la vergenza fusionale. Sorprendentemente invece, è stata trovata una marcata differenza: sotto le condizioni di foria associata i soggetti presentano una deviazione eso (17/20), ma preferiscono il 'comfortable prism' a base interna, corrispondente ad una deviazione exo (17/20).

Per quanto riguarda il motivo di questa differenza, la domanda accomodativa può essere esclusa, perché è stato utilizzato un target simile per entrambe le misurazioni. Piuttosto, viene suggerito che lo spostamento verso la deviazione eso nelle condizioni di foria sia dato dalla dissomiglianza tra le immagini dei due occhi (limitata alle due linee del nonio). Tuttavia, questa differenza è stata cospicua per gli osservatori: molti di loro hanno riportato che una o entrambe le linee del nonio sparivano di tanto in tanto. Questa osservazione porta alla possibilità che la sollecitazione della rivalità binoculare percepita conduca ad uno spostamento eso.

Yekta e Pickwell nel 1986 investigarono la Mallet fixation disparity Unit; trovarono una bassa correlazione tra la grandezza dell'eteroforia e della foria associata. Non c'è una significativa differenza tra i soggetti sintomatici e asintomatici, però i partecipanti sintomatici avevano una disparità di fissazione significativamente più alta. Questo si trova in accordo con l'affermazione di Mallet, Sheedy e Saladin che la disparità di fissazione e il prisma di allineamento sono i migliori indicatori di una foria scompensata rispetto al grado di foria stesso. [64]

L'utilità clinica della misurazione della foria associata è illustrata nello studio svolto da Payne et al. nel 1974 in cui 10 soggetti sintomatici preferirono la correzione prismatica indicata dalla Mallet Near Unit rispetto agli occhiali senza prismi. È ben conosciuto che la disparità di fissazione aumenta in condizioni di stress binoculare (come per esempio leggere con poca illuminazione ad una anormale distanza ravvicinata), e quindi è possibile che la foria associata sia influenzata dai test dove è presente una dissociazione all'interno dell'esame refrattivo. Sembra ragionevole assumere che la dissociazione immediatamente precedente alla misurazione della foria associata possa essere particolarmente distruttiva. In questo studio [65] sono stati esaminati 25 soggetti; lo scopo è di investigare l'effetto sulla foria associata della foria dissociata misurata con il Maddox rod test e il Von Graefe immediatamente prima della misurazione della foria associata. I risultati di questo studio indicano una piccola influenza nei risultati della foria associata per la distanza. Tuttavia, la

correlazione per il vicino nei soggetti con una storia di instabilità binoculare, quando viene comparata la misurazione della foria associata prima e dopo la misurazione della foria dissociata con la tecnica di Von Graefe, indica che quest'ultima ha un'influenza nella conseguente misura della foria associata. Questi risultati indicano anche che il test di Von Graefe causa una profonda perturbazione nel sistema di vergenza, rispetto al test di Maddox. Infatti la domanda fusionale data dalla dissociazione prismatica applicata nel Von Graefe è più perturbante sulla vergenza fusionale veloce, rispetto alla dissociazione istantanea del Maddox test. Per i soggetti con una normale visione binoculare i risultati di questo studio indicano che non ha importanza se l'eteroforia viene misurata prima o dopo la foria associata. Mentre, per chi ha una storia di instabilità binoculare, determinare la foria associata prima fornisce una migliore stima del valore abituale. [65]

4.2 – Teoria di Haase: MKH

La disparità di fissazione indica che la fovea di almeno un occhio, in condizioni di binocularità, non punta al target considerato. Haase si è chiesto cosa porti il sistema binoculare a sviluppare la disparità di fissazione e anche come l'eteroforia sia compensata dal sistema motorio senza un adattamento sensoriale. Nel metodo di analisi di Haase, i ranges di fusione motoria non vengono considerati clinicamente. [26] I concetti a cui si riferisce Haase sono riportati nella sezione 3.4 di questo elaborato.

La sequenza dei test può essere usata per il lontano e il vicino, ma è consigliato iniziare a 5 o 6 m. Possono essere replicati a 40 cm in caso di insufficienza di convergenza o di funzionamento binoculare patologico.

Il MKH è spesso eseguito con uno strumento chiamato Polatest (costruito dall'azienda Zeiss). Questo strumento consiste in una serie di test-charts illuminati internamente, anche

se ad oggi vengono utilizzati schermi LCD a polarizzazione. Come suggerisce il nome stesso, una parziale dissociazione è ottenuta grazie alla polarizzazione. I targets visti monocolarmente sono costituiti da un materiale polaroid contro uno sfondo neutro. Il soggetto guarda attraverso un visore polaroid che può essere ruotato di 90° intorno all'asse orizzontale con l'effetto di intercambiare la visione dell'occhio sinistro e destro. Investigando la visione binoculare sua e di sua moglie, Haase realizzò che le test-charts del Polatest potevano individuare anomalie motorie e sensoriali che non erano state riconosciute precedentemente. Haase chiamò questo un 'colpo di fortuna', e fu proprio questa scoperta a portare lui e Goersh al MKH. [66]

- *Cross Test*: nel Cross Test, con la normale posizione dei filtri polaroid, la linea verticale viene vista con l'occhio destro, mentre quella orizzontale dall'occhio sinistro. Questo test viene principalmente usato per la determinazione di quella che Ogle ha descritto come foria associata. Con questo test si possono esaminare sia le componenti verticali che quelle orizzontali. Quando è presente una soppressione foveale una delle due linee è assente o il gap centrale tra le linee spezzate cresce. Una discrepanza nell'accomodazione tra i due occhi causa una differenza di contrasto tra le linee spezzate.

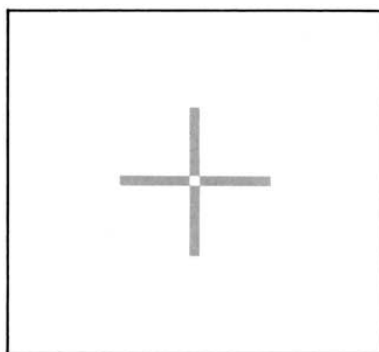


Figura 10. The Cross Test. Il rettangolo nero viene visto da entrambi gli occhi.

- *Pointer Test*: originariamente veniva usato per individuare la cicloforia, il Pointer Test presenta un blocco fusionale centrale, un cerchio che sottende 16' d'arco. C'è un target fusionale para-centrale formato dal bordo tra l'area bianca centrale, 119' d'arco, e lo

sfondo nero circostante. Ponendo il normale orientamento della polarizzazione, l'occhio destro del soggetto vede il 'pointer' verticale sopra e sotto il cerchio nero centrale, mentre l'occhio sinistro vede i segni della scala nella parte superiore e inferiore. Nel MKH questo test viene utilizzato per la determinazione della foria associata orizzontale quando non può essere misurata con il Cross Test per una soppressione centrale. Spesso il Pointer test mostra un corretto allineamento anche se, in accordo con Haase, è presente una foria associata o una disparità di fissazione di tipo I. Oltre a questo, uno svantaggio del test consiste nel fatto che le linee del nonio sono troppo vicine al blocco fusionale centrale. Secondo il concetto di Haase, disparità di fissazione di lunga data può aver cambiato la corrispondenza all'interno dell'area di Panum, evitando così che il disallineamento venga percepito. Questo potrebbe rappresentare un adattamento sensoriale.

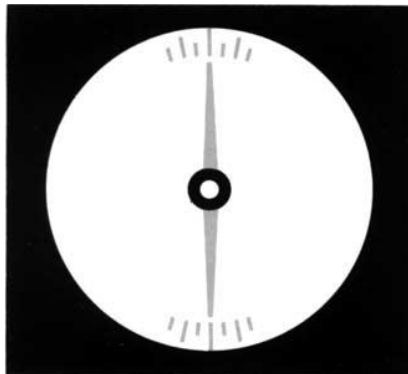


Figura 11. The Pointer Test.

- *Rectangle Test:* il test ha un blocco fusionale periferico, una cornice di 155' x 148' d'arco, e un blocco fusionale centrale circolare di 16' d'arco. L'occhio destro vede il lato destro del quadrante mentre l'occhio sinistro il lato sinistro. I markers monoculari sono relativamente distanti dal target circolare centrale e si pensa che non influenzino lo stato foveale sensoriale. Differenze monoculari e binoculari nell'asse del cilindro in astigmatismi elevati manifestano distorsioni del rettangolo. È utilizzato per misurare la foria associata verticale.

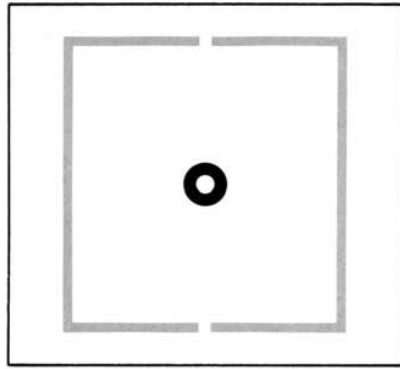


Figura 12. The Rectangle Test.

- *Double Pointer Test*: presenta quattro pointers e scale, e lo stesso blocco fusionale centrale del Pointer Test. Questo test è usato per la determinazione simultanea della foria associata verticale e orizzontale nei casi in cui il Rectangle test non fornisce una risposta chiara o la soppressione nel Pointer test è troppo grande per riuscire ad ottenere una misurazione.

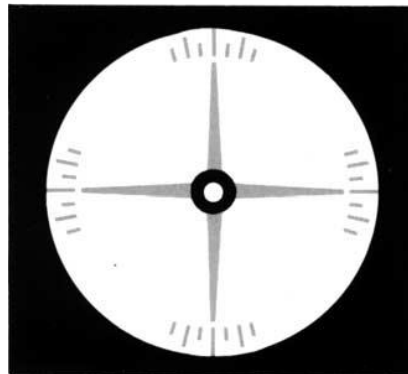


Figura 13. The Double Pointer Test.

- *Stereo Test*: l'occhio destro vede i triangoli posti a sinistra mentre l'occhio sinistro vede quelli posti a destra. La cornice e lo spot centrale vengono usati da blocco fusionale periferico e centrale. Il display viene velocemente alternato tra i due tipi di presentazione (polarizzazione); è conosciuto anche come stereo alternation test. *'Spontaneous delay'* riflette la differenza di tempo del cambio tra due tipi di rappresentazione e la corretta identificazione dello stereo target davanti o dietro il target di fissazione. *'Secondary delay'* indica invece il tempo tra la corretta identificazione del target stereo e la percezione della posizione finale. Se il test viene presentato in modo ipsilaterale i triangoli sembrano essere dietro al piano, e nella

presentazione controlaterale appaiono di fronte al piano. Entrambi i percetti sono presenti immediatamente al soggetto. Invece nel caso, per esempio, di deviazione exo nella presentazione controlaterale i triangoli cadono vicino ai bordi o addirittura fuori dalla PA (bordi temporali).

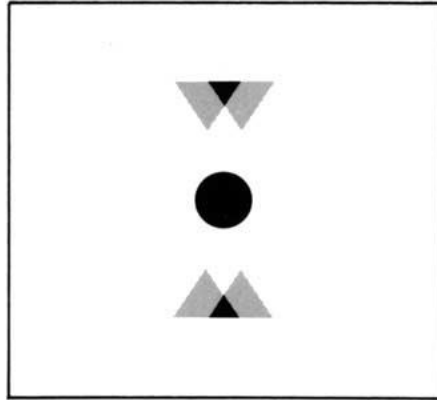


Figura 14. The Stereo Test.

- *Stereo Balance Test*: è simile allo Stereo test ma viene aggiunta una scala centrata a livello del blocco fusionale centrale. ‘*Valence*’ rappresenta la relazione tra i due occhi usata per la percezione stereoscopica, ‘*prevalence*’ è la dominanza di uno dei due occhi nella percezione. Quando non vi è nessun bias nell’immagine di un occhio, è presente ‘*equivalence*’. Se il soggetto presenta l’equivalenza in entrambe le rappresentazioni, crociata e non, questo viene chiamato ‘*stereo balance*’. Al soggetto viene chiesto di riferire la deviazione in base alle sei linee verticali che compongono la scala, e questa viene considerata come misura dello squilibrio. [26][66][67]

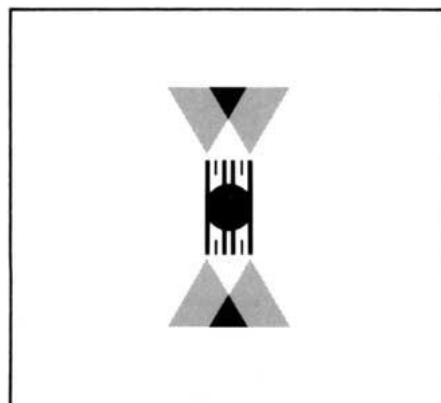


Figura 15. The Stereo Balance Test.

Successivamente vengono eseguiti vari test per l'acuità stereoscopica, per comparare le misurazioni prima e dopo l'aggiunta di un prisma. Questo aiuta nel guidare il clinico a monitorare qualsiasi miglioramento. [66]

Questo metodo è basato sull'assunzione che una foria associata non trattata porti ad un adattamento motorio e sensoriale che impedisce la fissazione bifoveale. Non è del tutto condivisa per il fatto che vi è l'assenza del ruolo dell'adattamento della vergenza. Inoltre data la differenza tra la disparità soggettiva e oggettiva, i risultati dati dal metodo MKH mostra che la disparità di fissazione viene trovata anche quando non è presente in condizioni dove vi è un target fusionale completo. Per questo motivo vi è qualche dubbio sul valore del MKH. [66]

La ripetibilità della foria associata orizzontale misurata con la Mallet Near Unit è stata riportata in un range tra ottimo e perfetto. Quella misurata con il Disparometro, invece, ha un range tra il buono e lo scarso; in quanto dipende da quanto i soggetti siano familiari con il test. La correlazione tra test-retest per la foria associata misurata con la Saladin Card è stata riportata come buona.

Per quanto riguarda la ripetibilità del MKH, non è stata ancora largamente studiata; è stato svolto uno studio [68] su soggetti tra i 18 e i 35 anni, poco familiari con il test, e suddivisi in due gruppi sintomatici e asintomatici. Il protocollo di MKH-Haase prevedeva due misurazioni per ogni chart. Per la prima misurazione, i filtri polaroid sono stati presentati a 45° per l'occhio destro e 135° per l'occhio sinistro. Per la seconda misurazione gli assi sono stati capovolti di 90°. In base ai risultati di questo studio, le MKH-charts hanno mostrato una buona ripetibilità per entrambi i gruppi sia nella distanza che nel il vicino.

Capitolo 5 – CORREZIONE PRISMATICA

L'utilizzo di prismi in caso di disfunzioni binoculari rappresenta una modalità di correzione per i soggetti. La decisione di prescrivere prismi è soggettiva, e varia in base alle tecniche e opzioni cliniche utilizzate. [69] È stato dimostrato che la quantità di disparità di fissazione e l'ammontare del prisma di allineamento (foria associata) sono degli indicatori affidabili per la compensazione. Vengono utilizzati inoltre altri metodi per la prescrizione di prismi, come il cover uncover o l'assestamento della curva della disparità di fissazione. Molti optometristi inglesi utilizzano la Mallet Near Card Unit per individuare una foria scompensata e per la prescrizione di prismi. [70]

Il modello di Haase prevede una totale correzione indossata costantemente dal soggetto. Secondo la spiegazione di Haase il tono dei muscoli extraoculari mantiene la deviazione latente anche in condizioni di dissociazione. Per rilevare tutta la deviazione, la correzione prismatica deve essere aumentata. Questo modello non tiene in considerazione l'adattamento prismatico, nonostante l'evidenza che questo processo è una normale caratteristica della visione binoculare. Inoltre l'assunzione a priori che la correzione per il distante risolva i problemi per tutte le distanze, compresa quella ravvicinata implica un rapporto AC/A normale. Considerando però il fatto che il rapporto AC/A varia tra gli individui questa conclusione non è totalmente corretta. Secondo Haase la compensazione totale basta per ristabilire una normale corrispondenza bifoveale; tuttavia sono necessarie nel lungo periodo delle correzioni successive aggiuntive per ottenere una corrispondenza bifoveale permanente. Questo ha portato a delle correzioni prismatiche altissime, occasionalmente anche di 38dp. [66]

La prescrizione di prismi è controindicata in alcuni casi, dovuto al fatto che può esasperare il sistema di vergenze. La forza del controllo adattivo della vergenza è spesso messa in relazione con la presenza di sintomi in soggetti con una disfunzione binoculare, in casi gravi il rendimento dell'adattamento della vergenza può essere ridotto a zero. In condizioni

normali invece la risposta adattiva può essere sufficiente quando viene introdotto un prisma. [69] Se viene posto un prisma davanti agli occhi di un soggetto con lo scopo di forzare la vergenza orizzontale o verticale, ci si aspetterebbe che la misura della foria cambi di un valore corrispondente a quello del prisma. Il soggetto però compensa o si adatta gradualmente al prisma; Carter suggerisce che l'adattamento prismatico consiste in un cambio nell'innervazione del tono dei muscoli extraoculari, quindi la misurazione della foria dissociata rispetto alla disparità di fissazione sembrerebbe dare una misura più realistica di questo processo. È stato dimostrato che il processo di adattamento prismatico interessa la maggior parte della popolazione, però alcuni soggetti presentano un assente o scarso sistema di adattamento. Infatti i soggetti con astenopia o con un povero adattamento prismatico ottengono una visione confortevole con i prismi. [71] Lo studio [50] svolto su 24 partecipanti aveva lo scopo di indagare sull'influenza degli occhiali prismatici sulla funzionalità binoculare; i soggetti hanno indossato i prismi per 5 settimane. La disparità di fissazione, in conclusione, non è stata ridotta a zero ma ha subito importanti variazioni. Il prisma a base esterna (che induce una convergenza forzata) è stato dato a chi presentava una foria associata eso a 6 m; è stato trovato che il prisma induce uno spostamento significativo della disparità oggettiva e soggettiva verso la direzione exo aspettata. Nei soggetti con il prisma a base interna (che induce una divergenza forzata) più è grande l'effetto sensoriale, meno è l'effetto motorio; correlazione negativa. Questa differenza è dovuta al fatto che lo stato di divergenza non viene esercitato durante la visione naturale; questo prisma porta il sistema di vergenze in uno stato non naturale, anche se a volte necessario per ridurre una deviazione exo. [50]

Solitamente gli optometristi misurano la correzione refrattiva che migliora l'acuità, tuttavia sono meno propensi nel verificare l'effetto della correzione prismatica sull'acuità visiva. È stato trovato che la correzione con il prisma di allineamento migliora l'acuità visiva per il distante del 13,1% (exo) e del 10% (eso). [70] Spesso la correzione prismatica viene considerata solamente in condizioni di problemi binoculari e in caso di astenopia. Infatti i clinici correggono un'eteroforia se il soggetto presenta sintomi, senza verificare se ci sia

un risultante miglioramento dell'acuità visiva. È stato proposto un questionario a 38 optometristi in cui veniva chiesta l'abituale correzione della foria associata: per i soggetti sintomatici gli optometristi di media forniscono una correzione prismatica di 1,5dp o più, quasi il 55%. Alcuni prescrivono la quantità prismatica trovata nel test mentre altri non prescrivono nulla. In caso di soggetti non sintomatici non viene prescritto nessun prisma, oppure non è mai superiore alle 3,5dp. [70]

CONCLUSIONE

La disparità di fissazione indica una condizione in cui le immagini binoculari durante la fissazione di un oggetto non vengono proiettate in due punti perfettamente corrispondenti della retina, ma si trovano all'interno dell'area fusionale di Panum, senza quindi dare diplopia. Esistono diverse teorie sulla natura della disparità di fissazione; inoltre esistono due diversi approcci per la sua analisi. In America hanno seguito l'approccio motorio e la gestione della disparità di fissazione segue strettamente l'analisi grafica. In Europa centrale, invece, l'analisi ha una forte base sensoriale. Inoltre la strumentazione utilizzata in Europa viene vista raramente in America. Nella letteratura è dimostrato che, entrambi i metodi, sono d'accordo nel definire che la disparità di fissazione è l'indicatore migliore della funzionalità del sistema binoculare sotto condizioni di visione realistiche rispetto ad altri metodi.

Solitamente nella clinica viene preferita la misurazione della foria associata rispetto a quella della disparità di fissazione, cioè la più piccola quantità prismatica che porta la disparità di fissazione a zero, perché grazie ai blocchi fusionali e periferici rispecchia maggiormente la visione naturale. Tra i test utilizzati la migliore ripetibilità, nel vicino, è stata riscontrata nella Mallet Near Unit, e la Saladin Card rispetto al Disparometro. Invece la ripetibilità del metodo MKH di Haase non è stata ancora largamente studiata. È stato evidenziato che la misurazione della disparità di fissazione o della foria associata è il miglior indicatore di un sistema binoculare sotto stress o di una foria scompensata, per questo motivo sarebbe molto utile inserirlo nella quotidianità della visita optometrica.

I prismi possono essere molto utili per la correzione di soggetti sintomatici con anomalie del sistema visivo binoculare, però le opinioni per determinare la prescrizione prismatica variano ancora ampiamente. Questa carenza di consenso, porta a non avere un iter preciso, di conseguenza i clinici non sono propensi alla prescrizione prismatica. Nella clinica optometrica, sorge quindi la domanda se i prismi dovrebbero essere inclusi negli occhiali

per compensare lo squilibrio motorio o sensoriale tra i due occhi. Il problema è che la corrispondente misura della disparità di fissazione oggettiva e soggettiva potrebbe essere ridotta dal prisma, ma il sistema di vergenze potrebbe diminuire l'effetto del prisma nel tempo, portando ad un adattamento prismatico. Prima della prescrizione di prismi è utile investigare sulla qualità del sistema di vergenze e sulla quantità delle riserve fusionali, in quanto influiscono sull'effetto del prisma. Inoltre è importante verificare l'adattamento prismatico nel tempo. I risultati di questa indagine portano alla conclusione che per la prescrizione prismatica vi è un ampio consenso nell'utilizzare la misurazione della foria associata o del Self Selected Prism, in quanto rispecchia una situazione di visione più naturale dove il soggetto indossa l'occhiale.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anto Rossetti, Pietro Gheller. *Manuale di optometria e contattologia*, Seconda edizione-2017. Editore Zanichelli; p.151-155
- [2] Emmanuel Bui Quoc and Chantal Milleret. *Origins of strabismus and loss of binocular vision.*, *Frontiers in integrative neuroscience*; 25 Settembre 2014;
- [3] Maffioletti Silvio. *La Visione Binoculare una funzione appresa*; estratto dal testo di Emilio Airaghi e Anna Altimani “I muscoli dell’occhio e la funzione binoculare”, 1/2009;
- [4] James M. Hillis, Martin S. Banks. *Are corresponding points fixed?*; *Vision Research* 41 (2001) 2457-2473;
- [5] Esther G. Gonzàles, Agnes M. F. Wong, Ewa Niechwiej-Szwedo, Luminita Tarita-Nistor, and Martin J. Steinbach. *Eye Position Stability in Amblyopia and in Normal Binocular Vision*, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, August 2012, Vol. 53, No. 9;
- [6] Susana Martinez-Conde, Stephen L. Macknik and David H. Hubel. *The role of fixational eye movements in visual perception*, *Nature Reviews*, Volume 5 March 2004;
- [7] www.vargellini.it. *La Visione Binoculare*.
- [8] Patricia Fredenburg, Ronald S. Harwerth. *The relative sensitivities of sensory and motor fusion to small binocular disparities*. *Vision Research* 41 (2001) 1969-1971;
- [9] Frank Tong, Ming Meng and Randolph Blake. *Neural bases of binocular rivalry*. *Review Cognitive science*, vol. 10 No. 11;
- [10] Alex Polonsky, Randolph Blake, Jochen Braun and David J. Heeger. *Neuronal activity in human primary visual cortex correlates with perception during binocular rivalry*. *Nature neuroscience*, volume 3 no 11, November 2000;
- [11] Randolph Blake, Hugh Wilson. *Binocular Vision*. *Vision Research* 51 (2011) 754-770;
- [12] Whitman Richards and Martin g. Kake. *Local versus global stereopsis: two mechanism?*. *Vision Res.* Vol.14, 1345-1347, 1974;

- [13] Pilar Cacho-Martínez, Ángel García-Muñoz, María Teresa Ruiz-Canterob. *Do we really know the prevalence of accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions?* J Optom. 2010;3(4):185-197;
- [14] Charles Darko-Takyi, Naimah Ebrahim Khan, Urvashni Nirghin. *A review of the classification of nonstrabismic binocular vision anomalies.* Optometry Reports 2016; volume 6:5626;
- [15] Clara Mestre, Carles Otero, Fernando Di'az-Douto'n, Josselin Gautier, Jaume Pujol. *An automated and objective cover test to measure heterophoria.* PLOS ONE | <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206674> November 1, 2018;
- [16] Anna Przekoracka-Krawczyk, Krzysztof Piotr Michalak, Paulina Pyżalska. *Deficient vergence prism adaptation in subjects with decompensated heterophoria.* Research Article, January 18, 2019;
- [17] Jody F Leone, Elaine Cornell, Ian G Morgan, Paul Mitchell, Annette Kifley, Jie Jin Wang, Kathryn A Rose. *Prevalence of heterophoria and associations with refractive error, heterotropia and ethnicity in Australian school children.* Downloaded from <http://bjo.bmj.com/> on March 28, 2015 - Published by group.bmj.com;
- [18] Joseph L. Demer, and Robert A. Clark. *Functional anatomy of extraocular muscles during human vergence compensation of horizontal heterophoria.* Research Article, Control of Movement: J Neurophysiol 122: 105–117, 2019;
- [19] Bill B Rainey, David A Goss, Melinda Kidwell, Brian Feng. *Reliability of the response AC/A ratio determined using nearpoint autorefraction and simultaneous heterophoria measurement.* Clinical and Experimental Optometry, Accepted for publication: 1 December 1998;
- [20] Richard London, O.D., M.A., and Roger S. Crelier, M.S. Optom. *Fixation disparity analysis: Sensory and motor approaches.* Optometry (2006) 77, 590-608;
- [21] Earl L. Smith III, Li-Fang Hung, Baskar Arumugam, Janice M. Wensveen, Yuzo M. Chino, Ronald S. Harwerth. *Observations on the relationship between anisometropia, amblyopia and strabismus.* Vision Research 134 (2017) 26–42;

- [22] Benjamin H. Ticho, MD. *Strabismus*. *Pediatr Clin N Am* 50 (2003) 173– 188;
- [23] Eileen E. Birch. *Amblyopia and binocular vision*. *Progress in Retinal and Eye Research* 33 (2013) 67e84;
- [24] Robert F Hess, Benjamin Thompson and Daniel H Baker. *Binocular vision in amblyopia: structure, suppression and plasticity*. INVITED REVIEW *Ophthalmic & Physiological Optics* ISSN 0275-5408, 2014;
- [25] Wolfgang Jaschinski, Dr-Ing, Wilhelm-Bernhard Kloke, Dipl-Math, Stephanie Jainta, Dipl-Psych, and Julia Buchholz, Dipl-Ing. *Horizontal fixation disparity measures with nonius*. *Optometry And Vision Science*, Lines Vol. 82, No. 11, Pp. 988–999, Copyright © 2005 *American Academy Of Optometry*;
- [26] Richard London, O.D., M.A., and Roger S. Crelier, M.S. *Optom. Fixation disparity analysis: Sensory and motor approaches*. *American Optometric Association, Optometry* (2006) 77, 590-608;
- [27] Rajula Karania and Bruce J. W. Evans. *The Mallett Fixation Disparity Test: influence of test instructions and relationship with symptoms*. *Ophthal. Physiol. Opt.* 2006 26: 507–522;
- [28] James E. Sheedy. *Fixation Disparity Analysis of Oculomotor Imbalance*. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, Vol. 57, No. 9, pp. 632-639, September 1980;
- [29] Michael T. Ukwade, Od, Phd, Fao. *Effects of Nonius Line and Fusion Lock Parameters on Fixation Disparity*. *Optometry And Vision Science* VOL. 77, NO. 6, PP. 309–320, Copyright © 2000 *American Academy of Optometry*;
- [30] Damin Qin, Mamoru Takamtsu and Yoshio Nakashima. *Measurement for the Panum's Fusional Area in Retinal Fovea using a three-dimension Display Device*. *J. Light & Vis. Env.* Vol. 28, No. 3, 2004;
- [31] Clifton M. Schor And Christopher W. Tyler. *Spatio-Temporal Properties Of Panum's Fusional Area*. *Vision Research* Vol. 21, pp. 683 to 692;

- [32] Derek Fender And Bela Julesz. *Extension of Panum's Fusional Area in Binocularly Stabilized Vision*. Journal Of The Optical Society Of America volume 57, Number 6, June 1967;
- [33] Daniel B. Diner and Derek H. Fender. *Dependence of Panum's fusional area on local retinal stimulation*. Vol. 5, No. 7/July 1988/J. Opt. Soc. Am. A;
- [34] R. F. J. Mallett. *Fixation Disparity In Clinical Practice*. The Australian Journal Of Optometry, April 1969;
- [35] L. D. Pickwellt, C. A. Jenkins, A. A. Yetka. *Fixation Disparity In Binocular Stress*. Ophthal. Physiol. Opt., Vol. 7, No. 1, pp. 37-41, 1987;
- [36] Darrell B. Carter. *Parameters of Fixation Disparity*. American Journal of Optometry & Physiological Optics, Vol. 57, No. 9, Pag. 610-617, September 1980;
- [37] John L. Semmlow And George Hung. *Accommodative and fusional components of fixation disparity*. Assoc. for Res. in Vis. and Ophthal., Inc, 1979;
- [38] Ogle KN, Martens TG, and Dyer JA. *Oculomotor imbalance. In: Binocular Vision and Fixation Disparity*. Philadelphia, 1967, Lea & Febiger;
- [39] Ogle KN and Martens TG. *On the accommodative convergence and the proximal convergence*. Arch Ophthalmol 51:702, 1957;
- [40] Van Haeringen R, McClurg P, Cameron KD. *Comparison of Wesson and modified Sheedy fixation disparity tests. Do fixation disparity measures relate to normal binocular status?*. Ophthalmic Physiol Opt; 6(4):397-400, 1986;
- [41] Carter DB. *Fixation disparity with and without foveal fusion contours*. Am J Optom Arch Am Acad Optom; 41:729-36, 1964;
- [42] Pickwell LD, Gilchrist JM, Hesler J. *Comparison of associated heterophoria measurements using the Mallett test for near vision and the Sheedy disparometer*. Ophthalmic Physiol Opt; 8(1):19-25, 1988;
- [43] Petito GT. *Nonlinear forced vertical vergence fixation disparity curves and their clinical significance*. Am J Optom Physiol Opt; 63(11):908-14, 1986;

- [44] Shepherd JS. *A study of the relationship between fixation disparity and target size.* Am J Optom Arch Am Acad Optom; 28:391-404, 1951;
- [45] Schor CM. *The influence of rapid prism adaptation upon fixation disparity.* Vision Res; 19(7):757-65, 1979;
- [46] North RV, Henson DB. *The effect of orthoptic treatment upon the vergence adaptation mechanism.* Optom Vis Sci; 69(4):294-9, 1992;
- [47] Rutstein RP, et al. *Horizontal and vertical vergence training and its effect on vergences, fixation disparity curves, and prism adaptation: II. Vertical data.* Am J Optom Physiol Opt; 65(1):8-13, 1988;
- [48] Wick B, Joubert C. *Lens-induced fixation disparity curves.* Am J Optom Physiol Opt; 65(8):606-12, 1988;
- [49] Guntram Kommerell, Jürgen Gerling, Miriam Ball, Hector de Paz, Michael Bach. *Heterophoria and fixation disparity: A review.* Strabismus – 2000, Vol. 8, No. 2, pp. 127-134;
- [50] Volkhard Schroth, Roland Joos, Wolfgang Jaschinski. *Effects of Prism Eyeglasses on Objective and Subjective Fixation Disparity.* Research Article, 2015;
- [51] Wolfgang Jaschinski. *Individual Objective and Subjective Fixation Disparity in Near Vision.* Research Article, January 30, 2017;
- [52] Wick B. *Stability of retinal correspondence in normal binocular vision.* Optom Vis Sci.; 68: 146–158; 1991;
- [53] Howard IP. *Perceiving in Depth; 1. Basic Mechanisms.* Oxford: Oxford University Press; 2012;
- [53] Wolfgang Jaschinski, Dr-Ing, Wilhelm-Bernhard Kloke, Dipl-Math, Stephanie Jainta, Dipl-Psych, And Julia Buchholz, Dipl-Ing (Fh). *Horizontal Fixation Disparity Measures With Nonius Lines.* Optometry And Vision Science, Vol. 82, No. 11, Pp. 988–999, 2005;
- [54] Maria De Luca, Donatella Spinelli, Pierluigi Zoccolotti, Fabrizio Zeri. *Measuring fixation disparity with infrared eye-trackers.* Journal of Biomedical Optics, 014013, January/February 2009;

- [55] L.D. Pickwell, J.M. Cilchrist and J. Heslerf. *Comparison of associated heterophoria measurements using the Mallett test for near vision and the Sheedy Disparometer*. *Ophthal. Physiol. Opt.*, Vol. 8, 1988;
- [56] Kelly A. Frantz, Phillip Elston, Emily Michalik, Carrah D. Templeman, and Rebecca K. Zoltoski. *Comparison of Fixation Disparity Measured by Saladin Card and Disparometer*. *Optometry And Vision Science*, Vol. 88, No. 6, Pp. E733–E741, 2011;
- [57] Patricia Cisarik, Clinton Prestwich. *Comparison of CISS Score with Fixation Disparity as Measured with the Wesson Card*. *Optometry & Visual Performance*, 2016;
- [58] Debysingh SJ, Orzech PL, Sheedy JE. *Effect of a central fusion stimulus on fixation disparity*. *Am J Optom Physiol Opt*; 63: 277–80, 1986;
- [59] Rune L. Brautaset, J. Adrian M. Jennings. *Measurements of objective and subjective fixation disparity with and without a central fusion stimulus*. *Med Sci Monit*, 2006;
- [60] Joanna M. N. Otto, Miriam Kromeier, Michael Bach, Guntram Kommerell. *Do dissociated or associated phoria predict the comfortable prism?*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* (2008) 246:631–639;
- [61] Guntram Kommerell, Miriam Kromeier, Felix Scharff & Michael Bach. *Asthenopia, Associated Phoria, and Self-Selected Prism*. *Strabismus*, 23:2, 51-65, 9 Luglio 2015;
- [62] David A. Goss, Jennifer L. Reynolds, Rebekah E. Todd. *Comparison Of Four Dissociated Phoria Tests: Reliability & Correlation With Symptom Survey Scores*. *Journal of Behavioral Optometry*, Volume 21, 2010;
- [63] Jose Luis Cebrian, Beatriz Antona, Ana Barrio, Enrique Gonzalez, Angel Gutierrez, and Isabel Sanchez. *Repeatability of the Modified Thorington Card Used to Measure Far Heterophoria*. *Optometry and Vision Science*, Vol. 91, No. 7, July 2014;
- [64] Rajula Karania and Bruce J. W. Evans. *The Mallett Fixation Disparity Test: influence of test instructions and relationship with symptoms*. *Ophthal. Physiol. Opt.* 2006;
- [65] R. L. Brautaset and J. A. M. Jennings. *The influence of heterophoria measurements on subsequent associated phoria measurement in a refractive routine*. *Ophthal. Physiol. Opt.* Vol. 19, No. 4, pp. 347±350, 1999;

- [66] R.L. Brautaset, MPhil, J.A.M. Jennings. *Associated phoria and the Measuring and Correcting Methodology after H.-J. Haase (MKH)*. Strabismus – 2001, Vol. 9, No. 3, pp. 165–176;
- [67] Guntram Kommerell, Jürgen Gerling, Miriam Ball, Hector de Paz, Michael Bach. *Heterophoria and fixation disparity: A review*. Strabismus – 2000, Vol. 8, No. 2, pp. 127-134;
- [68] Mosaad Alhassan, Jeffery K. Hovis, and Ralph B. Chou. *Repeatability of Associated Phoria Tests*. Vol. 92, No. 8, Optometry And Vision Science, 2015;
- [69] Lyle S. Gray. *The prescribing of prisms in clinical practice*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol (2008) 246:627–629;
- [70] Claire I. O’Leary and Bruce J. W. Evans. *Criteria for prescribing optometric interventions: literature review and practitioner survey*. Ophthal. Physiol. Opt. 2003 23: 429–439;
- [71] L. D. Pickwell And B. H. Kurtz. *Lateral Short-Term Prism Adaptation In Clinical Evaluation*. Ophthal. Physiol. Opt.. Vol. 6. No. I, pp. 67 - 73. 1986;
- [72] James E. Sheedy. *Fixation Disparity Analysis of Oculomotor Imbalance*. American Journal Of Optometry, Vol. 57, No. 9, pp. 632-639, 1980;