

Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Fisica e Astronomia

Corso di Laurea in Ottica e Optometria
TESI DI LAUREA

Teorie accomodative e accomodazione nella gestione della miopia.

Relatore: Prof. Marino Formenti

Correlatore: Prof.ssa Dominga Ortolan

Laureanda: Linda Mengozzi

Matricola: 1142596

Anno Accademico 2018/2019

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO I:	2
1.1: Definizione di Miopia.....	2
1.2: Eziologia.....	4
1.2.1: Familiarità.....	4
1.2.2: Distanze ravvicinate e attività prossimali.....	5
1.2.3: Attività all'aperto e illuminazione.....	7
1.3: Epidemiologia e Distribuzione geografica.....	8
1.3.1: Progressione e incidenza.....	10
CAPITOLO II: ACCOMODAZIONE.....	12
2.1: Accomodazione: cenni di fisiologia.....	12
2.1.1: Componenti dell'Accomodazione.....	13
2.1.2: Sistema accomodativo e triade accomodativa	14
2.1.3: Lag e Lead accomodativi.....	15
2.2: Teorie accomodative sullo sviluppo miopico.....	16
CAPITOLO 3: GESTIONE MIOPICA.....	28
3.1: Il controllo della miopia.....	28
3.2: Metodi tradizionali per il controllo miopico.....	28
3.3: Vision Training accomodativo.....	31
CAPITOLO 4: CONCLUSIONI.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	42

INTRODUZIONE

La miopia è diventata un grave problema di salute pubblica in tutto il mondo, con una maggiore incidenza nei paesi industrializzati. Tra i difetti refrattivi presenti nella società, la miopia è quella che ha sempre suscitato maggior interesse sia per l'influenza sulla vita sociale sia per la molteplicità di fattori legati al suo aumento progressivo e alle cause che lo comportano. Date le evidenze sperimentali sulle cause dell'eziologia della miopia e le associazioni emerse tra prolungate attività da vicino, in questo elaborato si cercherà di mostrare le ipotesi evidenziate nella letteratura scientifica che legano l'accomodazione e l'insorgenza miopica.

Molte ipotesi sono state poste da vari studiosi e la teoria classica ricorrente risulta essere un'intensa attività prossimale che vede la miopia transitoria indotta dallo sforzo visivo nel vicino (NITM) come possibile componente che contribuisce all'insorgenza miopica e alla sua progressione. Storicamente vi sono state due scuole di pensiero riguardo le cause di questo aumento della miopia: alcuni studiosi, come Cohn, teorizzano che l'utilizzo eccessivo dell'accomodazione possa essere la causa della miopia; mentre altre correnti di pensiero identificano l'insorgenza miopica come una strategia di adattamento all'affaticamento e allo stress visivo prodotto dall'attività prossimale, poiché queste attività per soggetti miopi sono più agevoli. Si è dimostrato però che vi sono problematiche di natura binoculare e accomodativa che possono essere responsabili dell'instaurarsi e al progredire della miopia. Tra questi vedremo l'eccesso accomodativo, che può sfociare nella pseudomiopia, e l'insufficienza accomodativa (talvolta correlato con un eccesso di convergenza).

Indipendentemente però dalla causa che porta alla miopia, è importante agire di prevenzione mediante metodi che possono prevenirne l'insorgenza o rallentarne la progressione²⁹.

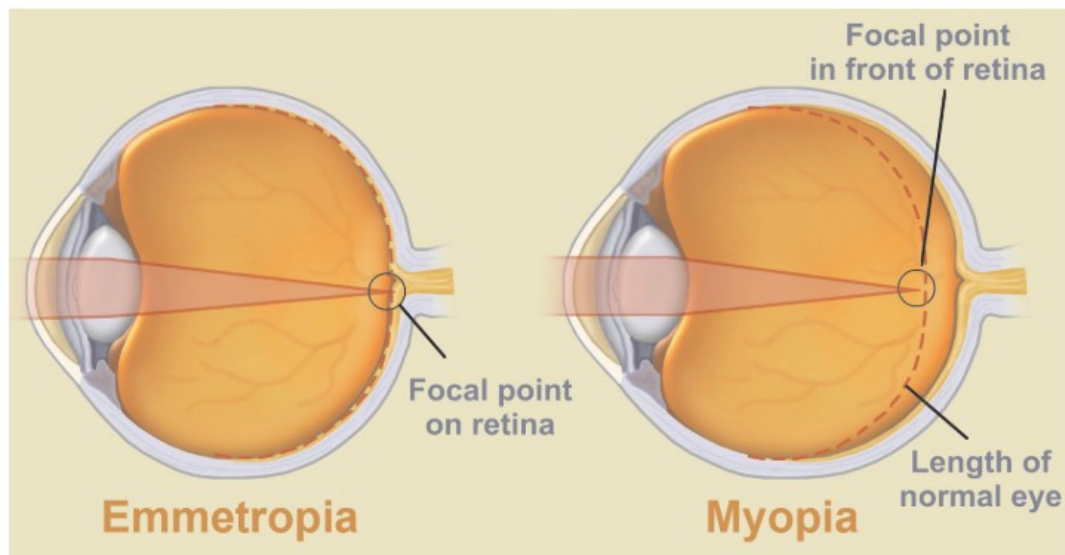
Nella parte finale di questo studio, ci si soffermerà su tecniche di Visual Training di tipo accomodativo, un trattamento che cerca di stimolare e migliorare la capacità accomodativa di un soggetto, come nei casi di eccesso accomodativo o insufficienza accomodativa.

CAPITOLO I

1.1 Definizione di miopia

Il termine miopia è stato coniato da Galeno (131-201 d.C) dalle parole *myein* ("chiudere") e *ops* ("occhio"). Galeno osservò che le persone miopi chiudevano parzialmente gli occhi per vedere meglio¹.

Con il termine miopia si fa riferimento a una condizione refrattiva in cui il piano focale dell'immagine costruita dal sistema ottico oculare si trova prima del piano anatomico della retina, a differenza di un occhio emmetrope in cui, invece, i raggi paralleli provenienti da un punto oggetto posto all'infinito, convergono sulla retina a formare un punto immagine, che, in questo caso, coincide con il fuoco principale del sistema ottico oculare (vedi Figura 1).



(FIG.1, A sinistra occhio emmetrope, a destra occhio miope)⁶

La miopia viene anche descritta come un difetto di rifrazione per il quale i raggi luminosi convergono in un punto anteriore alla retina, invece che sulla retina stessa quando si osserva un oggetto posto all'infinito e in cui l'accomodazione è rilassata². Sono stati evidenziati diversi criteri di classificazione per la miopia tra cui: la causa refrattiva, l'entità, l'età di insorgenza e l'entità clinica. Tenendo conto della causa refrattiva, la miopia può essere suddivisa in^{1,2}:

- Assiale: l'occhio è troppo lungo per il suo potere di rifrazione;

- Refrattiva: il sistema di rifrazione è troppo potente per la lunghezza assiale dell'occhio. Questa, a seconda di ciò che causa l'aumento del potere viene a sua volta suddivisa in:
 - Da curvatura: eccessiva curvatura della cornea e del cristallino;
 - Da indice: aumento dell'indice di rifrazione del nucleo del cristallino;
 - Accomodativa;
 - Lenticolare: indotta dal cristallino (non accomodativa).

In una revisione dei metodi per la classificazione della miopia, Grosvenor ha osservato che negli ultimi 150 anni è stata ideata una vasta gamma di sistemi. Le classificazioni proposte possono essere raggruppate anche nelle seguenti voci^{1,2}:

- *Miopia semplice*: La miopia stazionaria è generalmente di basso grado (da -1,50 a -2,00 D) e l'insorgenza è tardiva (nell'adolescenza). Il grado di miopia rimane stazionario durante l'età adulta e può occasionalmente diminuire con l'avvicinarsi della vecchiaia. Tuttavia, Donders suggerì erroneamente, che l'apparente riduzione della miopia con l'aumentare dell'età era probabilmente dovuta alla miosi pupillare legata all'età, con un aumento associato della profondità dell'occhio.
- *Pseudomiopia*: si tratta di una miopia indotta dall'accomodazione ed è comune nei soggetti giovani. Si verifica una sfocatura a distanza transitoria, specialmente dopo un impegno prolungato nel prossimale, che sfocia in uno *spasmo ciliare*, ossia ad incremento del tono accomodativo causato da una ipertonicità del muscolo ciliare. Questo porta il soggetto a lamentare una certa difficoltà nella focalizzazione passando da un oggetto vicino a un oggetto lontano.
- *Miopia notturna*: la miopia notturna si manifesta in condizioni di scarsa luminosità ambientale. Le cause per la quale si manifesta sono:
 - Aberrazione cromatica ed effetto Purkinje: l'occhio in condizioni scotopiche diventa maggiormente sensibile alle lunghezze d'onda corte, che verranno rifratte di più rispetto a quelle elevate⁴;

- Midriasi pupillare, con conseguente avanzamento del cristallino e dalla riduzione della camera anteriore;
- Aumento dell'aberrazione sferica e diminuzione della profondità di fuoco.
- *Miopia patologica*: si designa quella condizione refrattiva miopica caratterizzata da un elevato grado di miopia, spesso associata ad alterazioni corio-retiniche⁵.
- *Miopia acquisita*: si fa riferimento a un disturbo generato da una causa anomala esterna, è spesso dovuta ad una conseguente esposizione a diversi farmaci, variazione degli zuccheri nel sangue (diabete), sclerosi nucleare della lente del cristallino, o altre condizioni anomale. È spesso reversibile e temporanea³.

Questo errore visivo provoca visione offuscata in lontananza e di solito può essere corretto con occhiali con lenti oftalmiche o a contatto negative. Tuttavia, questo allungamento dell'occhio può portare a cambiamenti strutturali nella retina, ma anche al nervo ottico, in particolare nei pazienti con un alto grado di miopia⁶.

1.2 Eziologia

Storicamente, alcuni professionisti ritenevano che la miopia fosse un difetto ereditario, mentre altri credevano che fosse invece indotta da fattori legati all'ambiente. Tuttavia, gli studi sull'uomo e sugli animali condotti negli ultimi quattro decenni suggeriscono che lo sviluppo della miopia è controllato sia fattori genetici che da fattori ambientali¹³. Prove recenti suggeriscono infatti che è probabile che la miopia derivi da effetti combinati e interagenti tra fattori ereditari e ambientali. Molti di questi sono stati documentati per avere possibili associazioni con rischi per lo sviluppo di miopia, come miopia ereditata da familiari, per genere, etnia, istruzione, occupazione, reddito, attività svolte all'aria aperta, opacità del cristallino e dimensioni oculari.

1.2.1 Familiarità

L'aggregazione familiare ha fornito forti prove a sostegno dell'importante ruolo dei fattori genetici nel causare la patogenesi della miopia. Studi su individui con miopia di diverse popolazioni hanno mostrato indicazioni positive. Ad esempio, Yap ha effettuato esami di rifrazione su 2.888 bambini in Cina per studiare i rischi di trasmettere la miopia dai genitori ai bambini. Questo studio ha dimostrato che i bambini con genitori miopi tendono ad avere maggiori probabilità di sviluppare miopia rispetto a quelli senza genitori miopi. Numerosi studi successivi hanno supportato questo risultato: Ip ha condotto uno studio simile su 2.353 bambini in Australia con un'età media di 7 anni. I risultati hanno suggerito che la prevalenza della miopia è aumentata statisticamente in modo significativo con il numero di genitori miopi. I tassi di rischio di sviluppo associati sono del 7,6% per i genitori non miopi, del 14,9% per un genitore miope e del 43,6% per ambedue i genitori miopi^{14,19}.

Inoltre, i rischi di ricorrenza della miopia tra fratelli aventi miopia sono anche più elevati rispetto ai fratelli senza miopia. Un rapporto basato su 6.497 abitanti a Teheran, in Iran, ha confermato che l'ereditarietà dell'errore di rifrazione è del 61% e il rapporto tra probabilità di ricorrenza dei fratelli per la miopia è tra le 2,25–3,00 D. Oltre allo stato di rifrazione, sono stati osservati anche gli impatti della miopia nella storia dei genitori sulla crescita oculare dei bambini. Lam, a seguito di uno studio con 7.560 bambini in Cina per la durata di un anno, ha riportato gli effetti della miopia nella storia dei genitori, inclusi dimensioni e crescita degli occhi. La variazione della lunghezza assiale annuale è aumentata di 0,20 mm, 0,26 mm e 0,37 mm, per i bambini senza un genitore miope, con uno e con due genitori miopi, rispettivamente. Ciò suggerisce che i rischi genetici sono più elevati nelle famiglie in cui sono presenti membri con miopia¹⁴. La miopia risulta quindi essere ereditabile e appare spesso come disturbo oculare familiare, in cui la predisposizione genetica sembra essere un fattore dominante del suo sviluppo e della sua progressione.

1.2.2 Distanze ravvicinate e attività prossimali

Sebbene i fattori genetici abbiano un ruolo nello sviluppo della miopia, la rapida crescita della prevalenza è probabilmente attribuibile anche a fattori ambientali e legati allo stile di vita. Durante le quotidiane attività prossimali il sistema visivo in genere instaura una strategia conservativa chiamata “Lag Accomodativo” che sfrutta la profondità di fuoco per focalizzare ugualmente le immagini diminuendo l’impegno accomodativo. L’effetto che si produce è simile al concetto di defocus ipermetropico che secondo le dimostrazioni dei vari studi sugli animali è tendenzialmente miopizzante, ma di questo ne verrà discusso nei prossimi capitoli.

I bambini che svolgono attività prossimali ad una distanza di lavoro inferiore ai 30 cm sono 2,5 volte più a rischio di essere miopi rispetto a quelli che lavorano a distanze maggiori¹⁵.

Nel *Sydney Myopia Study (SMS)* effettuato su bambini di 12 anni, Saw e altri hanno esaminato il tempo e la distanza di lavoro durante la lettura. I bambini soliti leggere per più di 30 minuti sono più a rischio di sviluppare miopia rispetto a quelli che leggono per meno di 30 minuti consecutivi. Da alcuni studi effettuati con 4814 bambini che ne costituivano il campione scelto, è stato riscontrato che mantenere una distanza non consona durante le attività nel vicino, come può essere la lettura, la scrittura o altre attività per una durata a lungo termine in un ambiente magari con illuminazione poco adeguata, rappresenta un fattore di rischio per sviluppare miopia. (IP.J.M, 2008).

In uno studio effettuato da Parssinen è stato mostrato quanto la progressione miopica sia veloce in relazione a brevi distanze di lavoro. Charman ha suggerito che maggiori domande accomodative siano dovute a posizioni della testa errate durante la visione da vicino, questo potrebbero portare verso uno scivolamento miopico. Secondo Charman è plausibile che il continuo sfocamento ipermetropico durante un impiego prossimale, indotto da un ritardo dell’accomodazione, spinga il meccanismo di emmetropizzazione a correggere questo apparente difetto di refrazione, rendendo miope l’occhio.

Nonostante molti studi abbiano evidenziato queste correlazioni tra attività nel vicino e insorgenza di miopia, altri non condividono invece questa teoria, in quanto l’evidenza che il lavoro prossimale influenzi direttamente l’insorgenza di

miopia è difficile da ottenere mediante studi osservazionali. In uno studio longitudinale della durata di 5 anni su 1.318 bambini di età compresa tra i 6 e i 14 anni, è emerso che trascorrere ore o leggendo o al computer, prima dell'insorgenza della miopia, non costituisce un fattore di differenziazione tra i gruppi dello studio: questo studio non ha evidenziato una correlazione tra attività da vicino e sviluppo della miopia¹⁶. Si potrebbe, dunque, prevedere che quei bambini che abitualmente adottano brevi distanze di lavoro e posture asimmetriche con sostanziale inclinazione della testa per scrivere, leggere o giocare a giochi per computer potrebbero essere maggiormente a rischio per sviluppare miopia. Sarebbe quindi utile che i bambini fossero incoraggiati a sedersi ad una distanza consona dal proprio tavolo di lavoro con una corretta illuminazione ed evitare tali posture asimmetriche sbagliate¹⁷.

1.2.3 Attività all'aperto e illuminazione

Mentre lunghi e costanti periodi di lettura o attività prossimali possono aumentare il rischio di sviluppare miopia, altri fattori ambientali hanno dimostrato avere un'azione benefica e/o protettiva⁷.

I risultati di più studi hanno mostrato un'associazione tra attività fisica e miopia, suggerendo un effetto protettivo dell'attività fisica sullo sviluppo e la progressione della miopia. Tuttavia, il “Sydney Myopia Study” ha analizzato separatamente gli sport praticati all'aperto, nonché le attività ricreative all'aperto e gli sport praticati al chiuso. Lo studio ha scoperto che il fattore importante era il tempo totale trascorso all'aperto e che gli sport indoor non erano protettivi contro lo sviluppo e la progressione della miopia.

In un recente studio condotto da Christos Theophanous sono stati discussi i possibili meccanismi di questo effetto protettivo e hanno suggerito che un aumento dell'intensità della luce all'esterno provoca un rilascio stimolato dalla luce del neurotrasmettitore retinico, la dopamina, che è noto per essere in grado di ridurre l'allungamento assiale⁷. Altri effetti protettivi dati dagli spazi all'aperto possono essere dovuti anche da un'intensità luminosa ambientale maggiore. Un'analisi effettuata da Cohen, condotta sui pulcini ha rilevato che l'intensità della luce modula il processo di emmetropizzazione e che un basso livello di illuminazione ambientale costituisce un fattore di rischio per lo sviluppo della

miopia. Ad oggi non è ancora totalmente chiaro quale sia il meccanismo biologico che conduce ad un minor rischio di sviluppare miopia quando si passa più tempo all'aperto. Sembrerebbe che l'elevata quantità di luce presente all'esterno induca miosi pupillare, aumenti la profondità di campo riducendo lo sfuocamento delle immagini retiniche, richiedendo una minore domanda accomodativa per la visione in lontananza¹⁸.

In una recensione e meta-analisi condotta da Sherwin, gli autori hanno concluso che aumentare il tempo trascorso all'aria aperta può dimostrarsi essere una strategia semplice per ridurre il rischio di sviluppare miopia e la sua progressione in adolescenti e bambini¹⁹.

1.3 Epidemiologia e Distribuzione geografica

La miopia è uno dei disturbi visivi più diffusi al mondo. Essa rappresenta la condizione oftalmica più comune al mondo con una stima del 22,9% della popolazione mondiale, ovvero all'incirca 1,4406 miliardi di persone colpite. Il 2,7% delle persone, 163 milioni, invece, risulta avere una miopia elevata. Alcuni studiosi hanno evidenziato un significativo incremento di prevalenza globale nei prossimi decenni e hanno stimato che le percentuali aumenteranno ancora, fino a comprendere circa il 49,8% della popolazione mondiale nel 2050 con 4758 milioni di persone, tra cui 938 milioni con elevata miopia⁷.

La miopia è la principale causa di cecità nei bambini e nei giovani adulti. Recentemente, ci sono state prove crescenti che la prevalenza della miopia è aumentata rapidamente in molte parti del mondo, specialmente nell'Asia orientale e meridionale. Ad esempio, la prevalenza della miopia era del 96,5% nei maschi di 19 anni a Seoul nel 2010, a Taiwan la prevalenza della miopia nei coscritti militari maschi di età compresa tra 18 e 24 anni era dell'86,1% nel 2010-2011, mentre in Cina, la prevalenza di miopia è stata del 95,5% negli studenti universitari di Shanghai e dell'84,6% nei bambini delle scuole di Shandong.

Molti studi hanno evidenziato che il tasso di miopia nelle comunità urbane è differente da quello riscontrato nelle comunità rurali. In un'indagine eseguita da Foster, nei bambini cinesi che vivono in zone urbane, la prevalenza dell'errore

refrattivo miopico varia da 5.7% a 78.4% dai 5 ai 15 anni di età (He M, 2004); mentre nelle zone rurali del Sud della Cina, il tasso miopico è prossimo allo zero a 5 anni e al 53.9 % a 15 anni (He M., 2007). La prevalenza della miopia in alcune aree urbane dell'Asia ha raggiunto livelli elevati (Park D.J.,2004), con una prevalenza che raggiunge il 40% in Giappone, il 70% a Singapore e addirittura il 96.5% di prevalenza nei diciannovenni di Seoul, in Corea del Sud⁹.

Aumenti drammatici sono stati osservati anche in altre parti del mondo. A causa della sua elevata prevalenza in Cina, le persone tendono a ignorare l'importanza della prevenzione e del controllo della miopia, specialmente nella miopia alta e molto alta, ma le complicanze associate alla miopia elevata come il distacco della retina, le lesioni maculari, la deformazione peripapillare e la neovascolarizzazione coroidale della miopia possono portare a una perdita visiva grave e irreversibile. Le complicanze correlate dell'alta miopia potrebbero diventare una delle principali cause di disabilità visiva nel mondo nei prossimi decenni. In uno studio di Jung viene riferito che la prevalenza di miopia elevata è stata del 21,6% nei maschi di 19 anni a Seul nel 2010, a Singapore, la prevalenza di miopia elevata è leggermente aumentata dal 13,1% (1996-1997) al 14,7% (2009-2010) nei giovani soggetti maschili⁸.

Sempre in uno studio trasversale di Foster basato sulla popolazione di bambini americani in età prescolare di età compresa tra 6 e 72 mesi hanno riportato una prevalenza di miopia dell'1,2% nei bianchi non ispanici, del 3,7% negli ispanici, del 3,98% negli asiatici e del 6,6% negli afroamericani. Una maggiore differenza nella prevalenza della miopia è stata riscontrata nei bambini in età scolare di etnia diversa. La prevalenza trasversale della miopia negli scolari australiani è stata segnalata essere del 42,7% e del 59,1% nei bambini di 12 e 17 anni di etnia dell'Est asiatico, rispettivamente, mentre i corrispondenti tassi di prevalenza nell'europeo caucasico e in bambini della stessa età, erano rispettivamente l'8,3% e il 17,7%. Variazioni nella prevalenza della miopia nei bambini sono state anche ampiamente segnalate in relazione a diverse aree geografiche. Esistono notevoli differenze regionali da paese a paese, anche all'interno della stessa area geografica. I tassi di prevalenza nei paesi dell'Asia orientale e del Sud-est asiatico sono risultati generalmente più alti rispetto ad altre parti del mondo⁹. In concomitanza, l'*European Eye Epidemiology Consortium* (E3) ha dimostrato in un meta-analisi di uno studio trasversale che, anche nei paesi occidentali, la

prevalenza della miopia sta crescendo in modo drammatico, con una significativa variabilità tra le fasce di età, risultando più alta (46%) nel sottogruppo della fascia di età dei 25 anni, rispetto alla fascia dei 75 anni, con solo il 15% delle persone colpite¹⁰.

È stato stimato che la miopia interesserà quasi 5 miliardi di persone nel mondo entro il 2050 e diventerà una grande sfida per la salute pubblica.

1.3.1 Progressione e incidenza

La miopia inizia solitamente tra i 5 e i 3 anni. Hirsch (1964) ha sottolineato che i soggetti miopi all'età tra i 5-6 anni avranno un maggiore aumento dell'errore refrattivo e che i soggetti ipermetropi (fino a 0,50D) diventeranno miopi².

Per quanto concerne l'incidenza, secondo un recente rapporto di uno studio di coorte basato sulla popolazione di due coorti di scolari australiani di età compresa tra 12 e 17 anni, l'incidenza annuale di miopia è stata del 2,2% nella coorte più giovane e del 4,1% nella coorte più anziana. I tassi annuali di incidenza della miopia nei bambini dell'Asia orientale (6,9% nella coorte più giovane, 7,3% nella persona più anziana) erano molto più alti rispetto ai bambini caucasici europei (più giovani, 1,3%; più anziani, 2,9%). Un notevole aumento della prevalenza nel tempo è stato osservato nei bambini di entrambe le fasce di età: dall' 1,4 al 14,4% nella coorte più giovane (per un periodo di follow-up di $6,1 \pm 0,8$ anni) e dal 13,0 al 29,6% nella coorte più anziana (oltre un periodo di follow-up di $4,5 \pm 0,3$ anni). Secondo una revisione di cinque sondaggi sulla prevalenza a livello nazionale condotti a Taiwan tra il 1983 e il 2000, la prevalenza della miopia è aumentata costantemente e significativamente tra i bambini di età compresa tra 7 e 18 anni. L'entità dell'aumento della prevalenza nei 17 anni variava tra il 14% (per i bambini di età compresa tra 16 e 18 anni) e il 26,2% (per i bambini di 7 anni). Una tendenza simile è stata riportata in un'altra revisione del cambiamento nella prevalenza della miopia oltre 30 anni negli Stati Uniti tra il 1971 e il 2004. Tra tutte le fasce d'età in cui è stato dimostrato che la prevalenza della miopia è aumentata significativamente nell'arco di tre decenni, la prevalenza della miopia negli scolari di età compresa tra 12 e 17 anni è aumentata dal 12,0% (tra il 1971 e

1972) al 31,2% (tra il 1999 e il 2004). Un ulteriore studio trasversale effettuato da Aldo Vagge che confronta la prevalenza di miopia su due generazioni di indiani singaporiani di età superiore ai 40 anni, ha rilevato che la prevalenza di miopia e alta miopia negli immigrati di prima generazione era significativamente inferiore rispetto agli immigrati di seconda generazione (miopia: 23,4% vs 30,2 %, miopia elevata: 2,5% vs 4,8%)¹⁰.

La prevalenza della miopia ha subito un significativo aumento in tre decenni. Ad esempio il valore di prevalenza miopica nei giovani americani dai 12 ai 17 anni è aumentata del 12.0% (1971-1972) al 31.2% (tra il 2000 e il 2004)¹¹. In Finlandia, invece, la prevalenza nei bambini di 7-8 anni risulta invece essere rimasta costante, negli ultimi 20 anni, mentre nei giovani di 14-15 anni la prevalenza risulta almeno raddoppiata (da 10.6% a 21.8%)¹². Si può dunque affermare che la prevalenza della miopia nelle recenti decenni è aumentata significativamente in varie aree geografiche e, secondo alcuni studi, in concomitanza a nuove abitudini e stili di vita, continuerà ad aumentare.

CAPITOLO 2

2.1 Accomodazione: cenni di fisiologia

Il termine accomodazione venne per la prima volta introdotto da C.A. Burow nel 1841. Borish, nel 1970, definì l'accomodazione come “la funzione per cui il potere convergente del sistema ottico di un occhio viene aumentato in modo tale che la luce divergente da una sorgente vicina possa essere messa a fuoco sulla retina”³⁹. Con il termine accomodazione si fa dunque riferimento al processo attraverso il quale il cristallino cambia il suo potere diottrico in modo da consentire la messa a fuoco sul piano retinico di oggetti posti a differenti distanze³.

Nonostante la messa a fuoco basata su una lente sia stata proposta per la prima volta da Cartesio, fu inizialmente Thomas Young a dimostrare che i cambiamenti della lente cristallina erano responsabili di tali cambiamenti nella messa a fuoco. A seguire, Hermann von Helmholtz, considerato il padre dell'ottica “fisiologica”, avanzò le basi su come funzionasse il processo accomodativo¹.

La funzione principale che è stata attribuita al cristallino è quella di permettere la convergenza dei raggi luminosi sul piano retinico e consentire, grazie al suo potere diottrico, una costante focalizzazione delle immagini sulla retina. Questo processo è concesso tramite l'accomodazione. Il cristallino, sfruttando la sua elasticità, è in grado di variare il proprio potere diottrico per consentire una messa a fuoco di un oggetto posto più o meno distante¹.

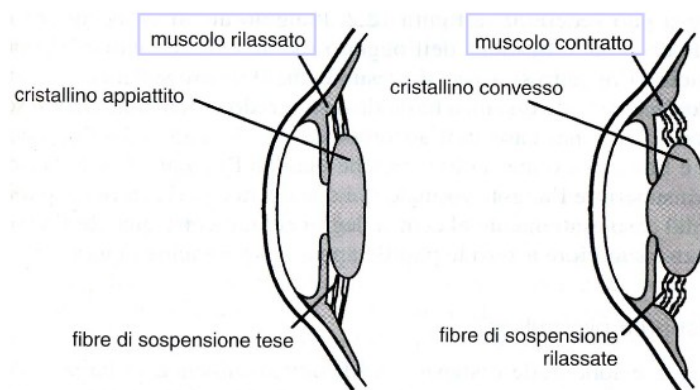


Figura 2. (“La percezione dello spazio e della profondità”, Univr, PDF)

Durante il processo accomodativo si verificano delle modificazioni dell'innervazione oculare, per questo, quando l'attenzione passa da un oggetto posto a distanza "infinita" a un altro posto a distanza finita, si notano una serie di variazioni. Il cristallino, essendo elastico, è capace di aumentare la sua curvatura anteriore e quindi convessità e spessore, per effetto della contrazione del muscolo ciliare che subisce una contrazione riflessa conseguente alla percezione di sfocamento dell'immagine sul piano retinico (vedi Figura 2). Esso si avvicina alla cornea diminuendo la profondità della camera anteriore. Queste modificazioni fanno sì che il potere diottrico del bulbo oculare aumenti. Lo spostamento del corpo ciliare, dovuto allo spostamento delle fibre del muscolo ciliare, provoca un rilassamento delle fibre della Zonula, e un aumento della porzione centrale della superficie anteriore della lente. Questo comporta un aumento del potere refrattivo del cristallino e una costrizione pupillare (miosi), che migliora la qualità dell'immagine retinica riducendo l'aberrazione sferica del diottero oculare e aumentando la profondità di campo. Si tratta di un atto riflesso, indipendente quindi dalla volontà, che si verifica come conseguenza della percezione di sfuocamento di un'immagine retinica e si realizza prevalentemente per eccitazione del sistema parasimpatico e, in minima parte, per eccitazione di quello simpatico^{1,2,3}.

2.1.1 Componenti dell'Accomodazione

Heath nel 1956 sviluppò una classificazione per l'accomodazione, nello specifico ne valutò quattro componenti che includevano l'accomodazione riflessa, di vergenza, prossimale e, infine, quella tonica.

Accomodazione riflessa: le modificazioni del potere del cristallino si attuano involontariamente senza che se ne abbia coscienza. Gli stimoli che provocano l'accomodazione sono tutti dovuti alla posizione che occupano, o sembrano occupare, gli oggetti che ci circondano. Con accomodazione riflessa si intende la regolazione automatica dello stato di refrazione per ottenere e mantenere un'immagine retinica ben definita e focalizzata in risposta ad un input di sfocatura. L'accomodazione riflessa risulta essere una delle più importanti componenti dell'accomodazione in condizioni di visione sia monoculare che binoculare^{1,2}.

Accomodazione di vergenza: viene stimolata dalla convergenza e quindi connessa ai movimenti binoculari di vergenza. Viene determinata dal rapporto CA/A ed è circa 0,40D per angolo metrico (D/AM) nei giovani adulti¹.

Accomodazione tonica: Quando gli stimoli accomodativi sono assenti, per esempio al buio o in presenza di campo uniformemente illuminato, il muscolo ciliare è contratto minimamente con diametro pupillare ridotto, rappresenta così lo stato di riposo dell'accomodazione. Ha un valore che varia tra 0-4,00 D, si riduce con l'età a causa dei limiti biomeccanici del cristallino. È quindi da escludere che in condizioni di riposo l'accomodazione sia completamente assente¹.

Accomodazione prossimale dovuta all'influenza e alla presenza di un oggetto vicino. È stimolata da target posti entro tre metri dall'individuo.

2.1.2 Sistema Accomodativo: Triade Accomodativa

Il processo accomodativo comporta, come conseguenza, anche altri due fenomeni, quali la miosi pupillare e la convergenza. I tre processi insieme danno origine alla cosiddetta "triade accomodativa" (Hofstetter et al, 2000). Tra questi tre fenomeni, in particolare vi è una stretta relazione tra convergenza e accomodazione. Donders, per primo nel 1864, ne descrisse la relazione come "non casuale", sottolineandone tuttavia una certa indipendenza²⁰. Ames e Gliddon, nei loro studi, affermarono che accomodazione e convergenza fossero linearmente dipendenti e che non vi è alcuno stimolo di accomodazione che non provochi convergenza e viceversa²¹. Il legame tra accomodazione e convergenza è definito nello specifico dal rapporto CA/A (Convergence Accommodation/ Convergence), è sta a indicare quanta accomodazione (espressa in diottrie) viene indotta da uno stimolo di convergenza (espresso in diottrie prismatiche) (11). Invece, il legame definito dal rapporto AC/A (Accommodation Convergence/Accommodation) fa riferimento alla quantità di convergenza accomodativa (espressa in Diottrie prismatiche) indotta da uno stimolo accomodativo (espresso in diottrie). Questo si presenta durante la visione prossimale. Quando si osserva un oggetto posta alla distanza di 40 cm, lo stimolo accomodativo è pari a 2,50D, mentre

quello in convergenza è di 15 Dp. Tanto è minore la vicinanza dell'oggetto dal soggetto, maggiore è la richiesta di accomodazione e convergenza da parte del soggetto.

La miosi pupillare consiste, invece, nella contrazione del muscolo costrittore della pupilla ed è in relazione all'illuminazione ambientale e alla vicinanza dell'oggetto; infatti quando si avvicina un oggetto la pupilla si restringe (miosi), quando si allontana la pupilla si dilata (midriasi). Se c'è accomodazione, contemporaneamente c'è anche miosi ma non viceversa, pertanto in caso di afachia cioè quando l'accomodazione è soppressa c'è comunque la contrazione pupillare^{1,3}.

Gli squilibri nella relazione tra i due elementi chiave, quali convergenza e accomodazione, nella visione binoculare chiara e singola possono produrre forie o tropie significative²².

2.1.3 Lag e Lead Accomodativo

Sheard nel 1920 sottolineò che l'accomodazione appare, in condizione fisiologiche, in difetto rispetto al piano di osservazione di circa 0,50-0.75D²³. Questo difetto viene accettato come lag accomodativo e definito come un errore focale "ipermetropico" che non provoca sfuocamento in quanto non eccede mai la profondità di fuoco dell'occhio^{23,24}.

Cross, nel 1911, definì il lag accomodativo come la differenza diottrica tra lo stimolo accomodativo e la risposta accomodativa esercitata dal soggetto²⁵. Fichman e Waltom, invece, osservarono che il lag accomodativo è maggiormente evidente in quei soggetti che presentano un'alta convergenza accomodativa. Questi soggetti, in condizione monoculari, producono convergenza per stimolare l'accomodazione necessarie per una focalizzazione di un'immagine a distanza prossimale. Ne risulta che in condizioni binoculari lo stimolo di convergenza dà priorità alla fusione dell'immagine lasciando l'accomodazione in difetto²⁶.

Un soggetto che fissa un oggetto a 40 cm non è detto che accomodi 2,50D (valore dato dall'inverso della distanza cui l'oggetto si trova), l'accomodazione è come se lavorasse "a risparmio", il cristallino s'incurva il

necessario per avere una visione sufficiente per riconoscere i particolari dell'oggetto che si sta osservando.

Si assume che il lag si verifichi quando il sistema esercita una minima quantità di accomodazione sufficiente per fornire un'adeguata visione prossimale. Preso come norma un valore di lag compreso tra 0,50-0.75D, questo dato fornisce numerose informazioni su come funziona il sistema visivo di un soggetto durante un'attività prossimale^{25,26}.

Quando la risposta accomodativa è superiore alla domanda si parla di lead accomodativo (valore lag < 0.50D).

2.2 Teorie accomodative sullo sviluppo miopico

La miopia è un problema di salute pubblica mondiale. Tuttavia, la sua comprensione è incompleta e molti dei suoi aspetti preventivi e terapeutici rimangono controversi⁴⁰. Come è stato precedentemente affermato fattori genetici e ambientali possono assumere un ruolo potenziale nell'insorgenza della miopia. Ad oggi, però, l'esatto meccanismo che coinvolge il sistema visivo nello sviluppo della miopia è ancora incerto. Le ipotesi sull'eziologia della miopia sono state ampiamente riviste e discusse.

Il lavoro prossimale risulta essere un fattore primario, basato su fattori ambientali che portano all'eziologia della miopia, e che vede la miopia transitoria indotta dallo sforzo visivo nel vicino (NITM) come possibile componente che contribuisce⁴⁰.

Prove considerevoli fornite a sostegno dell'idea che NITM può essere un fattore nello sviluppo della miopia, piuttosto che riflettere semplicemente un'anomalia accomodativa, sono che i miopi sono particolarmente sensibili al NITM e, inoltre, dimostrano additività del NITM nel corso di un compito vicino prolungato. Inoltre i miopi dimostrano un prolungato, e in alcuni casi incompleto, decadimento del NITM a seguito della cessazione dell'attività vicina. Ciò era particolarmente vero in bambini molto piccoli (ad es. età compresa tra 4 e 9 anni). La nozione di decadimento incompleto di NITM è coerente con la teoria di Hung e Ciuffreda (2003, 2007) secondo cui cicli ripetuti di NITM decaduta in modo incompleta possono essere cause dell'insorgenza di miopia permanente⁴⁰. Un fattore documentato dunque da

tenere in considerazione è la relazione tra accomodazione e progressione miopica. Molti studi di ricerca sono stati fatti per verificare questa relazione, ma l'esatto meccanismo che spiega come l'accomodazione possa essere la causa dello sviluppo della miopia rimane ancora elusivo.

Secondo una ricerca eseguita da McBrien, Millodot (1986) e Gwiazda (1993), alcuni gruppi composti da soggetti miopi tendono ad accomodare meno con target vicini (lag accomodativo maggiore) rispetto ad altri gruppi con differenti errori refrattivi. I risultati delle loro indagini suggeriscono che, indipendentemente da influenze genetiche, un'accomodazione inaccurata può entrare a fare parte, o esserne la conseguenza, dello sviluppo della miopia²⁷.

L'ipotesi è che il sistema accomodativo e di conseguenza la risposta accomodativa di un soggetto siano in qualche modo responsabili dello sviluppo miopico. A sostenere questa teoria Cohn, nel 1866, identificò la miopia come un uso eccessivo di accomodazione nella sua teoria dell'uso-abuso, ossia che l'uso e l'abuso degli occhi fossero causa primaria di sviluppo miopico³⁰. Questa teoria suggeriva che l'insorgenza della miopia fosse un adattamento all'uso e abuso degli occhi durante una visione ravvicinata prolungata. Egli sosteneva che, poiché la maggiore prevalenza di miopia si verificava durante il processo educativo, l'insorgenza della miopia era correlata a un aumento delle attività prossimali (maggiore impegno cognitivo), come appunto lo studio o la lettura¹ e che quindi l'insorgenza della miopia fosse dovuta a un adattamento all'uso e abuso degli occhi durante una visione prossimale sostenuta³⁰.

Si sostiene che un'accomodazione prolungata durante un lavoro ravvicinato induca miopia. Ci sono però pochi dati provenienti da studi ben controllati a supporto di questa ipotesi. Tuttavia, una ridotta capacità di adattamento nell'accomodazione per target vicini è stata implicata nello sviluppo della miopia³⁷.

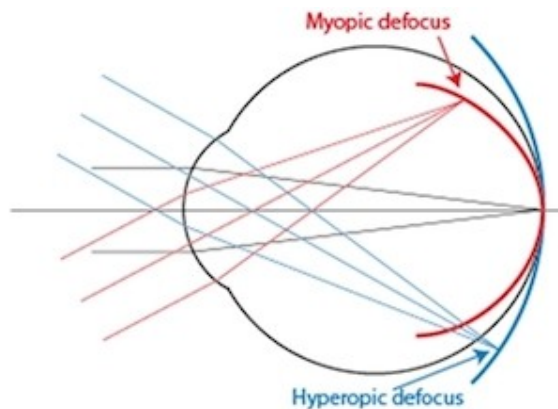
Recenti studi indicano che i bambini miopi in realtà mostrino una leggera sotto accomodazione verso target reali a distanza ravvicinata. Dati clinici suggeriscono che una riduzione dell'accomodazione può precedere lo sviluppo della miopia.

Una possibilità è che il lavoro prossimale per coloro che hanno un'accomodazione ridotta provochi una sfocatura cronica e che tale sfocatura

induca miopia. In questo scenario, la riduzione dell'accomodazione precede l'insorgenza della miopia, sebbene non sia ancora ben nota la relazione causale tra carenze accomodanti e miopia³⁸. Il fatto che i bambini miopi accomodino meno rispetto ai bambini emmetropi con target vicini è vero anche per gli adulti con miopia di recente insorgenza. Questo risultato suggerisce che si riscontra una ridotta capacità accomodativa per un periodo dopo e forse prima dell'insorgenza della miopia, a qualunque età si verifichi. Neville A. ha riferito in una ricerca, che molti bambini miopi recentemente hanno problemi di accomodazione che scompaiono quando la miopia si stabilizza³⁷.

Un'associazione tra un'attività lavorativa eseguita nel vicino e la miopia, ha portato alcuni studiosi, come Meredith L. Abbott a postulare che l'azione del cristallino, quindi dell'accomodazione, è coinvolta nello sviluppo e nella progressione miopica. Essi affermarono che la mancanza di una risposta accomodativa accurata equivale a una sfocatura retinica. È stato documentato, attraverso modelli animali, che il defocus della retina porta a un aumento della lunghezza dell'occhio e di conseguenza una progressione della miopia²⁸. Per defocus periferico ipermetropico si intende la condizione in cui i raggi luminosi che vanno a fuoco in corrispondenza della zona centrale della retina, in periferia vanno a fuoco posteriormente alla retina (vedi Fig. 3). Così la zona visiva centrale rimane emmetrope mentre in periferia si crea uno stato refrattivo ipermetropico, che porta a un allungamento bulbare (forma prolata) e conseguentemente a un aumento della miopia²⁹. Non a caso gli occhi miopi sono detti “più lunghi” e prolata rispetto agli occhi ipermetropi³⁵.

Un modo per comprendere l'ipotesi del defocus da un punto di vista funzionale è considerare l'accomodazione un meccanismo a breve termine per una chiara visione da vicino, mentre la miopia è un meccanismo a lungo termine sempre per una chiara visione da vicino¹. Un input visivo alterato può essere causa di miopia: è stato dimostrato che nei polli il defocus retinico indotto da lenti positive o negative può, rispettivamente, rallentare o accelerare. A seconda della direzione del defocus si induce ipermetropia o miopia. Tale effetto non è dovuto esclusivamente al processo di accomodazione, bensì al defocus stesso, perché l'effetto si verifica indipendentemente dal fatto che il soggetto preso in esame siano in grado di accomodare¹.



(Fig. 3, defocus miopico e ipermetropico)

Di recente, Gwiazda ha inoltre dimostrato in uno studio che i bambini miopi hanno una risposta accomodativa ridotta, quando vengono anteposte davanti agli occhi lenti negative, durante il periodo di progressione miopica, anche se il loro adattamento ai target prossimali è lo stesso di quello di soggetti emmetropi: la risposta accomodativa rientra nella norma per quanto concerne bersagli vicini e questo indica che lo è anche il loro sistema accomodativo. La mancanza di risposta al defocus indotto dalle lenti suggerisce però che i miopi potrebbero non rispondere in maniera specifica all'indicazione del defocus. In analisi eseguite da Neville dimostra che la risposta accomodativa al defocus è relativamente nella norma passato il primo periodo in cui il soggetto è diventato sempre più miope. Non è chiaro però se la mancata risposta accomodativa diventi causa di miopia o se invece sia solo un effetto secondario³⁷.

Un altro ipotetico meccanismo sullo sviluppo della miopia è stato anche suggerito da Goss e successivamente da Goss e Zhai: essi sostenevano che un individuo sottoposto a un impegno prossimale con un più alto lag accomodativo fosse più propenso a uno sviluppo miopico. Questo perché il lag accomodativo posiziona le immagini formate dal sistema ottico dell'occhio dietro la retina, di conseguenza la lunghezza assiale aumenta per la tendenza a posizionare l'immagine in retina³². Anche alcuni studi eseguiti da Wildsoet e successivamente anche da Norton su animali hanno rivelato che il defocus della retina ipermetropica stimola l'allungamento assiale in una vasta gamma di specie, tra cui pulcini, gatti e scimmie³². Di conseguenza, è stato suggerito che il lag accomodativo può fornire uno stimolo alla progressione miopica analogo a

quello del defocus ipermetropico, che induce la compensazione della crescita del bulbo oculare e porta a miopia. In realtà questa teoria si basa sull'ipotesi che il defocus retinico ipermetropico causi un elevato lag accomodativo durante le attività prossimale e che ciò comporti un'anomala lunghezza assiale. Questa ipotesi viene anche supportata da alcune osservazioni in cui i miopi mostravano una ridotta risposta accomodativa rispetto a soggetti emmetropi³⁴.

Uno studio riportato da Harby et al. riferisce che gli individui che preferiscono una lettura molto ravvicinata, sono più suscettibili all'insorgenza miopica in quanto sia le fluttuazioni accomodative che il lag sono maggiori³⁶.

Un articolo del 2006 condotto da Mutti, riporta un'analisi sul lag prima e dopo l'instaurarsi della miopia. Si tratta di uno studio di coorte su una popolazione di 1107 bambini di diversa etnia: 568 che sono diventati miopi, almeno di $-0,75D$ e 539 che sono rimasti sempre emmetropi, tra $-0,25 D$ e $+1,00D$. Il lag accomodativo è stato misurato annualmente con stimoli di $4 D$ o $2 D$. Il lag dei bambini che sono diventati miopi è stato comparato ogni anno per i 5 anni precedenti e 5 anni successivi alla comparsa dell'ametropia, con quelli di un modello emmetrope di stessa età, sesso ed etnia. Si è dimostrato che durante l'anno in cui la miopia si è instaurata il lag tra i nuovi miopi non era molto più alto di quello degli emmetropi per entrambi le tipologie di stimolo. Esso risultava però alto 4 anni prima dell'insorgenza della miopia e sicuramente molto elevato dopo l'anno della sua comparsa⁶⁴. La differenza di lag tra miopi ed emmetropi è maggiore soprattutto dopo che la miopia si è stabilita. Ciò fa sorgere dubbi riguardo l'influenza di questo fattore come predittore dell'ametropia.

Un aumento del lag accomodativo si è verificato nei bambini dopo l'inizio della miopia. È quindi improbabile che un elevato lag accomodativo sia un fattore predittivo per l'insorgenza della miopia. La formazione di defocus ipermetropico che deriva dal lag accomodativo può essere una conseguenza piuttosto che una causa di miopia⁶⁴. Se il lag è uno stimolo alla progressione dopo l'insorgenza di miopia, quelli con un lag maggiore dovrebbero prevedibilmente avere un tasso di progressione più rapido rispetto a quelli con lag inferiore³³.

Molte teorie sull'eziologia della miopia implicano che l'accomodazione e la convergenza sono fattori importanti nello sviluppo della miopia. Un fattore che è stato correlato allo sviluppo della miopia è lo stato eteroforico. Numerosi studi dimostrano che nei soggetti che indossano correzioni visive a visione singola, il tasso di progressione della miopia è leggermente più elevato nel gruppo esoforico rispetto ai gruppi ortoforici ed exoforici.

Uno scritto del 1996 di Goss evidenzia uno di shift tendente all'esoforia manifestatosi sia nel periodo precedente all'instaurarsi della miopia, sia nel il periodo appena successivo. Questo studio di coorte della durata complessiva di tre anni, con controlli ogni sei mesi, prende come campione bambini americani la cui foria è stata misurata attraverso il test di Von Graefe. In seguito, la deviazione rilevata è stata comparata con quella di un gruppo di soggetti rimasto emmetrope, e per ogni singolo soggetto sono state messe a confronto le eventuali variazioni di foria determinate durante i controlli effettuati. È emerso che i bambini con valori di esoforia da vicino al di fuori dell'intervallo compreso tra le 3Δ di exo e 1Δ di eso sarebbero stati coloro che avrebbero sviluppato miopia⁶⁵.

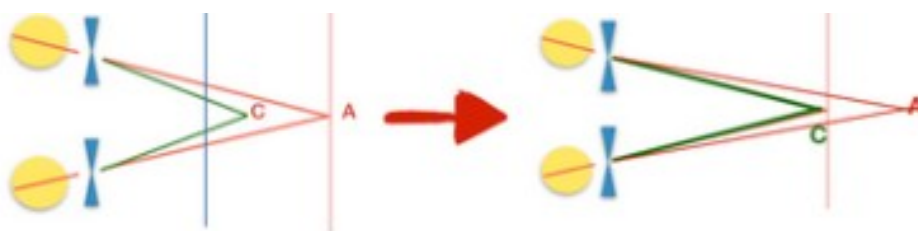
Pare che i soggetti esoforici siano dunque più sensibili ai cambiamenti miopi.

In uno studio seguito da Chung and Chong, prima dell'inizio della miopia, i bambini che sono diventati miopi hanno dimostrato un cambiamento più verso lo stato esoforico nella foria da vicino rispetto ai bambini che sono rimasti emmetropi. In questo studio retrospettivo sono stati selezionati in maniera casuale 144 soggetti i quali sono stati abbinati in termini di gruppi di età, sesso e razza in base alla classificazione di tre gruppi di foria.: maggiore di sei Δ di esoforia, tra zero e 6 Δ e assenza di esoforia. I risultati di questa indagine suggeriscono che la miopia media più alta si è verificata nel gruppo esoforico, minore miopia si è verificata nel gruppo di esoforia con oltre sei diottrie prismatiche e la minor miopia si è verificata nei soggetti ortoforici⁶².

Un'analisi dei dati da parte di Goss ha rivelato che il gruppo esoforico era significativamente più miope rispetto agli altri due gruppi di foria. Anche uno studio di Roberts e Banford era incline ai risultati dello studio precedente, mostrando una tendenza simile, cioè l'esoforia era associata a un più alto tasso di progressione o una miopia più elevata.

Goss e Zhai ipotizzarono un meccanismo per spiegare lo sviluppo della miopia: ipotizzarono che un individuo che lavora molto nel vicino al lavoro e il cui lag accomodativo è più alto rispetto alla norma, è più incline a sviluppare la miopia. In questo meccanismo, il tasso di allungamento assiale dell'occhio durante la crescita viene regolato per ottenere la massima chiarezza dell'immagine retinica. Se esiste un lag accomodativo durante l'osservazione nel prossimale, l'obiettivo del punto vicino è coniugato con un punto dietro la retina. La persona che lavora molto vicino durante le proprie attività e ha un lag maggiore del normale avrebbe un aumento del tasso di allungamento assiale dell'occhio e svilupperebbe la miopia. Questo meccanismo proposto da Goss e Zhai è stato supportato da molti degli studi recenti. Goss e Rainey hanno dimostrato che una risposta accomodativa più bassa (maggiore ritardo di accomodamento) era associata a una maggiore esoforia.

Secondo uno studio di Gwiazda del 1996, l'esoforia da vicino è legata allo sviluppo e alla progressione miopica nei bambini in due modi ipotetici: da una parte vede l'esoforia risulta secondaria a un'eccessiva accomodazione nel vicino che porta a pensare a un conseguente sviluppo miopico, dall'altra l'esoforia da vicino è legata a una sotto accomodazione che consente di mantenere una fusione binoculare⁴⁰. Per capire quale delle due ipotesi fosse la più compatibile Gwiazda misurò l'accomodazione e le forie in 18 miopi e 44 emmetropi, di età compresa tra i 7 e i 21 anni. Ne risultò che i bambini miopi con esoforia tendono ad accomodare meno nel vicino rispetto ai soggetti emmetropi exoforici, confermando la seconda ipotesi. Questo perché i bambini con esoforia nel vicino rilassano l'accomodazione per ridurre convergenza accomodativa e mantenere così una visione singola (vedi Fig 4). Si deduce che una ridotta accomodazione può produrre sfocamento durante un impiego prossimale, il quale può essere causa di insorgenza miopica⁶³.



(Fig.4)⁴⁷

A favore della prima tesi invece alcuni studi che testano la flessibilità accomodativa dei miopi. Nel 2001 O'Leary ha valutato la facilità accomodativa di 79 studenti, 42 emmetropi e 37 miopi, tra i 18 e i 27 anni. La facilità è stata misurata nel lontano e nel vicino per la durata di 1 minuto: il primo con una mira a 6 m di distanza e anteponendo e rimuovendo solamente una lente di -2,00 D, il secondo utilizzando un flipper $\pm 2,00$ D a 40 cm di distanza. I risultati evidenziano una risposta più lenta nei soggetti miopi, sia della flessibilità a distanza che prossimale. La facilità media nel lontano era di $9,7 \pm 6,3$ cpm per i miopi, mentre di $15,6 \pm 6,8$ cpm per gli emmetropi; nel vicino $11,4 \pm 5,1$ cpm per i miopi e $12,9 \pm 6,4$ cpm per gli emmetropi (meno rilevante). Inoltre la risposta al rilassamento accomodativo era temporalmente più lungo nei miopi⁶⁶. Anche in un'indagine di Radhakrishnan (2007) è stata misurata la flessibilità accomodativa lontana e vicina di un campione di 20 giovani adulti (tra i 20 e i 35 anni), 10 emmetropi e 10 miopi. Anche in questo caso la flessibilità era molto più lenta col positivo nei soggetti miopi, specialmente a distanza⁶⁷. Emerge una difficoltà nel rilassare l'accomodazione da parte di soggetti miopi. Questo fattore potrebbe indicare proprio un eccesso accomodativo, dove la risposta alle lenti positive è scarsa a causa di un temporaneo "spasmo" del muscolo ciliare. Si crea un rilassamento della convergenza (tendenza exoforica) col fine di distendere anche l'accomodazione.

Anche la convergenza durante i compiti vicini è stata associata allo sviluppo della miopia. Studi clinici riportano che un'esoforia nel prossimale accompagna la progressione della miopia nei bambini e forse addirittura precede il suo sviluppo.

Un bambino esoforico deve rilassare l'accomodazione per ridurre la convergenza accomodativa e quindi mantenere una visione binoculare singola. La riduzione dell'accomodazione può produrre una sfocatura durante il lavoro vicino, il che potrebbe portare ad un aumento della progressione della miopia esistente o allo sviluppo della miopia in un occhio emmetrope. Una riduzione dell'accomodazione potrebbe anche determinare elevati rapporti AC/A. Il legame tra accomodazione e la relativa convergenza è espresso dal rapporto AC/A (Accommodative Convergence e Accomodation), che esprime la quantità di

convergenza accomodativa indotta da una quantità di accomodazione (norma: $4/1 - 6/1 \Delta/D$)¹.

J. Gwiazda in due suoi studi, uno del 1999 e l'altro successivo del 2005, ha ottenuto valori più alti nei soggetti che stavano per sviluppare miopia. Il primo è stato eseguito su un campione di 101 soggetti tra i 5 e i 21 anni; di questi 33 erano già miopi (da -0,50 D a -7,75 D) e 68 emmetropi (da 0,25 D a +0,75), mentre nessuno era astigmatico o con anisometropia maggiore a 1,0 D. Da ciò è risultato che i valori di AC/A sono più elevati nei giovani miopi rispetto ai più adulti, e più in generale sono maggiori nel gruppo miope rispetto agli emmetropi. Il secondo studio invece è stato fatto su un campione di 80 bambini di età compresa tra i 6 e i 18 anni, 26 dei quali hanno sviluppato una miopia di almeno 0,50 D, e 54 rimasti emmetropi (da -0,25 a +0,75 D). I bambini che sono diventati miopi avevano un alto rapporto AC/A, se confrontato con gli emmetropi, già uno o due anni prima il manifestarsi della miopia e fino a un anno dopo. Questo è dovuto a una ridotta accomodazione dei soggetti miopi; la convergenza accomodativa era invece alta solamente all'instaurarsi della miopia²³.

Un'analisi effettuata da Mutti nel 2017, ha trovato un legame tra l'aumento di AC/A nei nuovi miopi e un maggior lag accomodativo, anche se questo non sembra influenzare la velocità di un'eventuale progressione miopica. Il legame tra questi due fattori può significare che l'aumento del rapporto AC/A non sia tanto dovuto alla convergenza accomodativa, quanto più alla componente dell'accomodazione⁶⁴.

Donders già nel 1864 sosteneva che la miopia fosse il risultato di un prolungato stress visivo durante un lavoro prossimale e di un allungamento del bulbo oculare. Similmente Kelly nel 1975 mise in evidenza il possibile ruolo dell'accomodazione come causa della miopia definendo quest'ultima "glaucoma espansivo giovanile", ossia una condizione portata dall'eccessivo lavoro prossimale che a sua volta era causa di un incremento della pressione intraoculare con espansione della camera vitrea³⁰. Young ha proposto l'ipotesi che durante il processo accomodativo si verifichi un gradiente di pressione intraoculare tra la camera anteriore e il vitreo. Questa osservazione è stata confermata in uno studio condotto da Young che ha impiantato un trasduttore di

pressione radioonde nella camera vitrea in due scimmie nemaca di Macaco. Egli ha dimostrato un aumento della pressione vitreale quando la distanza di fissazione si riduceva. L'aumento della camera vitrea era di circa 6 mm di mercurio quando si osservava un bersaglio a una distanza di 30 centimetri. Inoltre, questo aumento della pressione veniva mantenuto fintanto che la risposta dell'accomodazione era sostenuta, ma era diminuita quando l'accomodazione veniva rilassata.

Sulla base di alcuni studi di ingegneria delle forze meccaniche sulla sclera generate dai muscoli extraoculari e dall'accomodazione, Greene ha però concluso affermando che, è improbabile che l'accomodazione causi una forza meccanica significativa sulla sclera, ma che tale forza possa essere indotta dai muscoli extraoculari¹. Ulteriori prove sono state presentate mostrando in scimmie e uomini un aumento della pressione della camera vitrea durante accomodazione. L'aumento della pressione intraoculare ha mostrato essere una probabile causa dell'aumento della profondità della camera vitrea e di una conseguente miopia assiale. Una durata estesa del tono parasimpatico in seguito a un prolungato lavoro da vicino e una isteresi accomodativa cronica causata da tempi di risposta più lenti può supportare il meccanismo di allungamento assiale. Infatti in uno studio su dei gattini è stato dimostrato che piccole quantità croniche di accomodazione possono essere responsabili di un allungamento assiale³⁶.

Anche l'accomodazione tonica (TA) e il suo adattamento hanno suscitato un notevole interesse negli ultimi anni come fattore di rischio per la miopia e sono stati studiati in funzione dell'errore refrattivo. Ebenholtz ha proposto che l'isteresi di accomodazione tonica (TA), i cambiamenti che si verificano dopo un periodo di attenzione prolungata, possono essere un precursore dello sviluppo della miopia³¹. Nei primi studi è stato mostrato come i miopi abbiano livelli di TA più bassi e una maggior isteresi, mentre gli ipermetropi valori alti di TA e una minore isteresi. Quando un target vicino è usato per indurre un cambiamento nella TA, quest'ultima tende a mantenersi o ad aumentare con il tempo. Secondo alcuni studi ciò è dovuto a un deficit nell'inibizione del sistema simpatico. Lo stato di riposo dell'accomodazione rappresenterebbe un punto di equilibrio tra inibitori simpatici e innervazione parasimpatica del muscolo ciliare. Un possibile ruolo proposto per il sistema

simpatico è quello di ridurre gli effetti dell'isteresi accomodativa a seguito di un prolungato lavoro prossimale. Con il termine isteresi accomodativa si fa riferimento a un rilassamento incompleto dell'accomodazione dopo un periodo di fissazione, il livello finale di accomodazione che riflette la direzione e l'entità dello stimolo dell'accomodazione in vigore durante il periodo di fissazione (Ebenholtz,1983).

Alcune indagini condotte da Jane Gwiazda et al. hanno dimostrato che l'entità della TA sembra cambiare immediatamente dopo un periodo di fissazione sostenuta³¹. Secondo Ebenholtz un deficit nell'inibizione simpatica potrebbe predisporre un individuo allo sviluppo della miopia. Egli dimostrò che i cambiamenti di TA nella direzione di un target lontano tendono a dissiparsi velocemente, mentre i mutamenti nell'impegno prossimale molto più lentamente. Ebenholtz suggerì che questa asimmetria nel tasso di decadimento di TA dopo una messa a fuoco vicina e una lontana potrebbe aumentare il rischio di miopia³⁰.

La possibile relazione tra isteresi accomodativa e sviluppo della miopia ha portato un gruppo di ricercatori a suggerire che questo dovrebbe essere esaminato a lungo termine nel corso dello sviluppo della miopia e che alcune misure possono rivelarsi preventive nel ritardare la progressione miopica³⁰.

La miopia è diventata un grave problema di salute pubblica in tutto il mondo. I ricercatori hanno suggerito che vari fattori oculomotori possono essere correlati allo sviluppo, alla progressione e alla stabilizzazione della miopia, tra cui scarsa risposta accomodativa, diminuzione del tono accomodativo, diminuzione dell'ampiezza accomodativa, riduzione della struttura accomodativa, aumento dell'adattamento accomodativo, aumento della variabilità accomodativa. Sia la ricerca animale che quella umana hanno portato allo sviluppo di una teoria denominata "ipotesi di sfocatura". Questa teoria esposta da Mark Rosenfield in una recente analisi suggerisce che il defocus retinico causato da una sotto accomodazione può essere un fattore legato allo sviluppo e alla progressione della miopia⁴¹.

La miopia dunque dovrebbe essere vista non come un problema primario, ma come un cambiamento adattivo che si verifica in seguito a uno stress visivo³⁹.

Si può concludere affermando che vi sono vari fattori legati all'accomodazione che possono essere responsabili di uno sviluppo miopico, da una scarsa e ridotta risposta accomodativa, a una diminuzione del tono accomodativo, una diminuzione dell'ampiezza accomodativa, e una riduzione della struttura accomodativa. Una riduzione dell'accomodazione può produrre un defocus ipermetropico e anche una riduzione dell'isteresi accomodativa con conseguenti mutamenti nell'accomodazione tonica dopo un impiego prolungato nel prossimale (valori più alti di TA). Uno spostamento verso l'esoforia gioca anch'esso un ruolo importante nel sistema: un bambino con esoforia tende a rilassare l'accomodazione per cercare ridurre di la convergenza accomodativa per mantenere allo stesso tempo la visione binoculare singola (AC/A elevato). Anche la valutazione del lag accomodativo è di grande importanza, in quanto il miope risulta avere valori di lag elevati, rispetto agli ipermetropi o emmetropi, richiedendo un rilassamento all'accomodazione al fine di ridurre la convergenza, comune caratteristica dell'insufficienza accomodativa.

Vi sono dunque varie teorie sull'eziologia della miopia. Le due teorie principali, ambedue associate ad uno stress vicino nel prossimale, vedono la miopia causata da una diversa e opposta disfunzione accomodativa: alcuni parlano di eccesso accomodativo, che se mantenuto nel tempo provoca una pseudomiopia, possibile forma iniziale della miopia stessa. L'altra ipotesi invece vede un'insufficienza accomodativa come possibile fattore che porta all'insorgenza dell'ametropia. Negli studi sopra esposti si è riportata una progressione più veloce nei soggetti con esoforia prossimale. Ciò è accompagnato da una ridotta accomodazione, che comporta un maggior lag accomodativo. Questo porta a pensare che un bambino esoforico debba rilassare l'accomodazione per ridurre la convergenza accomodativa e mantenere allo stesso tempo la visione binoculare singola (AC/A alto).

CAPITOLO 3: GESTIONE MIOPICA

3.1 Il controllo della miopia

La miopia è uno dei difetti visivi più comuni nella nostra società. La prevalenza è quasi raddoppiata in tutto il mondo nel corso di due decenni e l'età di insorgenza sta diminuendo sempre più velocemente. Senza un continuo controllo efficace della miopia e senza misure preventive, quello che ci si aspetterà sarà un aumento eccessivo di miopia e le sue conseguenze interesseranno sempre più soggetti in futuro⁴³.

A causa di possibili rischi sulla salute oculare e dell'alta frequenza miopica che comporta una serie di conseguenze sul piano sociale, è stato di grande interesse da parte di alcuni ricercatori cercare capire la sua eziologia e come poterne rallentare la progressione. Lo scopo primario del controllo miopico è quello di ritardare l'insorgenza della miopia in giovane età, al fine di ridurre la gravità della condizione in età più matura⁴².

3.1.1 Metodi tradizionali per il controllo miopico

Ricercatori scientifici hanno tentato vari metodi per ridurre la progressione miopica, compresa la sottocorrezione dell'errore refrattivo, occhiali con lenti bifocali o multifocali, lenti rigide gas permeabili, lenti a contatto morbide e l'ortocheratologia.

La sottocorrezione della miopia è stata considerata una strategia per il ritardo della progressione miopica, in quanto riduce lo sforzo accomodativo e il lag accomodativo e quindi si crede che possa rallentare la progressione miopica. In realtà, secondo alcuni studi, la sottocorrezione di modesta entità (ad esempio 0,50D) dell'errore refrattivo potrebbe ridurre lo stimolo accomodativo e, a sua volta, ridurre la risposta accomodativa guidata dalla sfocatura necessaria per la chiarezza della visione da vicino senza molto sacrificio per la distanza⁵⁵.

Contrariamente a questa ipotesi però, in un'indagine svolta da Kahmeng Chung si è dimostrato che una sottocorrezione generale della miopia tende ad accelerare la progressione della miopia. Secondo questi studiosi è significativa una correzione

a distanza completa per la miopia, presa in combinazione magari con un'aggiunta progressiva per aiutare nel prossimale (Leung & Brown, 1999). La presenza di visione offuscata a qualsiasi distanza può stimolare la progressione della miopia: una stimolazione dell'allungamento degli occhi si verificherebbe in presenza di sfocatura⁵⁶.

Un'altra procedura che è da molto utilizzata è l'ortocheratologia o "trattamento cheratoformativo di precisione"⁵¹. Si tratta di un metodo di controllo che ha lo scopo di ridurre o eliminare la miopia attraverso lenti a contatto rigide gas permeabili per modificare la forma della cornea in modo da determinare un temporaneo miglioramento dell'acuità visiva naturale⁵¹.

In ortocheratologia, la cornea centrale viene appiattita, riducendo la miopia assiale, mentre la cornea mediana periferica rimane relativamente più ripida, portando alla miopia periferica relativa negli occhi miopi. La miopia periferica creata dall'ortocheratologia riduce il defocus ipermetropico periferico e questo può ridurre il feedback visivo per l'allungamento degli occhi, portando a una progressione miopica più lenta⁵⁷. Molti studi riportano che questo tipo di trattamento può rallentare la progressione miopica riducendo la crescita del bulbo di una media di 42% circa rispetto alla tradizionale correzione con lenti monofocali montate su occhiali, alla fine di due anni di trattamento.

Molte ricerche sono state eseguite anche per esaminare l'efficacia dell'effetto degli occhiali bifocali o multifocali sulla progressione della miopia. Gli oggetti lontani vengono visti attraverso la parte superiore della lente, mentre la parte inferiore della lente contiene il potere per la lettura prossimale; ciò permetterebbe di controllare la progressione della miopia riducendo o eliminando lo sforzo accomodante associato alla miopia. L'uso di lenti multifocali per la correzione della miopia anche nei giovani risale alla fine degli anni '40 del Novecento, con la speranza che questa tipologia di lenti potesse aiutare a bloccare lo sviluppo del difetto refrattivo. Le lenti multifocali influenzano la visione e i cambiamenti refrattivi riducendo la richiesta accomodativa durante l'attività prossimale e il defocus ipermetropico. Nonostante queste lenti riducono la richiesta accomodativa, ci sono pareri contrastanti tra cui quello che questa tipologia di lenti oftalmiche non possano controllare l'accomodazione a tutte le

distanze perché le zone di visione nitida sono solo due, vanificando o riducendo possibili effetti positivi della lente⁵².

Per quanto riguarda le lenti a contatto, queste hanno una lunga storia di utilizzo come correzioni ottiche dalla loro introduzione da parte di Eugen Fick nel 1888⁵². Le prime ad essere state utilizzate sono state le lenti rigide. In uno studio longitudinale quinquennale di Stone (1976) si notò un aumento medio della miopia di 1,75D nel gruppo di persone miopi corrette esclusivamente con occhiali, rispetto a quelle corrette con lenti a contatti rigide, in cui la miopia nel corso del tempo subì un decremento di 0.12D. Se da una parte lo studio di Stone ha messo in evidenza che l'uso di lenti a contatto rigide causa un rallentamento della progressione miopica, dall'altra però non chiariscono se i cambiamenti della curvatura corneale siano puramente temporanei e che quindi sia improbabile che il rallentamento della progressione della miopia sia permanente⁵¹.

Diversamente invece per le lenti a contatto morbide: in una recensione di una retrospettiva, Andreo ha esaminato gli effetti delle lenti a contatto morbide sulla miopia in pazienti di età compresa tra 14 e 19 anni per un periodo di 13 mesi. Non vi era alcuna differenza statisticamente significativa nel tasso di progressione della miopia tra coloro che indossavano lenti a contatto a tempo pieno e quelli che indossavano occhiali. Ad oggi, ci sono stati due studi prospettici, randomizzati, che hanno confrontato il tasso di progressione della miopia tra portatori di lenti a contatto e occhiali. Horner esaminò 175 adolescenti di età compresa tra 11 e 14 anni e non hanno trovato alcuna differenza negli errori di rifrazione tra portatori di occhiali e lenti a contatto morbide dopo 3 anni. Anche Walline esaminò la progressione della miopia nell'arco di 3 anni in 484 bambini di età compresa tra 8 e 11 anni e hanno concluso che l'uso di lenti a contatto morbide da parte dei bambini non provoca un aumento clinicamente rilevante di curvatura corneale o miopia rispetto al semplice all'occhiale monofocale⁵³, il quale è stato suggerito in uno studio di J.S. Wolffsohn (2016) inefficace per il controllo della miopia poiché induce defocus ipermetropico periferico, un fattore ipotizzato per favorire la crescita degli occhi⁶⁶.

Un effetto contrario risultano avere le lenti a contatto multifocali. Infatti nel 2011 è stata eseguita un'analisi da Walline J.J. su 40 bambini, dagli 8 agli 11 anni, con refrazione sferica da -1 D a -6 D e con astigmatismo minore di 1 D. I bambini

hanno utilizzato per due anni lenti a contatto morbide multifocali (bifocali ‘centro-lontano’) con un’addizione +2.00 D. Analizzando i dati alla fine del periodo di trattamento, gli studiosi si sono resi conto che i soggetti presentavano una riduzione della progressione miopica del 50% e dell’allungamento assiale del 29% rispetto al gruppo di controllo, composto da bambini di simile età e sesso che indossavano lenti a contatto monofocali o a visione singola .

Infine anche l’atropina, un farmaco midriatico e cicloplegico, viene utilizzato per il controllo miopico. Questo farmaco viene solitamente prescritto in concentrazione 0,01%, esclusivamente da un medico (in Italia), per garantire efficacia e minor effetti collaterali. In uno studio di Luis Tong si è dimostrato che l’atropina topica è stata ben tollerata ed è efficace nel rallentare la progressione della miopia bassa e moderata e dell’allungamento assiale oculare nei bambini asiatici, anche se l’esatto meccanismo del farmaco nell’inibizione della miopia è sconosciuto. Non è noto se il tasso più lento di progressione della miopia e l’allungamento della lunghezza assiale sarà mantenuto dopo l’interruzione del trattamento. L’atropina inibisce l’accomodazione con conseguente riduzione dell’acuità visiva. Non è noto, tuttavia, se l’uso prolungato di atropina provocherà una paralisi permanente dell’accomodazione o una riduzione accelerata della ampiezza accomodativa nel corso del tempo⁵⁹. Nonostante l’atropina 0.01% sia stata individuata come uno dei trattamenti più efficaci e con scarsi, ma non nulli, sintomi clinici, non sono state ancora identificate delle modalità terapeutiche ideali per rallentare la progressione miopica alla luce dell’efficacia, della sicurezza e della fattibilità economica (Huang J., 2016).

3.2 Visual Training Accomodativo

Vari professionisti e ricercatori hanno anche mostrato molto interesse per le tecniche che possono ridurre l’entità della miopia. Attualmente, sono stati esplorati una varietà di metodi per il controllo della miopia con successo variabile. Questa costante area di ricerca attiva ha fatto molti progressi nell’ultimo decennio. Uno di questi metodi è il visual training (VT).

Il visual training (VT) viene definito come “le procedure di rimedio e miglioramento usate per modificare la performance visiva” (AOA Board of

Trustees; Definition of vision training and rehabilitation; Giugno 2004). Il VT infatti è una serie di procedure prescritte dagli optometristi per migliorare alcuni tipi di problemi di vista che non possono essere aiutati solo con occhiali o con lenti a contatto. Il VT è un tipo di terapia fisica per gli occhi e il cervello altamente efficace per molti problemi visivi comuni che vengono corretti per migliorare la funzione visiva e le prestazioni dei soggetti. Il VT ha l'obiettivo di stabilire nuovi processi e relazioni che permettano di ricevere, elaborare e comprendere meglio l'informazione. Ciò consiste nella ripetizione quotidiana di determinati esercizi, al fine di arrivare all'automatizzazione e alla comprensione dei movimenti interessati. Attraverso un trattamento di VT non si va a lavorare soltanto sui muscoli estrinseci e sul sistema visivo, ma per via indiretta si lavora anche su muscoli intrinseci e sui sistemi vestibolare e propriocettivo⁶⁰.

Periodi brevi di training possono fornire miglioramenti nelle abilità del sistema che rimangono a lungo, tutto ciò grazie alle modificazioni che avvengono a livello sinaptico. Si definisce plasticità sinaptica una modificazione duratura nell'efficacia di una sinapsi, ed è oggi considerata la base cellulare della memoria e dell'apprendimento. La plasticità sinaptica può essere distinta in plasticità a breve o a lungo termine, a seconda che il cambiamento registrato perduri per pochi secondi o minuti, o si mantenga almeno per ore. Una modificazione del lavoro sinaptico attraverso il VT comporta una modificazione della memoria motoria vera e propria, principalmente se si lavora con un soggetto giovane, in cui la plasticità acquisisce un fattore di apprendimento maggiore⁶¹.

Come è stato detto in precedenza, le ore trascorse in attività prossimali sono causa di un maggiore sforzo da parte del sistema visivo.

I miopi sono contraddistinti da un alto valore di lag accomodativo e questo focalizza i raggi dietro la retina durante un lavoro nel vicino, potenzialmente agendo come presunto stimolo per una maggiore progressione miopica. Alcuni studi effettuati da Molly riportano che i soggetti miopi hanno una minore facilità accomodativa soprattutto per la distanza, incrementando la visione offuscata, passando dal vicino al lontano e questo fatto potrebbe essere predittivo per l'insorgenza della miopia. Data l'influenza della miopia sulla capacità accomodativa di un sistema visivo, un metodo di intervento da tenere in considerazione è il vision training di tipo accomodativo. Tutte le strategie di VT

accomodativo sono mirate a risolvere disfunzioni accomodative, come eccesso o insufficienza accomodativa e inerzia accomodativa e fanno riferimento ai seguenti principi base⁴⁶:

- sensazione da parte del soggetto dello stimolo e del rilassamento del sistema accomodativo;
- capacità di mettere a fuoco nel minor tempo possibile la mira osservata;
- se possibile far manipolare al soggetto le lenti anziché all'optometrista;
- procedere con i cambiamenti quando il soggetto padroneggia l'abilità visiva richiesta;
- cercare di uniformare la performance dei due occhi.

Il VT risulta essere più idoneo come trattamento quando è presente un eccesso accomodativo.

Quando si ha a che fare con un un'insufficienza accomodativa la persona spesso presenta affaticamento visivo da vicino, sensazione di bruciore e/o lacrimazione, annebbiamento visivo occasionale e astenopia, affaticamento e talvolta sonnolenza e tende ad evitare la lettura e il lavoro prossimale; generalmente l'ampiezza accomodativa è inferiore a quella attesa per l'età, il test del flipper accomodativo presenta negativo lento e può essere associata ad eccesso di convergenza (esoforia nel vicino), oltre a mostrare una buona accettabilità di positivo. Per cui è possibile intervenire prescrivendo un'addizione nel vicino.

Con un eccesso accomodativo invece, il soggetto riporta affaticamento visivo da vicino associato a sensazione bruciore, annebbiamento a distanza, soprattutto nel passaggio da vicino a lontano dopo molte ore di lavoro prossimale, astenopia. Il soggetto presenta una risposta dell'accomodazione superiore alla vergenza ottica dello stimolo oltre il lead fisiologico, possibile acuità visiva ridotta a distanza, flipper accomodativo con positivo lento. L'eccesso accomodativo è l'esatto opposto dell'insufficienza accomodativa. Il soggetto con eccesso accomodativo non ha difficoltà a portare il target più vicino, ma è lento ad allentare la messa a fuoco quando il bersaglio è a distanza, per questo ha una ridotta accettazione di positivo nel prossimale.

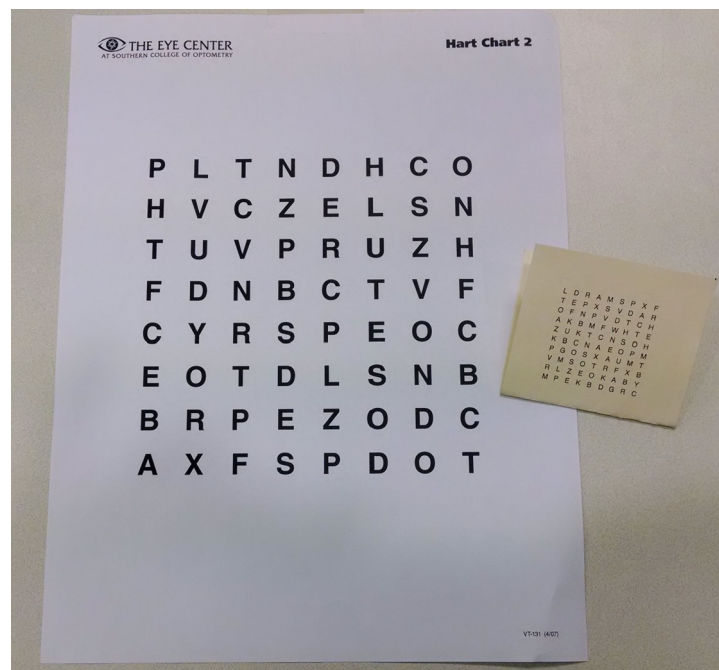
Una varietà di studi negli ultimi 45 anni ha dimostrato che il normale sistema accomodativo umano può essere allenato per migliorare l'accuratezza della risposta e ottimizzarne il tempo. Tale addestramento prevede principalmente un apprendimento motorio relativamente rapido, nonché un apprendimento percettivo molto più lento per valutare e rispondere in modo appropriato al segnale di sfocatura¹.

È stato ipotizzato che qualsiasi NITM residuo, non decomposto, possa alterare l'entità del defocus retinico in modo da aumentare il rischio di miopia e la sua progressione, quindi un aspetto preventivo potenzialmente importante di un programma di controllo della miopia basato sull'allenamento della vista sarebbe diretto a ridurre NITM immediatamente dopo il lavoro da vicino.

Solo uno studio condotto da Balamurali Vasudevan ha riportato informazioni sull'allenamento accomodativo in soggetti con NITM visivamente anormale e sintomatica. Cinque studenti miopi di optometria che hanno riportato sfocature transitorie nella distanza per 3 secondi o più dopo 15 minuti del lavoro sono stati messi alla prova e allenati. In media, hanno ricevuto 8 settimane di terapia visiva optometrica a domicilio. I soggetti hanno eseguito la formazione 5 giorni a settimana e poi sono tornati in studio ogni 7-10 giorni per la valutazione dei sintomi. Hanno eseguito procedure basate su test accomodative, in particolare flippers accomodativi (+/- 2D) a 40 cm e Hart Chart a distanza e nel vicino, in condizioni di visione sia monoculare che binoculare per 3 minuti per procedura per un totale di 18 minuti al giorno. Hanno fatto una media di 12 ore di allenamento durante il periodo di 8 settimane. Dopo la terapia, l'entità iniziale di NITM non è cambiata significativamente (0,43 D pre-allenamento e 0,57 D post-allenamento). Le costanti del tempo di decadimento successive all'allenamento hanno rivelato risultati contrastanti con solo alcuni soggetti che hanno mostrato un decadimento più rapido e una ridotta variabilità. Tuttavia, ci sono stati miglioramenti costanti e progressivi sia nella tabella clinica di Hart Chart sia nelle percentuali dei flippers accomodativi dell'obiettivo in ciascun soggetto. Inoltre, i sintomi si sono notevolmente ridotti in ogni soggetto. Questi risultati hanno dimostrato miglioramenti soggettivi, oggettivi e clinici della NITM in una parte dei soggetti dopo un periodo relativamente breve e solo moderatamente intenso di terapia della visione, con una correlata riduzione marcata dei sintomi⁴⁸.

Tra i test di VT accomodativo considerati più efficaci nell'allenare il sistema accomodativo risultano il Mental Minus, Hart chart e i flipper accomodativi +/- 2D.

L'Hart chart è una procedura che stimola il sistema accomodativo in condizioni di visione relativamente naturali⁴⁷. Questo esercizio prevede l'utilizzo di una tabella cartacea con dieci righe di lettere da dieci lettere ognuna, posta di fronte al soggetto in visione prossimale di circa 40 cm (dimensioni chart: 3,5x3,5 cm) e una tabella con lo stesso numero di righe e lettere posta in condizioni di visione in distanza 3 m (dimensione chart: 10x10 cm) (vedi Fig. 5). Il soggetto, in posizione eretta, deve leggere alternativamente una lettera sulla chart prossimale e una sulla chart da lontano, partendo dalla prima lettera in alto a sinistra. In questo modo è possibile modificare la richiesta accomodativa dovuta alle varie distanze di focalizzazione⁴⁹.



(Fig. 5, Hart Chart's per training optometrico, Optometry Times)

Il flipper accomodativo è uno strumento in cui sono inserite in un occhiale ribaltabile con manico a doppia lente sia lenti positive che negative e il soggetto deve mettere a fuoco il più velocemente possibile uno stimolo a distanza prossimale fissa (Fig.6). Questo test consiste nel valutare la flessibilità

accomodativa di un soggetto, ossia l'abilità del soggetto a mantenere una visione nitida durante la stimolazione e l'inibizione dell'accomodazione. Il test viene svolto in condizioni di visione prossimale (40 cm), utilizzando un ottotipo in cartoncino 0,62 M. Più cicli al minuto vengono eseguiti, più il sistema accomodativo del soggetto è flessibile. Può essere eseguito monocularmente o binocularmente: se eseguito in condizioni di visione monoculare, incorpora solo feedback visivi relativi alla sfocatura. Tuttavia, in condizioni binoculari, il feedback visivo sia relativo alla sfocatura che alla vergenza è presente e funziona in modo interattivo⁴⁷. Per stimolare il sistema dell'accomodazione si utilizzano lenti positive e negative, partendo da lenti con poteri più bassi fino ad aumentarne il valore una volta che il soggetto ha acquisito un certo livello di automazione nell'esecuzione⁴⁸.

Lo scopo di questo addestramento risulta simile a quello dell'Hart chart⁴⁷, ma a differenza di quest'ultimo l'obiettivo rimane fisso a una distanza.



(Fig.6, Flippers accomodativi, Vision Therapy at Primary EyeCare Associates)

Il Mental Minus invece è un esercizio che pone come obiettivo l'acquisizione di un ottimo controllo accomodativo a livello oculo-motorio e sensorio-motorio. Il Mental minus unisce la possibilità di sviluppare la flessibilità accomodativa alla

capacità da parte del soggetto di essere consapevole il più possibile del proprio sistema accomodativo, così da renderlo particolarmente cosciente e motivato nel proseguire la terapia man mano che si rende conto dei risultati ottenuti⁴⁹. Lo scopo di questa attività è quindi quello di sviluppare un migliore controllo della messa a fuoco in modo tale che le lettere sull'ottotipo a distanza di tre metri possano essere rese nitide o sfocate mentre si guardano attraverso lenti negative⁵⁰. Solitamente il Mental Minus viene eseguito in sei tappe⁴⁹:

- I step: coprire un occhio con un occlusore con un'inclinazione di 45° in modo tale da riuscire a osservare come si comporta l'occhio coperto. Chiedere al soggetto di guardare l'ottotipo in distanza e anteporre una lente negativa di potere -5D davanti all'occhio scoperto. Il soggetto dovrebbe essere riuscito a mettere a fuoco le lettere in distanza.
- II step: togliere la lente negativa da davanti all'occhio per qualche secondo e lasciare che il soggetto guardi in lontananza le lettere senza alcuna lente. Successivamente riposizionarla davanti all'occhio chiedendo di provare a mettere a fuoco le lettere. Quando queste sono a fuoco, controllare l'occhio coperto dall'occlusore. l'optometrista noterà miosi pupillare e l'occhio in posizione di convergenza.
- III step: tenere la lente negativa davanti all'occhio e chiedere al soggetto di provare a sfocare le lettere. Se l'occhio coperto dall'occlusore rimane fermo allora il soggetto avrà controllo sulla sua accomodazione. È bene ripetere la procedura fintanto che il paziente capisce cosa deve fare per inibire la sua risposta accomodativa.
- IV step: Il soggetto deve consapevolmente e coscientemente poter vedere nitido o sfocato con la lente negativa anteposta all'occhio scoperto per avere controllo ottimale della sua accomodazione. Il soggetto deve imparare a sapere variare il proprio potere diottrico attraverso la lente.
- V step: Chiedere di vedere la mira sfuocata in modo tale da poter vederla nitida quando la lente negativa viene anteposta all'occhio scoperto. In questo caso il paziente riesce a rilassare la sua accomodazione.
- VI step: privato dell'occlusore il soggetto deve riuscire a focalizzare alternativamente le lettere in distanza.

Uno studio riporta che sottoponendo dei soggetti miopi a un training basato principalmente sull'uso di flipper accomodativo e sull'Hart Chart dimostra l'efficacia del VT. Questi risultati sono coerenti con uno studio clinico condotto da Levine et al., che ha dimostrato che solo pochi minuti al giorno di esercizi che allenano il sistema accomodativo con flipper +/- 2,00 D si ottiene un notevole miglioramento della reattività globale nei giovani adulti asintomatici¹.

Uno studio effettuato da Balamurali mostra che dopo sei settimane di rieducazione visiva la facilità accomodativa risulta potenziata, diminuendo quella miopia transitoria che si presenta dopo una lunga attività prossimale, fattore che risulta essere responsabile per l'insorgenza e la progressione miopica⁴⁸. La durata del periodo di allenamento del sistema varia individualmente, in base all'abilità accomodante dell'individuo e a come il sistema risponde, fino al momento in cui i sintomi soggettivi sono scomparsi⁵⁴.

Lo studio condotto da Rosen aveva come obiettivo di verificare l'effetto dell'allenamento visivo su 29 soggetti miopi. I soggetti hanno ricevuto valutazioni optometriche complete prima di essere assegnati in modo casuale a uno dei tre gruppi sperimentali. Un gruppo ha ricevuto un programma di addestramento visivo con una componente di feedback e ricompensa, un altro gruppo ha ricevuto un addestramento visivo senza feedback e ricompensa e il terzo gruppo era il gruppo di controllo senza alcun trattamento. La formazione è durata sei settimane e i risultati hanno rivelato un significativo miglioramento dell'acuità visiva nei gruppi che ricevono formazione visiva.

Non sono state trovate vere e proprie conferme che attestino che il VT abbia un effetto sul rallentamento della progressione miopica, ma risulta avere un'efficacia nel riequilibrare e rafforzare le funzioni accomodative. È una parte integrante ed essenziale della pratica optometria, conosciuta in tutto il mondo, che permette un miglioramento e un'ottimizzazione delle abilità visive, alleviando i disturbi astenopeci che condizionano la quotidianità di un individuo, permettendo così di possedere una percezione visiva ottimale agevolando di conseguenza anche l'apprendimento.

CAPITOLO 4: CONCLUSIONI

La prevalenza della miopia nella fascia di età inferiore ai 30 anni è in aumento in molte parti del mondo. La miopia rappresenta una condizione refrattiva, frutto dell'interazione tra vari fattori ambientali e predisposizione genetica dei soggetti. L'importanza e l'influenza dei fattori ambientali però è diventata sempre più evidente con l'aumento delle ore trascorse nel prossimale che porta una percentuale sempre più alta di popolazione a richiedere al proprio sistema un maggiore sforzo visivo. È importante intervenire con trattamenti che prevedono, non solo la correzione, ma anche il controllo e la prevenzione miopica.

Diversi studiosi hanno tentato di identificare i meccanismi con cui un uso prolungato e inappropriato della visione da vicino possa intervenire nello sviluppo della miopia.

Tra le varie teorie presenti nella letteratura scientifica che vedono una relazione tra accomodazione e insorgenza miopica, vi è un fattore frequente che le accomuna, ossia un abuso dell'accomodazione, dato da un maggior sforzo visivo. L'accomodazione può rimanere parzialmente attiva per un tempo superiore al normale e, se ciò accade, alcuni soggetti potrebbero lamentare che, alternando la visione da vicino a lontano, la focalizzazione a distanza si presenta difficile in modo temporaneo. Questa situazione se conservata a lungo, conseguentemente sfocia in un'alterazione della condizione accomodativa in stato di riposo; non è tanto l'aumento dell'accomodazione che risulta essere essenziale nello sviluppo della miopia ma la mancanza di precisione nell'accomodazione da vicino. Questo stato accomodativo prolungato causa un'alterazione delle strutture anatomiche, facendo così diventare l'occhio anatomicamente miope. L'ipotesi per cui l'eccesso accomodativo si verifica nel miope ha inizio dunque da una distanza di lavoro ridotta e da un maggior sforzo cognitivo. Quest'ipotesi implicherebbe una sovrastimolazione dell'accomodazione, con difficoltà nel rilassamento.

D'altro canto però un'altra ipotesi sull'eziologia della miopia ricorrente nella letteratura scientifica risulta vede una correlazione tra miopia e insufficienza accomodativa; infatti dati clinici riportano una riduzione dell'accomodazione prima dell'inizio della miopia, con una elevata esoforia nel vicino (lag alto) e rapporto AC/A.

Da queste informazioni se ne deduce che sullo sviluppo miopia si discute ancora, e che vi sono più teorie riguardanti la sua comparsa.

Riassumendo, i valori che contraddistinguono il profilo visivo di un soggetto miope, rispetto a un emmetrope sono:

- Maggiore esoforia prossimale (a volte anche exoforia);
- Lag maggiore;
- Rapporto AC/A più alto;
- Flessibilità accomodativa bassa, più lento con lenti positive.

È necessario che il sistema accomodativo sia dinamico, rapido, preciso sia nell'input di stimolazione che di rilassamento, per garantire un'immagine ben focalizzata sulla retina e per evitare che un eventuale squilibrio possa diventare causa di insorgenza miopica. L'accomodazione è quindi una parte molto importante del nostro sistema visivo, pertanto deve essere stimolata e valutata in maniera corretta. Test optometrici che permettono di avere una valutazione del lag accomodativo, del rapporto AC/A, della flessibilità accomodativa (flippers +/- 2D), dell'ampiezza accomodativa, delle forie con relative vergenze e del PPA possono, nel loro insieme, dare un'idea al professionista su come il sistema accomodativo di un individuo, soprattutto se di giovane età, stia lavorando.

Indipendentemente da quale sia la causa dell'eziologia miopica, diventa importante far fronte a questo fenomeno introducendo alcune strategie di controllo e prevenzione. Il VT rappresenta un valido mezzo quando è presente una disfunzione accomodativa, in particolare nel caso di eccesso accomodativo, in cui l'accettazione di positivo nel prossimale è bassa. Può essere utile fare del training per migliorare per aumentare la flessibilità dell'accomodazione, aiutando così il sistema. È necessario, però, che la tipologia di allenamento non sia standardizzata per ogni persona, in quanto ogni soggetto ha esigenze diverse. Deve essere creato e modificato in base all'individuo con il quale si ha a che fare, considerando le sue carenze nel sistema visivo, ma anche la motivazione e la tenacia che dimostra impiegare nel percorso intrapreso; per questo è necessario un maggior dialogo tra utente e optometrista. È importante per la prevenzione anche consigliare alcune norme di buona pratica come cercare di mantenere una

postura corretta e una distanza di lavoro adeguata quando si trascorrono molte ore nel prossimale, con un'adeguata illuminazione, per cercare di minimizzare le eventuali problematiche che possono insorgere, ma soprattutto si consiglia ai soggetti di sottoporsi a controlli visivi periodici. Questi suggerimenti non rappresentano la soluzione definitiva ai problemi visivi causati da stress accomodativo ma risultano essere una prevenzione per gestire il sistema accomodativo migliorandone e rafforzandone le abilità. Prevenire possibili disturbi visivi, permette all'individuo di svolgere in modo efficace e confortevole le attività visuo-motorie e visuo-percettive che l'ambiente circostante richiede.

BIBLIOGRAFIA

1. William J. Benjamin; *Borish's clinical Refraction*, Seconda edizione, Butterworth Heinemann, 2006.
2. Rossetti A, Gheller P.; *Manuale di optometria e contattologia*, Seconda Edizione, Zanichelli, 2003.
3. Bucci M. G.; *Oftalmologia*, Prima edizione, Universo, 1993, Sue editore.
4. Butterworth Heinemann, *Optics of the human eye*; D. Atchison e G. Smith; 2000;
5. Robert H. Kennedy, *Progression of Myopia*.
6. Virginie J.M Verhoeven, *WHAT CAUSES MYOPIA?*, Complex genetics and epidemiology of a common condition, 2015.
7. Christos Theophanous, Bobeck Modjtahedi, Michael Batech, David Marlin, Tiffany Q. Loung, Donald S. Fong, *Myopia prevalence and risk Factors in Children*, Clinical Ophthalmology 2018:12 1581-1587.
8. Min C., Aimin Wu, Zhang L., Wang W., Xinyi C., Xiaoning Yu, Kaijun W., *The Increasing prevalence of myopia and high myopia among high school students in Fenghua city, eastern China: a 15-years population-based survey*, Chen et al. BMC Ophthalmology (2018).
9. PJ. Foster, Y: Jiang, *Epidemiology of myopia*, Eye (2014) 28, 202-208.
10. Aldo Vagge, Lorenzo F. Desideri, Paolo Nucci, Massimiliano Serafino, Giuseppe Giannaccare, and Carlo E. Traverso, *Prevention of Progression in Myopia: A Systematic Review*, Diseases 2018,6,92.
11. S. Vitale, R. Sperduto e 3. F. Ferris, *Increased prevalence of myopia in the United States between 1971-1972 and 1999-2004*, Arch Ophthalmol 2009; 127(12): 1632– 1639, Arch Ophthalmol, vol. 127, pp. 1632-1639, 2009.
12. O. Parssinen, *The increased prevalence of myopia in Finland*, Acta Ophthalmol, vol. 90, pp. 497-502, 2012.

13. Jeffrey Cooper, M.S., O.D, F.A.A.O and Andrei V. Tkatchenko, M.D., Ph.D., *A Review of Current Concepts of the Etiology and Treatment of Myopia*, Eye and Contact Lens, Vol.44, Number 4, July 2018 Helena M., Culhane and Barry Winn, *Dynamic Accomodation and Myopia*, IOVIS, August 1999, Vol 40, No.9.
14. Qingjiong ZhangState Kev, *Insight into the molecular genetics of myopia*, Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun-Yat-sen University Guanzhou, China.
15. Ip JM, Saw SM, Rose KA et al. *Role of near work in myopia: findings in a sample Australian School children*, Invest Ophthalmol Vis Sci 2008; 49:2903-2910
16. Jones-Jordan LA, Mitchell GL, Cotter SA et al., *Visual Activity before and after the onset of juvenile myopia*, Invest Ophthalmol Vis Sci 2011; 52:1841-1850.
17. W Neil Charman, *Myopia, posture and the visual environment*, Faculty of Life Sciences, University of Manchester, Ophthalmic Physiol Opt 2011, 31, 494–501.
18. Cohen y, Belkin M, Yehezkel O, Solomon AS & Polat U., *Dependence between light intensity and refractive development under light-dark cycles*, Exp Eye Res 2011; 92: 40-46.
19. Li Deng and Yi Pang, MD, OD, *Effect of Outdoor Activities in Myopia Control: Meta-analysis of Clinical Studies*, Optom Vis Sci 2019;96:276–282.
20. *Genetic and environmental effects on myopia development and progression”, Eye (2014) 28, 126–133.*
21. Donders, F.C, *The anomalies of accomodation and refraction of the eye*, London: The new Sydenham society, 1864.110.
22. Ames A, Gliddon P., *Ocular measurements*, Trans. Sect. Ophthal. A.M.A, 1928, 26:1.

23. Donald O. Mutti, G. Lynn Mitchell, Lisa A. Jones-Jordan, Susan A. Cotter, Robert N. Kleinstejn, Ruth E. Manny, J. Daniel Twelker, Karla Zadnik, *The Response AC/A Ratio Before and After the Onset of Myopia*, IOVS, March 2017, Vol.58, No. 3.
24. Sheard C., *Dinamyc Skiametry and methods of testing the accomodation, and convergence of the eyes*, Chicago: Cleveland Press, 1920
25. Nakatsuka C., Hasebe S., Nonaka F., Ohtsuki H., *Accomodative lag under habitual seeing condition: comparison between adult myopes and emmetropes*, Japanese Journ, Opt Vol. 47, 2003, PP. 291-298.
26. Marta Brunelli, Enzo Caccioppoli, Luca Caccioppoli, Agostino Morigi, Marco Osti, *L'importanza del Lag Accomodativo nel modello visivo funzionale*, Marzo 2001.
27. E.F. Fincham, J. Walton, *The reciprocal action of accommodation and convergence*, J.Physiol 1957 137, 488-508.
28. Meredith L. Abbott, Katrina L. Schmid, Nial C. Strang, *Differences in the accommodation stimulus response curves of adult myopes and emmetropes*, Centre of Eye Research, School of Optometry, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, Ophthal. Physiol. Opt. Vol 18, No. 1, pp. 13-20, 1998.
29. Lan Weizhong, Yang Zhikuan, Liu Wen, Chen Xiang and Ge Jian, *A longitudinal study on the relationship between myopia development and near accommodation lag in myopic children*, State Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, China, Ophthal. Physiol. Opt. 2008 28: 57–61.
30. Dott. Riccardo Grigoletto, Relatore Dott.ssa Dominga O., *Il controllo della miopia*, Review estratta dalla tesi di laurea in Ottica e Optometria, 03/12/2013, collaborazione con Società Optometrica Italiano SOPTI.
31. Jane Gwiazda, Joseph Bauer, Frank Thorn, Richard Held, *Shift in tonic accomodation after near work are related to refractive errors in children*, Ophthal. Physiol. Opt. Vol.15, No. 2, pp. 93-97, 1995.

32. Mark Rosenfield, Kenneth Ciuffreda', George K. Hung and Bernard Gilmartin, *Tonic accommodation: a review, Accommodative adaptation and clinical aspect*, Ophthal. Physiol. Opt., 1994, Vol. 14, 265-277, July.
33. Young F.A, *The development and control of myopia in human and subhuman primates*; Contacto; 1975, Vol 19, pp. 29-35, Primary Care Optometry.
34. David A. Berntsen, Donald O. Mutti, Karla Zadnik , *Study of Theories about Myopia Progression (STAMP) Design and Baseline Data*, Vol. 87, NO.11, PP. 823-832, Optometry and Vision Science.
35. L. Weizhong, *A longitudinal study on the relationship between myopia development and near accommodation lag in myopic children*, Ophthalmic and Physiological Optics, Vol. 28, n.1, PP. 57-61, 2008.
36. E.L.S III, *Peripheral Vision Can Influence Eye Growth and Refractive Development in Infant Monkeys*, Investigative Ophthalmology and Visual Science, Vol.33, n.3, pp 355-361, 2003.
37. Neville A., McBrien, Michel Milldor, *The Relationship Between Tonic Accomodation and Refractive Error*, Investigate Ophthalmology and Vision Science/June 1987.
38. Helena M., Culhane and Barry Winn, *Dynamic Accomodation and Myopia*, IOVIS, August 1999, Vol 40, No.9.
39. Jane Gwiazda, Kenneth Grice, Richard Held, Frank Thorn and Joseph Bauren, *Insufficient Accommodation and Near Esophoria: Precursors or Concomitants of Juvenile-Onset Myopia?*”, Proceedings of the 6th International Conference on Myopia, Takashi Tokoro,1998.
40. Jane Gwiazda, Frank Thorn, Joseph Bauern, Richard Held, *Myopic Children Show Insufficient Accomodative Response to Blur*, Investigative Ophthalmology and Visual Science, March 1993, Vol. 34, No.3.
41. Mark Rosenfield, *Synkinesis of accommodation and vergence during sustained near vision*, The University of Aston Birmingham, March 1988.

42. Kenneth J. Ciuffreda and Balamurali Vasudevan, *Nearwork-induced transient myopia (NITM) and permanent myopia – is there a link?*, Ophthal. Physiol. Opt. 2008 28: 103–114, Department of Vision Sciences, SUNY/State College of Optometry, USA).
43. Martin Ming-Leung Ma,¹ Mitchell Scheiman, Cuiyun Su, and Xiang Chen, *Effect of Vision Therapy on Accommodation in Myopic Chinese Children*, Journal of Ophthalmology Volume 2016, Article ID 1202469, Pg 9.
44. Samia A. Abdel Rahman Mohamed, *Vision Therapy-Based Program for Myopia Control in Adolescents*, Department of Health Rehabilitation Sciences, College of Applied Medical Sciences, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, Middle-East Journal of Scientific Research 13 (3): 390-396, 2013).
45. Ann Yi-Chiun Chuang, *How to effectively manage myopia*, Taiwan J Ophthalmol 2017; 7: 44-47.
46. Molly J Smith, Jeffrey J Walline, *Controlling myopia progression in children and adolescents*, Adolescent Health, Medicine and Therapeutics, 13 agosto 2015.
47. Formenti M.; Dispense corso Tecniche fisiche per l'optometria 2: "Vision Training"; Università degli Studi di Padova – CdL in Ottica e Optometria; A.A. 2012/2013.
48. Balamurali Vasudevan, Kenneth J. Ciuffreda, Diana P. Ludlam, *Accommodative Training to Reduce Nearwork Induced Transient Myopia*, Optometry and Vision Science, Vol. 86, No. 11, November 2009;
49. Formenti M., Dispense e slides corso Tecniche Fisiche per l'optometria II, Università degli studi di Padova – CdL in Ottica e Optometria, A.A 2017-2018.
50. Vision-Training- Mental+Minus, EyeQ Optometrists, PDF.

51. Lupelli L., Fletcher R., Rossi A.L, *Contattologia, una guida clinica*, I° Edizione, 1998.
52. S M Saw, G Gazzard, K-G Au Eong, D T H Tan, *Myopia: attempts to arrest progression*, *J Ophthalmol*2002;86:1306–1311.
53. Christine F. Wildsoet, Audrey Chia, Pauline Cho, Jeremy A. Guggenheim, Jan Roelof Polling, Scott Read, Padmaja Sankaridurg, Seang-Mei Saw, Klaus Trier, Jeffrey J. Walline, Pei-Chang Wu, and James S. Wolffsohn, *IMI – Interventions for Controlling Myopia Onset and Progression Report*, *IOVS Special Issues*, Vol. 60, No.
54. Bertil Sterner, Maths Abrahamsson and Anderssjostrom, *Accommodative facility training with a long term follow up in a sample of school aged children showingaccommodative dysfunction*, *Documenta Ophthalmologica* 99:93–101, 1999.
55. Balamurali Vasudevan, Christina Esposito, Cody Peterson, Cory Coronado, Kenneth J. Ciuffreda, *Under-correction of human myopia -Is it myopigenic?: A retrospective analysis of clinical refraction data*, *Journal of optometry* (2014) 7, 147-152.
56. Kahmeng Chunga, Norhani Mohidina, Daniel J. Oleary, *Undercorrection of myopia enhances rather than inhibitsmyopia progression*, *Vision Research* 42 (2002) 2555–2559.
57. Jun-Kang Si, Kai Tang, Hong-Sheng Bi, Da-Dong Guo, Jun-Guo Guo, and Xing-Rong Wang, *Orthokeratology for Myopia Control: A Meta-analysis*, *Optometry and Vision Science*, VOL. 92, NO. 3, PP. 252-257.
58. Samia A. Abdel Rahman Mohamed, *Vision Therapy-Based Program for Myopia Control in Adolescents*, *Middle-East Journal of Scientific Research* 13 (3): 390-396, 2013.
59. Louis Tong, Xiao Ling Huang, Angeline L. T. Koh, Xiaoe Zhang, Donald T. H. Tan, Wei-Han Chua, *Atropine for the Treatment of Childhood Myopia: Effect on Myopia Progression after Cessation of Atropine*, *Ophthalmology Volume 116, Number 3, March 2009*.

60. Pilar Plou Campo; *Basi neurofisiologiche del Vision Training*; AlOeO, Torino, 2015.
61. Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, William C. Hall, Anthony-Samuel La Mantia, Leonard E. White; *Neuroscienze*.
62. Kah Meng Chung , Eileen Chong BOptom, *Near esophoria is associated with high myopia*, Clinical and Experimental Optometry 83.2 March-April 2000.
63. Jane Gwiazda, Kenneth Grice and Frank Thorn, *Response AC/A ratios are elevated in myopic children*, Ophthal. Physiol. Opt. Vol. 19, No. 2, pp. 173-179, 1999.
64. Donald O. Mutti, G. Lynn Mitchell,¹ John R. Hayes, Lisa A. Jones, Melvin L. Moeschberger, Susan A. Cotter, Robert N. Kleinstejn, Ruth E. Manny, J. Daniel Twelker,⁶ Karla Zadnik, and the CLEERE Study Group, *Accommodative Lag before and after the Onset of Myopia*, IOVS, March 2006, Vol. 47, No. 3.
65. D. A. Goss, T. W. Jackson; *Clinical findings before the onset of myopia in youth: 3. Heterophoria*; Optometry and Vision Science; 1996; 73(4); 269 – 78.
66. D. J. O'Leary, P. M. Allen; *Facility of accommodation in myopia*; *Ophthalmic Physiological Optics*; 2001; 21(5); 352 – 355.
67. H. Radhakrishnan, P. M. Allen, W. N. Charman; *Dynamics of Accommodative Facility in Myopes*; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2007; 48; 4375 – 4382.

RINGRAZIAMENTI

Il ringraziamento più importante lo devo ai miei genitori, Donatella e Urbano, che con il loro sostegno e con i loro sacrifici mi hanno permesso di intraprendere questo percorso. Li ringrazio per il loro continuo supporto e per aver creduto in me anche questa volta e per essere i genitori meravigliosi che sono.

Ringrazio mia sorella, Lisa, che mi è sempre stata accanto e che in questi tre anni mi ha accompagnato per mano, spronandomi a non mollare quando le situazioni sembravano difficili.

Ringrazio le mie amiche, Anna e Veronica, per esserci sempre per me e soprattutto per esserci state nei momenti belli e brutti di questo percorso.

Infine ringrazio Pietro, per avermi fatto da spalla, su cui sapevo di potermi sempre appoggiare.

