

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

Anisometropia ed aniseiconia: analisi e compensazione

Relatore: Prof. Paolo Facchin

Laureanda: Ilaria Lessio
Matricola: 1118740

Anno accademico 2017/2018

INDICE

| | |
|--|-----------|
| ABSTRACT..... | 1 |
| INTRODUZIONE..... | 3 |
| CAPITOLO 1: L'ANISOMETROPIA..... | 5 |
| 1.1 Classificazione..... | 6 |
| 1.2 Eziologia..... | 7 |
| 1.3 Prevalenza..... | 9 |
| 1.4 Sintomi e segni..... | 10 |
| 1.5 Accomodazione..... | 11 |
| 1.6 Visione binoculare..... | 13 |
| CAPITOLO 2: L'ANISEICONIA..... | 15 |
| 2.1 Classificazione..... | 16 |
| 2.2 Eziologia..... | 17 |
| 2.2.1 Aniseiconia ottica..... | 17 |
| 2.2.2 Aniseiconia retinica..... | 17 |
| 2.2.3 Aniseiconia corticale..... | 18 |
| 2.3 Sintomi..... | 20 |
| 2.4 Anisoforia..... | 22 |
| 2.5 Misurazione dell'aniseiconia | 25 |
| 2.5.1 Sistemi a comparazione diretta..... | 27 |
| 2.5.2 Sistema a biprismi..... | 28 |
| CAPITOLO 3: I METODI DI COMPENSAZIONE..... | 31 |
| 3.1 Ingrandimento prodotto dalle lenti correttrici..... | 32 |
| 3.2 Ingrandimento relativo..... | 36 |
| 3.2.1 Ingrandimento relativo nell'ametropia assiale..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2 Ingrandimento relativo nell'ametropia refrattiva..... | 40 |
| 3.2.3 Il concetto di stretching retinico..... | 41 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| CONCLUSIONE..... | 45 |
|-------------------------|-----------|

| | |
|--------------------------|-----------|
| BIBLIOGRAFIA..... | 47 |
|--------------------------|-----------|

ABSTRACT

La condizione di anisometropia, in maniera più o meno evidente, si riscontra di frequente nella pratica optometrica, ed è per questo che merita una certa attenzione. Si tratta di un'asimmetria nello stato refrattivo, che generalmente si considera significativa dal punto di vista clinico quando il potere di un occhio differisce di almeno una diottria da quello del controlaterale.

La correzione ottica di questa condizione porta a una probabile differenza nella dimensione tra le immagini retiniche dei due occhi, che può essere invalidante per la visione binoculare del soggetto, dal momento che due immagini retiniche simili sono elementi fondamentali per una normale fusione sensoriale centrale.

Lo scopo di questo lavoro è indagare sui metodi di compensazione per evidenziare se ci siano delle indicazioni da seguire per tentare di ridurre la problematica, che può portare anche a disturbi piuttosto fastidiosi, come mal di testa e sintomi astenopici.

Nella prima parte dell'elaborato, a seguito di una ricerca nella letteratura, è stata definita e classificata l'anisometropia per poterne trattare poi gli aspetti ottici, arrivando a prendere in considerazione la legge di Knapp, la quale evidenzia come sia la correzione oftalmica a limitare l'aniseiconia in caso di anisometropia assiale e, al contrario, la correzione tramite lenti a contatto a minimizzare il problema in presenza di anisometropia di natura refrattiva.

Tale legge, però, ha il limite di fare considerazioni solo dal punto di vista ottico. E' per questo che ciò che succede nella pratica si trova spesso in contraddizione con essa, in quanto è l'utilizzo di lenti a contatto che presenta raramente problemi secondari ad aniseiconia, qualunque sia la natura del difetto corretto.

La ricerca tra vari studi di un elemento che potesse spiegare questo contrasto mi ha portato a considerare l'ipotesi di uno stretching retinico che si verifica a livello dei fotorecettori quando esiste un'anisometropia assiale.

In conclusione, l'analisi della letteratura condotta al fine dell'elaborato porta a stabilire una preminenza nell'utilizzo di lenti a contatto come dispositivi di correzione in presenza di anisometropia.

INTRODUZIONE

Nella normale pratica optometrica è molto frequente riscontrare dei casi in cui il valore dell'ametropia di un occhio si discosta più o meno notevolmente da quello del suo controlaterale.

Dovrebbe venire spontaneo, quindi, domandarsi se questo fatto possa in qualche maniera compromettere la visione binoculare del soggetto in questione.

Diventa fondamentale pertanto quantificare l'entità di tale asimmetria fra lo stato refrattivo dei due occhi, per prevedere se essa possa avere qualche conseguenza da tenere in considerazione nella scelta del dispositivo correttivo più idoneo al caso.

Introducendo, quindi, il concetto di anisometropia si stabiliscono i parametri da rispettare per poter identificare tale situazione.

Successivamente, si considera l'aniseiconia che la condizione di anisometropia provoca. Si ha, infatti, che le lenti correttive di diverso potere necessarie per compensare due entità differenti di anisometropia possono generare immagini retiniche di diversa dimensione.

Questo potrebbe provocare non pochi disturbi al soggetto che la presenta, dal mal di testa, a tutti i sintomi caratterizzanti l'astenopia, fino alla fotofobia, ma non solo. Tuttavia, la risposta del nostro sistema visivo, atta a limitare il più possibile questi disturbi, può dar luogo a processi di adattamento, i quali possono in qualche maniera compromettere le performance visive. Esiste, infatti, la tendenza a sopprimere parzialmente l'immagine meno nitida, a discapito della stereopsi.

Inoltre, a risultare fastidiosa è anche l'anisoforia indotta, dovuta agli effetti prismatici che si hanno guardando attraverso punti eccentrici delle lenti oftalmiche aventi diverso potere.

A questo punto, diventa interessante capire se esistano delle modalità più idonee per compensare l'anisometropia nel tentativo di minimizzare queste problematiche.

In questo lavoro compilativo riporterò dunque un'analisi della letteratura per descrivere la condizione di anisometropia in maniera più approfondita, dedicandomi poi alla spiegazione dell'aniseiconia che ne consegue, esaminando anche i test utili per la sua misurazione.

Successivamente, tratterò l'aspetto della compensazione, analizzando la correzione con lenti oftalmiche e quella tramite lenti a contatto, in riferimento a quanto afferma, in un dominio puramente ottico, la legge di Knapp.

Sulla base di altre considerazioni che introducono fattori anatomici e psicofisici, approfondirò la mia ricerca, ponendo argomentazioni atte a definire la lente a contatto come il dispositivo sempre più idoneo in caso di anisometropia.

CAPITOLO 1

L'ANISOMETROPIA

L'*anisometropia* è quella condizione in cui il difetto refrattivo di un individuo presenta un'asimmetria fra i due occhi (Sorsby et al., 1962). Tale situazione si oppone alla più frequente isometropia, nella quale la refrazione si presenta simile in entrambi gli occhi (Rossetti e Gheller, 2003).

E' estremamente facile trovare situazioni in cui si riscontra una diversità fra i due occhi e ciò rientra nell'ambito fisiologico, proprio per tale motivo è necessario che la divergenza sia di una certa entità perché la situazione possa richiedere una certa attenzione.

Tuttavia, non è estremamente chiaro il valore minimo di differenza necessario per definire univocamente la suddetta condizione di anisometropia, ma in genere la letteratura riporta che questo deve essere di almeno 1 D in uno o più meridiani (Rossetti e Gheller, 2003; Benjamin, 2006). Inoltre, i soggetti che presentano questa disparità nello stato refrattivo fra i due occhi rappresentano circa il 10% dei soggetti ametropi e solitamente tale differenza si colloca entro le 2 D ed ha causa prevalentemente assiale (Rossetti e Gheller, 2003). Sorsby ed altri autori a lui associati, infatti, analizzando 68 soggetti con anisometropia compresa fra 2 e 15 diottrie, riscontrarono che erano 49 i casi in cui la differenza di potere era dovuta alla lunghezza assiale (Sorsby et al., 1962).

Ciò nonostante, quando l'anomalia non si riscontra secondariamente a patologie oculari, diventa interessante interrogarsi sulle cause dell'anisometropia, dal momento che due occhi che si sviluppano all'interno di uno stesso sistema visivo e quindi esposti agli stessi fattori genetici ed ambientali, dovrebbero evolvere in uno stesso, o comunque simile, difetto refrattivo (Stephen and Scott, 2014).

1.1 Classificazione

Esistono vari tipi di anisometropia, per questo tale condizione viene classificata come segue (Benjamin, 2006):

- anisometropia astigmatica semplice: un occhio è astigmatico, l'altro è emmetrope;
- anisometropia ipermetropica semplice: un occhio è ipermetrope, l'altro è emmetrope;
- anisometropia miopica semplice: un occhio è miope, il controlaterale è emmetrope;

- anisometropia astigmatica composta: entrambi gli occhi presentano astigmatismo, ma di differente potere;
- anisometropia ipermetropica composta: entrambi gli occhi sono ipermetropi, ma il potere refrattivo è differente;
- anisometropia miopica composta: entrambi gli occhi sono miopi, ma il potere refrattivo è differente;

- anisometropia astigmatica: questo tipo di anisometropia si presenta quando è presente un astigmatismo di simile o uguale entità nei due occhi, ma l'asse varia, con conseguente anisometropia in ogni meridiano;

- anisometropia mista o antiametropia: un occhio è miope e l'altro è ipermetrope;

- anisometropia verticale: diverso potere nel meridiano verticale. Una o più diottrie di differenza nei due occhi in meridiani corrispondenti è considerato un dato clinicamente significativo.

Utile per la seconda parte di questa trattazione è invece, la classificazione dell'anisometropia secondo i contributi delle varie componenti oculari:³

- anisometropia assiale: ci si riferisce a questa condizione refrattiva quando la causa si riscontra in un diverso diametro antero-posteriore fra un occhio e il suo controlaterale. Esaminando vari soggetti anisotropi si è potuto stabilire come la quasi totalità di essi presenti una differenza nella lunghezza assiale fra i due occhi, soprattutto quando l'anisometropia supera le 5 D;
- anisometropia refrattiva: questa può essere causata da una differenza nei due occhi dovuta al cristallino o alla cornea. In particolare, un'anisometropia lenticolare è stata riscontrata nei soggetti aventi una asimmetria che va dalle 3 alle 5 D. La cornea, al contrario, non si è dimostrata essere un fattore così importante nella determinazione dell'anisometropia.

Infine, sulla base dell'entità, Gettes propose questa divisione clinica (Zeri et al., 2012):

- bassa: fino a 2 D di differenza;
- alta: quando è compresa fra le 2 D e le 6 D;
- molto alta: quando supera le 6 D.

1.2 Eziologia

E' interessante capire quale sia l'origine di questa condizione, anche se spesso è dovuta ad una componente genetica della quale non è ben chiaro il meccanismo. Risultano essere comunque molteplici le cause che generano anisometropia. Possiamo trovarci di fronte ad anisometropia ereditaria, legata al diverso sviluppo

dei due bulbi oculari, o acquisita, quando a scatenarla sono altri fattori, che successivamente elenchiamo.

In molti contesti di nascita prematura si riscontrano soggetti anisometropi.

Infatti, uno studio condotto su questi soggetti riporta che oltre il 30% dei bambini presenta una differenza di oltre 1 diottria tra i due occhi (Varughese et al., 2005).

Inoltre, Abrahamsson e i suoi collaboratori hanno riscontrato che tale situazione può presentarsi a seguito della presenza di strabismo convergente, formulando una teoria secondo cui ciò accade poiché al processo di emetropizzazione dell'occhio fissante si associa un aumento del difetto refrattivo dell'occhio deviato (Abrahamsson et al., 1992). A supporto di tale teoria si colloca uno studio di Smith in cui è stato indotto uno strabismo in alcuni esemplari di scimmie, chirurgicamente in 24 casi e otticamente in 11. E' risultato che il 70.8% delle scimmie con strabismo indotto con la prima tecnica avevano sviluppato anisometropia, mentre nell'altro gruppo questa si è verificata nel 36% dei casi. Gli studiosi ipotizzarono, quindi, che lo strabismo creasse degli scompensi in quella che è lo sviluppo coordinato dei due occhi (Smith et al., 1951).

Patologie oculari monolaterali, quali malattie associate alle palpebre, cataratta nucleare, ptosi congenita ed anche la presenza di emangioma palpebrale sono ulteriori situazioni che possono causare anisometropia.

Stigmar ha condotto uno studio assieme ai suoi collaboratori dove i 19 soggetti presi in considerazione presentavano questo emangioma ad un occhio, stabilendo che il 37% di essi aveva un'anisometropia che variava fra le 2 e le 6.5 diottrie. Inoltre, l'occhio affetto dalla patologia tendeva ad essere sempre più ipermetrope rispetto al controlaterale, con un astigmatismo avente l'asse perpendicolare alla direzione in cui il tumore provocava una certa pressione. Consigliavano, quindi, di monitorare la situazione ed, eventualmente, di rimuoverne la causa (Stigma et al., 1978).

Anche casi di deprivazione visiva causati da emorragie del vitreo provocano delle anomalie nel processo di crescita oculare, a cui è stata spesso associata la presenza di anisometropia. Miller-Meeks e i suoi colleghi, infatti, hanno riscontrato

un'associazione fra emorragia vitrea, la quale oscurava il polo oculare posteriore, e miopia monolaterale. Inoltre, solamente nei casi in cui l'emorragia si verificava prima del primo anno di età, la miopia era presente e la gravità dell'anisometropia era correlata alla durata della persistenza dell'emorragia (Miller Meeks et al., 1990).

Altre ancora sono le condizioni che scaturiscono in anisometropia. Secondo un altro studio (Wick and Westin., 1999), il 29% dei soggetti presbiteri corretti tramite monovisione con lenti a contatto sviluppano una leggera anisometropia. In questo caso, infatti, viene intenzionalmente indotta una sfocatura monoculare voluta proprio dalla modalità di correzione scelta. Per lo stesso motivo, l'anisometropia può verificarsi anche quando tramite l'utilizzo della chirurgia refrattiva un occhio è corretto per una distanza diversa rispetto all'altro.

Anche nel caso di pseudofachia può comparire l'anisometropia. Ciò si verifica se il potere della lente intraoculare (IOL) scelta non è adeguato per l'occhio in cui viene impiantata.

Infine, a scatenare tale situazione può essere qualsiasi genere di trauma oculare, gli interventi di chirurgia refrattiva e la cheratoplastica (Khurana, 2008).

1.3 Prevalenza

L'anisometropia è una condizione che si può presentare in individui di tutte le età. Secondo alcuni, non è rara da riscontrare alla nascita (18%) e, maggiormente, è presente nei bambini prematuri, qui con una percentuale del 32% (Rossetti e Gheller, 2003). In quest'ultimo caso, tale condizione è associata a retinopatia del prematuro, utilizzo di crioterapia e alla settimana in cui il bambino nasce (Holmstrom et al., 1998).

La condizione si riduce successivamente variando fra l'1% e il 6% in soggetti con età compresa fra i 6 mesi e i 15 anni (Deng and Gwiazda, 2012), mentre è stato dimostrato che la prevalenza dell'anisometropia aumenta con il progredire

dell'età. Ciò è dovuto a vari fattori che si presentano con il passare degli anni di un individuo.

Uno studio su soggetti adulti fuchici, ha ottenuto come risultato quello che l'asimmetria nello stato refrattivo aumenta con l'età, con la presenza di cataratta e con l'incremento dell'ametropia (Guzowski et al., 2003).

La cataratta induce un incremento dell'indice di rifrazione del cristallino, che come conseguenza porta ad una significativa variazione refrattiva oculare.

In vari studi, infatti, la presenza di anisometropia è significativamente superiore nei partecipanti con cataratta rispetto a quelli senza (Guzowski et al., 2003; Elham et al., 2013).

Inoltre, dal momento che la cataratta causa miopia in molti casi, si riscontra spesso un'associazione fra la miopia e la condizione anisometropica (Elham et al., 2013). Infine, per quanto riguarda la progressione della condizione, De Vries ha affermato che l'anisometropia tende ad essere stabile e non presenta un aumento durante l'età scolastica, al massimo, come già visto può subire delle modifiche in una fase più adulta.

In particolare, se durante lo sviluppo la condizione è moderata, questa può essere transitoria e addirittura scomparire, mentre quando supera le 3 diottrie tende ad evolvere in ambliopia (De Vries, 1985).

1.4 Sintomi e segni

Come in molti casi, gli elementi che caratterizzano una certa condizione sono oggettivi. In particolare, quando ci troviamo di fronte ad un bambino che presenta anisometropia, spesso ci rendiamo conto del suo disagio attraverso vari segni, quali: eccessivo ammiccamento, sfregamento degli occhi, inclinazione anomala del capo, copertura di un occhio, distanza di lavoro molto ridotta e strabismo.

Tuttavia, se l'anisometropia è di una certa entità, anche se non viene compensata, non genera sintomi, in quanto la corteccia cerebrale tende a sopprimere

parzialmente l'immagine più sfocata, ovvero quella dell'occhio più ametrope, compromettendo una normale rivalità retinica a favore di un percolato meno confuso.

Per questo motivo, uno dei segni più comuni dell'anisometropia è l'ambliopia, ovvero quella condizione in cui un occhio vede meno rispetto all'altro (visus inferiore a 3/10) o c'è una significativa differenza ($> 3/10$) fra l'acuità visiva dei due occhi (Rossetti e Gheller, 2003), in assenza di danni oculari organici. Questa è dovuta, infatti, ad input visivi anomali durante il periodo critico di sviluppo visivo, associabile ai primi 18 mesi di vita (Holmes and Clarck, 2006). Circa il 3% dei soggetti presenta ambliopia e questa è dovuta a cause di varia natura: anisometropia (50%), strabismo (19%), mista (insieme delle due precedenti, 27%) e da deprivazione (4%) (Rossetti e Gheller, 2003).

Viceversa, quando l'anisometropia è di lieve entità, l'occhio che presenta un difetto refrattivo maggiore, essendo comunque simile all'altro, non è parzialmente soppresso e quindi la visione rimane binoculare. Succede, dunque, che l'anisometropia non corretta produce sintomi quali visione sfocata, astenopia, mal di testa e anche diplopia. Una situazione diversa è quella che si verifica in presenza di antiametropia. In questa circostanza un occhio ha visione migliore a breve distanza, mentre il controlaterale a distanza infinta; in particolare l'occhio miope è utilizzato per guardare vicino, mentre quello ipermetrope per guardare lontano. In tal caso il soggetto presenta una visione alternante a seconda della distanza di osservazione e, sebbene non vi sia binocularità, questa condizione non presenta disturbi e tantomeno diventa causa di ambliopia in quanto la funzionalità visiva è preservata (Rossetti e Gheller, 2003).

1.5 Accomodazione

Quando un sistema visivo è integro, il meccanismo accomodativo è binoculare; se quindi si copre un occhio e si sollecita il controlaterale a mettere a fuoco una mira

posta a distanza prossimale, anche l'occhio occluso esercita l'atto accomodativo (Maffioletti e Piacentini, 2007).

Secondo quanto si apprende da uno studio di Vincent ed altri a lui associati, assumendo che l'innervazione dei muscoli ciliari sia simmetrica, la risposta accomodativa dovrebbe risultare la medesima in entrambi gli occhi. Infatti, in condizioni di osservazione monoculare, gli occhi dominanti e non dominanti mostravano una risposta accomodativa altamente simmetrica. Tuttavia, si è evidenziata in visione binoculare una piccola differenza nella risposta, con un valore maggiore nell'occhio dominante (Vincent et al., 2015).

Sebbene sia possibile osservare come in alcuni studi si prenda in considerazione l'ipotesi di una anisoaccomodazione, nello svolgimento di questo lavoro viene considerato il classico concetto di consensualità accomodativa fra i due occhi.

Quando l'anisometropia viene corretta con lenti oftalmiche, gli occhi dovrebbero accomodare di una quantità diversa per avere visione nitida ad una determinata distanza ma, come abbiamo visto, ciò non è possibile perché viene considerata l'accomodazione un'attività consensuale fra i due occhi.

Inoltre, lo sforzo accomodativo necessario per mettere a fuoco un oggetto ravvicinato attraverso delle lenti oftalmiche non è l'inverso della distanza a cui l'oggetto è posto, bensì viene calcolato in base alla seguente formula:

$$Acc = \frac{1 + d\phi_L}{1 - d\phi_L} \cdot \frac{1}{s} \quad (1.1)$$

dove:

Acc = sforzo accomodativo

d = distanza apice corneale-lente (in metri)

s = distanza a cui è posto l'oggetto (in metri)

ϕ_L = potere della lente oftalmica correttiva

Ne consegue che il sistema visivo deve scegliere a quale occhio dare il giusto carico accomodativo, lasciando all'altro un certo errore di focalizzazione. Ciò

potrebbe creare dei sintomi astenopici, soprattutto se la focalizzazione sull'oggetto viene alternata fra i due occhi (Vargellini, 2013).

1.6 Visione binoculare

In caso di anisometropia, la qualità dell'immagine è differente nei due occhi. Anche nel caso in cui venisse prescritta una correzione, la grandezza dell'immagine retinica prodotta dalle lenti compensatrici non sarebbe uguale in entrambi gli occhi. Per tale motivo è presente una certa difficoltà nel fondere le immagini provenienti dai due occhi in una sola immagine binoculare.

Brooks con i suoi collaboratori ha effettuato uno studio su questo argomento (Brooks et al., 1996). Il lavoro è stato effettuato su 19 soggetti adulti in buona salute, assumendo che i risultati si potessero senza alcun problema trasferire in soggetti più giovani, dal momento che dal punto di vista ottico l'anisometropia è identica nonostante la differenza di età.

I soggetti considerati erano emmetropi o ametropi corretti e in ognuno di loro è stata indotta un'anisometropia attraverso l'uso di lenti di prova poste di fronte all'occhio destro con un potere che andava da 1 D a 3 D. Sono stati prodotti vari tipi di anisometropia: anisomiopia semplice, anisoipermetropia semplice, anisometropia astigmatica semplice con astigmatismo contro regola e anisometropia astigmatica semplice con astigmatismo obliquo.

Per testare il secondo grado della visione binoculare è stato utilizzato il test delle quattro luci di Worth, mentre per la stereopsi è stato utilizzato il Titmus stereo test. Per quanto riguarda il primo test, mentre in assenza di anisometropia tutti i soggetti mostravano fusione, quando tale condizione era indotta solo alcuni soggetti riuscivano a fondere le immagini.

Dal test della stereopsi, invece, è emerso che il livello di stereoacuità si riduce in proporzione al grado di anisometropia presente. Si è visto, infatti, che 3 diottrie

di anisometropia, non era importante di quale tipo fosse, produceva una marcata riduzione della stereopsi in tutti i soggetti sottoposti al test.

E' stato effettuato anche un terzo test, ovvero quello dei vetri striati di Bagolini. I dati ottenuti non hanno fatto che confermare quello già emerso con gli altri due test, ovvero che un certo livello di binocularità, seppur grossolano, restava, anche in casi di anisometropia elevata. E' stato dimostrato, inoltre, che la binocularità è alterata in diversa misura a seconda della diversa natura ottica dell'anisometropia. In particolare, tale funzione è degradata in maniera più consistente quando la condizione è sferica. Si suppone, a tal proposito, che sia principalmente il defocus sferico a causare ciò, essendo più compromettente di uno sfuocamento presente in un unico meridiano dovuto ad una lente astigmatica.

In conclusione, si è visto che qualsiasi tipo di anisometropia ha un certo effetto sulla binocularità e pare che ciò sia legato alla soppressione foveale, la cui estensione è a sua volta strettamente correlata al grado di anisometropia presente.

CAPITOLO 2

L'ANISEICONIA

In condizioni normali di visione binoculare le immagini di un oggetto che vengono a formarsi sul piano retinico dei due occhi sono uguali o pressoché tali e per definire ciò si utilizza il termine iseiconia. A volte, per varie cause, ciò non accade e quindi queste immagini risultano avere diversa dimensione, in uno oppure in entrambi i meridiani. Per descrivere tale situazione nel 1938 Lancaster propose un nuovo termine, *aniseiconia* [dal greco *ánisos*, disuguale e *eikōn-ónos*, immagine], che significa letteralmente immagini non uguali.

La suddetta condizione è un'anomalia della visione binoculare, che è spesso associata ad anisometropia (De Wit, 2007).

E' bene ricordare, inoltre, che non è la dimensione assoluta a creare questa difficoltà visiva, ma proprio la differenza relativa fra le due immagini nei due piani retinici. Quindi il problema non è l'ingrandimento o la riduzione delle immagini dovuto alla correzione di ametropie simmetriche, in quanto questo avviene in egual misura in entrambi gli occhi. Da qui la correlazione con l'anisometropia, in quanto in questa situazione i due occhi necessitano di una diversa correzione che produce sul piano retinico due immagini di dimensioni differenti.

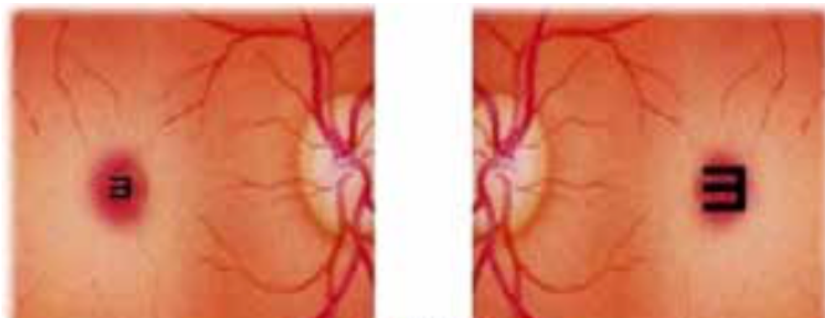


Figura 1 Differenza delle dimensioni delle immagini retiniche tra un occhio e il suo controlaterale (da Facchin P. Lente a contatto vs correzione oftalmica: implicazioni refrattive, accomodative e binoculari. Platform Optic. 2015)

Questa disparità nella grandezza delle immagini retiniche viene solitamente indicata in percentuale:

- quando la differenza non supera il 0,75% il soggetto non lamenta sintomi;
- per gradi superiori, fra l'1% e il 3%, la fusione delle due immagini diventa difficoltosa e ne conseguono sintomi che caratterizzano l'astenopia quali cefalea, bruciore e lacrimazione agli occhi, difficoltà nella concentrazione visiva, ecc.;
- passando a percentuali superiori, fra 3,25% e 5%, i sintomi persistono;
- superando questi limiti la visione binoculare è impossibile e il soggetto sopprime un occhio o, in mancanza di soppressione, presenta diplopia.

La pratica, però, dimostra che tali limiti non sono assoluti e dipendono molto dalla sensibilità soggettiva di un individuo (Rossetti e Gheller, 2003).

2.1 Classificazione

Una suddivisione dell'aniseiconia può essere fatta sulla base di come si caratterizzano le differenze fra le due immagini.

Aniseiconia simmetrica:

- aniseiconia globale: quando la variazione della dimensione è la stessa in ogni sezione;
- aniseiconia meridionale: quando la variazione della dimensione interessa un solo meridiano; risulta spesso essere il risultato di un'anisometropia di tipo astigmatico.

Aniseiconia asimmetrica:

in cui le variazioni della dimensione dell'immagine non sono né globali, né meridionali (Benjamin, 2006).

2.2 Eziologia

La causa più comune dell'aniseiconia risulta essere l'anisometropia (Lancaster, 1938).

Come appena affermato, ciò che determina l'aniseiconia è spesso la correzione ottica la quale modifica la dimensione dell'immagine reale, ma non sempre è così. Accanto a questo elemento ci sono altri due fattori che contribuiscono alla modifica dell'immagine sul piano retinico: la distribuzione dei fotorecettori e i processi che trasmettono l'immagine dalla retina alla corteccia cerebrale (De Wit, 2007).

2.2.1 Aniseiconia ottica

L'aniseiconia può conseguire ad un difetto di natura ottica ed è per questo che è legata all'anisometropia. E' proprio la correzione dell'ametropia, la quale risulta essere diversa nei due occhi, che provoca tale differenza dimensionale nelle immagini che si formano sul piano retinico.

In caso di miopia, infatti, l'immagine resa nitida dalla correzione oftalmica risulta essere sempre rimpicciolita rispetto all'immagine sfuocata presente sulla retina prima della correzione. Viceversa, per quanto riguarda l'ipermetropia, l'immagine prodotta dalla lente compensatrice sulla retina subisce sempre un ingrandimento.

Ciò è valido sia nel caso in cui l'anisometropia ha origine refrattiva, sia nel caso in cui ha origine assiale (Benjamin, 2006).

2.2.2 Aniseiconia retinica

I fotorecettori retinici portano con sé delle informazioni relative alla dimensione dell'immagine dettate dalla mappatura retinotopica del campo visivo.

Ne risulta che un'alterazione della dimensione dell'immagine percepita si può sviluppare anche in seguito ad uno stretching o ad una compressione dei fotorecettori retinici.

La distribuzione e la densità dei recettori sulla retina sono due fattori che vanno ad influenzare la dimensione dell'immagine percepita e vengono alterati dalla presenza di alcuni elementi, quali: membrana epiretinica, trazione del vitreo sulla retina, edema maculare, interventi per riattaccare la retina a seguito di un distacco e foro maculare.

A seconda che i fotorecettori subiscano uno stretching o una compressione, si ha rispettivamente una micropsia o una macropsia. Il primo termine sta ad indicare una condizione neurologica che influenza la percezione visiva umana, per cui gli oggetti appaiono più piccoli di quello che in realtà sono; il secondo, invece, indica l'esatto opposto, ovvero una situazione in cui gli oggetti appaiono più grandi di quanto non lo siano realmente (De Wit, 2007).

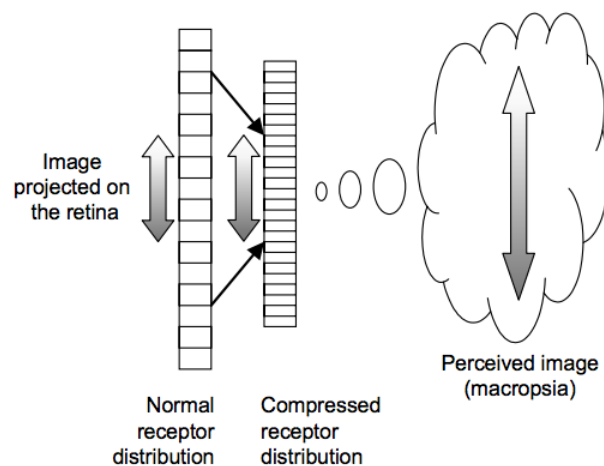


Figura 2 Rappresentazione schematica del cambiamento della dimensione dell'immagine percepita quando la distribuzione dei fotorecettori varia (da De Wit GC. Retinally-induced aniseikonia. Binocul Vis Strabismus Q. 2007)

2.2.3 Aniseiconia corticale

La dimensione dell'immagine percepita può essere ulteriormente influenzata dagli elementi appartenenti al sistema visivo e situati dietro la retina, i quali sono responsabili dell'elaborazione dei dati diretti alla corteccia visiva.

Ciò, tendenzialmente, dà origine ad aniseiconia, ma può presentarsi anche un'altra circostanza molto curiosa. Essa consiste nell'assenza di una diversa percezione

dimensionale tra le due immagini nel caso in cui sia evidente che queste, a livello retinico, dovrebbero avere diversa dimensione. Succede, infatti, che laddove sia già presente un'aniseiconia dovuta a cause ottiche o per l'alterata disposizione retinica dei fotorecettori, interviene una compensazione fisiologica di questa tramite un'aniseiconia neurale inversa, dando luogo a due immagini retiniche identiche. Si può paragonare tale situazione a quella in cui è presente astigmatismo a livello corneale e anche interno, ma l'astigmatismo totale risulta pari a zero poiché uno va ad annullare l'altro.

E' presente, inoltre, un alto grado di plasticità e adattabilità a questi livelli più alti del sistema visivo. Ciò è dimostrato dalla facilità con cui molti soggetti anisometropi passano facilmente da una correzione con lenti a contatto ad una correzione oftalmica. E' proprio l'abilità di un soggetto di tollerare due condizioni di differente grandezza dell'immagine retinica a sottolineare come sia presente un certo grado di adattamento che rappresenta, appunto, una forma di plasticità (Benjamin, 2006).

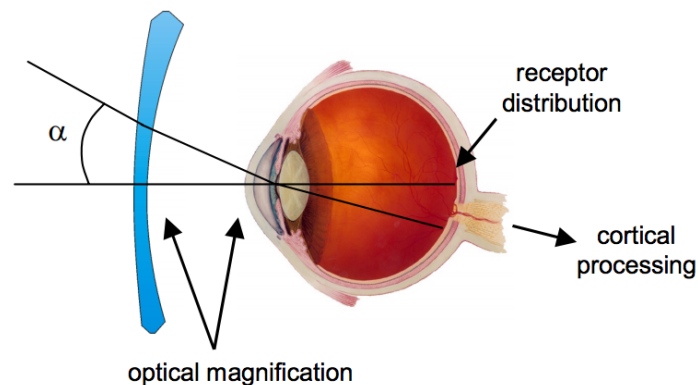


Figura 3 Rappresentazione schematica delle cause che determinano aniseiconia (da De Wit GC. Retinally-induced aniseikonia. Binocul Vis Strabismus Q. 2007)

2.3 Sintomi

Essendo molti dei sintomi dell'aniseiconia piuttosto generali, è alle volte abbastanza complicato per l'optometrista riconoscere tale condizione.

Rimane il fatto che se una situazione sintomatica viene identificata come aniseiconia e come tale viene trattata, il soggetto sarà molto soddisfatto e riconoscente nei confronti di chi lo ha seguito risolvendo il suo problema (De Wit and Remole, 2003).

Fra i sintomi più comuni nei soggetti con aniseiconia troviamo astenopia (affaticamento visivo, bruciore, lacrimazione, dolore oculare,...) ed eventualmente o più specificamente mal di testa. Questi sono i fastidi riscontrati con maggior frequenza, infatti dai dati è emerso che il 67% delle persone con aniseiconia li lamenta.

Il mal di testa, in particolare, inizia a livello nucale per portarsi poi a livello sovraorbitario e frontale. Le ragioni della localizzazione del dolore cefalico sono multifattoriali e dipendono dalla predisposizione soggettiva dell'individuo, in questo particolare caso, però, il dolore che si dirama dalla nuca può essere dovuto ad una sovrattivazione della zona cervicale che è in continuo adattamento per modificare la posizione degli occhi con lo scopo di ridurre il più possibile la componente aniseiconica e anisoforica prodotta dalle lenti (Giannelli, 2008).

Inoltre, se il problema interessa principalmente il sistema fusionale il fastidio rimane in posizione più elevata al centro della fronte; mentre se la dolenzia è localizzata leggermente più in basso, il problema è maggiormente di competenza accomodativa, in quanto la diversità della correzione per l'anisometropia può talvolta richiedere uno stimolo accomodativo diverso nei due occhi.

Inoltre, circa un individuo su quattro riporta particolare sensibilità alla luce, ovvero fotofobia, e con altrettanta frequenza i soggetti reclamano difficoltà nella lettura.

Altro sintomo riportato da coloro i quali presentano aniseiconia è una sensazione di disagio percettivo che provoca alterazione delle distanze reali, quindi

percezione distorta dello spazio, cui consegue la riduzione della performance in varie attività, fra cui la guida.

Infine, in alcuni casi viene riportato anche un effetto “swimming”, cioè una sorta di ondeggiamento del mondo esterno, che si manifesta con la sensazione di vertigini. Questo può portare il soggetto a togliere gli occhiali per ottenere un po’ di riposo (Giannelli, 2008).

A lato è presente una tabella riassuntiva dei più comuni sintomi caratterizzanti la condizione di aniseiconia.

| Sintomi | Percentuale di pazienti |
|---|-------------------------|
| Mal di testa | 67% |
| Astenopia (affaticamento, bruciore, lacrimazione, dolore, ecc.) | 67% |
| Fotofobia | 27% |
| Difficoltà nella lettura | 23% |
| Nausea | 15% |
| Motilità (diplopia) | 11% |
| Irritazione | 11% |
| Vertigini e capogiri | 7% |
| Affaticamento generale | 7% |
| Percezione distorta dello spazio | 6% |

Tabella 1 Tabella riassuntiva sintomi aniseiconia (da De Wit GC, Remole A. Clinical management of aniseikonia. 2003)

Resta comunque da sottolineare che la sensibilità all’aniseiconia è del tutto soggettiva, quindi ciò che dà molto fastidio ad un individuo può lasciarne un altro del tutto indifferente. Questo dipende molto dai compiti visivi cui un soggetto è sottoposto e dagli stimoli visivi che ne conseguono.

Inoltre, i sintomi sono molto più comuni fra i soggetti che presentano aniseiconia meridionale, conseguenza di un’anisometropia astigmatica. Probabilmente, ciò è dovuto al fatto che una variazione dimensionale in un unico meridiano crea un’elevata distorsione dello spazio, molto più significativa e fastidiosa di un’alterazione dimensionale globale dell’immagine.

A questo punto, sorge una domanda. E’ più fastidiosa la differenza fra le due immagini che vengono a formarsi nei due occhi oppure l’effetto prismatico differente che si crea osservando al di fuori del centro ottico delle due lenti dal momento in cui il potere di queste è diverso? Mentre qualcuno afferma che il sistema oculomotore può adattarsi facilmente ai diversi effetti prismatici (Ogle, 1950), secondo altri, invece, è proprio questa la causa scatenante dei vari sintomi (Remole, 1989). Vediamo ora in cosa consistono questi effetti prismatici di cui abbiamo appena parlato.

2.4 Anisoforia

Possiamo affermare che la condizione di aniseiconia racchiude due componenti: l'aniseiconia statica e l'aniseiconia dinamica. La prima indica la classica aniseiconia, la quale denota una differenza nella dimensione delle immagini percepite quando la direzione di sguardo è ferma. La seconda, meglio conosciuta come *anisoforia indotta*, designa una differenza nella dimensione delle immagini causata dagli effetti prismatici diseguali che si creano ogniqualvolta il soggetto guarda attraverso punti eccentrici rispetto ai centri ottici delle due lenti oftalmiche poste a correggere l'anisometropia e, quindi, aventi potere diverso fra loro (De Wit and Remole, 2003). L'aggettivo "dinamica" rimanda proprio ai differenti movimenti oculari necessari dettati dagli effetti prismatici prodotti dalle lenti. Gli occhi, infatti, sono costretti a continui aggiustamenti di allineamento sul punto fissato. Tale capacità di disallineare continuamente i due assi visivi al fine di mantenere una visione binoculare singola dipende dalle riserve di fusione motoria attivata da quella sensoriale per annullare la diplopia. Questa riserva di fusione motoria, che è maggiore per la convergenza e minore per la divergenza, risulta molto ampia sul piano orizzontale tanto che difficilmente effetti prismatici di 2-3 Δ o anche maggiori riescono a dare disturbi significativi. Tale capacità di compensare gli effetti prismatici indotti dalle lenti, invece, è molto più ridotta sul piano verticale, nonostante sia una condizione molto variabile da un soggetto ad un altro.

Generalmente su questo piano il limite da non superare che viene considerato per non avere confusione visiva e/o diplopia è 1 Δ (Zeri et al., 2012).

L'effetto dell'anisoforia si misura attraverso la formula di Prentice, la quale stabilisce che l'effetto prismatico che si crea è pari al decentramento, ovvero la distanza dal centro ottico, considerato in centimetri e moltiplicato per il potere, che in questo caso rappresenta la differenza fra i poteri delle due lenti (McNeill and Bobier, 2017).

Il risultato avrà come unità di misura le diottrie prismatiche.

Quanto è stato appena descritto si traduce come segue:

$$\delta = h \cdot P \quad (2.1)$$

dove:

δ = effetto prismatico

h = decentramento

P = potere della lente

In particolare, guardando attraverso una lente positiva, gli effetti prismatici che si creano se si guarda in punti diversi rispetto al centro ottico sono (Rossetti et al., 2003):

- base bassa, se si guarda verso l'alto;
- base alta, se si guarda verso il basso;
- base interna, se l'occhio compie un movimento di abduzione;
- base esterna, se l'occhio compie un movimento di adduzione.

Viceversa, se la lente è negativa, gli effetti prismatici sono opposti:

- base alta, se si guarda verso l'alto;
- base bassa, se si guarda verso il basso;
- base esterna, se l'occhio compie un movimento di abduzione;
- base interna, se l'occhio compie un movimento di adduzione.

Inoltre, in caso di anisometropia, è utile considerare che le lenti presentano delle zone isoprismatiche, definite "iso-v-prism lines", che possono condurre l'optometrista a consigliare un'adeguata montatura, oltre a dare consigli appropriati per l'utilizzo dell'occhiale stesso.

Facciamo un esempio:

OD +3,00 D

OS +5,00 D

La differenza in diottrie fra le due lenti è: $\delta P = +2,00$ D.

Tramite la formula di Prentice calcoliamo la massima rotazione dell'occhio dietro la lente rispetto al centro ottico che risulta accettabile per avere un effetto prismatico differenziale di 1Δ . Ciò viene considerato solo sul piano verticale in quanto sul piano orizzontale la tolleranza è maggiore, come già visto.

Dalla formula $\delta=h*P$ ricaviamo l'inversa, ovvero $h=\delta/P$ che ci permette di calcolare $h=1 \Delta/2 D=0,5 \text{ cm}$, che corrispondono a 5 mm. Questa risulta essere la distanza dal centro ottico in cui si ha un effetto prismatico differenziale di 1Δ .

A questo punto si possono individuare le due linee che corrispondono ad un effetto prismatico di tale entità, come rappresentato in figura.

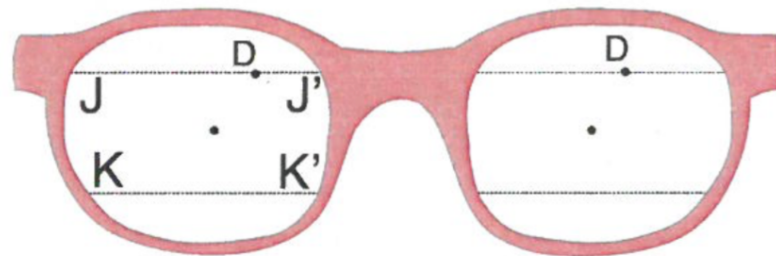


Figura 4 Le linee orizzontali (“iso-v-prism lines”) delimitano la zona in cui l’effetto prismatico differenziale in verticale è al di sotto di 1Δ (da Zeri F, Rossetti A, Fossetti A, Calossi A. Ottica Visuale. 2012)

In particolare, quando si guarda attraverso la linea JJ' l'effetto sarà a base bassa (è importante ricordare che stiamo considerando una lente positiva), mentre quando lo sguardo passa per KK' l'effetto sarà a base alta. Considerando il punto D, posto a 5 mm in alto e 3 mm a sinistra rispetto al centro ottico, l'occhio destro incontra un prisma di $1,50 \Delta$ BB e di $0,90 \Delta$ BE. Il sinistro, invece, un prisma di $2,50 \Delta$ BB e di $1,50 \Delta$ BI. Il valore del prisma differenziale sul piano verticale è di 1Δ , mentre quello sul piano orizzontale è di $2,40 \Delta$, questo perché avendo basi opposte gli effetti su questo piano si sommano. Qui l'effetto può essere trascurato, mentre sul piano verticale esso necessita di una certa attenzione, poiché la tolleranza da parte del soggetto è minore.

E' soprattutto durante attività come la lettura, in cui il soggetto guarda attraverso la parte bassa della lente, che questo tipo di effetto può essere particolarmente fastidioso (Zeri et al., 2012).

2.5 Misurazione dell'aniseiconia

Per evidenziare la presenza di aniseiconia si utilizzano dei particolari strumenti, denominati eiconometri, che sono una sorta di “misuratori d'immagine”.

Attraverso varie modalità il soggetto viene posto in condizioni bioculari cosicché ciascun occhio possa vedere un'immagine. Si deduce che, essendo l'immagine visualizzata la stessa, se questa dovesse apparire di diversa dimensione in un occhio rispetto all'altro, sarà presente aniseiconia.

Ancora, l'eiconometria può essere effettuata su due meridiani quando è presente un astigmatismo ad indurre l'aniseiconia.

Un tempo venivano utilizzati gli eiconometri spaziali, i quali avevano dimensioni enormi, arrivando ad occupare un'intera stanza, oltre a costi molto elevati. Questi strumenti vennero così rimpiazzati da una nuova versione a campo ristretto, prodotta dall'American Optical Company, con dimensioni da tavolo (Rossetti e Gheller, 2003).



Figura 5 Eiconometro spaziale con dimensioni ridotte da tavolo (da Benjamin WJ. Borish's Clinica Refraction, 2006)

Il paziente che viene sottoposto a tale esame guarda all'interno dello strumento attraverso delle particolari lenti, ovvero lenti iseiconiche, che possono produrre un ingrandimento dell'immagine lungo due meridiani nel momento in cui viene modificata la loro posizione.

Il display, invece, presenta quattro barre verticali che indicano i quattro spigoli verticali del cubo presente all'interno dello strumento, mentre nel mezzo si trova un'altra barra ed una croce diagonale i cui bracci si intersecano al centro del cubo stesso.

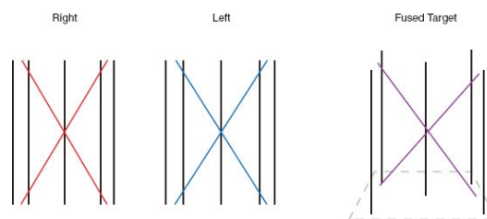


Figura 6 Target dell'eiconometro spaziale (da Benjamin WJ. Borish's Clinica Refraction. 2006)

Se c'è una differenza fra le immagini dei due occhi in senso orizzontale, il cubo e la croce appaiono ruotati attorno ad un asse verticale; mentre se la differenza è nel meridiano verticale, le barre non subiscono alcuna modifica, ma la croce ruota e la porzione più vicina si presenta rivolta verso l'occhio con il maggiore ingrandimento. Se, invece, la variazione appartiene ad un meridiano obliquo essa produce una rotazione della croce attorno ad un asse orizzontale. L'aggiustamento delle lenti poste davanti ai due occhi è necessario per riportare le barre e la croce nella giusta posizione. L'ingrandimento differente ottenuto in tal modo indica il grado di aniseiconia presente.

Oltre a questo strumento, venivano utilizzati gli eiconometri standard, i quali utilizzavano delle lenti polarizzate per rompere la fusione fra i due occhi.

Il target, composto da una croce con un punto di fissazione centrale, presenta delle linee di nonio lungo i bracci. Quando queste linee coincidono non è presente aniseiconia, viceversa quando non coincidono essa c'è. Per annullare questa non

corrispondenza vengono utilizzate delle lenti, come nel caso precedente, andando così a valutare il valore di aniseiconia (Benjamin, 2006).

Tuttavia, questi sistemi a causa del loro ingombro e della poca praticità in relazione alle esigenze cliniche, non vengono oggi più utilizzati (Rossetti e Gheller, 2003).

In particolare modo, secondo quanto affermato da Fannin e Grosvenor, l'eiconometro spaziale aveva dei difetti in quanto richiedeva che il soggetto presentasse una visione binoculare singola, che non ci fosse corrispondenza retinica anomala e, infine, che l'acuità visiva di ogni occhi raggiungesse almeno i 3/10. Altro svantaggio era il fatto che solo un'aniseiconia di entità pari o superiore al 5% poteva essere valutata (Amos, 1987).

Esistono comunque dei sistemi alternativi per misurare l'aniseiconia che sono di uso comune e si sono dimostrati più agevoli: i sistemi a comparazione diretta e il sistema a biprismi.

2.5.1 Sistemi a comparazione diretta

Il principio di base di questi test è presentare una mira filtrata per essere polarizzata e far sì che il soggetto ne abbia due percezioni diverse grazie a delle lenti polarizzate poste davanti ai suoi occhi. Inoltre, al centro di questa mira, si trova un richiamo per entrambi gli occhi, definito blocco di fusione. Qualora il soggetto vedesse due immagini della stessa dimensione si stabilisce che egli non presenta aniseiconia. Al contrario, se un'immagine avesse dimensione diversa rispetto all'altra, con un'occlusione alternata si potrebbe capire quale delle due ha dimensione maggiore e quale minore. In più, le immagini orientate in varia maniera presentano il pregio di evidenziare un'eventuale componente meridionale dell'aniseiconia (Rossetti e Gheller, 2003).

Un altro test per scovare l'aniseiconia ed appartenente anch'esso alla categoria dei sistemi a comparazione diretta è rappresentato dal NAT, ovvero il New Aniseikonia Test. Il soggetto indossa degli occhiali anaglifici rossi/verdi attraverso

cui visualizza una serie di semicerchi dei medesimi colori e di dimensione variamente differente. Si parte con due semicerchi di uguale dimensione per poi passare, se necessario, ad una coppia dove le due metà hanno grandezza differente. La richiesta rivolta al soggetto è quella di indicare la coppia che gli sembra di uguale dimensione. Qualora egli indicasse una coppia composta da due semicerchi di dimensione differente possiamo stabilire che è presente aniseiconia.

Tuttavia, tale test ha dei difetti che conseguono in un'alterata stima dell'aniseiconia, in particolare questa viene sottovalutata, ed oltretutto non gode di un alto grado di ripetibilità (MnCormack et al., 1992).

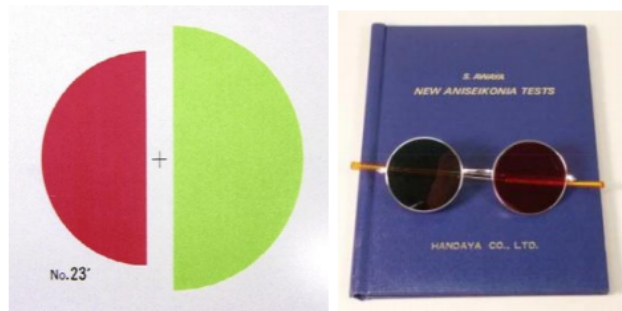


Figura 7 Target New Aniseikonia Test (da Amos JF. Diagnosis and Management in Vision Care. 1987)

Un terzo eiconometro a comparazione diretta è l'Aniseikonia Inspector™, un software che permette di stabilire se due rettangoli presentano ugual dimensione grazie all'utilizzo degli occhiali anaglifici. Quando il test inizia il soggetto deve determinare quale dei due rettangoli rappresentati è più alto, successivamente deve indicare quale dei due è più largo. Quando le immagini secondo il soggetto compaiono identiche, egli deve premere la lettera E della tastiera che sta per "equal", cioè uguali. Sulla base dei risultati ottenuti il software include anche la possibilità di disegnare le lenti iseiconiche adatte al soggetto esaminato (Amos, 1987).

2.5.2 Sistema a biprismi

Questo sistema prevede che sia posto un biprisma, ovvero un dispositivo ottico costituito da due prismi uniti, di fronte a ciascun occhio e, di fronte ad uno dei due, anche un cilindro di Maddox, cioè una semplice lente rigata capace di trasformare una sorgente di luce puntiforme in un fascio luminoso allungato.

Di fronte al soggetto viene posizionata una sorgente luminosa puntiforme. A questo punto l'occhio che vede attraverso il cilindro di Maddox percepisce due fasci luminosi, mentre l'altro due punti luminosi. Nel momento in cui ci fosse un ingrandimento diverso fra i due occhi, i punti e le strisce risulterebbero separati da uno spazio il quale è proporzionale al grado di aniseiconia presente.

E' possibile stabilire il valore di tale aniseiconia ricorrendo all'inclinazione controllata del biprisma. Infatti, il potere di un prisma varia con la rotazione, riducendosi e divenendo nullo dopo un rotazione di 90°. Quindi, ruotando uno o l'altro prisma, si raggiunge un punto in cui le strisce si sovrappongono alle immagini puntiformi. A tal punto si calcola l'ammontare dell'aniseiconia grazie alla seguente formula:

$$A = (1 - \cos\alpha) \cdot 100 \quad (2.2)$$

dove:

A = aniseiconia (%)

α = angolo di rotazione del prisma

Resta, però, il fatto che non sia del tutto semplice stabilire l'entità della rotazione del biprisma (Rossetti e Gheller, 2003).

Esiste, infatti, una forma precedente di tale test che risulta essere più semplice.

Ideato da Brecher, questo prevede l'utilizzo di due sorgenti puntiformi e un cilindro di Maddox per ottenere due fasci e due immagini puntiformi che, sulla base della loro posizione, determinano se esiste o meno l'aniseiconia.

Mentre l'esaminatore punta le due penne luminose a circa 20 cm dal soggetto, egli tiene davanti al suo occhio un cilindro di Maddox con asse a 180° e, se le immagini non appaiono allineate, con l'altra mano posiziona davanti all'occhio controlaterale una lente iseiconica per misurare il valore dell'aniseiconia. Questo tipo di lente ha potere neutro ma possiede la capacità di variare l'ingrandimento (Amos, 1987).

Purtroppo, però, la valutazione dell'aniseiconia non risulta mai così semplice, qualsiasi sia il metodo che viene utilizzato.

CAPITOLO 3

I METODI DI COMPENSAZIONE

Prima di procedere con la spiegazione di quelle che sono le modalità utilizzate per compensare l'anisometropia, tenendo conto dell'aniseiconia che ne consegue, è bene dare una breve delucidazione sulla differenza che esiste fra ametropie di tipo refrattivo ed assiale.

Quando un occhio presenta una lunghezza assiale, corrispondente al diametro antero-posteriore, che si discosta da quella di un occhio emmetrope standard, ovvero 24 mm (Bucci, 1993), ma ha un potere compatibile con quello standard, cioè circa 60 D (Rossetti e Gheller, 2003), ne risulta un'ametropia di tipo assiale.

Viceversa, quando la lunghezza assiale dell'occhio ha un valore normale ma è il potere ad essere troppo elevato o troppo debole quello che si verifica è un'ametropia di tipo refrattivo, dovuta quindi ad anomalie a carico di una delle strutture che compongono il sistema ottico oculare, quali film lacrimale, umor acqueo e corpo vitreo ma, soprattutto, cornea e cristallino.

Considerato ciò, quando c'è una differenza di ametropia fra i due occhi, possiamo stabilire se la causa sia refrattiva o assiale.

Per assodare ciò, possiamo fare uso di una strumentazione in grado di indagare la geometria della cornea anteriore, ovvero la superficie che risulta essere quantitativamente la più determinante nella definizione del potere refrattivo oculare. Effettuando una cheratometria o una topografia corneale in un soggetto anisometrope possiamo ottenere il valore di curvatura corneale e, quindi, il presunto potere diottrico di questa componente oculare. Confrontando i dati dei due occhi, dunque, possiamo provare a definire quale sia l'origine dell'anisometropia.

Ad esempio, se un soggetto risulta avere un'anisometropia di 2.50 D e viene misurata una differenza di potere fra i due occhi di 2.50 D (OD 41.50 D e OS 44.00 D), con molta probabilità questa differenza ha natura refrattiva. Tuttavia, non è da escludere che in qualche caso isolato altre componenti ottiche possano annullare questa differenza, lasciando alla lunghezza assiale la responsabilità dell'anisometropia rilevata (Benjamin, 2006).

In modo più certo, per evidenziare la natura dell'anisometropia si può far uso della biometria oculare, la quale stabilisce la misura del diametro antero-posteriore del bulbo. Esistono due tecniche di biometria: ottica e ad ultrasuoni. La prima, che utilizza un raggio luminoso, si basa sull'interferometria a coerenza parziale; la seconda, come suggerisce il nome, si avvale degli ultrasuoni (Puce e Lavezzari, 2013).

Nel caso in cui ci dovesse essere qualche dubbio è utile paragonare successivamente i dati ottenuti con entrambi gli strumenti per stabilire quale sia effettivamente l'incongruenza fra i due occhi che risulta essere la causa scatenante dell'anisometropia.

3.1 Ingrandimento prodotto dalle lenti correttive

L'utilizzo della correzione oftalmica in presenza di ametropia permette di ottenere un'immagine nitida sul piano retinico, tuttavia la dimensione della stessa subisce una modifica dovuta alla lente.

Il rapporto fra la dimensione dell'immagine retinica con correzione oftalmica e la dimensione di tale immagine senza correzione prende il nome di "fattore di ingrandimento" o "ingrandimento da correzione" e identifica l'ingrandimento dell'immagine retinica (Facchin, 2015).

Essendo un ingrandimento dovuto a lente oftalmica lo identifichiamo con I_{LO} .

$$I_{LO} = \frac{\text{grandezza immagine retinica con correzione}}{\text{grandezza immagine retinica senza correzione}} \quad (3.1)$$

Inoltre, risulta essere adimensionale poiché si tratta di un rapporto fra due componenti con la medesima unità di misura ed è positivo o negativo a seconda che l'occhiale ingrandisca o diminuisca l'immagine. Se a questo valore numerico viene sottratto 1 e il risultato ottenuto viene moltiplicato per 100 si ricava l'ingrandimento percentuale.

Questa variazione della grandezza retinica dell'immagine è dovuta a più componenti, quali: potenza e forma della lente e distanza cui essa è posta rispetto all'occhio.

Dunque, sono due i fattori che vengono moltiplicati per dare luogo al risultato finale.

Il primo, chiamato ingrandimento di potenza I_P , è dettato dal potere della lente e dalla posizione in cui essa si trova secondo la formula che segue:

$$I_P = \frac{1}{1 - d_v \cdot F'_v} \quad (3.2)$$

dove d_v indica la distanza in cui è posizionata la lente rispetto all'apice corneale, mentre F'_v la potenza frontale posteriore.

Rimane, però, da considerare la forma della lente, definita dalla potenza del primo diottro F_1 , dall'indice di rifrazione n e dallo spessore t .

Questo secondo fattore è definito ingrandimento di forma I_F ed è dato da:

$$I_F = \frac{1}{1 - \frac{t}{n} \cdot F_1} \quad (3.3)$$

Infine, si ricava dal prodotto dei due fattori quello che viene definito ingrandimento totale (Zeri et al., 2012):

$$I_{LO} = \frac{1}{1 - d_v \cdot F'_v} \cdot \frac{1}{1 - \frac{t}{n} \cdot F_1} \quad (3.4)$$

Analizzando meglio i due fattori si evince che l'ingrandimento di forma è molto importante per le lenti positive e non può essere tralasciato, mentre si può ignorare

quando si sta analizzando l'effetto di una lente negativa, la quale presenta uno spessore al centro ridotto. Solitamente, infatti, esso si colloca fra 1 mm e 1,5 mm. Ne consegue che il fattore forma è sempre simile a 1, quindi l'ingrandimento totale dipende dal fattore potenza (Keirl and Christie, 2007).

Facciamo un esempio (Zeri et al., 2012):

Un occhio ha una miopia di 7 D e si corregge con una lente ad alto indice di rifrazione $n=1,74$ che ha una potenza per la prima faccia di $+1,75$, uno spessore al centro di 1,2 mm e viene posta a 12 mm dall'apice corneale. Quale ingrandimento produrrà tale lente corretttrice?

Calcoliamo dapprima I_F :

$$I_F = \frac{1}{1 - \left(\frac{1,2}{1740} \cdot 1,75\right)} = +1,0012$$

Ora ricaviamo la potenza frontale posteriore F'_v per calcolare poi I_P :

$$F'_v = \frac{-7}{1 + (0,012 \cdot (-7))} = -7,642 \text{ D}$$

Procediamo al calcolo dell'ingrandimento che introduce la lente alla distanza d'uso:

$$I_P = \frac{1}{1 - (0,012 \cdot (-7,642))} = 0,916$$

Infine, calcoliamo I_{LO} come prodotto dei due fattori:

$$I_{LO} = 1,0012 \cdot 0,916 = 0,917$$

Notiamo come il risultato sarebbe stato pressoché il medesimo nel caso in cui avessimo ommesso il fattore forma nel calcolo dell'ingrandimento prodotto dalla lente corretttrice. Infatti, in questo caso il risultato sarebbe stato 0,916 anziché 0,917. Volendo calcolare il valore in percentuale, nel primo caso si ha un ingrandimento negativo pari a $-8,3\%$, mentre nel caso in cui non si fosse calcolato il fattore forma questo sarebbe risultato $-8,4\%$.

Come si nota dall'esempio, le lenti negative provocano un ingrandimento negativo, ovvero un rimpicciolimento dell'immagine.

Le lenti oftalmiche positive, al contrario, ingrandiscono le immagini retiniche (Facchin, 2015).

Vediamo un esempio anche per questo caso (Zeri et al., 2012).

Consideriamo un occhio che ha un'ipermetropia di 4 D. Si calcoli l'ingrandimento dell'immagine retinica sapendo che il potere della prima faccia della lente è +8.00 D, lo spessore al centro misura 6 mm, l'indice di rifrazione è $n=1,6$ e la lente è posta a 13,5 mm dall'apice corneale.

Ricaviamo F'_v :

$$F'_v = \frac{+4}{1-(0,0135 \cdot 4)} = +3.795 \text{ D}$$

Ora possiamo calcolare I_{LO} :

$$I_{LO} = \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{6}{1600} \cdot 8 \right)} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - (0,0135 \cdot 3,795)} \right) = 1,031 \cdot 1,054 = 1,087$$

Quello che abbiamo appena dimostrato è valido non solo per le lenti oftalmiche, ma si verifica anche con le lenti a contatto. In uno stesso occhio il segno dell'ingrandimento rimane il medesimo sebbene la sua entità sia differente a seconda che si usi un tipo di correzione oppure l'altro, come conseguenza del fatto che la distanza rispetto all'apice corneale varia nei due casi. Infatti, anche le lenti a contatto positive provocano un ingrandimento dell'immagine retinica e quelle negative un rimpicciolimento (Fannin and Grosvenor, 1987).

A questo punto viene automatico pensare che tali alterazioni dimensionali fisiche abbiano anche un riscontro sul piano percettivo, producendo dunque una sensazione di ingrandimento o rimpicciolimento del mondo esterno. E' possibile confrontare questo ingrandimento e, in più, esiste una misura ideale alla quale tendere?

Introduciamo ora un nuovo concetto per rispondere a questo quesito. Si tratta del Relative Spectacle Magnification, o RSM (Facchin, 2015).

3.2 Ingrandimento relativo

Come dice il titolo, Relative Spectacle Magnification in italiano si traduce con ingrandimento relativo. Esso indica il rapporto fra la dimensione dell'immagine retinica in un occhio con ametropia corretta e la dimensione della stessa in un occhio standard emmetrope.

Quindi, non si considera ingrandito o rimpicciolito un oggetto quando la sua immagine retinica che si forma in un occhio ametropico corretto ha la stessa dimensione di quella che si formerebbe in un occhio ideale standard (Facchin, 2015).

La formula che descrive questo è la seguente (Fannin and Grosvenor, 1987):

$$RSM = \frac{\text{dimensione immagine retinica occhio ametropico corretto}}{\text{dimensione immagine retinica occhio standard emmetrope}} \quad (3.5)$$

Questo concetto può essere ripreso quando un soggetto presenta anisometropia e tale condizione viene corretta utilizzando gli occhiali o le lenti a contatto.

Si può così paragonare la dimensione dell'immagine retinica corretta con quella dell'occhio standard emmetrope.

Inoltre, possono essere comparate le immagini dei due occhi utilizzando la formula che segue:

$$\text{rapporto di ingrandimento} = \frac{RSM_{OD}}{RSM_{OS}} \quad (3.6)$$

Riprendendo la formula dell'ingrandimento relativo, risulta che la dimensione dell'immagine retinica quando l'occhio ametropico viene corretto è direttamente proporzionale alla lunghezza focale del sistema lente/occhio o inversamente proporzionale al potere di questo.

$$RSM = \frac{f'_E}{f'_{ST}} \quad (3.7)$$

da cui:

$$RSM = \frac{F_{ST}}{F_E} \quad (3.8)$$

dove:

f'_E = seconda distanza focale del sistema

f'_{ST} = seconda distanza focale occhio standard emmetrope

F_{ST} = potere equivalente occhio standard emmetrope

F_E = potere equivalente del sistema composto dalla lente correttiva F_{SP} e dal potere refrattivo dell'occhio ametropico F_A

Indicando con d la distanza fra il secondo punto principale della lente e il primo punto principale dell'occhio possiamo definire F_E come segue:

$$F_E = F_{SP} + F_A - dF_{SP}F_A \quad (3.9)$$

che, sostituito nella formula precedente, permette di riscriverla così:

$$RSM = \frac{F_{ST}}{F_{SP} + F_A - dF_{SP}F_A} \quad (3.10)$$

3.2.1 Ingrandimento relativo nell'ametropia assiale

Nel caso in cui l'origine dell'ametropia sia assiale, il potere refrattivo dell'occhio ametropico è lo stesso dell'occhio standard emmetrope, ovvero $F_A = F_{ST}$, che sostituito nella precedente equazione (3.10) diventa:

$$RSM_{AA} = \frac{F_{ST}}{F_{SP} + F_{ST} - dF_{SP}F_{ST}} \quad (3.11)$$

In questo caso, se l'oggetto è posto all'infinito, il RSM è unitario solo nel caso in cui il secondo piano principale della lente corrisponde con il piano della focale anteriore dell'occhio, ovvero, se si osserva la figura seguente, quando il piano L_2 e il piano F sono coincidenti.

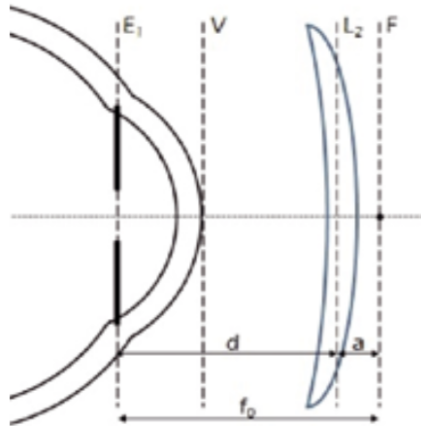


Figura 8 Rappresentazione geometrica dei parametri ottici che sono fondamentali nella trattazione matematica del RSM
 E₁: primo piano principale dell'occhio
 V: piano del vertice corneale
 L₂: secondo piano principale della lente
 F: piano focale anteriore dell'occhio
 d: distanza fra E₁ e L₂
 a: distanza fra L₂ e F
 f₀: lunghezza focale anteriore dell'occhio
 (da Facchin P. Lente a contatto vs correzione oftalmica: implicazioni refrattive, accomodative e binoculari. 2015)

Ciò equivale a dire che:

$$d = \frac{1}{F_{ST}} \quad (3.12)$$

Da cui, infatti, si ottiene (Fannin and Grosvenor, 1987):

$$RSM_{AA} = \frac{F_{ST}}{F_{SP} + F_{ST} - \frac{1}{F_{ST}} \cdot F_{SP} F_{ST}} = \frac{F_{ST}}{F_{ST}} = 1 \quad (3.13)$$

Con ciò si dimostra come, nel caso di ametropia assiale, le immagini retiniche presentano sempre alterazioni di dimensione, tranne nel momento in cui la lente compensatrice è posta ad una particolare distanza rispetto alla superficie oculare (Facchin, 2015).

Questo, di fatto, illustra matematicamente quella che è la legge di Knapp. Essa relaciona la dimensione dell'immagine retinica con l'ametropia e i mezzi tramite i quali si possono correggere tali difetti (Knapp, 1869).

Tale legge stabilisce che, quando si ha a che fare con un soggetto che presenta un'anisometropia di tipo assiale, il metodo di compensazione che permette di rendere minima l'aniseiconia è la correzione oftalmica posta sul piano della focale anteriore dell'occhio.

Quando, invece, l'anisometropia è di tipo refrattivo, la correzione con l'occhiale fa sì che le immagini sui piani retinici dei due occhi abbiano dimensioni ben diverse (Benjamin, 2006).

Continuando ad analizzare il caso assiale e assumendo che il potere refrattivo dell'occhio standard emmetrope sia di +58.50 D e la distanza dal primo punto principale dell'occhio al piano della sua focale anteriore sia 17.1 mm, il punto in cui posizionare la lente per non avere variazione della dimensione dell'immagine retinica risulta essere 14 mm dall'apice corneale. Questa misura la si ottiene poiché dai 17.1 mm vanno sottratti i 3 mm che rappresentano la distanza della cornea rispetto al primo piano principale.

E' importante considerare che, per poter applicare la legge di Knapp, sono varie le valutazioni da fare.

- La prima considerazione è che l'ametropia abbia natura puramente assiale.
- La seconda accortezza da seguire è, come già anticipato, l'esatto posizionamento della lente. Il suo secondo piano principale, infatti, deve coincidere con il piano della focale anteriore dell'occhio. In particolare, il secondo piano principale di un menisco positivo è localizzato poco dinanzi rispetto al suo diottro anteriore, mentre quello di un menisco negativo dietro rispetto al suo diottro posteriore. Perciò, nel primo caso, il vertice posteriore della lente dovrà essere localizzato più vicino rispetto ai 14 mm, mentre nel secondo caso esso sarà un po' più lontano (Fannin and Grosvenor, 1987). Infatti, nel caso in cui un'ipermetropia assiale venisse corretta con lente oftalmica posta a una distanza minore, l'immagine retinica avrebbe dimensione più piccola rispetto a quella di un occhio emmetrope standard, mentre se la distanza fosse maggiore, anche l'immagine lo sarebbe. Viceversa, in una miopia di tipo assiale l'immagine sarebbe più grande se la distanza fosse minore e più piccola se questa fosse maggiore (Facchin, 2015).
- Altra considerazione da fare è che il potere refrattivo dell'occhio deve coincidere con quello dell'occhio standard emmetrope.
- Inoltre, il fattore forma della lente dev'essere unitario.

E' possibile dimostrare che se per compensare l'anisometropia assiale venissero utilizzate le lenti a contatto il RSM non potrebbe mai essere unitario e, quindi, ne risulterebbe una non indifferente disparità fra le immagini retiniche dei due occhi.

Riprendendo la formula (3.11) per l'ingrandimento relativo nell'ametropia assiale RSM_{AA} , si sostituisce F_{SP} con F_O , il quale indica il potere della lente a contatto applicata su K. Si ottiene:

$$RSM = \frac{F_{ST}}{F_O + F_{ST} - dF_O F_{ST}} \quad (3.14)$$

inoltre, dal momento che d può essere trascurata essendo una lente a contatto abbiamo (Fannin and Grosvenor, 1987):

$$RSM = \frac{F_{ST}}{F_O + F_{ST}} \quad (3.15)$$

3.2.2 Ingrandimento relativo nell'ametropia refrattiva

Quando siamo di fronte ad un caso di ametropia di tipo refrattivo, il potere dell'occhio, F_A , non è lo stesso di quello di un occhio standard emmetrope, F_{ST} .

Quando una lente viene posta a correggere l'ametropia, il suo potere sommato a quello dell'occhio ametropico deve corrispondere a quello dell'occhio standard emmetrope. In formula ciò si traduce così:

$$F_{ST} = \frac{F_{SP}}{1 - dF_{SP}} + F_A \quad (3.16)$$

che inserito nella formula generale dell'ingrandimento relativo (3.10) permette di ottenere (Fannin and Grosvenor, 1987):

$$RSM = \frac{\frac{F_{SP} + F_A - dF_{SP}F_A}{1 - dF_{SP}}}{F_{SP} + F_A - dF_{SP}F_A} = \frac{1}{1 - dF_{SP}} \quad (3.17)$$

Infatti, il RSM per un'ametropia che ha origine refrattiva è equivalente all'ingrandimento totale I_{LO} identificato nella prima parte di questo capitolo.

La ragione sta nel fatto che quando il difetto è refrattivo l'immagine sul piano retinico dell'occhio non corretto è la stessa di un occhio emmetrope (Benjamin, 2006). Se la lente è considerata sottile si ha che il fattore forma I_F è pressoché

unitario e il RSM va a coincidere con l'ingrandimento di potenza I_P (Fannin and Grosvenor, 1987).

Tuttavia, essendoci una dipendenza con la distanza in cui viene posta la lente correttiva, possiamo considerare solamente una lente intraoculare la soluzione univoca per avere un RSM e quindi una I_{LO} unitari. Questo poiché essa sarebbe posta a distanza nulla rispetto al primo piano principale dell'occhio, rendendo il RSM di valore unitario.

Nel caso di ipermetropia refrattiva, si ha che maggiore è la distanza rispetto all'apice corneale, più grande è la dimensione dell'immagine retinica. Viceversa, nel caso di miopia refrattiva, l'immagine è sempre più piccola via via che ci si allontana dall'apice corneale. Perciò, nonostante l'immagine subisca comunque un'alterazione dimensionale, questa è resa minima dalla lente che si pone alla minore distanza possibile dal primo piano principale dell'occhio, ovvero la lente a contatto (Facchin, 2015).

Quindi, sulla base delle considerazioni fatte, dal punto di vista ottico si ha che il minor grado di aniseiconia è ottenuto correggendo l'anisometropia assiale con gli occhiali e quella refrattiva con le lenti a contatto.

3.2.3 Il concetto di stretching retinico

Consideriamo ora un'anisometropia di tipo assiale in cui solo la correzione oftalmica, se posizionata adeguatamente, dovrebbe generare delle immagini aventi la stessa dimensione di quelle di un occhio emmetrope e, quindi, uguali fra i due occhi (Howard and Rogers, 2012).

Tuttavia, la pratica quotidiana indica che problematiche secondarie ad aniseiconia si presentano molto raramente quando vengono utilizzate le lenti a contatto, indipendentemente da quella che è la natura della differenza di errore refrattivo nei due occhi (Facchin, 2015).

Infatti, molti soggetti con ametropia assiale lamentano un ingrandimento o un rimpicciolimento del mondo esterno quando indossano la correzione oftalmica rispetto alla loro visione naturale.

Una possibile ragione si trova pensando ad un occhio con miopia assiale: esso è allungato, ovvero il suo diametro antero-posteriore è maggiore rispetto a quello di un occhio emmetrope standard. Di conseguenza, considerando che tale condizione avviene progressivamente con la crescita dell'individuo, mentre il numero di fotorecettori rimane invariato durante lo sviluppo, la densità di questi ultimi risulta ridotta (Howard and Rogers, 2012).

Si integrano, quindi, le considerazioni ottiche fatte in precedenza con nuovi elementi di natura anatomica e psicofisica, introducendo questo nuovo concetto di *stretching retinico* (Facchin, 2015).

Bradley, Rabin e Freeman, nel 1983, hanno discusso su quale potesse essere il miglior modo per ottenere delle immagini con ugual dimensione sul piano retinico in caso di anisometropia assiale.

Hanno condotto a tal proposito uno studio su 7 soggetti altamente anisotropi, nei quali il valore dell'anisometropia variava dalle 5 alle 20 D, supponendo quindi, sulla base dell'entità, che l'origine fosse assiale.

Tuttavia, i risultati erano in contraddizione con quanto atteso. Infatti, si aveva che un minor grado di aniseiconia era rilevato nei soggetti corretti tramite lenti a contatto, mentre questa era molto più evidente nei soggetti esaminati con la correzione oftalmica.

Accertarono così la natura dell'anisometropia, stabilendo che nel campione da loro considerato fosse effettivamente la differenza nella lunghezza assiale dei due occhi ad essere la causa dell'asimmetria refrattiva.

Per dare una spiegazione a quello che era emerso valutarono lo stato del fondo oculare. Verificarono che, esaminando un occhio miope per causa assiale, questo mostrava i segni che contraddistinguono uno stretching retinico. In primo luogo notarono una separazione della retina dalla coroide sottostante a livello del disco ottico. Inoltre, una colorazione pallida e non uniforme caratterizzava tutto il fondo ed, infine, i vasi coroideali visibili indicavano anch'essi uno stretching a livello retinico.

Quindi, l'immagine che si formava in una retina con questa conformazione cadeva in una zona contenente un minor numero di fotorecettori rispetto ad un occhio emmetrope (Bradley et al., 1983).

Winn e i suoi collaboratori nel 1988, sulla base di questo studio, ne condussero uno proprio su un campione più vasto con lo scopo di accertare quanto già evidenziato.

I soggetti esaminati erano 18, tutti con un'anisometropia di almeno 2 D per fare in modo che la natura assiale fosse predominante.

Tramite l'utilizzo del cheratometro di Javal-Schiotz è stata misurata la curvatura della cornea anteriore, mentre la lunghezza assiale assieme allo spessore del cristallino e alla profondità delle due camere sono stati valutati tramite una biometria ad ultrasuoni. Un unico soggetto, escluso poi dalla trattazione, ha presentato una natura refrattiva del problema.

Ogni soggetto è stato poi sottoposto ad una valutazione tramite eiconometro per stabilire il valore di aniseiconia presente, prima con lenti a contatto poi con lenti oftalmiche, queste chiaramente posizionate sul piano della focale anteriore dell'occhio, in accordo con la legge di Knapp.

Anch'essi rilevarono che il grado di aniseiconia era maggiore quando l'anisometropia assiale veniva corretta con gli occhiali, mentre essa era minima nel momento in cui gli esaminati venivano sottoposti ad eiconometria utilizzando le lenti a contatto.

Questo suggeriva come gli aspetti ottici che abbiamo precedentemente analizzato non avessero un ruolo decisivo nel rendere più simili possibili le immagini retiniche, ma che il contributo di altri fattori avesse un peso maggiore (Winn et al., 1988).

Quindi sulla base di quanto visto si potrebbe pensare che un occhio con miopia assiale, nonostante il suo diametro antero-posteriore maggiore, abbia comunque alla base lo stesso numero di elementi recettivi e neuronali di un occhio emmetrope; tuttavia essi risultano distribuiti con minore densità.

A sostegno di quanto appena supposto sono stati fatti degli studi, fra cui uno condotto da Chui e i suoi collaboratori nel 2008. Lo scopo era quello di misurare la densità dei coni a livello retinico, comparando soggetti con diverso errore refrattivo fra loro. Ciò che è emerso è che esiste un progressivo decremento del numero di coni per mm^2 all'aumentare della lunghezza assiale del bulbo oculare.

Si conferma, quindi, il concetto di stretching retinico che prevede una minor densità di fotorecettori in un occhio con miopia assiale rispetto ad uno emmetrope, dovuta ad un numero costante di elementi distribuito in una superficie più estesa (Chui et al., 2008).

Se correggessimo un occhio con questo tipo di miopia tramite l'utilizzo di una lente a contatto negativa essa, in base alle considerazioni ottiche precedentemente analizzate, produrrebbe un ingrandimento dell'immagine retinica rispetto alla stessa condizione corretta con lente oftalmica.

Perciò, prendendo in considerazione un occhio miope e il suo controlaterale più corto, si ha che la correzione con lente a contatto dell'occhio più miope genera un'immagine sul piano retinico che copre una superficie più vasta ma anche meno densa di fotorecettori.

Perciò, rimanendo il numero di recettori coinvolti molto simile nei due occhi, anche quello degli elementi nervosi successivi coinvolti nell'elaborazione delle immagini dovrebbe esserlo.

Quindi, la fusione binoculare può avvenire in condizione di anisometropia assiale nella stessa maniera che si manifesta in due occhi con lunghezza assiale pressoché identica (Facchin, 2015).

Ne risulta, quindi, che gli assoluti ottici della legge di Knapp non possono essere considerati univocamente nella prescrizione di un dispositivo correttivo in caso di anisometropia significativa, poiché essa, sia la sua natura refrattiva o assiale, è meglio corretta con le lenti a contatto (Winn et al., 1986).

CONCLUSIONE

In questo elaborato si è voluto trattare la condizione di anisometropia, esaminando vari aspetti ed, in particolare, l'aniseiconia che si crea a causa del potere differente delle lenti utilizzate per correggerla.

Importante valore si è dato alla ricerca del metodo migliore per compensare tale stato refrattivo, prendendo in considerazione sia la correzione oftalmica che l'utilizzo di lenti a contatto.

Sapendo che esiste una differenza fra ametropie di natura assiale e refrattiva, sono state analizzate dapprima le caratteristiche ottiche di queste due condizioni, da un punto di vista prettamente matematico.

Da qui, sulla base di quanto afferma la legge di Knapp, si è dimostrato come nel primo caso sia la correzione oftalmica a ridurre al minimo l'aniseiconia, nel momento in cui la lente viene anteposta all'occhio con il suo secondo piano principale coincidente con il piano della focale anteriore dell'occhio stesso.

Nel secondo caso, ovvero in presenza di anisometropia refrattiva, quella che si è manifestata essere la correzione più idonea alla limitazione dell'aniseiconia, al contrario, è la lente a contatto, in quanto unico dispositivo correttivo in grado di minimizzare la problematica.

Tuttavia, gran parte delle evidenze della pratica clinica pongono seri dubbi sulla sistematica scelta di occhiali o lenti a contatto in funzione esclusiva delle considerazioni della legge di Knapp.

Infatti, è stato possibile riscontrare in letteratura l'evidenza che sono le lenti a contatto i dispositivi correttivi a dare minori problemi legati ad aniseiconia, qualunque sia la natura del difetto visivo.

Così, introducendo il concetto di stretching retinico, si è potuto relazionare in modo qualitativo le grandezze dimensionali delle immagini retiniche prodotte dai dispositivi correttivi, con la distribuzione dei fotorecettori. Questa relazione

potrebbe spiegare la ragione per cui sono sempre le lenti a contatto la modalità di compensazione meno invalidante in caso di anisometropia.

L'ammontare della differenza nella dimensione delle immagini retiniche prodotto dalla correzione oftalmica si pone, invece, come un ostacolo quasi sempre invalidante per lo sviluppo di una normale binocularità.

Inoltre, dal momento che la lente a contatto segue l'occhio nei suoi movimenti, non si crea alcun tipo di effetto prismatico, perciò tale dispositivo correttivo elimina anche l'anisoforia indotta.

Pertanto, a conclusione del lavoro si può conferire alle lenti a contatto la preminenza nella correzione di tutte le anisometropie, aumentando la qualità della fusione sensoriale fra le immagini dei due occhi a favore di una buona efficienza della binocularità.

BIBLIOGRAFIA

- Abrahamsson M., Fabian G., Sjostrand J., “Refraction changes in children developing convergent or divergent strabismus”, *Br J Ophthalmol Vis Sci*, 1992, 35, 1951.
- Abrahamsson M., Sjostrand J., “Natural history of infantile anisometropia”, *Br J Ophthalmol*, 1996, 80, 860-863.
- Amos J. F., “Diagnosis and Management in Vision Care”, Boston, Butterworths, 1987, pag 191.
- Benjamin W. J., “Borish’s Clinical Refraction”, Missouri, Elsevier, 2006, 2^a, p. capitolo 32.
- Bradley A., Rabin J., Freeman R. D., “Nonoptical Determinants of Aniseikonia”, *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1983, 24, 507-512.
- Brooks S. E., Johnson D., Fischer N., “Anisometropia and Binocularity”, *Ophthalmology*, 1996, 103 (7), 1139-1143.
- Bucci M. G., “Oftalmologia”, Roma, SEU, 1993, pag 2.
- Chui T Y. P., Song H., Burns S. A., “Individual Variations in Human Cone Photoreceptor Packing Density: Variation with Refractive Error”, *Invest Ophthalmol and Vis Sci*, 2008, 49, 4679-4687.
- Deng L., Gwiazda J. E., “Anisometropia in children from infancy to 15 years”, *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53, 3782-3787.
- De Vries J., “Anisometropia in children: analysis of a hospital population”, *Br J Ophthalmol*, 1985, 69, 504-507.
- De Wit G. C., “Retinally-induced aniseikonia”, *Binocul Vis Strabismus Q.*, 2007, 22 (2), 96-101.
- De Wit G. C., Remole A., “Clinical management of aniseikonia”, 2003.
- Elham M., Hassan H., Mehdi K., “The prevalence of anisometropia and its associated factors in an adult population from Shahroud, Iran”, *Clin Exp Optom*, 2013, 96, 455-459.

- Facchin P., “Lente a contatto vs correzione oftalmica: implicazioni refrattive, accomodative e binoculari”, *Platform Optic*, 2015, pag 28-36.
- Fannin T. E., T. Grosvenor., “Clinical Optics”, Stoneham, Elsevier, 1987, p. capitolo 10.
- Giannelli L., “Trattamento ottico dell’anisometropia”, *B2Eyes Magazine*, 2008, 9, 23-29.
- Guzowski M., Fraser Bells, Rochtchina E., “Asymmetric refraction in an old population: the Blue Mountains Eye Study”, *Am J Ophthalmol*, 2003, 136, 551-553.
- Holmes J. M., Clarck M. P., “Amblyopia”, *The Lancet*, 2006, 367, 1343-1351.
- Holmstrom G., El Azazi M., Kugelberg U., “Ophthalmological long term follow up of preterm infants: a population based, prospective study of the refraction and its development”, *Br J Ophthalmol*, 1998, 82, 1265-1271.
- Howard I. P., Rogers B. J., “Perceiving in Depth, Volume 1: Basic Mechanisms”, New York, Oxford University Press, 2012, pag 470-471.
- Keirl A., Christie C., “Clinical Optics and Refraction-A Guide for Optometrists, Contact Lens Opticians and Dispensing Opticians”, Elsevier, 2007, pag 49-55.
- Khurana A. K., “Theory and practice of optics and refraction”, India, Elsevier, 2008, 2^a, pag 84.
- Knapp H., “The influence of spectacles on the optical constants and visual acuteness of the eye”, *Arch Ophthalmol*, 1869, 1, 337-410.
- Lancaster W. B., “Aniseikonia”, *Trans Am Ophthalmol Soc.*, 1938, 36, 227-234.
- Maffioletti S. Piacentini I., “Le abilità accomodative nell’analisi visiva integrata (AVI) ”, *Il Mondo dell’Ottica*, 2007, 31, 76-79.
- McCormack G., Peli E., Stone P., “Differences in tests of aniseikonia”, *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1992, 33, 2063-2067.
- McNeill S., Bobier W. R., “The correction of static and dynamic aniseikonia with spectacles and contact lenses”, *Clin Exp Optom*, 2017, 100, 732-734.
- Miller Meeks M. J., Bennett S. R., Keech R. V., Blodi C. F., “Myopia induced by vitreous hemorrhage”, *Am J Ophthalmol*, 1990, 109, 199-203.

- Ogle K. N., “Researchers in binocular vision”, New York, Hafner, 1950.
- Puce F. G., Lavezzari P., “Tecniche di biometria e metodiche per il calcolo IOL: revisione della letteratura”, *Ottica fisiopatologica*, 2013, pag 233-247.
- Remole A., “Aniseikonia and fixation performance: effect of retinal stimulus location”, *Optom Vis Sci*, 1989, 66, 160-166.
- Rossetti A., Battistin R., Cappa S., Cavalli V., Comuzzi D., Gheller P., Madesani A., Migliori G., Parenti L., Peterle A., Pontus S., Possenti M., Reverdy G., Safilo, Sala F., Serretiello D., Tabacchi M., Zeri F., “Lenti e occhiali-Un Manuale di Ottica Oftalmica”, Palermo, Medical Books, 2003, pag 630.
- Rossetti A., Gheller P., “Manuale di optometria e contattologia”, Bologna, Zanichelli, 2003, 2^a, pag 37, 186, 190, 314-315.
- Smith E., Hung L. F., Harwerth R., “Experimentally induced strabismus can produce anisometropia in young monkeys”, *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1994, 35, 1951.
- Sorsby A., Leary G., Richards M., “The optical components in anisometropia”, *Vision Res*, 1962, 2, 43-51.
- Stephen J. V., Scott A. R., “Progressive adult antimetropia”, *Clin Exp Optom*, 2014, 97, 375-378.
- Stigma G., Crawford J. S., Ward C. M., Thomson H. G., “Ophthalmic sequelae of infantile hemangioma of eyelids and orbit”, *Am J Ophthalmic*, 1978, 85, 806-813.
- Vargellini F., “La correzione oftalmica delle ametropie”, Istituto Benigno Zaccagnini, Bologna, 2013.
- Varughese S., Varghese R. M., Gupta N., “Refractive error at birth and its relation to gestational age”, *Curr Eye Res*, 2005, 30 (6), 423-424.
- Vincent S. J., Collins M. J., Read S. A., Ghosh A., Chen C., Lam A., Sahota S., Vo R., “The short-term accommodation response to aniso-accomodative stimuli in isometropia”, *Oftalmico Physiol Opt*, 2015, 35, 552-561.
- Wick B., Westin E., “Change in refractive anisometropia in presbyopic adults wearing monovision contact lens correction”, *Optom Vis Sci*, 1999, 76, 33-39.

- Winn B., Ackerley R. G., Brown C. A., Murray F. K., Prais J., John M. F. St.,
“Reduced aniseikonia in axial anisometropia with contact lens correction”,
Ophthalmic & Physiological Optics, 1988, 8, 341-344.
- Winn B., Ackerley R. G., Brown C. A., Murray F. K., Prais J., John M. F. St.,
“The superiority of contact lenses in the correction of all anisometropia”,
Contact Lens & Anterior Eye, 1986, 9, 95-100.
- Zeri F., Rossetti A., Fossetti A., Calossi A., “*Ottica Visuale*”, Roma, SEU, 2012,
pag 153, 425-426, 456-458.