Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Area Didattica di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”

Laurea triennale in Ottica e Optometria

Ambliopia ed eventuale possibilità di recupero funzionale

Relatori:
Prof. Michele Gagliardi

Candidato:
Loredana Ponti
Matricola M44000650

A.A. 2021/2022

INDICE

INTRODUZIONE 1
CAPITOLO 1 2
1.1Visione binoculare 2
1.2 I tre gradi della fusione 5
1.2.1 Percezione simultanea 5
1.2.2 Fusione 5
1.2.3 Stereopsi 7
CAPITOLO 2 11
2.1 Ambliopia 11
2.2 Classificazione dell'ambliopia 12
2.3 Caratteristiche cliniche dell'occhio ambliope 13
2.3.1 Acuità visiva 13
2.3.2 Sensibilità al contrasto 14
2.3.3 Affollamento (crowding) 15
2.3.4 Percezione della profondità 15
2.3.5 Movimento 15
2.4 Diagnosi dell'ambliopia 16
2.5 Trattamenti tradizionali per l'ambliopia 16
CAPITOLO 3 19
3.1 Cos'è la realtà virtuale o VR 19
3.2 L'architettura della Realtà Virtuale 20
3.3 Trattamento dell'ambliopia con VR 21
3.3.1 Trattamento dell'ambliopia di adulti con training dicoptico utilizzando Oculus Rift 21
3.3.2 Trattamento stimolante la binocularità nei bambini con ambliopia residua dopo l'occlusione. 29
CONCLUSIONE 36
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 38

INTRODUZIONE

La tecnologia è una parte integrante della nostra vita, infatti, la usiamo costantemente nelle azioni quotidiane, sia a livello ludico che a livello lavorativo. Ultimamente una tecnologia che si sta diffondendo sempre di più è la Realtà Virtuale, che porta la persona in un ambiente digitalizzato, ma così simile alla realtà, proiettando il soggetto in un mondo parallelo, tutto questo attraverso visori VR o 3D costituiti da un display montato sulla testa con un piccolo schermo davanti agli occhi. In questo elaborato sono stati confrontati diversi studi effettuati in merito alle possibilità che queste tecnologie possano trovare impiego come mezzo terapeutico, alternativo a quelli tradizionali, al fine di poter migliorare le abilità dei soggetti che presentano delle carenze visive, come gli ambliopi, e quindi se tali visori possano essere utilizzati anche all'interno di uno studio optometrico.

CAPITOLO 1

1.1Visione binoculare

La binocularità occupa un ruolo fondamentale nella visione, in particolare quella dell'essere umano. Questa rappresenta la capacità dell'apparato visivo di unire due immagini viste separate in un'unica percezione detta anche *ciclopica*. Per far sì che ciò avvenga, le direzioni visive di entrambi gli occhi devono essere simili, anche se queste immagini non potranno essere del tutto identiche, poiché i due occhi sono posti in due spazi diversi nel nostro viso. Inoltre, la qualità della visione binoculare è inversamente proporzionale alla presenza di eventuali deviazioni fra gli assi visivi. Un fattore fondamentale della visione binoculare è la corrispondenza retinica. Ogni elemento retinico ha una propria localizzazione spaziale e per ogni punto retinico di un occhio, esiste un altro punto retinico, nel controlaterale, a cui è connesso, ed entrambi hanno la stessa direzione visiva. Questi punti vengono definiti *elementi* o *punti retinici corrispondenti* (fig.1.0). I punti retinici corrispondenti principali sono quelli che coincidono con la fovea di entrambi gli occhi. Sono considerati punti principali perché la fovea è il centro dell'organizzazione spaziale visiva, la quale viene definita come *foveocentrica* [1][2].

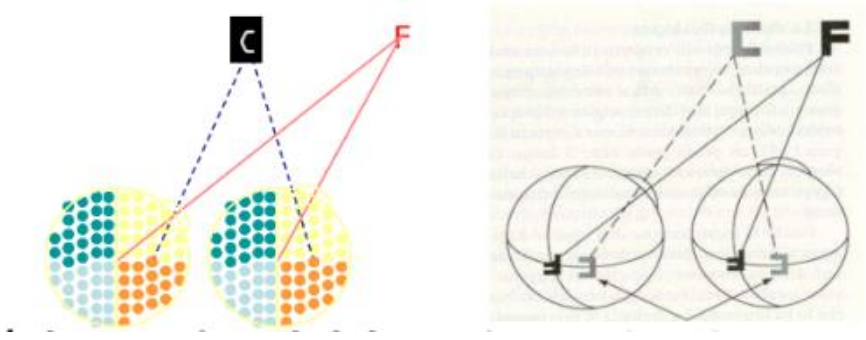

fig. 1.0 punti retinici corrispondenti

Quando gli occhi fissano un piccolo oggetto nello spazio, l'immagine di questo viene proiettata sulle fovee ed esistono molti punti, nello spazio, che formano

immagini sugli altri punti retinici corrispondenti che sono equidistanti dalle fovee. Unendo insieme tutti questi punti retinici si ottiene *l'oroptero teorico* o il cerchio Vieth Muller, che assume questo nome perché si ipotizzava che l'oroptero avesse la forma di un cerchio perfetto. (fig1.1a)

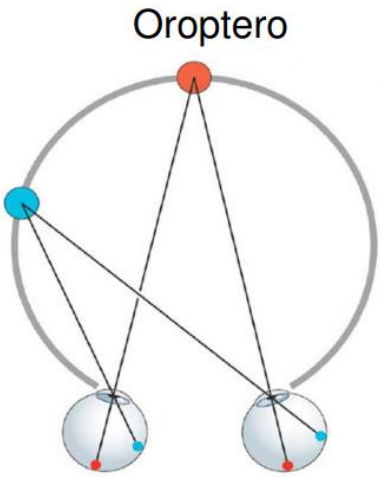

fig1.1a oroptero o cerchio di Veith Muller

Successivamente venne determinato l'oroptero empirico e si intuì che la sua forma reale, discostava da quella di un cerchio, presentando una curvatura inferiore e variabile in funzione della distanza. Per cui in realtà l'oroptero avrebbe una forma più complessa, definendo una superficie curva, piuttosto che una linea curva (fig.1.1b) [3].

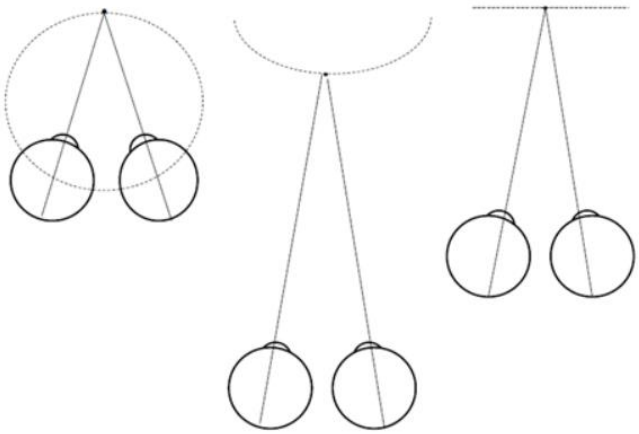

fig. 1.1b oroptero empirico

Tutti i punti che non sono situati nell'oroptero, quindi sono situati al di fuori o all'interno di esso, vengono percepiti come doppi, le immagini dei punti vengono

proiettate sulle retine in punti che non sono corrispondenti e che vengono detti punti retinici disparati. Tale percezione prende il nome di diplopia fisiologica, questa diplopia è del tutto normale in quanto è dovuta alle caratteristiche stesse del sistema visivo binoculare. Il soggetto, tuttavia, non si rende conto di questa diplopia, in quanto la sua concentrazione è sull'oggetto di interesse e avvengono dei fenomeni di soppressione, che permettono di trascurare le interazioni fra punti non corrispondenti. Quando il punto è più lontano dell'oroptero, si dice diplopia omonima, ovvero ciascun oggetto è visto dallo stesso lato dell'occhio che ha generato l'immagine, mentre se il punto è localizzato più vicino, si dice diplopia crociata, ovvero ciascun oggetto viene visto dal lato opposto dell'occhio che lo ha generato (fig.1.1c) [1][2].Per dimostrare il fenomeno della diplopia si possono semplicemente usare due penne, o in alternativa anche le dita della mano, e si mettono a due distanze diverse, una più vicina, circa 20 cm, rispetto all'altra che è posta circa a 40 cm, ad altezza dell'asse visivo. Se si guarda la prima mira, si vedrà la penna posta più lontana doppia e se si prova a chiudere prima un occhio e poi l'altro si vedrà il fenomeno della diplopia omonima, mentre se si osserva la penna più lontana, si vedrà la penna più vicina al piano facciale come doppia e se si prova a chiudere un occhio e successivamente l'altro si potrà notare il fenomeno della diplopia crociata. [1]

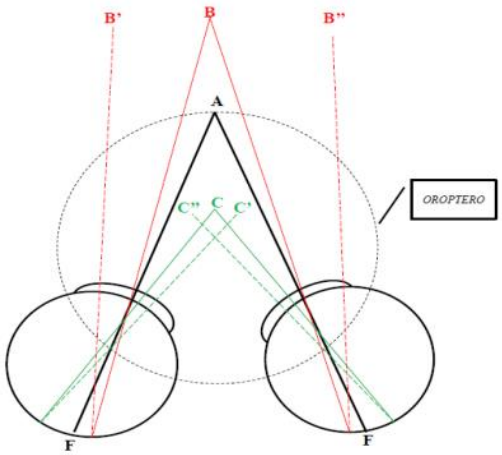

fig.1.1c I punti B e C situati al di fuori dell'oroptero vengono visti doppi. Il punto B genera diplopia omonima. Il punto C genera diplopia crociata.

1.2 I tre gradi della fusione

La visione binoculare è un processo complesso di cui si distinguono tre gradi principali della percezione binoculare o anche detta della fusione di Worth. Il primo grado della fusione è detto grado della percezione simultanea, il secondo è il grado della fusione e il terzo è la stereopsi.

1.2.1 Percezione simultanea

Con percezione simultanea, detta anche *biocularità*, ci si riferisce alla capacità del soggetto di percepire contemporaneamente le immagini generate da ciascun occhio. Dal punto di vista clinico, questo lo possiamo verificare utilizzando un prisma di 6 Δ posto a base alta o bassa davanti ad un occhio mentre si guarda una mira, ad esempio il punto di fissazione, in presenza di visione simultanea il soggetto percepisce due immagini separate verticalmente. La mancanza di una delle due immagini indica soppressione [1] [4].

1.2.2 Fusione

Con il secondo grado, detta anche *binocularità*, si intende la capacità del soggetto di fondere insieme due immagini simili. Si distinguono due tipologie di fusione: motoria e sensoriale. Nella fusione motoria i muscoli oculari lavorano per posizionare le immagini sulle aree retiniche corrispondenti, mentre nella fusione sensoriale detta anche piatta, la psiche si attiva per creare un'unica immagine partendo dai segnali provenienti da elementi retinici corrispondenti individuabili dall'oroptero. Affinché avvenga la fusione, le immagini devono essere simili in grandezza, luminosità, colore e nitidezza. Per constatare la presenza di fusione è possibile effettuare il test del filtro rosso; anteponendo ad un occhio un filtro rosso e lasciando libero l'altro si chiede al soggetto di osservare una mira luminosa bianca; la risposta attesa è quella di una percezione della stessa mira ma di colore rosso tenue, risultato della percezione di un occhio con il colore rosso (dato dal filtro) e l'altra di colore bianco.[1] A volte può capitare che gli occhi non siano allineati perfettamente sullo stesso punto di

fissazione, ovvero uno dei due occhi non si dirige esattamente sullo stesso punto ma ad uno molto vicino, questo fenomeno prende il nome di disparità di fissazione. Essendo presente una piccola differenza nella fissazione, in teoria si dovrebbe vedere doppio ma ciò non accade e si riesce a vedere singolo grazie al meccanismo di fusione, purché tale disparità rientri nei limiti dell'area fusionale di Panum (fig1.2.2a); quest'ultimo può essere considerato come un'espansione dell'oroptero. Quindi gli oggetti posizionati in tale area, anche se generano immagini su punti retinici non corrispondenti, non danno origine a diplopia. Questo può essere spiegato applicando il concetto di area di Panum a livello retinico (fig1.2.2b): per ogni punto P della retina è possibile trovare sulla retina dell'occhio controlaterale un'area circolare di punti con centro nel punto corrispondente di P, che indichiamo con P1, e tutti questi punti che si trovano all'interno di questa piccola area circolare possono essere fusi con il punto corrispondente P. Questa accettazione della disparità di immagine non è solo un elemento di tolleranza ma è anche uno strumento attraverso il quale il meccanismo binoculare riconosce la tridimensionalità degli oggetti. [4]

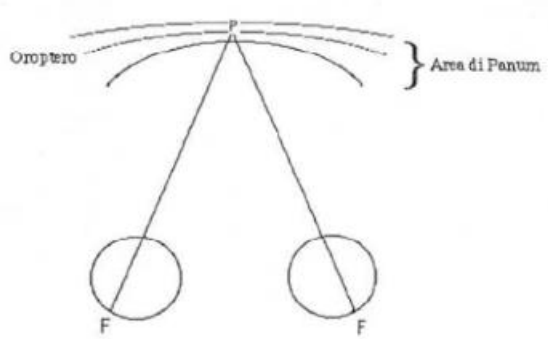

fig.1.2.2a Area di Panum

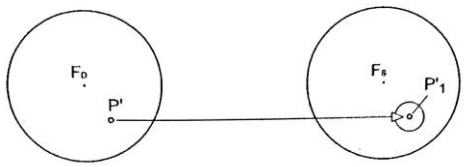

fig.1.2.2b Area di Panum a livello retinico

1.2.3 Stereopsi

La stereopsi, che è il terzo grado della fusione; consiste nella percezione della profondità dovuta alla disparità retinica di immagini di uno stesso oggetto, questo perché, a causa della distanza orizzontale degli assi visivi, i due occhi percepiscono immagini con diversa angolazione prospettica e per cui queste risultano essere leggermente diverse tra loro, la psiche fonde queste due immagini ricavando informazioni sulla profondità e sulla posizione spaziale degli oggetti. La stereopsi non è un fenomeno unicamente binoculare ma anche monoculare. Infatti, la visione tridimensionale si basa su indicatori monoculari di profondità che sono:

- Conoscenza degli oggetti: fondamentale non solo per poterli riconoscere ma anche per poterli collocare nello spazio.
- Interposizione: si verifica quando un oggetto nasconde parzialmente un altro oggetto e ciò consente di valutare quello più vicino all'osservatore.
- Colore e contrasto: gli oggetti più lontani appaiono meno contrastanti e con colori meno saturi rispetto a quelli vicini a causa dell'atmosfera.
- Movimento: che consiste in un movimento apparente dell'oggetto quando si muove la testa, ad esempio, se fissando un oggetto si prova a ruotare leggermente il capo, gli oggetti più vicini sembrano muoversi nella direzione opposta a quella della testa, mentre gli oggetti più lontani sembrano muoversi nella stessa direzione e più l'oggetto è lontano dall'osservatore più lento sarà il movimento.
- La prospettiva geometrica: in cui le dimensioni di un oggetto variano in base alla distanza

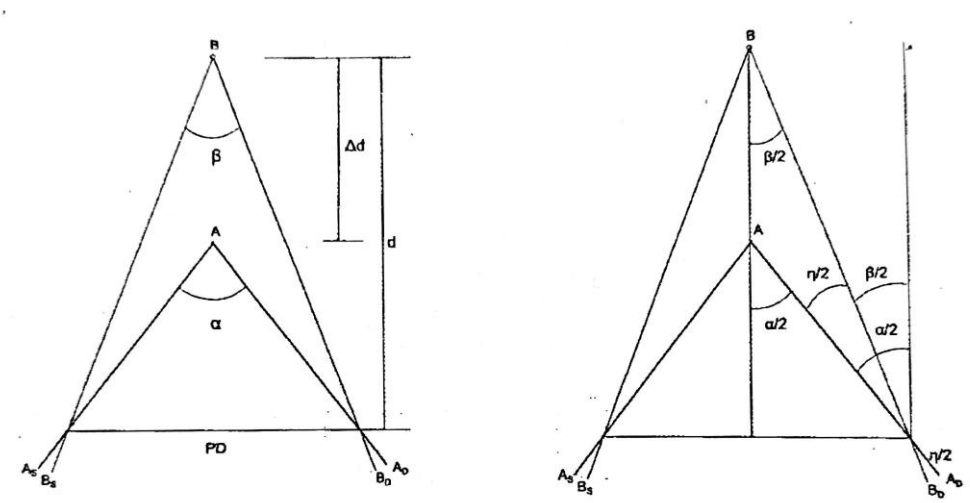

Fig.1.2.3 misura quantitativa della stereopsi

La misura della stereopsi detta anche stereoacuità, si effettua binocularmente ed è misurata in secondi d'arco. Supponiamo che un soggetto stia guardando due punti, A e B, posti nel piano mediano a distanze diverse; la minima distanza tra i due punti che permette al soggetto di percepire la diversa profondità a cui essi si trovano è detta soglia stereoscopica. La soglia stereoscopica η, detta anche streoacuità, è data dalla differenza tra la convergenza necessaria per fissare il punto A, espressa dall' angolo α, e quella per fissare il punto B, espressa dall'angolo β (fig1.2.3). Questo può essere espresso da tale equazione:

$$\eta = \alpha - \beta$$

$$\alpha = PD/(d-\Delta d)$$

$$\beta = PD/d$$

quindi

$$\eta = \Delta d PD/d^2$$

Quest'equazione che rappresenta la disparità geometrica **(η)** tra due punti corrisponde anche alla disparità retinica. [4]

L’efficacia della stereopsi dipende dalla distanza tra gli occhi (PD) e cioè dalla disparità orizzontale che si verifica tra le due immagini; la disparità tra le immagini non può superare i 2° o essere inferiore a 5” in modo quasi indipendente dalla distanza. La stereopsi è in funzione anche del campo visivo e risulta essere maggiore nella porzione centrale rispetto alla parte periferica nella quale si riduce notevolmente.[1]

In ambito clinico la stereopsi viene valutata attraverso dei test posti a distanza prossimale (40 cm), questi test principalmente si basano su due diversi tipi di stereopsi:stereopsi locale e stereopsi globale. Nella stereopsi locale si utilizzano due mire simili, con margini ben definiti, spostati lateralmente l’uno rispetto all’altro e mostrati separatamente ai due occhi, un esempio è il Titmus Stereo Test(fig.1.2.3a). Il Titmus Stereo Test viene eseguito con occhiali polarizzarti e tale test presenta diverse immagini ognuna con diversi valori di disparità espressi in secondi d’arco:

- Mosca 3000’’
- Figure della fila A 400’’
- Figure della fila B 200’’
- Figure della fila C 100’’
- I rombi numerati da 1 a 9 presentano:1) 800’’, 2) 400’’, 3) 200’’, 4) 140’’, 5) 100’’, 6) 80’’, 7) 60’’, 8) 50’’, 9) 40’’.

Nei test di stereopsi globale, le immagini sono immerse in un insieme casuale di puntini bianchi e neri che, in assenza di stereopsi, non mostrano contorni netti e quindi non sono identificabili, degli esempi sono il Lang stereotest I(fig.1.2.3b) e Lang stereotest II (fig.1.2.3c). Nel Lang stereotest I vi sono tre figure: gatto, stella e autovettura con disparità rispettivamente di 1200’’,600’’,550’’. Nel Lang stereotest II vi sono quattro figure: luna, automobile, elefante con le rispettive

disparità 200’’,400’’,600’’; vi è anche una stella che può essere vista anche monocularmente.[4]

fig1.2.3a Titmus Stereo Test

fig1.2.3b Lang Stereotest I

fig.1.2.3c Lang Stereotest II

CAPITOLO 2

2.1 Ambliopia

La visione binoculare non è presente dalla nascita, ma si sviluppa durante la crescita; infatti, alla nascita il bambino utilizza una visione monoculare alternata e solo verso i tre mesi inizia ad utilizzare i due occhi contemporaneamente, ovvero inizia il processo di fusione, fino a raggiungere valori di acuità stereoscopica propri dell'adulto all'età di 5-6 anni [4]. I fattori ambientali e la genetica influiscono sullo sviluppo della visione binoculare, infatti, questi possono causare anomalie binoculari sia sensoriali che motorie. Un'anomalia sensoriale che può insorgere durante il periodo critico, che inizia dai primi 18 mesi di vita fino ai 6-8 anni di età, di cui è affetto circa il 2% di tutta la popolazione e il 4-5% dei bambini, è l'ambliopia.[1] [5]

Ambliopia è un termine che deriva dal greco "ops" che significa "visione" e "amblyos" che significa "ottusa, pigra'', infatti tale anomalia è conosciuta generalmente come "occhio pigro". L'ambliopia consiste in una riduzione dell'acuità visiva non attribuibile né ad un vizio refrattivo non corretto, né ad una patologia del sistema visivo (fig.2.1) e si può manifestare sia in visione monoculare che binoculare, le più frequenti sono le ambliopie monolaterali, presenti nel 2-2.5% della popolazione. Si definisce, ambliope, un occhio, che presenta una differenza di 2/10 rispetto al controlaterale. Essa è considerata una delle prime cause del deficit visivo nei giovani di età minore di 20 anni. [5]

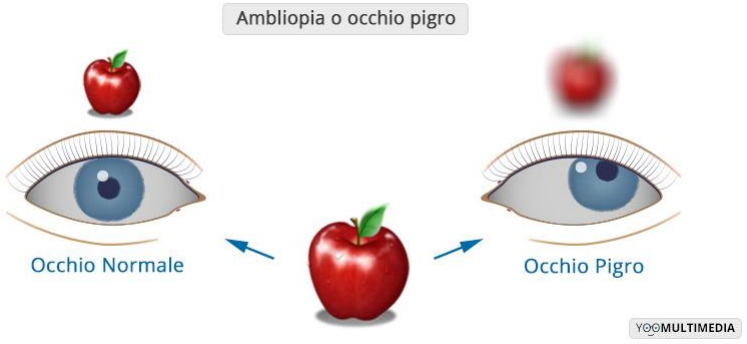

fig.2.1 ambliopia

2.2 Classificazione dell'ambliopia

L'ambliopia può essere di diversa natura:

- Organica: quando è provocata da variazioni morfologiche impercettibili, legati ad esempio ad un'alterazione a livello retinico foveale o delle vie ottiche. Può essere causata da distrofie retiniche dovute ad un errato orientamento dei recettori retinici o da emorragie maculari neonatali o intossicazione da farmaci. Questo tipo di ambliopia non può essere risolto in alcun modo in quanto riguardano anomalie organiche spesso ereditarie
- Funzionale: quando non vi sono variazioni morfologiche, ma è presente un'anomalia funzionale che ostacola il normale sviluppo del sistema visivo.

In base alla causa che la genera può essere suddivisa in:

- Ambliopia strabica: si verifica in presenza di strabismo monolaterale, in quanto la soppressione della zona foveale dell'occhio deviato si protrae nel tempo, per evitare diplopia e confusione. Negli strabismi alternanti ciò non avviene, poiché la soppressione si alterna nei due occhi dando così modo all'acuità visiva di svilupparsi.
- Ambliopia anisometropica: che si verifica in presenza di una differenza di refrazione tra i due occhi di una quantità maggiore di 1,50D-2,00D, in caso di mancata correzione il sistema visivo ha difficoltà a fondere immagini molto diverse sotto il profilo della nitidezza, per cui l'immagine peggiore viene soppressa. Se invece tale anisometropia viene corretta con lenti oftalmiche, si può comunque verificare il fenomeno di soppressione, a causa dell'aniseconia, ovvero della differenza di forma e dimensione delle immagini oculari, indotte da tale sistema ottico. Se la sopressione permane nel tempo s'instaura un'ambliopia. In genere è associata anche allo strabismo, per cui a volte è difficile capire quali delle due cause ha generato l'ambliopia.

- Ambliopia da deprivazione visiva: ciò si verifica soprattutto nei bambini ed è causata da una ridotta stimolazione retinica dovuta a opacità dei mezzi diottrici, quali cataratte congenite o traumatiche, opacizzazioni corneali, ptosi palpebrale etc.

2.3 Caratteristiche cliniche dell'occhio ambliope

L'ambliopia oltre a comportare una riduzione dell'acuità visiva, determina anche un'alterazione qualitativa della visione ovvero una riduzione della sensibilità al contrasto, un'anomalia della stereopsi e della percezione del movimento.[6] L'ambliopia causa, inoltre, il fenomeno di affollamento foveale (crowding).[7]

2.3.1 Acuità visiva

Il principale aspetto clinico dell'ambliopia è la ridotta acuità visiva, ovvero la capacità del sistema visivo di discriminare i dettagli degli oggetti osservati. L'acuità visiva è espressa dal minimo angolo sotteso dai dettagli riconosciuti alla distanza di osservazione, detto anche minimo angolo di risoluzione (MAR). Questa minima dimensione angolare può essere intesa in vari modi e, a seconda del criterio a cui si riferisce, avremo diversi tipi di acuità visiva, cioè: il minimo visibile, il minimo separabile anche detta acutezza di risoluzione, acutezza di localizzazione e acuità morfoscopica.[4]

I soggetti ambliopi presentano un'alterazione dell'acuità morfoscopica, che consiste nella capacità di riconoscere una forma tra tante, ad esempio le lettere dell'alfabeto, oppure riconoscere un oggetto da pochi tratti e indizi, infatti, come detto in precedenza, l'occhio ambliope presenta una acuità visiva morfoscopica di 2/10 inferiore rispetto al controlaterale. Oltre a questo, presentano anche un'alterazione dell'acuità di localizzazione anche detta di Vernier, che consiste nel minimo disallineamento o differenza di posizione che può essere individuato tra due mire adiacenti (di solito linee); i valori normali di questa soglia sono compresi fra i 2 e 10 secondi d'arco, siccome tali valori sono molto piccoli, questa capacità viene anche denominata iperacuità.[4]

2.3.2 Sensibilità al contrasto

Il sistema visivo umano è specializzato nel rilevare e riconoscere gli oggetti in diverse condizioni di luminosità ambientale. Questa abilità viene esaltata dal contrasto, cioè dalla differenza di luminanza rispetto ad uno sfondo. La sensibilità al contrasto invece è il reciproco della soglia di contrasto, definita come la più piccola differenza di luminanza tra due zone di un oggetto percepibile da un soggetto. La sensibilità al contrasto, quindi, è inversamente proporzionale alla soglia di contrasto, ciò significa che più piccola è la soglia di contrasto percepita maggiore sarà la sensibilità e viceversa. La variazione della sensibilità al contrasto è in funzione della frequenza spaziale e questo viene definita come funzione di sensibilità al contrasto (CSF) e può essere rappresentato graficamente da una curva a campana. [4] In un occhio sano, la sensibilità al contrasto diminuisce a frequenze molto alte e risulta essere migliore per valori intermedi e la massima sensibilità al contrasto, si trova in corrispondenza di frequenze di circa 3-5 cicli/grado che è rappresentato dall'apice della curva. Nell'occhio ambliope invece la sensibilità al contrasto è ridotta a tutte le frequenze spaziali e la curva presenta un picco a frequenze più basse e una caduta maggiore a frequenze più alte.[8] (fig.2.3.2)

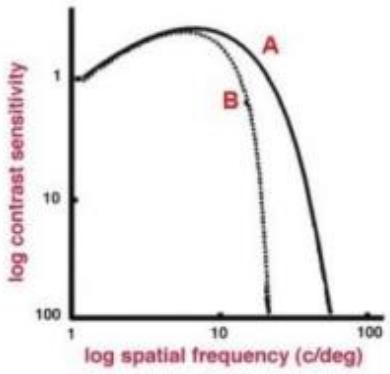

fig2.3.2 A)sensibilità al contrasto di un soggetto normovedente ,B) sensibilità al contrasto di un soggetto ambliope.

2.3.3 Affollamento (crowding)

Il crowding o fenomeno di affollamento è un deficit presente nei soggetti ambliopici in particolare in coloro che presentano ambliopia causata da strabismo.[7] Il fenomeno dell'affollamento consiste nell'incapacità di discriminare i simboli presentati insieme, rispetto alla capacità di discriminare simboli presentati singolarmente su sfondo uniforme. La presenza di crowding è un segno prognostico positivo perché significa che è un'ambliopia funzionale, senza componente organica, in quanto in quest'ultima non si verifica il crowding. Secondo Cuppers il crowding è dovuto ad una doppia localizzazione che può essere innata ed acquisita da parte degli ambliopi che comporta una confusione con i simboli vicini.[5]

2.3.4 Percezione della profondità

La stereopsi in soggetti ambliopi risulta essere compromessa in quanto attuando il fenomeno della soppressione, per evitare i fenomeni di diplopia e confusione, la corteccia visiva riceve le immagini solo da un occhio impedendo così lo sviluppo di neuroni binoculari. La stereopsi è presente intorno a 4 mesi di vita fino a migliorare all'età di 6 anni, per cui è importante che questa capacità sia acquisita dall'infanzia altrimenti viene persa.[4]

2.3.5 Movimento

In alcuni studi è stato dimostrato che le persone affette da ambliopia presentano un deficit di elaborazione del movimento globale causate da un'anomalia a livello delle aree della corteccia extrastriate, che sono deputate all'elaborazione dell'informazione del movimento. Questo deficit del movimento è indipendente dalla ridotta visibilità e sensibilità al contrasto.[9][10]

Inoltre, i soggetti ambliopi presentano una riduzione della coordinazione oculo-manuale, essendo l'ambliopia un'alterazione del sistema visivo, e questo può creare dei problemi per lo svolgimento di molte attività, dal disturbo di

apprendimento, problemi nello sport, difficoltà nello svolgere anche attività generali come camminare, guidare ecc..[11]

2.4 Diagnosi dell'ambliopia

Il metodo più efficace per evidenziare subito la presenza di ambliopia, consiste nel misurare l'acuità visiva, ma ciò non è sempre possibile in quanto dipende anche dall'età del bambino; infatti, tale metodo può essere eseguito in bambini di età superiore ai 3 anni. Possono essere utilizzati diversi ottotipi, ad esempio, si possono presentare simboli direzionali come E di Albini, C di landot o anche lettere in età scolare, oppure figurine come i simboli LEA in età prescolare. Invece nei bambini in età preverbale si valuta la maturazione del sistema visivo con dei metodi più sofisticati quali: l'osservazione del nistagmo optocinetico, l'analisi dei potenziali visivi evocati e la fissazione preferenziale di sguardo eseguita attraverso le carte di Teller [5].

In bambini molto piccoli, a partire dai 5-6 mesi, è possibile eseguire il test dell'occlusione che risulta essere abbastanza efficace ed orientativo in quanto pur non essendo un metodo quantitativo, però fornisce indicazioni sulla qualità della visione. In questo test si valuta la reazione all'occlusione di un occhio, se si occlude l'occhio con una buona acuità visiva il bambino avrà una reazione indispettita o di pianto, viceversa occludendo l'occhio ambliope, il bambino non sarà infastidito.[5][12]

In caso di presenza di uno strabismo manifesto non alternante l'occhio non fissante sarà sicuramente ambliope.[5]

2.5 Trattamenti tradizionali per l'ambliopia

Lo scopo del trattamento dell'ambliopia è quello di migliorare il visus dell'occhio ambliope fino a raggiungere valori visivi uguali in entrambi gli occhi ed in caso di strabismo ottenere anche un'alternanza di fissazione. Più profonda è l'ambliopia più intensivo sarà il programma di riabilitazione visiva.

La terapia consiste nel:

1. Individuare e rimuovere le cause

Nei casi di ambliopia da deprivazione bisognerà trattare chirurgicamente gli ostacoli alla visione.

2. Correggere i difetti refrattivi

Una volta che l'asse visivo risulta libero da impedimenti, e nei casi di ambliopia iso o anisometropica, è di fondamentale importanza correggere ogni errore refrattivo significativo, stimato con la schiascopia in cicloplegia. In alcuni casi di ambliopia anisometropica lieve la sola correzione ottica con occhiali può essere sufficiente a migliorare la visione degli occhi ambliopi.

3.Stimolare l'occhio ambliope

Tra i metodi di riabilitazione il più comune è quello dell'occlusione il cui scopo è quello di stimolare l'occhio ambliopico e ridurre o impedire la visione dell'occhio funzionale. L'occlusione può essere:

- Completa con materiale opaco o parziale con materiale semitrasparente come i filtri di Bangerter che permette di ridurre l'acuità di una quantità definita. Il valore da prescrivere è individuato dal filtro che abbassa il visus nell'occhio buono di almeno 3/10 rispetto al visus dell'occhio ambliope.

- Totale, ovvero l'intero campo visivo, o a settore cioè solo una parte dell'occhiale viene oscurata

- Inversa quando viene occluso l'occhio affetto da anomalia, o diretta quando l'occlusione è a carico dell'occhio migliore. Nel caso dell'ambliopia verrà occluso l'occhio migliore [1][6]. (Fig.2.5)

fig.2.5 terapia dell'occlusione

Se l'ambliopia viene diagnosticata in giovane età, quindi precocemente, il trattamento è di tipo completo e totale. Tuttavia, con l'occlusione poiché la condizione visiva è sempre monoculare, questo non risulta un metodo ideale per la formazione di una normale visione binoculare.[1]

Oltre all'occlusione, esiste un'altra tecnica riabilitativa molto simile, chiamata penalizzazione, che prevede la riduzione della visione di uno dei due occhi attraverso l'uso di una sovra correzione positiva, in modo da creare una visione annebbiata, oppure può essere realizzata con cicloplegia [1].

La penalizzazione farmacologia (atropina-ciclopentolato) impedisce l'accomodazione dell'occhio buono, promuovendo così la fissazione con l'occhio ambliope per oggetti vicini infatti è una penalizzazione per vicino. La penalizzazione ottica invece consiste nell'ipercorrezione dell'occhio buono (un occhiale volutamente sbagliato) in modo da favorire l'uso dell'occhio ambliope per oggetti lontani. La penalizzazione è efficace solo se il paziente cambia la fissazione a favore dell'occhio ambliope. Generalmente la penalizzazione non rappresenta una metodica di successo nel trattamento di un'ambliopia profonda poiché i bambini continuano a fissare con l'occhio migliore anche in presenza di una visione annebbiata. La penalizzazione può essere un metodo efficace nelle ambliopie di grado lieve o moderato.[12]

CAPITOLO 3

3.1 Cos'è la realtà virtuale o VR

Si definisce Realtà Virtuale un ambiente esclusivamente digitale creato da uno o più computer che simula la realtà effettiva e la ricrea in modo non tangibile, questo viene veicolato ai nostri sensi mediante delle console che consentono un'interazione in tempo reale con tutto ciò che viene prodotto all'interno di tale mondo. Questo scambio di dati è permesso da dispositivi informatici, per la maggior parte, visori per la vista, guanti per il tatto ed auricolari per l'udito, che consentono un'immersione completa nella simulazione creata in modo tridimensionale e dinamico accedendo a tutta una serie preordinata di contenuti che vengono esplorati in modo da costruire un vero e proprio mondo parallelo verosimile.

Il primo approccio realistico con la realtà digitale si ebbe agli inizi degli anni sessanta con la creazione del cosiddetto Sensorama (fig.3.1), questo si può considerare infatti il primo e unico dispositivo di Realtà Virtuale completo in quanto riusciva a stimolare tutti e 5 i sensi, con immagini stroboscopiche per la vista, altoparlanti per l'udito, aromi ed odori per l'olfatto ed il gusto, flussi di aria attraverso il viso ed il collo ed un manubrio per le mani e le braccia per il tatto; era inoltre corredato da una poltroncina dotata di contrappesi e leve per le sensazioni di ondeggiamento del corpo e dell'equilibrio.[13]

Fig 3.1 Sensorama

Il primo esempio invece di realtà digitale per come la conosciamo oggi, è stato realizzato alla fine degli anni ’60 con gli studi compiuti da Ivan Sutherland nell’Università dello Utah che ha permesso la costruzione del primo visore di realtà virtuale.

La Realtà Virtuale può essere suddivisa in immersiva e non immersiva:

- nel primo caso l’utente viene completamente isolato dall’ambiente esterno e viene trasportato nella realtà parallela riprodotta e in essa viene assorbito completamente grazie anche ad un insieme di accessori che integrano i visori professionali come ad esempio l’Oculus Rift;
- nel secondo caso invece l’ambiente ricreato digitalmente ha un minore impatto emotivo sul soggetto, questo avviene anche a causa della qualità dei visori: nel Samsung Gear VR, ad esempio, è lo smartphone a servire da schermo in cui si ricrea l’ambiente virtuale, che è inserito in un apposito alloggio all’interno del visore.[13]

3.2 L’architettura della Realtà Virtuale

Per poter usufruire in maniera completa della Realtà Virtuale sono necessari dei visori che abbiano determinate caratteristiche quali, ad esempio ,un campo visivo dai 100 ai 110 gradi, un frame rate (frequenza di immagini proiettate al secondo) compreso tra un minimo di almeno 60fps ed un massimo di 120fps per evitare una visione a scatti fastidiosa agli occhi, un giroscopio che consenta, insieme ad un accelerometro ed ad un magnetometro, il cosiddetto Head Tracking ovvero lo spostamento dell’immagine seguendo esattamente i movimenti del capo lungo i quattro punti cardinali e con tempi di risposta dai cinquanta millisecondi ai trenta millisecondi. Tutto questo è sviluppato volutamente per far sì che l’utente possa interagire e “vivere” all’interno della realtà virtuale, questo è permesso sia dalla presenza all’interno del visore di un sistema audio professionale multicanale che offre la sensazione di suoni che provengono da tutte le direzioni

e che consentano il cosiddetto effetto doppler (con l'aumentare del suono in avvicinamento ed il diminuire in allontanamento), sia da un sofisticato sistema di puntamento ad infrarossi che consente di leggere il movimento oculare, il cosiddetto eye tracking, rendendo ancora più realistica l'immersione nell'ambiente virtuale mediante la creazione della profondità di campo.[13]

Esistono diversi tipi di dispositivi quali:

- Visori con lo smartphone: sono i dispositivi più economici, che usano come schermo e processore quelli dello smartphone facendo uso di software e applicazioni scaricabili dalla rete.
- HMD "Head Mounted Display": sono dispositivi complessi che vanno necessariamente collegati a un potente computer, tendenzialmente dedicato anch'esso alla realtà virtuale.
- Standalone: sono visori indipendenti da smartphone e da computer.[14]

3.3 Trattamento dell'ambliopia con VR

3.3.1 Trattamento dell'ambliopia di adulti con training dicoptico utilizzando Oculus Rift

I trattamenti gold standard nell'ambliopia sono terapie penalizzanti, come patching o visione offuscata con atropina che mirano a forzare l'uso dell'occhio ambliope. Questo tipo di trattamento dell'ambliopia può essere efficace fino a 7 anni di età.

Si ritiene che il recupero delle normali funzioni visive sia quasi impossibile dopo la fine del periodo critico, cioè dopo gli 8 anni di età nei bambini. Tuttavia, esistono diversi studi su animali e umani che mostrano la plasticità del percorso visivo anche dopo che il periodo critico è passato, essendo pazienti che hanno perso la vista nell'occhio "buono". La perdita dell'altro occhio permetterebbe di riattivare le connessioni esistenti. Questo potrebbe essere il risultato dello

smascheramento o aree cerebrali superiori che imparano a prestare attenzione ai segnali precedentemente inibiti dall'occhio ambliope. La terapia della vista dopo la fine del periodo critico può portare a un miglioramento della vista e della binocularità. Gli studi sui videogiochi utilizzati dagli adulti per il trattamento dell'ambliopia hanno mostrato un certo grado di ripristino visivo nell'occhio ambliope. Pertanto, il periodo critico dovrebbe essere considerato solo come il momento della massima plasticità neurologica.

È stato condotto uno studio preliminare valutando l'effetto dell'allenamento visivo dicoptico utilizzando un visore di realtà virtuale.

In questo studio sono stati arruolati un totale di 17 soggetti ambliopici (10 uomini, 7 donne) con un'età media di 31,2 anni (range, 17-69 anni). I criteri di inclusione erano soggetti con ambliopia anisometropica, di età pari o superiore a 17 anni e disposti a eseguire l'allenamento visivo. I criteri di esclusione sono: strabismo, interventi chirurgici oculari, irregolarità corneale, opacizzazione del mezzo oculare inclusa la cataratta e malattie oculari.

Tutti i pazienti sono stati sottoposti a un esame oftalmologico di base comprendente test visivo, refrazione manifesta e cicloplegica, cover test, test Worth a quattro punti, esame del segmento anteriore con la lampada a fessura, topografia corneale ed esame del fondo oculare. La migliore acuità visiva corretta (BCVA) è stata misurata utilizzando un ottotipo di display a cristalli liquidi (LCD) calibrato con grafici Snellen. La stereoacuità è stata misurata utilizzando il test del cerchio graduato Stereo Randot. BCVA e stereoacuità sono state misurate prima e dopo il programma di allenamento dicoptico. L'allenamento visivo dicoptico è stato eseguito utilizzando la versione beta del gioco per computer Diplopia Game (Vivid Vision, San Francisco, USA) attraverso un dispositivo della realtà virtuale denominato Oculus Rift OC DK2. (fig.3.3.1.1) [15]

fig 3.3.1.1 oculus rift DK2

Sono stati eseguiti due giochi, il primo denominato Space Game, in cui i soggetti facevano volare un'astronave attraverso un sistema di anelli e un gioco breaker che è un tipico gioco a blocchi, ma giocato in un'ambientazione 3D di realtà virtuale, in cui il paziente colpisce i mattoni bersaglio usando una palla e una racchetta mobile. Entrambi i giochi avevano un'ambientazione dicoptica in cui la parte centrale dell'immagine mostrata era diversa. Nel gioco Space Game, l'astronave era visibile solo con l'occhio dominante mentre gli anelli colorati e gli asteroidi erano visibili solo con l'occhio ambliope (Fig.3.3.1.2). Mentre nel gioco Breaker la palla era vista dall'occhio ambliope e la racchetta dal controlaterale.[15] [17]

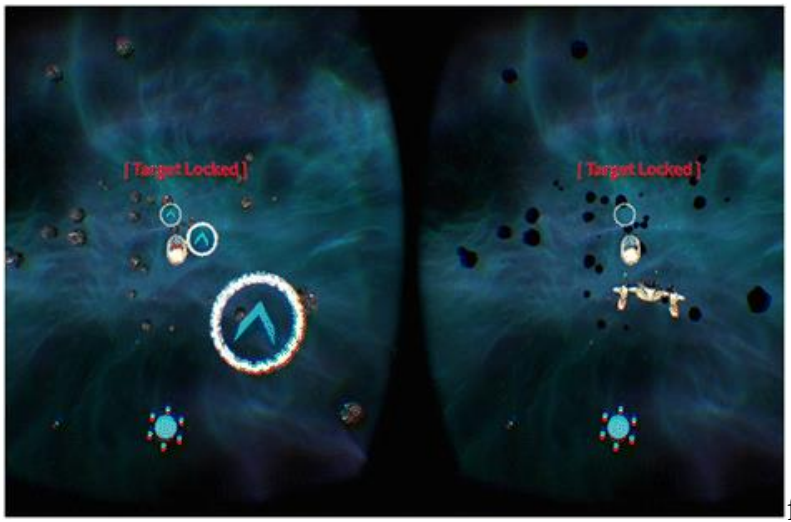

fig3.3.1.2

Poiché alcuni oggetti sono visti con l'occhio ambliope e altri sono visti con l’occhio controlaterale, il gioco costringe il cervello a usare contemporaneamente entrambi gli occhi.

Ogni soggetto è stato sottoposto a 8 sessioni di allenamento, eseguite due volte a settimana per la durata di 1 mese. Ogni sessione prevedeva 40 min di allenamento con 2 partite diverse (20 min a partita). Il paziente non ha eseguito nessun altro allenamento visivo durante il periodo di training dicoptico. Dieci pazienti sono stati trattati con patch quando erano bambini, ma non ricordavano per quanto tempo.

La tabella 1 riassume i principali dati clinici dei pazienti inclusi nello studio. L'equivalente sferico medio era +0,09 ± 2,13 e +2,01 ± 4,07 D nell'occhio sano e ambliope, rispettivamente. Inoltre, la tabella include dati BCVA dell'occhio ambliope e stereoacuità prima e dopo le 8 sessioni di addestramento dicoptico. Come mostrato, il BCVA è migliorata significativamente da un valore medio logMAR BCVA di 0,58 ± 0,35 prima dell'allenamento a un valore medio post-allenamento di 0,43 ± 0,38 (p <0,01, Student t test) (Fig. 3.3.1.3). La BCVA con le E di Snellen dell'occhio ambliope variava prima dell'allenamento da 20/400 a 20/25 e da 20/400 a 20/20 dopo l'allenamento (Fig. 3.3.1.3). Un totale del 29,41% e del 47,06% degli occhi ha raggiunto un BCVA di 20/40 o migliore rispettivamente prima e dopo l'allenamento (Fig. 3.3.1.4). La maggior parte dei pazienti ha guadagnato linee (linea 1,5 logMAR in media) di BCVA tranne tre con il BCVA più basso (1,30, 1,10 e 0,9 logMAR) e un paziente con 0,30 logMAR BCVA (Fig. 3.3.1.4). In questi quattro casi non è stata osservata alcuna variazione della BCVA.[15]

Tabella 1

Paziente	Occhio sano (Dsph. Dcyl)		Occhio ambliope (Dsph. Dcyl)		BCVA - prima di DT	BCVA - dopo DT	Stereoacuità - prima di DT	Stereoacuità - dopo DT
1	0,5	1	-0,5	3,5	0.9	0.9	zero	zero
2	0,75	1,5	+2.37	0,75	1.3	1.3	zero	400
3	0,25	0,5	4,5	2,5	0,5	0.4	zero	140
4	−2.5	1	−3.5	1	0.6	0,5	zero	50
5	0,5	0	+7.00	0,5	0.4	0.3	400	400
6	2	0,5	+3.00	1	0.4	0.3	200	200
7	−0,12	0,75	1,5	1	0.1	0.0	70	50
8	0,25	0,5	+3.00	0,5	0.2	0.1	140	20
9	0,75	0	3,75	0,5	0.2	0.0	400	160
10	0,25	0,5	+1.00	1,5	0.3	0.0	200	20
11	0,5	0,5	+4.25	1	0,5	0.4	400	140
12	0,5	0	+2.25	1,5	0,5	0.4	zero	400
13	0,25	0	1,75	+3.0	1.0	0,5	zero	400
14	0,5	1	2,5	0	0.3	0.3	400	50
15	0,5	0,5	+4.0	1	0,5	0.1	160	20
16	-8.0	1	−12.0	2	1.0	0.7	zero	zero
17	0	0	1,87	0,75	1.1	1.1	zero	200

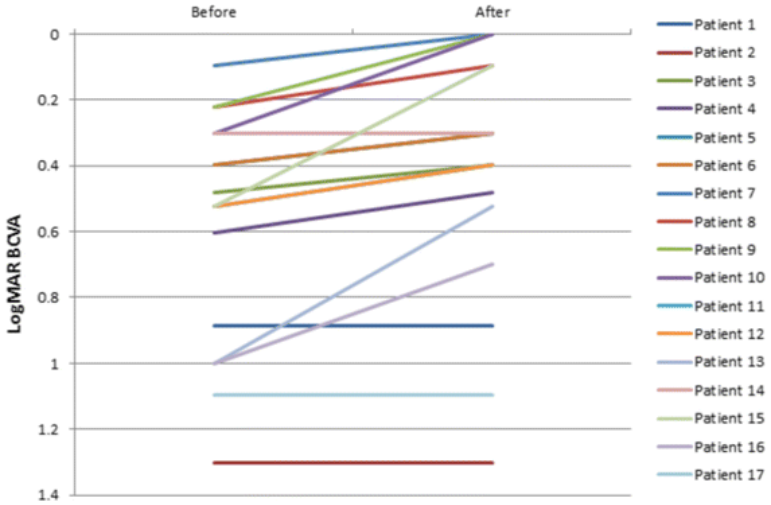

fig 3.3.1.3

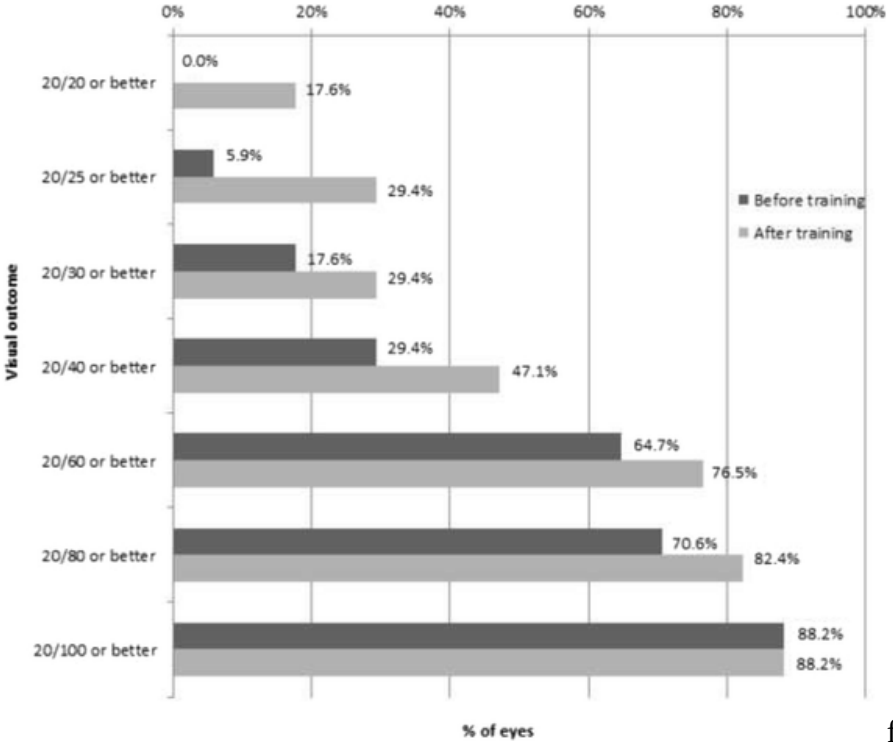

fig 3.3.1.4

La stereoacuità è stata misurata utilizzando il test del cerchio graduato Stereo Randot, con la capacità di misurare stereoacuità da 400 a 20 s d'arco. La stereoacuità media è passata da un valore di 263,3 ± 135,1 prima dell'allenamento dicoptico a un valore di 176,7 ± 152,4 s d' arco dopo l'allenamento (Tabella 1) (Fig. 3.3.1.5). Questo cambiamento è stato statisticamente significativo. Un totale di 8 pazienti (47,1%) prima del trattamento dicoptico presentava una stereoacuità non misurabile con il metodo utilizzato, mentre ciò si verificava solo in 2 pazienti (11,8%) dopo l'allenamento (Fig. 3.3.1.6).[15]

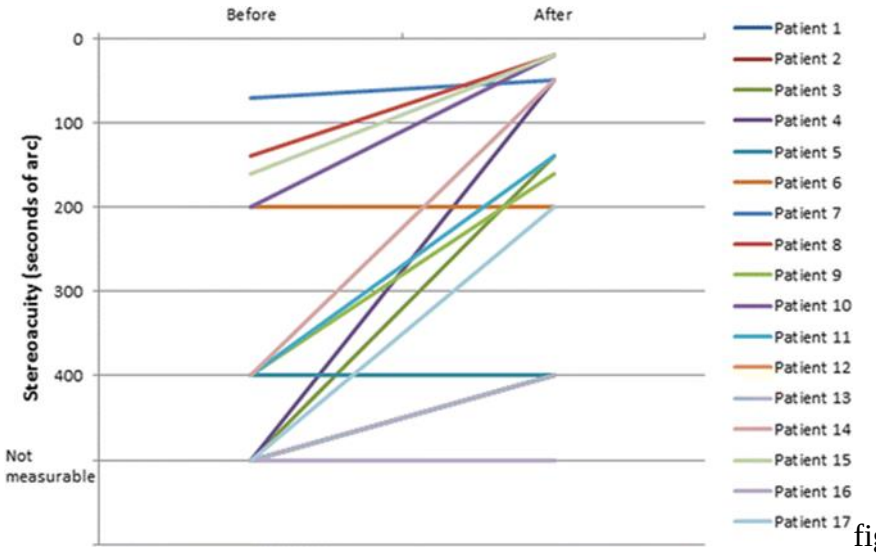

fig.3.3.1.5

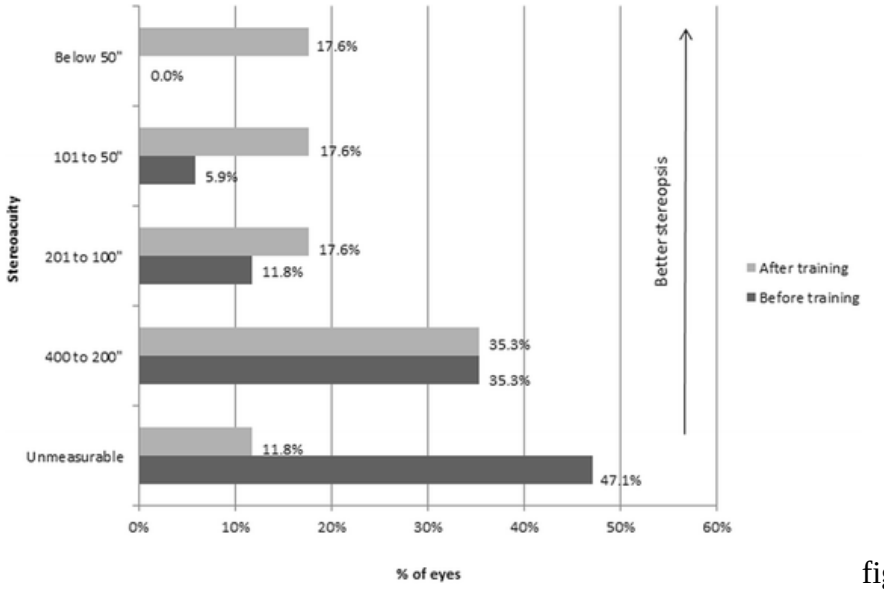

fig3.3.1.6

Studi recenti mostrano che l'allenamento binoculare-dicoptico può comportare effetti di apprendimento significativamente maggiori rispetto all'allenamento monoculare. Nel presente studio è stato riscontrato un miglioramento del BCVA di 1,5 linee logMAR in media. Questi risultati sono coerenti con quelli riportati anche in precedenti studi che valutavano gli effetti di altri metodi di addestramento dicoptico. L'uso del training dicoptico può quindi essere più efficace del training monoculare nell'ambliopia, ma questo è qualcosa che dovrebbe essere ulteriormente approfondito in studi comparativi controllati. In questa serie, BCVA non è migliorata in tre pazienti. Ciò è coerente con studi

precedenti che mostrano che una percentuale di pazienti ambliopi che vanno dal 10 al 50% potrebbe non riuscire a raggiungere la normale acuità visiva anche dopo lunghi periodi di trattamento. Nello specifico, in questo studio pazienti più giovani hanno mostrato un aumento della BCVA, suggerendo che la minore plasticità cerebrale potrebbe essere una delle possibili ragioni dell'assenza di miglioramento della BCVA in tre casi. Un altro motivo potrebbe essere la ridotta funzione dell'innervazione afferente nella materia grigia o bianca del sistema nervoso centrale, come mostrato in precedenti studi di risonanza magnetica. Allo stesso modo, la motivazione dei pazienti, come con altre forme di apprendimento percettivo, può svolgere un ruolo significativo sui risultati. In questo campione, la stereoacuità è migliorata in 7 pazienti su 10, mentre in altri studi che hanno valutato altre modalità di trattamento binoculare hanno riportato tassi di miglioramento dal 50% al 60%. Forse, l'uso della realtà virtuale può svolgere un ruolo nel miglioramento della stereoacuità dopo l'addestramento dicoptico.

I risultati preliminari di questo studio indicano il potenziale per un nuovo trattamento per l'ambliopia dell'età adulta. È ancora necessario eseguire uno studio clinico controllato che valuti questa potenziale opzione terapeutica per l'ambliopia, non solo negli adulti, ma anche nei bambini.
In conclusione, questo studio preliminare mostra la potenziale utilità dell'addestramento dicoptico utilizzando un display di realtà virtuale montato sulla testa nel trattamento dell'ambliopia anisometropica dell'adulto. Sono necessari futuri studi clinici per confermare questa prova preliminare, nonché studi che valutino il potenziale beneficio nell'esito della stereopsi dell'utilizzo di un display montato sulla testa della realtà virtuale.[15]

3.3.2 Trattamento stimolante la binocularità nei bambini con ambliopia residua dopo l'occlusione.

La risposta al trattamento di occlusione raggiunge di solito un livello di stabilità prima che la visione nell'occhio ambliope sia uguale a quella dell'occhio sano, una condizione indicata come ambliopia residua. Molti ambliopi non raggiungono un'acuità visiva normale, indipendentemente dalla loro compliance al patching, e l'ambliopia spesso si ripresenta dopo il successo del trattamento nel 25-50% dei bambini. Inoltre, i bambini più grandi e gli adulti con ambliopia sono raramente trattati con terapie convenzionali.

Studi recenti hanno riportato che le interazioni binoculari anormali svolgono un ruolo chiave nell'ambliopia. Sono state introdotte terapie che stimolano la binocularità sull'ambliopia utilizzando l'apprendimento percettivo o la presentazione dello stimolo dicoptico. Il meccanismo della presentazione dicoptica presenta un forte stimolo all'occhio ambliope e uno stimolo debole all' occhio sano, i dispositivi utilizzati sono: display montato sulla testa (HMD), display a cristalli liquidi (LCD) e occhiali con otturatore, occhiali con otturatore tridimensionale (3-D) e un iPad. I ricercatori hanno dimostrato che questo tipo di terapia è efficace nel trattamento dell'ambliopia infantile, in particolare i giochi iPad binoculari. Tuttavia, questi studi hanno esaminato per lo più pazienti pediatrici con diagnosi recenti di ambliopia ma non è riportato l'effetto della terapia di stimolazione binoculare su bambini con ambliopia residua (cioè dopo terapia con patch e/o atropina).Per questo tra il 2015 e il 2016 presso il Seoul National University Hospital, in Corea del Sud, sono stati raccolti 22 soggetti che presentavano ambliopia residua, dopo terapia occlusale di durata maggiore di 6 mesi, causata da strabismo, anisometropia o entrambi, di cui 7 presentavano ambliopia anisometropica, 8 ambliopia strabica e 7 ambliopia combinata. L'età media dei pazienti era di 8,7 ± 1,3 anni (intervallo: 6,7–11,1 anni), sono state escluse persone con condizioni oftalmiche congenite o acquisite (malattia del nervo ottico, glaucoma, opacità media o cataratta), malattia sistemica (p. es.,

disturbi neurologici, ritardi dello sviluppo) o scarsa compliance al trattamento occlusale.[16]

Tutti sono stati sottoposti a refrazione cicloplegica alla prima visita clinica per determinare l'errore di rifrazione, che è stato convertito in equivalente sferico per l'analisi statistica (misurata in diottrie [D]). La miopia è stata definita come un equivalente sferico negativo e l'ipermetropia è stata definita come un equivalente sferico positivo. L'acuità visiva è stata misurata utilizzando una tabella visiva di Snellen ed è stata convertita nel logaritmo dell'angolo minimo di risoluzione (logMAR) per tutte le analisi dei dati. L'allineamento oculare è stato valutato utilizzando il test di copertura del prisma alternato con obiettivi accomodativi per la fissazione vicina (0,33 m) e lontana (6 m). La stereoacuità è stata testata utilizzando il Titmus stereotest e tutti i valori sono stati trasformati in log arcsec ai fini dell'analisi.

L'ambliopia è stata definita come una differenza interoculare dell'acuità visiva tra due occhi di almeno 0,2 LogMAR (2 linee). I tipi di ambliopia sono stati suddivisi in: anisometropica, strabismica e combinata. L'ambliopia anisometropica è stata definita se c'era una differenza di almeno 1.0D nell'equivalente sferico o 1.5D nell'astigmatismo tra i due occhi senza strabismo. L'ambliopia strabismica è stata definita come ambliopia in presenza di un'eterotropia a distanza e/o vicino al punto di fissazione con una differenza interoculare di equivalente sferico < 1.0D e < 1.5D in caso di astigmatismo e una deviazione compresa entro le 8 diottrie prismatiche. È stata definita ambliopia combinata in presenza sia di strabismo che di anisometropia.

I pazienti sono stati sottoposti in modo casuale a uno dei tre tipi di trattamento stimolante la binocularità. Questi includevano BF (filtro Bangerter), giochi HMD e terapia di gioco combinata BF/HMD, questi trattamenti sono stati eseguiti per almeno 2 mesi.

Il gruppo 1 è stato sottoposto a BF con un livello simile all'occhio ambliope applicato sugli occhiali dell'occhio sano per 6 h al giorno.[16]

Il gruppo 2 è stato sottoposto a terapia del gioco HMD utilizzando il gioco "Ice Cream Truck" per 30 minuti al giorno. Questo gioco richiede ai giocatori di lanciare il gelato ai bambini che corrono verso di loro ed è presentato su uno schermo diviso, che consente il controllo indipendente del contrasto e dell'intensità dell'immagine 3D utilizzando il metodo della sfocatura gaussiana a 16 livelli. All'occhio ambliope vengono presentate immagini con contrasto e intensità aumentati, mentre all'occhio sano vengono presentate immagini con contrasto e intensità ridotti (Fig. 3.3.2.1). Il giocatore ha la possibilità di selezionare il livello di gioco come normale, esperto o difficile.

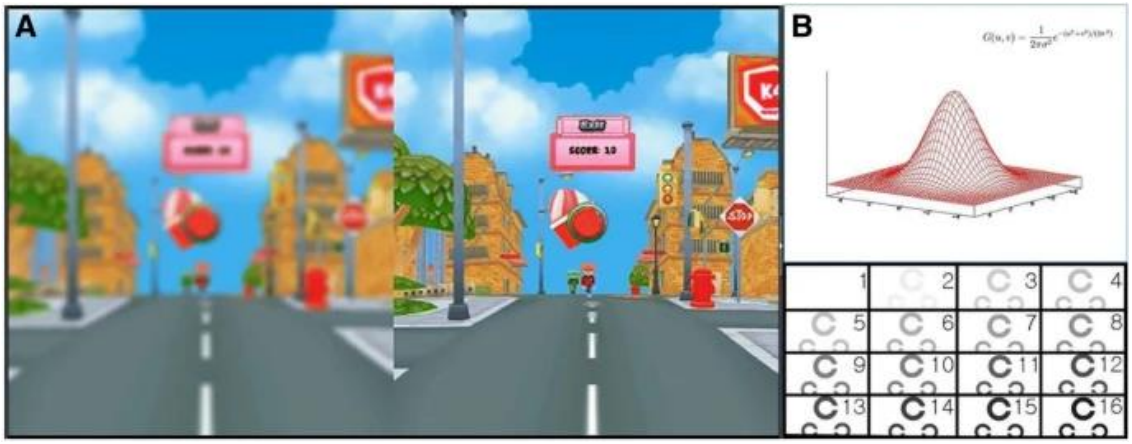

Fig.3.3.2.1 Il programma software sviluppato denominato gioco "Ice Cream Truck". **a** Esempio di screenshot del gioco con effetto sfocato. Separa le immagini 3D e controlla gli input visivi in entrambi gli occhi aumentando il contrasto e l'intensità del bersaglio 3D per l'occhio ambliope (a destra) e diminuisce quelli per il normale occhio sano (a sinistra). **b** Metodo di sfocatura gaussiana a 16 livelli applicato in questo programma software.

Il gruppo 3 è stato sottoposto a terapia combinata di gioco BF/HMD. I pazienti guardavano un video o giocavano al gioco 3D in un ambiente di realtà virtuale usando HMD per 30 minuti al giorno con BF sull'occhio sano. Dopo almeno 2 mesi di trattamento stimolante la binocularità, è stata confrontata l'acuità visiva iniziale e finale. [16]

Su un totale di 22 pazienti (di cui 15 maschi), 10 pazienti sono stati trattati con BF, 7 pazienti sono stati trattati con giochi HMD e 5 pazienti sono stati trattati

con terapia combinata di giochi BF/HMD. L'acuità visiva alla visita iniziale era di 0,73 ± 0,47 (intervallo 0,2 ~ 1,8) LogMAR. La durata media della terapia occlusale era di 2,5 ± 1,1 anni (intervallo: 0,7-4,7 anni) e l'acuità visiva LogMAR dopo l'occlusione era di 0,22 ± 0,20 (intervallo: 0,05-1,0). La terapia occlusale ha portato a un guadagno visivo di almeno 0,2 LogMAR in 19 su 22 pazienti (86,4%). L'età media al momento del trattamento di stimolazione binoculare era di 8,7 ± 1,3 anni (intervallo: 6,7–11,1 anni) e la durata media del trattamento di stimolazione binoculare era di 4,4 ± 1,8 mesi (intervallo: 2,1–8,1 mesi, Tabella 2).[16]

Tabella 2: Caratteristiche demografiche e cliniche nei bambini con ambliopia residua dopo occlusione per più di 6 mesi

	Totale (*n* = 22)
Sesso (maschile:femminile)	15:07
Errore di rifrazione (diottrie)	
Occhio ambliope	+ 3,16 ± 4,10 (intervallo − 5,50~ 7,50)
Compagno d'occhio	+ 2,31 ± 2,67 (intervallo − 2,25~ 7,75)
Lateralità dell'occhio ambliope (destra: sinistra)	07:15
Tipi di ambliopia (A:S:C)	07:08:07
VA alla prima visita (LogMAR)	0,73 ± 0,47 (intervallo 0,2~ 1,8)
Durata dell'occlusione (anni)	2,5 ± 1,1 (intervallo 0,7~ 4,7)
VA dopo occlusione (LogMAR)	0,22 ± 0,20 (intervallo 0,05~ 1,0)
Età al trattamento binoculare (anni)	8,7 ± 1,3 (intervallo 6,7~ 11,1)
Stereoacuità al trattamento binoculare (Logarcsec)	2,3 ± 0,2 (intervallo 1,9~ 2,6)
Durata del trattamento binoculare (mesi)	4,4 ± 1,8 (intervallo 2,1~ 8,1)
VA dopo il trattamento binoculare (LogMAR)	0,18 ± 0,15 (intervallo 0,0~ 0,5)

Le variabili continue sono riportate come media ± deviazione standard

Abbreviazioni: A anisometropico, S strabismico, C combinato, VA acuità visiva, logaritmo LogMAR dell'angolo minimo di risoluzione

L'acuità visiva nell'occhio ambliope è stata modificata da 0,22 ± 0,20 LogMAR a 0,18 ± 0,15 LogMAR dopo il trattamento stimolante la binocularità. Su un totale di 22 pazienti, a seconda dei tipi di trattamento non si sono riscontrati fattori significativamente diversi (tranne per sesso, tipo di ambliopia ed età del trattamento binoculare) (Tabella 3). Cinque pazienti (22,7%) hanno guadagnato più di 0,2 logMAR della vista (1 su 10 pazienti [10%] nel gruppo BF, 2 su 7 pazienti [28,6%] nel gruppo HMD e 2 su 5 pazienti [40%] nel gruppo BF + HMD, Fig.3.3.2.2). [16]

Tabella 3: Confronto tra fattori clinici e acuità visiva nei bambini con ambliopia residua dopo occlusione per più di 6 mesi in base alle modalità di trattamento

	BF (*n* = 10)	**HMD (*n* = 7)**	**BF + HMD (*n* = 5)**
Sesso (maschile:femminile)	06:04	05:02	04:01
Tipi di ambliopia (A:S:C)	03:05:02	03:02:02	01:01:03
VA alla prima visita (LogMAR)	0,66 ± 0,44	0,77 ± 0,53	0,80 ± 0,58
Durata dell'occlusione (anni)	2,9 ± 1,3	2,6 ± 1,0	1,8 ± 0,5
VA dopo occlusione (LogMAR)	0,17 ± 0,12	0,30 ± 0,32	0,21 ± 0,11
Età al trattamento binoculare (anni)	8,3 ± 1,2	8,7 ± 1,5	9,5 ± 1,4
Durata del trattamento binoculare (mesi)	4,7 ± 2,4	4.2 ± 1.4	4.1 ± 1.1
VA dopo il trattamento binoculare (LogMAR)	0,19 ± 0,17	0,17 ± 0,07	0,17 ± 0,19

Le variabili sono riportate come media ± deviazione standard

Abbreviazioni: BF Filtro di Bangerter , HMD Display montato sulla testa, A anisometropico, S strabismico, C combinato, VA acuità visiva, LogMAR logaritmo dell'angolo minimo di risoluzione

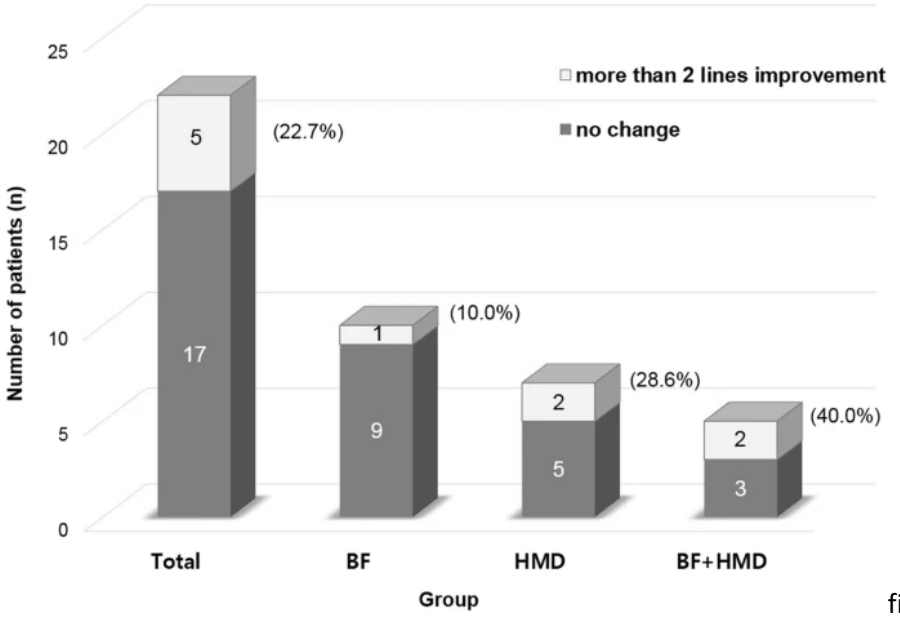

fig.3.3.2.2

Sebbene il trattamento cardine per l'ambliopia unilaterale sia stato tradizionalmente la penalizzazione dell'occhio sano, vi è un crescente interesse per il ruolo dei trattamenti binoculari. Man mano che si accumulano ulteriori prove cliniche sulla gestione dell'ambliopia potrebbe esserci uno spostamento dalla penalizzazione e un'inclinazione verso la stimolazione binoculare. I trattamenti che stimolano la binocularità includono l'uso di film e videogiochi visualizzati su uno schermo diviso, con alcuni componenti multimediali presentati in immagini a basso contrasto per l'occhio sano e immagini ad alto contrasto per l'occhio ambliope. Li e colleghi hanno esaminato l'effetto della visione di tre film dicoptici a settimana per 2 settimane su 8 pazienti ambliopi (4 pazienti con ambliopia anisometropica, 1 paziente con ambliopia strabismica e 4 pazienti con ambliopia combinata) di età compresa tra 4 e 10 anni. Prima del trattamento, l'acuità visiva dell'occhio ambliope variava da 0,24 a 1,20 LogMAR. Hanno riferito che il miglioramento medio dell'acuità visiva era di 2 linee. Tuttavia, il loro studio ha incluso solo un piccolo numero di pazienti e ha avuto un breve periodo di follow-up (2 settimane).

Vedamurty e colleghi hanno condotto uno studio più ampio su pazienti più anziani e hanno confrontato i pazienti ambliopici che guardavano film con un

cerotto (n = 15 pazienti) con quelli che giocavano ai videogiochi dicoptici (*n* = 23 pazienti). In ciascun gruppo di trattamento, circa la metà dei pazienti presentava ambliopia anisometropica e metà dei pazienti presentava ambliopia strabismica. I partecipanti dovevano svolgere le attività visive assegnate per 1,5-2 ore, almeno 2-5 volte a settimana per un totale di 40 ore. Hanno scoperto che il gruppo dei videogiochi dicoptici ha avuto un miglioramento complessivo della stereopsi e della sensibilità al contrasto poco dopo 2 mesi dopo l'inizio dell'intervento. Questi studi precedenti includevano pazienti con ambliopia di nuova diagnosi e trattati con terapie stimolanti la binocularità senza alcuna esperienza di trattamento convenzionale (ad esempio patching).

Al contrario, questo studio ha incluso bambini con ambliopia residua in seguito alla terapia occlusale. L'ambliopia residua è generalmente considerata una condizione incurabile e le terapie convenzionali non offrono opzioni per ulteriori miglioramenti dell'acuità visiva.

Inizialmente anche se l'86,4% dei pazienti ha guadagnato almeno 2 linee di visione con più di 6 mesi di patch, la visione nell'occhio ambliope non aveva ancora raggiunto quella dell'occhio sano. Pertanto, erano necessari diversi trattamenti per migliorare ulteriormente l'acuità visiva, per questo è stato provato un trattamento che stimola la binocularità usando i giochi, il Filtro di Bangerter e HMD. Nel presente studio, dei 22 pazienti inclusi, solo 5 pazienti (22,7%) hanno guadagnato più di 0,2 logMAR della vista. Questo però presenta delle limitazioni in quanto il numero dei soggetti esaminati è molto ridotto; quindi, è necessaria un'ulteriore ricerca prospettica su un gruppo più ampio di bambini e adulti ambliopici per dimostrare l'efficacia del trattamento binoculare.[16]

CONCLUSIONE

In tale elaborato sono stati analizzati diversi trattamenti per l'ambliopia, da quelli tradizionali a quelli più innovativi che prevedono l'uso di visori di Realtà Virtuale. Si è notato che i trattamenti tradizionali ed in particolare l'occlusione, non risulta un trattamento idoneo per lo sviluppo di una normale visione binoculare e che la terapia della penalizzazione mostra degli effetti solo nei casi di ambliopia lieve e moderata che sono efficaci solo prima del periodo critico. Per questo sono stati analizzati vari studi che stimolino la visione binoculare attraverso videogiochi mediante l'utilizzo di VR, anche dopo il periodo critico, in quanto diverse ricerche avevano notato una plasticità neuronale anche negli adulti.

Nel primo studio sono state incluse persone solo con ambliopia anisometropica in cui la miglior acuità visiva è cambiata da 0,58 ± 0,35 LogMAR prima del trattamento a 0,43 ± 0,38 LogMAR post-allenamento; quindi, in media i pazienti hanno guadagnato 1,5 linee LogMAR, inoltre, la stereoacuità è migliorata in 7 pazienti su 10.

Nel secondo studio sono stati selezionati soggetti affetti da ambliopia residua dopo terapia occlusale, causata da strabismo, anisometropia o entrambi. I trattamenti tradizionali, con questo tipo di ambliopia, non conducono ulteriori miglioramenti dell'acuità visiva, anzi, talvolta è considerata incurabile, per questo i soggetti sono stati suddivisi in modo casuale in 3 gruppi. Il primo gruppo è stato sottoposto alla terapia con il filtro di Bangerter, il secondo alla terapia che prevede l'uso di videogioco con visore HMD ed il terzo che consiste nella combinazione delle due terapie sopracitate, ovvero HMD più filtro di Bangerter. In un totale di 22 pazienti solo 5 hanno guadagnato più di 0,2 LogMAR di cui 1 su 10 nel primo gruppo, 2 su 7 nel secondo gruppo e 2 su 5 nel terzo gruppo; quindi, non ci sono stati risultati significativamente diversi tra le varie terapie.

Questi studi presentano entrambi dei potenziali risultati anche se minimi, considerando il limite dovuto non solo al numero esiguo di pazienti ma di una tecnologia (VR), che deve ancora ritagliarsi uno spazio nel mercato per affermarsi. Dunque, per dimostrare l'efficacia di questi nuovi trattamenti che stimolino la binocularità si dovranno attendere futuri risvolti. Nonostante i recenti studi condotti, si continua a sperimentare per confrontare questa terapia con altri metodi e in ulteriori popolazioni di pazienti, sperando che in un futuro la tecnologia della realtà virtuale possa acquisire più autorevolezza nel campo dell'optometria, in quanto potrebbe essere un metodo interessante per stimolare i soggetti a svolgere allenamenti terapeutici, come nel caso dell'ambliopia, inserendo un escamotage ludico al fine di rendere la terapia stessa più piacevole.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] Anto Rossetti, Pietro Gheller; Manuale di Optometria e Contattologia, Zanichelli, 2003.

[2] Sergio Villani; Optometria e oftalmometrologia, University of Latvia, school of optometry, 1994.

[3] William J. Benjamin; Borish's Clinical Refraction, Butterworth Heinemann Elsevier, 2006.

[4] Fabrizio Zeri, Anto Rossetti, Alessandro Fossetti e Antonio Calossi; Ottica visuale, Società Editrice Universo, 2012.

[5] Aldo Caporossi con la collab.di Tommaso Salgarello,Chiara Manganelli,Oftalmologia,Piccin,2017.

[6] OCULISTICA PEDIATRICA PRATICA (1° volume) V. L. MINIELLO Vice Presidente Nazionale della Societa Italiana di Pediatria Preventiva e Sociale (SIPPS) Coautori e Coordinatori:G. TARANTINO, A. TURTORO Coautori: G. CORSETTI, A. DEPINO, L. GRAVINA,M.G. MAGLIARELLA, C. MASSARO, A. MENNA, C. NARDELLA, V. PENDINO, S. SANTAMARIA, A. UBALDI, I libri dell'AIERV-AIOPP.

[7] Yoram S, Bonneh A, Dov Sagi, Uri Polat.(2007) Spatial and temporal crowding in amblyopia. Science direct, pp 1950-1962.

[8] Invest. Ophthalmol. Visual Sci. January 1977, Spatio-temporal interactions in anisometropic and strabismic amblyopia. DENNIS M. LEVI AND RONALD S. HARWERTH

[9] Anita J. Simmers, Tim Ledgeway, Robert F. Hess, Paul V. McGraw.(2003) Deficits to global motion processing in human amblyopia. Vision Research pp 729–738, 2003.

[10] Constantinescu T, Schmidt L, Watson R, Hess RF. A residual deficit for global motion processing after acuity recovery in deprivation amblyopia. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2005 Aug;46(8):3008-12. doi: 10.1167/iovs.05-0242. PMID: 16043878.

[11]https://www.htcnet.it/news/coordinazione-occhio-mano-influenza-sui-disturbi-dellapprendimento-e-non-solo/

[12]http://www.studiopedrotti.it/sites/default/files/documents/trattamento-dell-ambliopia.pdf

[13] http://www.intelligenzaartificiale.it/realta-virtuale/

[14] Montagna L. "Realtà virtuale e realtà aumentata" "Dispositivi VR" nuovi media per nuovi scenari business, Milano, Ulrico Hoepli Editore S.p.a 2018

[15] Žiak, P., Holm, A., Halička, J. *et al.* Amblyopia treatment of adults with dichoptic training using the virtual reality oculus rift head mounted display: preliminary results. *BMC Ophthalmol* **17**, 105 (2017). https://doi.org/10.1186/s12886-017-0501-8

[16] Lee, HJ., Kim, SJ. Effectiveness of binocularity-stimulating treatment in children with residual amblyopia following occlusion. *BMC Ophthalmol* **18**, 253 (2018). https://doi.org/10.1186/s12886-018-0922-z

[17] Ved, T., Chauhan, J., Katre, N. (2020). Syt-AJ: Treating Lazy Eye Using Virtual Reality. In: Vasudevan, H., Michalas, A., Shekokar, N., Narvekar, M. (eds) Advanced Computing Technologies and Applications. Algorithms for Intelligent Systems. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3242-9_27