

Università degli Studi di Napoli “Federico II”

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

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”



Laurea triennale in Ottica e Optometria

**L'applicazione di lenti a contatto sclerali su
superfici oculari anomale e possibili impieghi
in età pediatrica.**

Relatori:

Prof. Stanislao Reppucci

Candidato:

Eleonora Ferraiuolo

Matricola: M44000677

A.A. 2020/2021

*“La meta è questa: mettermi sempre là dove io possa servir meglio,
dove la mia indole, la mia qualità, le mie doti trovino il terreno migliore,
il più largo campo d'azione.”*

-H. Hesse

Indice

Introduzione	5
Capitolo uno: L'occhio umano	7
1.1 Anatomia del bulbo oculare	7
1.2 La superficie oculare anteriore	8
1. Cornea	8
2. Sclera	10
3. Congiuntiva	10
1.3 Irregolarità della superficie oculare anteriore	12
1. Cheratocono	12
2. DMP	13
3. Superfici post-operatorie	14
4. Ustioni e lesioni chimiche	15
Capitolo due: Le lenti a contatto	16
2.1 Valutazioni pre-applicative	16
1. Anamnesi e Refrazione	16
2. Test lacrimali	17
3. Topografia e pachimetria corneale	20
2.2 Scelta della lac	22
Capitolo tre: Le lenti sclerali	24
3.1 Cenni storici	24
3.2 Caratteristiche geometriche e strutturali	25
1. Geometria sferica	25
2. Geometria torica	26

3. Lenti derivate da calco oculare	27
3.3 Materiali	28
3.4 Tecniche applicative	30
3.5 Complicanze	32
Capitolo quattro: Vantaggi dell'uso di lac sclerali	35
4.1 Confronto con lenti a piccolo diametro	35
4.2 Valutazioni post applicative	37
Capitolo cinque: Impieghi in età pediatrica	39
5.1 Contattologia pediatrica	39
5.2 L'applicazione di lac sclerali in età pediatrica	40
5.3 Complicanze durante l'applicazione in età pediatrica	42
Conclusioni	44
Bibliografia e sitografia	45

Introduzione

La contattologia è una disciplina che con il trascorrere degli anni, ha subito forti cambiamenti per assicurare a tutti i portatori una visione ed un comfort ottimali. Lo studio dei materiali, le caratteristiche strutturali e geometriche, i metodi applicativi e le valutazioni post-applicative sono solo alcuni dei fattori da prendere in considerazione per la scelta della lente a contatto ideale.

Particolarmente complessa è la valutazione di casi con irregolarità corneali di diversa natura per assicurare una protezione adeguata alla morfologia del tessuto corneale.

Questo lavoro di tesi nasce dalla necessità e la voglia di mostrare l'enorme potenziale e beneficio che l'applicazione di lenti a contatto sclerali può portare al soggetto che le utilizza. L'applicazione di lenti a contatto con un diametro di grandi dimensioni, infatti, potendo avere appoggio sulla sclera, riesce a preservare l'integrità della cornea ed a sfruttare in modo ottimale la riserva lacrimale ad essa sottostante. Il mio interesse è stato poi ulteriormente intensificato dalla realizzazione che nonostante la loro origine sia antica, addirittura considerate le prime lenti a contatto progettate, le lenti a contatto sclerali sono poco conosciute ed utilizzate, coprendo solo una piccola percentuale del mercato totale.

Lo scopo di questo elaborato è mostrare in modo chiaro come le lenti a contatto sclerali gas-permeabili rappresentano una valida scelta, prestando principalmente attenzione ai casi di irregolarità o anomalie della superficie oculare anteriore (come cheratoconi, DMP, cornee post-cheratoplastica...) e alla possibilità di utilizzare tali lenti anche in età pediatrica per preservare l'evoluzione dell'anatomia corneale.

La tesi si articola in 5 capitoli:

Il primo capitolo è incentrato sulla struttura del sistema visivo e sui vari elementi anatomici che lo compongono. Nella seconda parte, sono presentate alcune delle anomalie della superficie oculare anteriore tra le più trattate con le lenti a contatto sclerali.

Il secondo capitolo tratta il tema della contattologia generale, partendo dalle valutazioni pre-applicative che sono fondamentali per la scelta della lente a contatto giusta per il soggetto che andiamo a considerare.

Nel terzo capitolo si analizzano le caratteristiche delle lenti a contatto sclerali, dalle geometrie ai materiali e alle tecniche applicative individuali.

Segue il quarto capitolo che analizza i vantaggi dell'uso delle lenti a contatto sclerali, confrontando il loro adattamento con quello delle lenti a diametro minore e valutando i benefici che riescono a dare al portatore.

Infine, il quinto capitolo, illustra i casi in cui è possibile applicare le lenti a contatto sclerali anche in età pediatrica per proteggere la superficie corneale e limbare del bambino e la sua normale evoluzione.

1 - L'occhio umano

1.1 Anatomia del bulbo oculare

L'occhio, o bulbo oculare, è l'organo fotosensibile dell'organismo, specializzato per la localizzazione e l'analisi della luce. È uno sferoide il cui diametro anteroposteriore medio è di 24 mm, ed è un organo formato dalla sovrapposizione di tre tonache: la tonaca nervosa (o

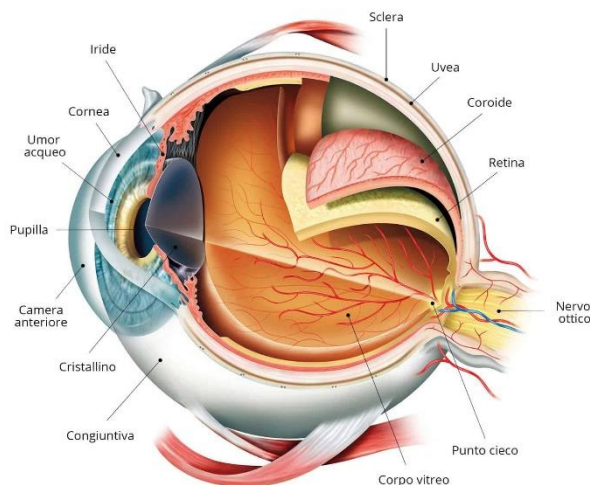


Figura 1: Rappresentazione grafica dell'anatomia oculare
www.oculistampa.it/occhio/fantasma-occhio/

retina), la tonaca vascolare (o uvea) e la tonaca fibrosa. La più profonda delle tre membrane è la retina che è distinta in due porzioni: una anteriore che rappresenta la parte cieca, l'altra posteriore, altamente specializzata, in cui si trovano i fotorecettori: i coni ed i bastoncelli. I coni sono adibiti alla visione diurna e cromatica mentre i bastoncelli sono riservati per la visione in ambienti poco illuminati. Nei bastoncelli il pigmento è la rodopsina mentre nei coni sono presenti pigmenti sensibili alle tre lunghezze

d'onda elettromagnetiche : blu, verde e rossa. I fotorecettori sono, quindi, cellule nervose che trasformano uno stimolo luminoso in segnali elettrici che attraverso il nervo ottico, arrivano alla corteccia cerebrale. Estremamente importante è la fovea che si presenta come un piccolo incavo per la presenza di cellule gangliari e dei coni e “che rappresenta il centro della più acuta visione dell'occhio.”(-Enciclopedia Treccani).

La tonaca vascolare è lo strato intermedio ed è formato da corioide, corpo ciliare e iride. La corioide è una membrana sottile e costituisce la prima porzione dell'uvea, in superficie è ricoperta dalla sclera con l'interposizione dello spazio pericorioide. La corioide è formata da tre strati principali: lo strato vascolare, costituito da arterie e vene di varie dimensioni, lo strato coriocapillare, che è occupato da una rete di vasi sanguigni e provvede alla nutrizione della retina e la membrana di Bruch che è sottoposta all'epitelio pigmentato retinico. Il corpo ciliare è una struttura a forma di anello larga 6 mm, aderente alla sclera e si divide in parte uveale e parte epiteliale: la prima comprende le parti tissutali della corioide e il muscolo ciliare (che insieme alla zonula di Zinn è coinvolto nel processo di accomodazione). La parte epiteliale invece comprende i processi ciliari. L'iride è una membrana costituita da tessuto connettivo lasso pigmentato e vascularizzato. Essa regola la quantità di luce che penetra attraverso il suo

foro, la pupilla. Il muscolo sfintere, infatti, contraendosi restringe il diametro della pupilla e causa la miosi mentre il muscolo dilatatore della pupilla esegue il lavoro opposto, determinando la midriasi cioè la dilatazione della pupilla. L'apparato rifrangente dell'occhio è composto dalla cornea, camera anteriore e posteriore, il cristallino ed il corpo vitreo. Il cristallino è una lente biconvessa e trasparente con un indice di rifrazione medio di 1,3599 che dista 0,5 mm dal corpo ciliare ed appoggia anteriormente all'iride e posteriormente al vitreo. La sua principale funzione è l'accomodazione e insieme alla cornea fa convergere i raggi luminosi provenienti da oggetti lontani sui fotorecettori della retina. Il corpo vitreo è posizionato tra il cristallino e la retina ed è costituito da una sostanza amorfa, gelatinosa e trasparente che si divide in una fase solida, formata da sottili fibrille di collagene posizionate in una rete irregolare e una fase liquida, fatta da acqua e acido ialuronico.

La tonaca fibrosa è lo strato più esterno e presenta una zona posteriore (la sclera) e una zona anteriore (la cornea). Essa per le qualità che la caratterizza, dà forma all'occhio e ha una funzione meccanica e protettiva delle strutture interne.

1.2 La superficie oculare anteriore

1.2-1 La cornea

La cornea è una struttura trasparente, priva di vasi sanguigni che riceve nutrimenti dal limbus sclerocorneale e dal film lacrimale. La porzione esterna della cornea è ellittica, presentando la corda verticale di circa 10,6 mm e quella orizzontale di 11,7 mm. Quest'ultimo valore rappresenta anche il diametro uniforme della parte corneale interna che è invece circolare. Inoltre, la curvatura esterna ha un raggio superiore rispetto al raggio della curvatura interna e di conseguenza lo spessore risulta minore al centro (0,52 mm) e maggiore alla periferia (0,67 mm) (Maurice, 1957 da "Manuale di optometria e contattologia", 2003) dando alla cornea la forma di una lente a menisco negativa. Nella zona centrale della superficie corneale, chiamata zona ottica o area visiva, la superficie corneale ha un potere di circa 49 diottrie. La superficie corneale posteriore ha un potere negativo di circa 6 diottrie. Il potere totale della cornea è quindi di circa 43 diottrie, che costituisce più di due terzi del potere totale del diottro oculare costituito dalla cornea e dal cristallino (Paliaga, 2008).



- L'epitelio
- La membrana limitante anteriore (o membrana di Bowman)
- Lo stroma corneale
- La membrana limitante posteriore (o membrana di Descemet.
- L'endotelio.

La membrana di Bowman è una lamina acellulare con spessore compreso tra 8 e 14 micron, ed è formata da fibre collagene striate disposte casualmente. È caratterizzata da una resistenza ai traumi e alle infezioni e una lesione a questo livello, o a quelli successivi, può terminare in un leucoma.

9

La membrana di Descemet è la membrana basale dell'epitelio corneale. Le cellule che la compongono sono cellule endoteliali, pavimentose, tenute insieme in modo discontinuo tanto da consentire il continuo scambio di nutrienti con la camera anteriore, alla quale sono collegate.

L'endotelio forma lo strato più interno della cornea a contatto con l'umor acqueo ed è costituito da circa 400.000 - 500.000 cellule. Le cellule hanno forma esagonale e non possono rinnovarsi. Poiché sono collegate le une alle altre a livello apicale attraverso giunture strette e presentano una parete laterale con nodi intercellulari, si viene a creare una barriera anatomica che impedisce il passaggio di grosse molecole di umor acqueo.

1.2-2 La sclera

La sclera rappresenta i 5/6 della tunica fibrosa, è parzialmente visibile dall'esterno e avvolge l'intero bulbo oculare. La sclera ha uno spessore di 0,4 – 0,5 mm al margine anteriore e 1 – 2 mm a quello posteriore. È costituita da fasci di fibre connettivali che decorrono in diverse direzioni e parallele alla superficie e questo dona rigidità alla struttura e permette ai tendini dei muscoli oculari estrinseci che controllano i movimenti oculari, di trovare una connessione adeguata. La sclera è un tessuto non vascolarizzato in cui sono presenti vasi sanguigni ma solo per raggiungere la tunica uveale. Contrariamente, l'episclera che è una membrana fibrovascolare molto sottile, contiene numerosi vasi sanguigni che si rendono ben visibili in corso di processi infiammatori (flogistici). La sclera ha rapporti internamente con l'uvea e, nella porzione anteriore, con il corpo ciliare e la radice dell'iride. Posteriormente invece presenta il passaggio per il nervo ottico, dove risulta costituita da fibre connettivali che si intersecano tra loro, originando tanti piccoli orifizi attraverso i quali passano i fasci di fibre del nervo ottico.

1.2-3 La congiuntiva

La congiuntiva è una membrana mucosa vascolarizzata che ricopre la superficie anteriore del bulbo oculare e anche la superficie interna delle palpebre. Possiamo suddividere la congiuntiva in tre parti fondamentali: Parte bulbare, parte palpebrale, fornice superiore ed inferiore. La prima ricopre la sclera ed essendo trasparente ci permette di vedere la sclera bianca che è posta al di sotto di essa. È in contatto con il limbus ed i tendini dei muscoli retti ma permette al bulbo oculare di ruotare in diverse direzioni poiché la restante porzione è libera. La parte palpebrale è

strettamente aderente al tarso e ai margini palpebrali. La fornice superiore ed inferiore ha la funzione di collegare la congiuntiva bulbare e palpebrale ripiegandosi su se stessa. Il fornice superiore dista 8 – 10 mm dal limbus sclerocorneale mentre quello inferiore circa 8 mm.

La congiuntiva bulbare riceve vascolarizzazione per la maggior parte dai rami congiuntivali delle arterie ciliari anteriori mentre la congiuntiva palpebrale riceve rifornimento arterioso dalle ramificazioni del circolo arterioso presenti nelle palpebre. La congiuntiva dei fornici superiore ed inferiore riceve le branche arteriose dalle regioni bulbare e palpebrale.

La congiuntiva protegge l'integrità del bulbo oculare e le cellule caliciformi producono muco che costituisce parte del film lacrimale. La mobilità del bulbo oculare avviene grazie alla struttura della mucosa congiuntivale e al film lacrimale che permettono lo scorrimento tra bulbo e palpebra. La congiuntiva è anche la sorgente di riflessi, quale l'aumento della produzione lacrimale come meccanismo protettivo che permette la diluizione ed il lavaggio di sostanze estranee. (Rossetti e Gheller, 2003)

1.3 Irregolarità della superficie oculare anteriore

(Le irregolarità della superficie oculare anteriore che andrò a considerare in questo capitolo sono alcune delle anomalie superficiali più trattate con le lenti a contatto sclerali gas-permeabili.)

1.3-1 Cheratocono

Il cheratocono (termine formato dalle due parole greche: KERATOS = Cornea e KONOS = Cono) è una patologia corneale, non infiammatoria, caratterizzata dal progressivo assottigliamento della superficie corneale e protrusione della cornea [Fig. 3] . Questi cambiamenti nella forma della cornea inducono progressive modifiche refrattive che si traducono

generalmente nella comparsa di un astigmatismo irregolare, miopia e successivo graduale peggioramento dell'acuità visiva. I sintomi più comuni del Cheratocono sono rappresentati dalla fotofobia e da una significativa riduzione della qualità visiva con distorsione dell'immagine provocata dalla deformazione corneale come visione sfocata, sdoppiamento delle immagini, percezioni di aloni, scie luminose intorno alle sorgenti di luce. È caratterizzato inoltre dallo sviluppo delle opacità del cono che, in particolar modo nei cheratoconi avanzati,

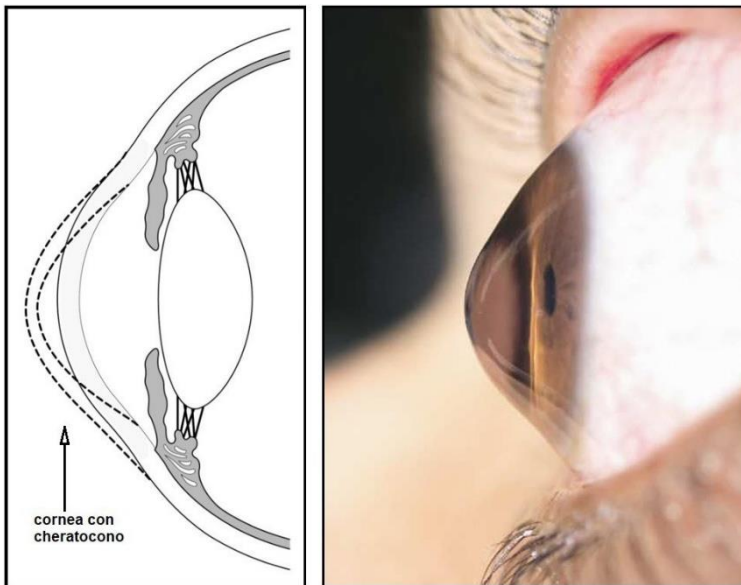


Figura 3: Cambiamento della superficie corneale affetta da Cheratocono
<http://www.ugodanctis.com/cheratocono/>

rendono difficile una misurazione accurata del visus.

Vi sono varie tipologie di classificazione per valutare lo stadio evolutivo del Cheratocono.

Le tre classificazioni di norma più utilizzate sono quella di Amsler (che considera il raggio di curvatura e l'angolo di Amsler), quella di Rama (che si basa sulla possibilità di correggere il difetto di vista provocato dal cheratocono) e quella di Krumeich (che è basata su astigmatismo, potere diottrico, trasparenza e pachimetria corneale).

Quest'ultima, che considera diversi fattori, è strutturata in questo modo:

STADIO 1

- Miopia e/o astigmatismo < 5 D;
- K reading max < 48 D;
- Pachimetria > 500 micron ;

STADIO 2

- Miopia e/o astigmatismo $> 5 < 8$ D;
- K reading max < 53 D;
- Assenza di cicatrici corneali ;
- Pachimetria > 400 micron ;

STADIO 3

- Miopia e/o astigmatismo indotto > 8 D < 10 D;
- K reading max > 53 D ;
- Assenza di cicatrici corneali;
- Pachimetria 200-400 micron;

STADIO 4

- Refrazione non misurabile
- K reading max > 55 D ;
- Cicatrici corneali ;
- Spessore corneale inferiore a 200 micron ;

1.3-2 Degenerazione marginale pellucida

La degenerazione marginale pellucida (o DMP) è una malattia della cornea che, pur possedendo alcune caratteristiche peculiari, rientra, insieme al cheratocono nel quadro generale delle ectasie corneali. È caratterizzata da uno sfiancamento della cornea in media periferia e da una fascia a forma di mezzaluna di assottigliamento corneale inferiore che si avvicina al 20% dello spessore normale. Nonostante sia una condizione rara, è il secondo disturbo di assottigliamento corneale non infiammatorio più comune dopo il cheratocono. È importante anche considerare che, poiché ci sono molti punti di somiglianza tra la DMP ed il cheratocono, si ipotizza che la condizione è

spesso erroneamente diagnosticata come cheratocono e che circa il dieci per cento dei casi di DMP sono associati al cheratocono.



Figura 4: Sezione ottica di una DMP https://eyewiki.aao.org/Pellucid_Marginal_Corneal_Degeneration



Figura 5: Sezione ottica di un cheratocono <https://www.saveriozucchi.it/cheratocono-terapia-milano-genova/>

1.3-3 Superfici oculari post-operatorie

La chirurgia refrattiva è tecnica chirurgica che corregge i difetti visivi, intervenendo sulla struttura della cornea, che in presenza di vizi refrattivi, come miopia, ipermetropia o astigmatismo, genera un difetto di focalizzazione delle immagini sulla retina.

Nel 1977 il medico russo Svjatoslav Fëdorov inventò i tagli corneali (cheratotomia radiale o RK) per appiattire la cornea troppo curva nei soggetti miopi. Questo metodo è stato poi superato dall'utilizzo di tecnologie laser e già a partire dal 1990 furono effettuati i primi interventi intrastromali LASIK. Tra i principali metodi di intervento troviamo:

La cheratectomia fotorefrattiva (PRK) in cui si asporta momentaneamente lo strato epiteliale esterno e poi si assottiglia la cornea con l'utilizzo del laser;

La chirurgia intrastromale (LASIK) che prevede il taglio di un lembo di cornea e l'esecuzione del rimodellamento laser al di sotto dello stesso lembo prima di essere riposizionato;

Gli anelli intracorneali (INTACS) che sono segmenti di plastica inseriti nello spessore corneale per correggere miopia e astigmatismo, ma sono indicati soprattutto per l'astigmatismo irregolare del cheratocono, per il quale la chirurgia refrattiva è controindicata.

Di estrema importanza è il trapianto corneale (o cheratoplastica), un intervento rivolto a tutte le patologie della cornea che riducono l'acuità visiva, come opacità del tessuto corneale o per una sua distorsione. L'intervento consiste nella sostituzione del tessuto danneggiato con una

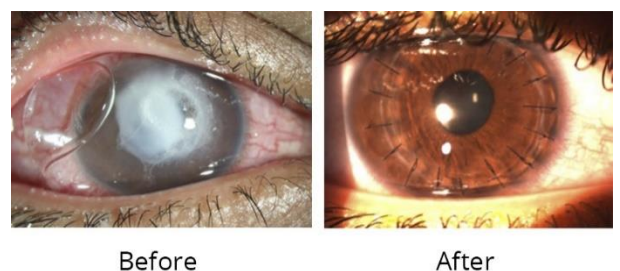


Figura 6: Occhio prima e dopo il trapianto corneale. <https://www.astroeye.com/en/cornea/deep-anterior-lamellar-keratoplasty-dALK>

cornea di donatore. Il tipo di trapianto di cornea che si effettua dipende da quale parte della cornea è danneggiata o da quanta parte della cornea deve essere sostituita. Consideriamo, quindi, tre metodi principali:

cheratoplastica penetrante (PK), un trapianto a che sostituisce l'intero spessore corneale;

cheratoplastica lamellare anteriore profonda, sostituzione o rimodellamento degli strati esterno e medio (anteriore) della cornea;

cheratoplastica endoteliale, sostituzione degli strati più profondi (posteriori) della cornea.

Ogni intervento chirurgico implica delle modifiche anatomiche, strutturali e del profilo topografico che può rendere irregolare l'andamento superficiale.

1.3-4 Ustioni o lesioni chimiche

Le ustioni o lesioni chimiche della superficie oculare possono essere causa di irregolarità strutturali e funzionali. In generale, la differenza tra le sostanze che rappresentano una minaccia a lungo termine e le sostanze che provocano solo dolore e/o disagio è determinata dalla scala del pH, che misura il livello di acidità o basicità di una sostanza. Le sostanze acide possono causare molto dolore e arrossamento agli occhi, ma spesso possono essere risciacquate con relativa facilità mentre le sostanze chimiche basiche possono portare a problematiche più importanti. Le sostanze basiche, infatti, non sono limitate dalla loro capacità di attraversare i tessuti e reagiscono con l'acqua in modo tale da creare più calore, peggiorando il dolore e la gravità dell'ustione. Le sostanze chimiche alcaline in particolare possono causare cambiamenti alla superficie oculare, inclusa la cornea, e quindi problemi alla visione.

2 - Le lenti a contatto

2.1 Valutazioni pre-applicative

2.1-1 Anamnesi e Refrazione

L'anamnesi è l'approccio primario ad un soggetto che si affida a noi e verte principalmente sull'identificazione del problema visivo e della storia del caso. È anche importante per capire se il soggetto è adatto a portare le lenti a contatto ed è utile chiedere informazioni che riguardano lo stile di vita quotidiano come il lavoro, gli hobby e le conseguenti abitudini visive per valutare la relazione tra richiesta visiva e disturbo. Si prosegue con domande riguardanti la salute oculare da collegare spesso all'età della persona o alla sua condizione familiare e genetica come l'eventuale uso di farmaci, infezioni, allergie e/o interventi chirurgici a cui è stato sottoposto. Inoltre, se il soggetto ha precedentemente utilizzato le lenti a contatto, è fondamentale chiedere il tipo, la modalità, le ore di uso e se sono state riscontrate complicazioni.

Dopo un quadro chiaro della storia del caso, si può proseguire con l'esame refrattivo oggettivo e soggettivo che va eseguito allo stesso modo del controllo finalizzato alla prescrizione per occhiale e quindi ha l'obiettivo di valutare l'acuità visiva del soggetto. Ovviamente vi sono fattori specifici da valutare come l'adeguatezza della condizione oculare del soggetto ad indossare una lente a contatto e valutare l'attività accomodativa del soggetto in base al vizio refrattivo che lo caratterizza. Un ipermetrope corretto con occhiali utilizza una quantità di accomodazione maggiore di quella necessaria nell'ipermetrope corretto con lenti a contatto e per i miopi accade il contrario, quindi per mettere a fuoco a distanza prossimale, utilizza una quantità di accomodazione maggiore il soggetto miope corretto con lenti a contatto rispetto a quella necessaria utilizzando gli occhiali. Ne consegue che gli ipermetropi portatori di lenti a contatto risentono più tardi dei disturbi della presbiopia mentre nei miopi, l'utilizzo di lac anticipa l'insorgenza di questi disturbi.

2.1-2 Test lacrimali

L'applicazione delle lenti a contatto è legata anche alla condizione normale del film lacrimale che incide anche sulla scelta del materiale. Ad esempio le lenti morbide vengono scelte spesso nei casi di lacrimazione buona a livello quantitativo e qualitativo e, nel caso in cui la lacrimazione è appena sufficiente, si tende a scegliere una lente a bassa idratazione e ionica. Le lenti a contatto rigide non verranno consigliate a pazienti che presentano ipersensibilità verso il corpo estraneo e non è consigliato l'uso di lac a pazienti che presentano scarsa lacrimazione e una chiara fragilità epiteliale (Rossetti e Gheller, 2003).

Durante la valutazione del film lacrimale, è fondamentale l'utilizzo del biomicroscopio (o lampada a fessura) che permette di esaminare il segmento anteriore dell'occhio in modo non invasivo ed in visione stereoscopica. Questo è uno degli strumenti più frequentemente utilizzati nella pratica contattologica per valutazioni prima, durante e dopo l'applicazione di una lente a contatto. Nella fase pre-applicativa, si osserverà principalmente l'occhio esterno con basso ingrandimento e bassa intensità luminosa mentre l'esame della cornea inizia dall'epitelio e si conclude con la valutazione dell'endotelio.

I metodi per esaminare il film lacrimale si dividono in quantitativi e qualitativi. I primi valutano la quantità di secrezione e i secondi la funzionalità e stabilità di essa. I test quantitativi sono: esame dei menischi lacrimali, test di Jones, test di Shirmer 1, 2 e 3, e turn-over della secrezione lacrimale. I test qualitativi, invece, sono: test di dinamica lacrimale, test interferenziale e spettrografico, test del rosa bengala, del verde lissamina, BUT e NIBUT, test della linea nera, del PH, test del lisozima, test di Dohlmann e della felcizzazione. Tra tutti questi test, è importante sottolineare che alcuni sono più utilizzati di altri per fattori che comprendono l'invasività o la funzionalità del test ed alcuni sono esclusivamente a base medica per l'utilizzo di anestesia o procedure simili.

Per l'esame dei menischi lacrimali si utilizza il biomicroscopio con l'oculare millimetrato e la fluoresceina. Dopo due o tre secondi dall'ultimo ammiccamento, si valuta lo spessore del menisco lacrimale i cui parametri regolari sono 0,2-0,3 mm.

Il test di Schirmer 1 misura la secrezione basale e riflessa e si esegue inserendo una strisciolina di carta bibula nel fornice congiuntivale inferiore tempiale. Dopo cinque minuti si misura la porzione bagnata (esclusa la parte della strisciolina ripiegata) e valori inferiori a 5 mm in

cinque minuti, sono considerati patologici. Si può eseguire il test anche in un minuto e moltiplicare il risultato ottenuto per tre.

Il test di Jones o della secrezione basale, viene eseguito allo stesso modo dello Shirmer 1 ma si aggiunge una goccia di anestetico locale per fermare la secrezione riflessa ed il valore medio è 15 mm in cinque minuti.

Il test di Shirmer 2, invece, misura solo la secrezione riflessa. Si installa l'anestetico, si inserisce la strisciolina di carta bibula e per stimolare la lacrimazione si strofina la mucosa nasale con un batuffolino di cotone. Dopo due minuti, si misura il risultato e al di sotto dei 15 mm, la lacrimazione riflessa si può considerare ridotta.

Infine, il test quantitativo del turn-over della secrezione lacrimale ha l'obiettivo di esaminare il tempo necessario affinché il film lacrimale sia totalmente ricambiato e si esegue istillando della fluoresceina sulla superficie oculare e osservando con la lampada a fessura quando essa va a scomparire del tutto. In un soggetto normale il tempo necessario è 10-15 minuti.

Per quanto riguarda i test qualitativi, partendo dal test di dinamica lacrimale, questo è un test non invasivo finalizzato ad analizzare la viscosità del film lacrimale. Utilizzando la lampada a fessura con illuminazione diretta e speculare, si focalizzano le particelle presenti sulla superficie e, dopo aver chiesto al paziente di ammiccare, si osserva la velocità delle particelle lacrimali: un film più viscoso renderà più lento il movimento di ascensione delle particelle.

Il test interferenziale e spettrografico utilizza l'osservazione dei fenomeni di interferenza e spettrometria che i tre strati del film lacrimale creano per osservare spessore e qualità della stratificazione della fase lipidica.

Un altro test importante per la valutazione della qualità lacrimale dell'individuo è il test del rosa bengala poiché quest'ultimo colora selettivamente le cellule epiteliali degenerate o morte (che possono essere causate da una secrezione lacrimale ridotta) e nelle zone superficiali danneggiate compaiono macchie rosa. Un'alternativa a questo test è il test del verde di lissamina che provoca meno fastidio al soggetto rispetto al rosa bengala.

Il BUT (break up time) o tempo di rottura indica la stabilità del film precorneale. Dopo aver instillato la fluoresceina ed invitato il soggetto ad ammiccare, si chiede di rimanere ad occhi aperti guardando dritto. Si analizza il tempo intercorso tra l'ultimo ammiccamento e la comparsa della prima zona secca (dry spot) priva di fluoresceina. Un tempo di rottura compreso tra 15 e 20 secondi è considerato stabile.

L'NIBUT è la valutazione del tempo di rottura ma non invasiva, quindi senza l'utilizzo di fluoresceina e si possono utilizzare diversi strumenti come il tear-scope, il topografo o l'oftalmometro. In quest'ultimo, dopo l'ammiccamento, la prima distorsione dell'immagine della mira rappresenta il primo dry spot e un valore di 18 secondi è considerato normale.

Nel test della linea nera, grazie all'uso della fluoresceina e il movimento di diffusione dello strato lipidico verso il centro corneale, si evidenzia un assottigliamento lineare del film lacrimale che forma una "linea nera" adiacente al menisco lacrimale inferiore. L'andamento anomalo del margine superiore della black line può indicare uno spessore incostante del film lacrimale.

Il test del PH può essere eseguito in diversi modi tra i quali l'utilizzo di un pHmetro, per misurare il valore del PH lacrimale che è normalmente compreso tra 6,8 e 7,4. Questo test è importante per valutare le variazioni patologiche dell'epitelio mentre il test del lisozima, è importante per assicurarsi che non ci sia bassa concentrazione di questa proteina poiché potrebbe causare l'esposizione a infezioni ricorrenti.

Il test di Dohlmann è per il dosaggio dei mucopolisaccaridi in cui si utilizza una strisciolina di carta bibula con particolari caratteristiche che in un soggetto normale dovrebbe colorarsi di rosa se è stata posta nel fornice inferiore in precedenza.

Infine, il test della felcizzazione (o ferning test), che è possibile eseguire grazie alla caratteristica del muco di cristallizzarsi se viene fatto asciugare a temperatura ambiente e più risulta fitta la felcizzazione, più la concentrazione di muco è equilibrato.

2.1-3 Topografia e pachimetria corneale.

La topografia corneale è una valutazione fondamentale per analizzare l'andamento della superficie oculare del soggetto a cui andremo ad applicare la lente a contatto, specialmente a coloro che presentano anomalie. La topografia corneale consente di misurare la curvatura di tutta la superficie corneale anteriore a differenza dei cheratometri tradizionali che limitano le loro misurazioni ad una piccola porzione centrale della cornea del diametro di circa 3-4 millimetri (Paliaga, 2008). Il topografo corneale o videocheratoscopio è uno strumento che sfrutta la proprietà riflettente della cornea ed è formato da una testa ad anelli concentrici (anche detti anelli di Placido) presenti su una superficie conica e al centro è posta una telecamera che riprende la riflessione sulla cornea. L'informazione dell'andamento della superficie viene poi elaborata e rappresentata con una mappa cromatica dove i colori caldi indicano un andamento corneale più curvo ed i colori freddi un andamento corneale più piatto. Questi sono fattori che incidono direttamente sulla geometria della lente a contatto da selezionare e rendono possibile il monitoraggio di eventuali variazioni della topografia corneale nel tempo, che possono essere causate dall'uso di lenti a contatto o dall'avanzare di condizioni degenerative. La sola analisi della mappa corneale, con l'osservazione dei valori di eccentricità, di curvatura e di potere, può già orientarci sulla condizione oculare e visiva del soggetto.

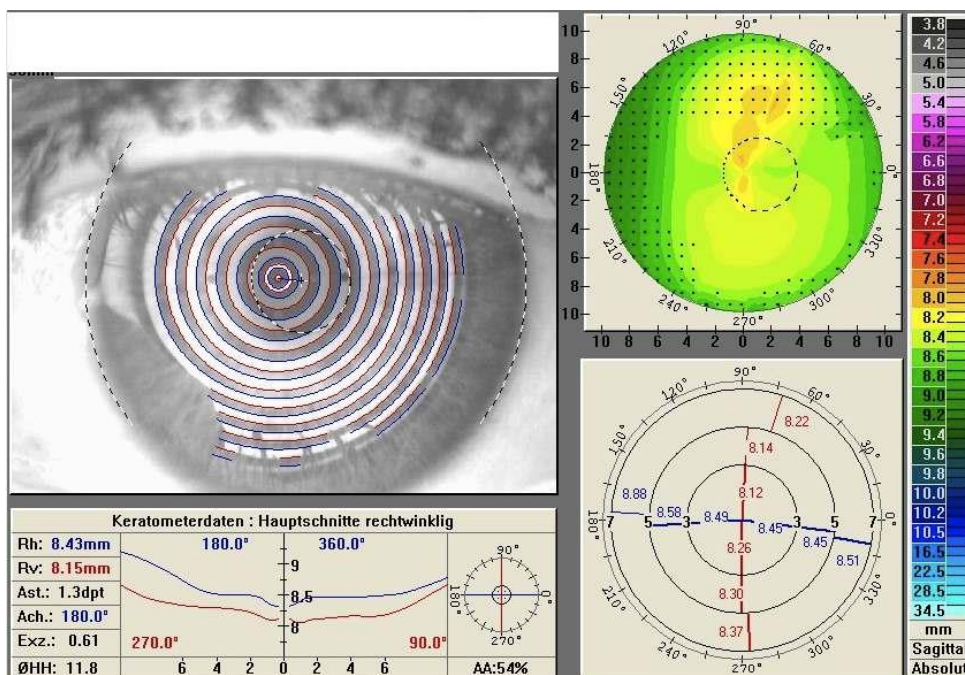


Figura 7: Topografia corneale con mappa colorimetrica. <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Cornea-Topographie.jpg>

La pachimetria corneale è la misura dello spessore della cornea. I primi tentativi di misurare lo spessore della cornea umana sono da attribuirsi a Blix nel 1890 che propose un tipo di pachimetria, denominata speculare, che tutt'oggi è una delle metodiche utilizzate per misurare lo spessore della cornea insieme ad altre procedure pachimetriche come quella ottica, ad ultrasuoni, la microscopia confocale e l'interferometria. (Lupelli et al. 2004).

Il pachimetro ottico è un accessorio della lampada a fessura ed è in grado di misurare l'apparente spessore corneale e altre strutture oculari come la camera anteriore. È uno strumento dotato di due lamine trasparenti, una fissa e l'altra mobile e il loro angolo di rotazione è collegato ai valori della scala pachimetrica. Permette di misurare valori di spessore compresi tra 0 e 1,2 mm e con un risultato uguale a 0 quando le due lamine sono parallele e a 1,2 quando la lamina rotante è posta a 60°.

La tomografia a coerenza ottica (OCT) è un altro mezzo importante che permette l'osservazione del profilo oculare anteriore e con il quale è possibile analizzare l'andamento superficiale della cornea, indispensabile ai fini applicativi su cornee irregolari.

I valori pachimetrici sono fondamentali da valutare nei casi di cheratocono o altre anomalie, dove riescono a fornire informazioni sull'avanzamento della condizione e sullo stadio della stessa, come visto nel primo capitolo.

2.2 Scelta della lente a contatto

Dopo le considerazioni iniziali del caso e dopo aver valutato l'adeguatezza dello stato oculare all'utilizzo di lenti a contatto, la scelta della lente verte su diversi elementi. Tra i più importanti c'è l'ametropia che influenza non solo la geometria della lac ma anche le modalità d'uso. Infatti, nei casi di ametropie asimmetriche o anisometropie, spesso l'occhiale non permette una correzione ottimale e quindi non c'è l'opportunità di alternare l'utilizzo di lenti a contatto e lenti oftalmiche. Di conseguenza le lac saranno utilizzate per periodi di tempo più lunghi e questo incide sulla geometria e sui materiali da scegliere.

Una lente a contatto deve essere realizzata con materiali che presentano caratteristiche di elevata biocompatibilità e da una buona resistenza alla deformazione durante trazione o compressione. È essenziale una buona bagnabilità di superficie che è la possibilità che un liquido si distribuisca sulla superficie di un solido e questa capacità è funzione delle forze di coesione fra le molecole del liquido e quelle di adesione fra le molecole del liquido e quelle del solido (Rossetti e Gheller, 2003).

Infine la permeabilità all'ossigeno dei materiali che formano le lac permette il giusto apporto di ossigeno alla cornea che è necessario per preservare l'integrità della superficie oculare.

Possiamo fare una distinzione iniziale tra lenti a contatto morbide e rigide. Le prime sono formate da materiali morbidi a bassa idrofilia (<50%) o alta idrofilia (>50%) e le lac rigide si dividono in gas permeabili e non-gas permeabili. Tra i materiali idrogel più utilizzati nella contattologia morbida c'è l'HEMA (2-idrossietilmetacrilato) che presenta un indice di rifrazione uguale a 1,43 e una percentuale di assorbimento di 38,6%. Spesso a questo materiale vengono aggiunti monomeri per riuscire a migliorare alcuni aspetti legati all'idratazione della lente e garantire maggior ossigeno alla superficie corneale. Per le lenti a contatto rigide, troviamo il PMMA come materiale non gas-permeabile con un $Dk=0$ e tra i materiali permeabili all'ossigeno, il CAB (acetato butirato di cellulosa) o l'aggiunta di una componente di silossano al PMMA o ad altri materiali per migliorare le prestazioni di permeabilità all'ossigeno.

La superficie posteriore della lente a contatto è quella che poggia sull'occhio e nel caso di una lac sferica monocurva, ritroviamo un solo raggio base mentre nelle lac bicurve, tricurve o mmulticurve, la superficie interne della lente è composta da una zona ottica centrale e una zona periferica (anche detta flangia) che è finalizzata ad adattarsi all'andamento corneale che tende

ad essere più piatto in periferia. Per questa caratteristica della superficie oculare anteriore è possibile anche scegliere lenti a contatto a geometria asferica con un'analisi della topografia corneale e del valore di eccentricità dell'occhio esaminato. Infine, nei casi di astigmatismi elevati, si possono selezionare lenti a contatto toriche per seguire al meglio i due raggi di curvatura principali.

L'evoluzione della contattologia ha quindi permesso di avere nuovi materiali e geometrie con caratteristiche performanti per adattarsi al meglio alle esigenze del portatore.

3 - Le lenti sclerali

3.1 Cenni storici

Le lenti a contatto sclerali, anche dette “aptiche”, sono lenti caratterizzate da grandi diametri che arrivano fino ai 24,0-25,0 mm ed hanno il loro punto di appoggio sulla sclera. Queste furono tra le prime lenti ideate ed infatti Leonardo da Vinci propose per la prima volta il concetto di lente sclerale all'inizio del XVI secolo e le prime lenti sclerali erano in realtà gusci di vetro soffiato senza potere rifrattivo. Furono i fratelli Fredrich A. e Albert C. Müller che erano produttori di occhi artificiali con un'azienda di famiglia a Wiesbaden, in Germania, a progettare nel 1887 delle lenti sclerali in vetro soffiato sottili e leggere con regioni corneali chiare e porzioni sclerali bianche. In seguito, Fick presentò il caso di sei pazienti portatori di lenti sclerali: uno con cheratocono e cinque con opacità corneali. Ha anche identificato l'importanza del processo di adattamento della lente sclerale affinché i portatori riuscissero ad essere più tolleranti all'uso delle lenti poiché scoprì che l'inserimento di lenti sclerali con una soluzione di zucchero d'uva bollita al 2% estendeva il tempo di utilizzo sui conigli da 8 a 10 ore prima dello sviluppo dell'annebbiamento corneale. Nel 1889 Eugene Kalt, un oculista a Parigi, descrisse le lenti a contatto utilizzate nel trattamento del cheratocono e osservò che le lenti cambiavano la forma della cornea, ponendo le basi che alla fine portarono all'ortocheratologia e all'uso delle lenti a contatto come metodo per il controllo della miopia. Sempre nel 1889, August Müller, uno studente di medicina nel suo ultimo anno di formazione, creò una lente sclerale per correggere la propria miopia di 14 diottrie e provò in diversi modi ad evitare la creazione di bolle d'aria al di sotto della lente, senza risultati. L'uso della soluzione salina per inserire le lenti sclerali fu poi descritto da Henri Dor nel 1890 e nel 1912, Zeiss produsse il suo primo set di applicazione per lenti sclerali.

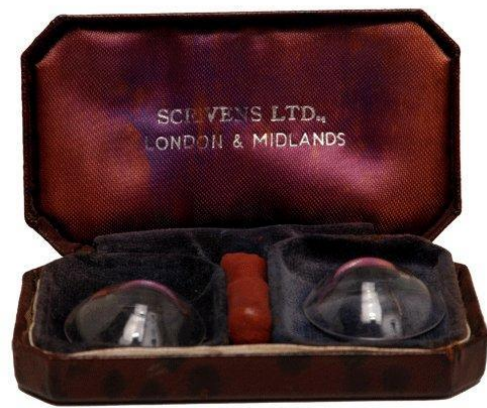


Figura 8: Lenti sclerali del 1940 con ventosa.
<https://www.vanleestantiques.com/product/hand-contact-lenses-c1940/>

3.2 Caratteristiche geometriche e strutturali delle lenti sclerali

È importante fare una classificazione iniziale nella nomenclatura delle lenti a contatto in relazione al diametro che le caratterizza, come mostra la tabella:

Diametro della lente	Classificazione
8,0–12,8 mm	Lente corneale
12,9–13,5 mm	Corneo-sclerale
13,6–14,9 mm	Semi-sclerale
15,0–18,0 mm	Mini-sclerale
18,1–24,0 mm	Sclerale

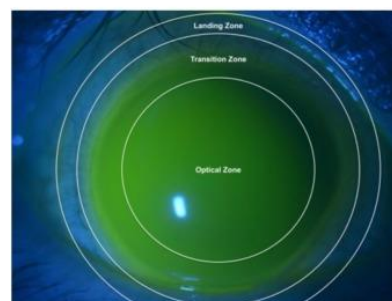
3.2-1 Geometria sferica

La forma della sclera può essere simmetrica o asimmetrica e ciascuna sclera richiede una personalizzazione diversa nella periferia di una lente sclerale per ottenere un adattamento adeguato. Una superficie simmetrica alla rotazione è caratterizzata dall'avere una forma che appare la stessa quando viene ruotata; il numero di volte in cui la forma appare uguale mentre viene ruotata indica l'ordine della simmetria rotazionale, che deve avere un ordine minimo di 2. Clinicamente, una sclera può essere considerata sferica quando ha simmetria di rotazione a 360 gradi e i meridiani perpendicolari che variano fino a 100 μm possono adattarsi in modo ottimale a una lente sferica. Una lente a geometria sferica è una lente con simmetria di rotazione e consideriamo tre zone principali: La zona ottica, la zona di transizione e la zona di appoggio.

La zona ottica rappresenta la parte centrale della lente che determina l'effetto ottico desiderato. La superficie anteriore della lente può essere sferica o asferica e quest'ultima opzione potrebbe essere utile per ridurre eventuali aberrazioni oculari. Per quanto riguarda il profilo della superficie posteriore della zona ottica, è quasi sempre parallelo al profilo corneale



A



B

Figura 9: Geometria delle zone di una lac sclerale applicata con e senza l'uso di fluoresceina <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361704823000151>

in modo da creare uno strato uniforme di film lacrimale al di sotto della lente stessa. Come con le lenti corneali, anche per le lenti sclerali ogni 0,10 mm di differenza tra il raggio di curvatura della cornea e quello della lente, il menisco lacrimale avrà un potere di 0,50 diottrie. Inoltre: ogni aumento di 100 micron di altezza sagittale aggiunge circa 0,12 D alla potenza effettiva del sistema. Quando vengono trattate cornee con particolarità irregolari, questi parametri teorici potrebbero non essere precisi abbastanza e converrebbe utilizzare una lente di prova il più simile possibile a quella necessaria al soggetto. La superficie anteriore asferica della lente sclerale può consentire una migliore correzione ottica nei pazienti che presentano ectasie corneali, rispetto alle superfici anteriori sferiche (Hussoin et al 2009 da “Guida all’applicazione di lenti sclerali”).

La zona di transizione è la zona intermedia tra la zona ottica e la zona di appoggio e determina l’altezza sagittale della lac. Questa zona è fondamentale poiché permette di avere un sollevamento tra la lente ed il limbus sclerocorneale. Con le lenti sclerali di dimensioni più piccole e in modo particolare con le lenti corneo-sclerali è importante considerare la forma della zona di transizione e assicurarsi che sia in linea con la forma limbare per minimizzare la pressione meccanica in quella zona, poiché il sollevamento limbare è generalmente assente. (Eef van der Worp).

La zona di appoggio (o aptica) è la zona che entra in contatto con la superficie oculare anteriore. Nell’applicazione di lenti sclerali la geometria della superficie posteriore della zona di appoggio deve allinearsi alla morfologia della sclera così da avere una distribuzione uniforme della pressione sull’intera zona di appoggio. In genere, la zona di appoggio è definita come una curva piatta, o una serie di curve, spesso nell’intervallo di 13,5–14,5 mm di raggio, con la quale è normalmente possibile gestire la maggior parte degli occhi (Pullum 2007 da “Guida all’applicazione di lenti sclerali”).

3.2-2 Geometria torica

Le lenti sclerali possono avere la superficie torica all’esterno, all’interno o su ambedue i lati (bitorica). Poiché la superficie oculare non ha una simmetria di rotazione, le lenti a superficie torica interna possono garantire una protezione oculare maggiore formando minori aree di pressione localizzate per preservare la congiuntiva da eventuali pressioni vascolari ed evitare la

formazione di bolle d'aria sotto la lente. La struttura delle lenti a toro interno permette di avere maggiore stabilità e secondo gli studi di Visser (2006) e Gemoules (2008), le lenti a geometria posteriore torica non a simmetria di rotazione nella zona di appoggio, possono essere utilizzate per più tempo e possono garantire un maggior comfort.

3.2-3 Lenti derivate da calco oculare

Le lenti sclerali si suddividono in preformate e derivate da calco oculare. L'applicazione di lenti derivate da calco oculare deve essere preceduta dall'operazione di esecuzione dell'impronta dell'occhio esterno del paziente. Questa avviene con l'aiuto di un porta impronta fatto solitamente in PMMA e per rendere il processo meno fastidioso, è possibile utilizzare un anestetico locale nel sacco congiuntivale di entrambi gli occhi. Nella procedura ad inserzione, il porta impronta, pulito e disinfettato, va tenuto saldamente con una ventosa mentre la parte concava è rivolta verso l'alto. Si mescola rapidamente la polvere del materiale utilizzato per ricavare il calco, per esempio il Kromopan, con l'acqua e l'impasto viene inserito nel porta impronta. Il capo del soggetto deve essere volto leggermente verso l'alto durante l'inserimento sotto la palpebra superiore e si attende che il materiale si solidifichi prima di rimuoverlo. Questo processo ci dà l'opportunità di avere la base in gesso su cui verrà creata la lente perfettamente adattabile all'occhio del paziente e rappresenta una valida procedura per coloro che presentano superfici corneali o sclerali irregolari, su cui una lente preformata potrebbe non essere ugualmente efficace.



Figura 10: Esecuzione del calco oculare
www.youreyesfocus.com/eyeprintpro-scleral-lenses

3.3 Materiali

I materiali con cui sono realizzate le lenti a contatto sclerali sono, ad oggi, tutti materiali con un valore DK elevato per permettere alla superficie oculare di ricevere il giusto apporto di ossigeno. Il DK o coefficiente di permeabilità, rappresenta una proprietà di alcuni polimeri espressa come prodotto del coefficiente di diffusione (D) e del coefficiente di solubilità (k) e ha come unità di misura l'unità di Fatt. Il valore di trasmissibilità di una lente, è invece uguale al Dk/L dove L è lo spessore della lente stessa. Questi rappresentano però valori in vitro ed il valore che indica il livello di ossigeno presente sulla superficie corneale (con o senza la presenza di una lente a contatto) è la percentuale equivalente di ossigeno (EOP). L' EOP è uguale a circa 21% quando l'occhio è esposto direttamente all'aria e 7,5% quando l'occhio è chiuso.

Questi sono fattori fondamentali poiché il normale metabolismo corneale dipende da un livello critico di ossigeno al di sotto del quale si verificano una serie di risposte corneali acute e anche se queste risposte acute sono reversibili quando viene ripristinata una regolare ossigenazione, è stato dimostrato che l'esposizione cronica a bassi livelli di ossigeno può provocare cambiamenti morfologici permanenti nell'endotelio corneale. L'elevata trasmissibilità dell'ossigeno è particolarmente importante nelle ectasie corneali più avanzate e nei pazienti con innesti corneali. Queste cornee compromesse richiedono livelli elevati di ossigeno per prevenire un'ulteriore alterazione endoteliale e il rischio di rigetto dell'innesto.

I materiali per la costruzione di lenti a contatto si sono evoluti anche in seguito a questi risultati. Inizialmente, infatti, anche le lenti a contatto sclerali erano realizzate in PMMA (polimetilmetacrilato), un materiale utilizzato per la realizzazione delle lenti a contatto corneali già nel 1947 e che presenta un valore DK uguale a 0. Le lenti sclerali possono avere spessori compresi fra 0,4 e 0,6 mm, che possono diminuirne drasticamente il Dk /L rispetto alle lenti corneali che sono più sottili. Rispetto a quest'ultime, inoltre, le lenti sclerali creano un semi-sigillo attorno alla congiuntiva e alla sclera, che limita lo scambio lacrimale sotto la lente. Ciò può provocare l'appannamento del serbatoio, una complicazione primaria di una lente sclerale non adattata correttamente, e a causa del limitato scambio lacrimale, l'ossigeno alla cornea deve arrivare dalla trasmissione attraverso la lente e la riserva lacrimale stessa. Sono disponibili vari materiali come Boston XO (Dk=100), Boston XO2 (Dk=141) e Menicon Z (Dk=163) che hanno valori di gas-permeabilità elevati, buona stabilità dimensionale, flessione minima della lente e maggiore trasmissibilità dell'ossigeno. È importante anche considerare che con materiali

ad alto Dk, la bagnabilità delle lenti a contatto può essere ridotta, il che può diminuire il comfort del paziente. Ne consegue che la scelta del materiale deve necessariamente trovare un equilibrio tra questi fattori in base alle esigenze del soggetto.

MATERIAL	WETTING ANGLE	DK VALUE
Contamac Optimum Extra	3	100
Contamac Optimum Comfort	6	54
Contamac Optimum Extreme	6	125
Paragon HDS	14.7	40
Tyro 97	23	97
Menicon Z	24	163
Equalens II	30	85
Boston XO2	38	141
Boston XO	49	100

Figura 11: Tabella che mostra l'angolo di bagnabilità e il valore DK di vari materiali utilizzati per la realizzazione di lenti sclerali.
<https://collabovision.com/articles/mar-apr-18/troubleshooting-nonwetting-scleral-lenses/>

3.4 Tecniche applicative

Per l'applicazione di una lente a contatto sclerale si può utilizzare una ventosa di piccole dimensioni oppure supportare la lente con pollice, indice ed anulare e la lente viene riempita



Figura 12: Lac sclerale piena di soluzione salina posizionata sulla ventosa.
<https://gaimentavisioncare.com/eye-exam-services/contact-lens-services/scleral-lenses>

completamente con una soluzione salina (e l'aggiunta di fluoresceina per le valutazioni post-applicative) che evita la formazione di bolle d'aria tra la superficie oculare e la lente, e aumenta il comfort del soggetto durante l'inserimento. Nel corso dell'applicazione, il viso del paziente deve essere posizionato parallelamente ad un piano orizzontale e spesso, se il soggetto applica la lente su se stesso, può posizionare di fronte a lui uno specchio sul tavolo. Lo si invita a fissare un punto fermo nello specchio, così che, guardando verso il basso, il capo sia posizionato correttamente e si procede sollevando la palpebra superiore. La lente deve essere inserita al di sotto della palpebra superiore prima

di abbassare anche quella inferiore e dopo aver posizionato la lente sulla superficie oculare, si possono lasciare entrambe le palpebre.

È importante il controllo al biomicroscopio per controllare che ci siano una bagnabilità ed un sollevamento adatto e che non siano presenti bolle d'aria o corpi estranei, che a differenza dell'applicazione di lenti a contatto corneali, sono poco percepite dal portatore.

Anche nel processo di rimozione della lente sclerale si può utilizzare una ventosa ed in questo caso, essa viene posizionata nella parte centrale ed inferiore della lente mentre il soggetto guarda dritto davanti a sé e si sposta la ventosa verso l'alto e verso l'esterno per sollevare la lente. Si possono utilizzare le dita dell'altra mano per tenere la palpebra inferiore e fare in modo che aiuti il movimento durante l'estrazione della lente.



Figura 13: Rimozione di una lente sclerale con una ventosa.
<https://www.ctispectrum.com/supplements/2016/october-2016/scleral-lenses-understanding-applications-and-max/scleral-lens-care-and-handling>

Nel caso in cui si utilizzano le dita, si chiede al portatore di guardare verso il basso, si sposta verso l'esterno la palpebra inferiore e la si spinge con il dito sotto il bordo della lente, così che la parte inferiore della lente verrà sollevata dalla superficie oculare e la lente sarà estratta.

Per rendere più semplice il processo di adattamento è possibile anche utilizzare un applicatore fisso, in modo da avere entrambi le mani libere e raggiungere un'apertura palpebrale maggiore. In questo caso, il soggetto che sta applicando la lente su se stesso, deve solo avvicinare il volto alla lente già posizionata, come mostra la figura sottostante.



Dimostrazione di Dr. Joseph Allen

Figura 14: Inserzione di una lac sclerale con l'aiuto di un applicatore fisso.

3.5 Complicanze

Una delle conseguenze di un'applicazione errata della lente a contatto sclerale è la formazione di bolle d'aria presenti tra la superficie oculare e la lente che possono causare problemi alla visione, al comfort del portatore e zone secche sulla cornea. A seconda della posizione delle bolle d'aria, possiamo capire l'entità del problema. Bolle centrali indicano che la profondità sagittale della lente è troppo grande e deve essere ridotta mentre le bolle presenti nella zona limbare indicano un eccessivo sollevamento della lente nella parte del limbus, condizione che deve essere modificata a seconda del tipo di lente utilizzata riducendo il raggio base o diminuendo il profilo limbare della lente. Le bolle possono formarsi più comunemente nella parte temporale rispetto a quella nasale a causa della differente forma della sclera nel meridiano orizzontale. Le bolle d'aria purtroppo non sono sempre evitabili, soprattutto quando il serbatoio di lacrime non è uniforme (come nelle ectasie corneali). Spesso è necessario rimuovere la lente e inserirla nuovamente prestando attenzione alla quantità di liquido presente nella lac durante l'inserzione. Se il problema persiste e non è collegato all'inserimento della lente, possono essere necessarie geometrie non a simmetria di rotazione per "sigillare" la lente sulla superficie oculare e per evitare la formazione di bolle d'aria sotto la lente.

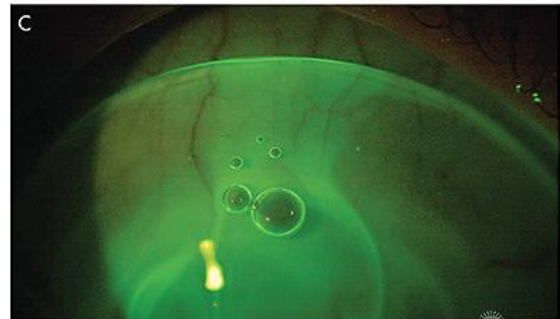


Figura 15: Formazione di bolle d'aria sotto la lac data da una forte toricità della sclera. <https://www.digitalspectrum.com/issues/2019/january-2019/scleral-profile-assessment>

Possiamo anche avere sbiancamento congiuntivale dovuto ad un andamento della sclera irregolare (sbiancamento settoriale) oppure ad una zona d'appoggio non corretta (sbiancamento circumcorneale). Inoltre il rapporto tra il bordo della lente e la superficie oculare può infierire sul comfort del portatore. Un sollevamento del bordo della lente può essere valutato utilizzando la lampada a fessura o l'OCT. La relazione ottimale tra bordo della lente e congiuntiva bulbare si verifica quando il 50% dell'apice del bordo della lente si abbassa gradualmente sulla congiuntiva e il 50% è al di sopra della superficie oculare. Quando più della metà del bordo affonda nel tessuto congiuntivale, è più probabile che si verifichi uno sbiancamento o punteggiature sulla superficie oculare (Barnett e Fadel, 2018) . Similmente ad altri parametri, il

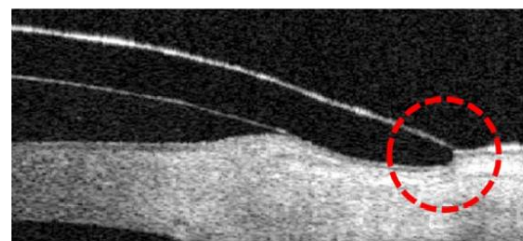


Figura 16: Bordo della lente che "affonda" nella congiuntiva. Di Randy Kojima and Patrick Caroline, Pacific University da Clinical Guide for Scleral lens success (Barnett e Fadel, 2018)

bordo della lente può essere modificato. Se il design della lente non consente queste variazioni, può essere necessario modificare gli angoli o le curvature della zona di appoggio.

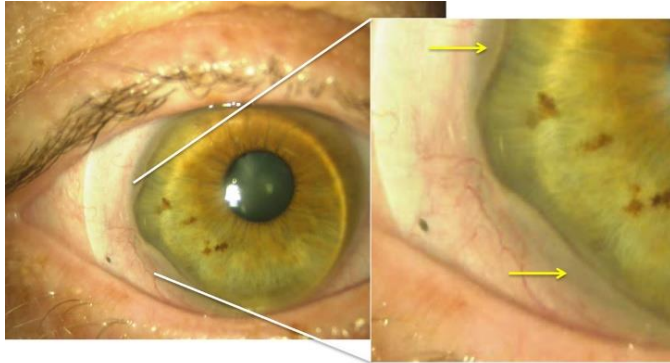


Figura 17: Tessuto congiuntivale lasso nell'area temporale inferiore.
<https://collaborativeeye.com/articles/july-aug-18/scleral-lens-complications-you-cant-miss/>

Possiamo riscontrare casi di tessuto congiuntivale lasso quando il tessuto congiuntivale perilimbale viene tirato tra la lente sclerale e il limbus, spesso aderendo all'epitelio corneale. Di solito si verifica in un quadrante inferiore, nell'area in cui la lente è maggiormente distante dalla cornea e quindi la zona in cui il serbatoio lacrimale è più spesso. Il

prolasso congiuntivale è semplice da rilevare e le cause sono sconosciute. I soggetti possono essere asintomatici o presentare del tessuto rosa al confine dell'iride e o lo sviluppo di neovascolarizzazioni sotto il lembo congiuntivale. Anche se non associato a complicanze a lungo termine, questo fenomeno dovrebbe essere evitato il più possibile e potrebbe essere utile ridurre il diametro della lente per centrarla meglio, ridurre le aree suscettibili al prolasso e appiattire le curve limbari per ridurre l'eccessivo spessore del film lacrimale nella zona interessata.

Un'altra possibile complicazione è l'iperemia bulbare, che è un aumento di contenuto sanguigno che può essere causato da vari fattori come pressioni meccaniche sulla congiuntiva, sul limbus, o da reazioni tossiche alla lente. In alcuni casi, quindi, è sufficiente intercettare il problema applicativo che ha causato tale reazione ed eliminarlo, in altri è necessario cambiare lente.

Importante è anche la congiuntivite papillare gigante, uno stato infiammatorio della congiuntiva caratterizzato dalla formazione di papille. È una condizione che può essere indotta da una combinazione fra irritazione meccanica e da una reazione allergica (o tossica) sia per le sostanze presenti nelle soluzioni per la cura delle lenti a contatto o dalla presenza di detriti proteici. È una conseguenza possibile non solo dopo l'utilizzo di lac sclerali ma anche corneali o morbide e tener cura dell'igiene della lac può aiutare a prevenire questa infiammazione.

Anche per i casi di ipossia, il discorso è simile non essendo unicamente collegato alle lac sclerali. L'applicazione di lente a contatto può ostacolare l'apporto di ossigeno che arriva alla cornea causando ipossia ed edema e in seguito anche creazione di nuovi vasi sanguigni (neovascolarizzazione). Queste problematiche sono, però, più comuni con l'utilizzo di lenti in PMMA che per il loro valore DK nullo, non hanno permeabilità all'ossigeno. Spesso scegliere un buon sollevamento apicale, un elevato Dk/L della lente o lenti fenestrate (che sono lenti sclerali dotate di un foro di ventilazione che fornisce solitamente più ossigeno alla cornea e migliora lo scambio lacrimale), può prevenire l'ipossia e i fenomeni che derivano da essa.

4 - Vantaggi dell'uso di lac sclerali

4.1 Confronto con lenti a piccolo diametro

Il sollevamento fra lente e cornea è probabilmente il fattore più vantaggioso dell'utilizzo di lenti sclerali rispetto alle lenti corneali rigide gas-permeabili. A differenza di quest'ultime, la superficie posteriore della zona ottica della lente sclerale non appoggia sulla cornea. Quando si utilizzano lenti di diametro più piccolo, come ad esempio nel caso delle lenti corneo-sclerali, si suggerisce uno "sfioramento" al centro della cornea, perché è difficile ottenere il sollevamento completo che può essere richiesto invece nelle cornee con particolari caratteristiche, come nel caso di ectasie avanzate. In alternativa, dovrebbe essere scelta una lente di diametro più grande e valutare il sollevamento che la lente deve avere al centro della cornea. Aumentando la profondità sagittale della lente aumenta il suo "sollevamento" dalla cornea, con le lenti sclerali un sollevamento di 200-300 micron è considerato sufficiente e durante l'utilizzo di diametri più elevati, il sollevamento può arrivare ai 500 micron.

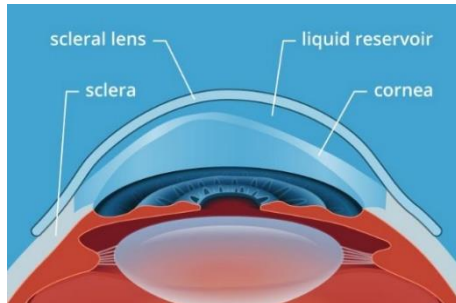


Figura 18: Rappresentazione grafica dell'applicazione di una lac sclerale su cornea irregolare. <https://www.bfeye.com/scleral-lenses-what-are-the-big-dies/>

Il diametro totale delle lenti a contatto sclerali permette la creazione di un serbatoio lacrimale costante tra la superficie interna della lente e la cornea. Questo serbatoio neutralizza la maggior parte dell'astigmatismo irregolare, idrata e protegge la superficie corneale dagli effetti essiccanti dell'esposizione all'aria e l'attrito delle palpebre durante l'ammiccamento. Ciò è particolarmente importante nei casi di difetti epiteliali corneali non cicatrizzanti, cheratite neurotrofica e altre malattie della superficie oculare che attualmente non possono essere risolte con altre modalità terapeutiche (Severinsky e Lenhart, 2021). I pazienti che hanno subito ustioni chimiche, ad esempio, sono spesso lasciati con cicatrici e astigmatismo irregolare che provocano distorsione visiva e disagio (vedi cap.1). Le lenti sclerali sono efficaci per il trattamento di entrambi i problemi poiché la loro geometria consente la massima idratazione e protezione dell'occhio eliminando anche gran parte della distorsione visiva causata dall'irregolarità corneale. Le lenti sclerali sono il modo migliore per promuovere la guarigione degli occhi e ripristinare la qualità e la chiarezza della vista per le vittime di ustioni chimiche oculari.

Uno dei benefici dell'applicazione delle lenti a contatto sclerali è anche la zona di appoggio. La sclera, infatti, presenta una sensibilità molto bassa, che la rende adatta al contatto con la lente, diversamente dalla cornea, che per le sue caratteristiche strutturali potrebbe creare disagio al portatore se sottoposta a stress meccanici dati da un'applicazione di lente corneale non corretta (come punteggiature ore 3 e ore 9). Inoltre le lenti a piccolo diametro sono solitamente meno confortevoli delle lenti

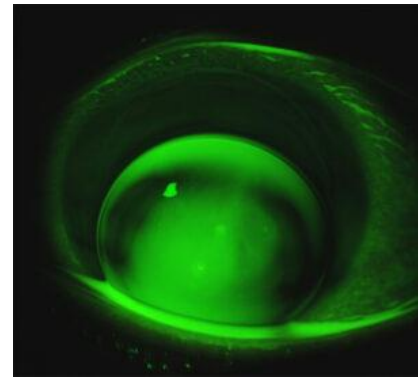


Figura 19: Lac corneale decentrata su cornea irregolare. Il paziente potrebbe trarre beneficio dall'applicazione di una lac sclerale.
<https://www.mvion.com.au/2021/07/managing-keratoconus-rigid-contact-lens-options/>

sclerali e con una possibilità di cadere o decentrarsi più elevata. Un ulteriore beneficio è infatti rappresentato dal comfort e dalla stabilità delle lenti sclerali che sono particolarmente sfruttate dagli atleti poiché essi sono spesso esposti a condizioni ambientali difficili, come polvere, gesso, sabbia e vento, che possono creare un disagio importante se si utilizzano lenti morbide. Poiché le lenti sclerali forniscono una tenuta sull'intera superficie anteriore dell'occhio, la superficie oculare risulta più protetta dagli elementi e dagli urti durante gli sport di contatto.

Inoltre, contrariamente alle lenti a contatto sclerali, con l'impiego di lac corneali, c'è la possibilità di avere un caso di distorsione corneale conseguente ad un'applicazione errata: Il warpage corneale. Questa è un'impronta di origine meccanica dovuta a lente rigida gas-permeabile immobile o geometricamente non corretta (Rossetti e Gheller, 2003) e può provocare comparsa di aberrazioni, astigmatismo irregolare e cambiamento del difetto visivo. Il profilo corneale nel warpage tende quasi sempre ad appiattirsi centralmente con variazione dell'eccentricità corneale ed osservando una topografia corneale, l'incurvamento nella parte inferiore della cornea presenta una somiglianza con il quadro topografico del cheratocono. Il warpage corneale regredisce spontaneamente con la sospensione della lac o utilizzando un sistema di molding corneale per regolarizzare il profilo della superficie.

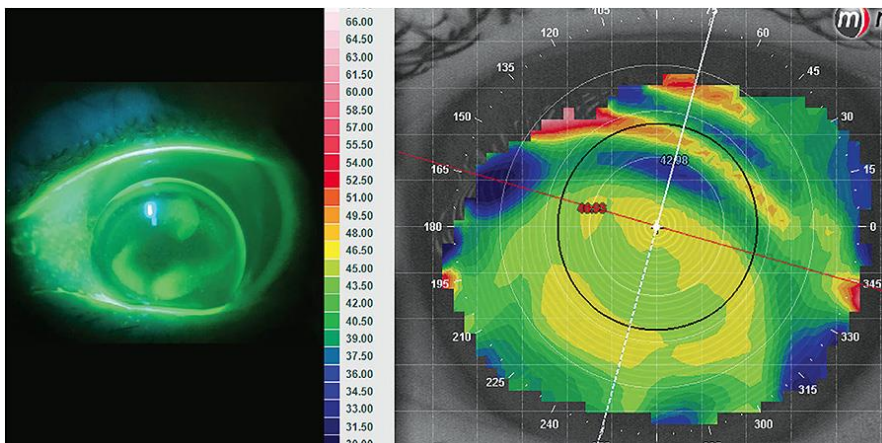


Figura 20: Adattamento errato della lac e topografia del warpage corneale.
<https://www.digispectrum.com/tauer/2018/august-2018/lge-insights>

4.2 Valutazioni post-applicative

Dopo un adattamento iniziale della lente a contatto, lo specialista deve assicurarsi che non vi sia un contatto corneale centrale o la formazione di bolle d'aria. La quantità di spazio libero tra la parte centrale della cornea e lente deve essere valutata utilizzando una sezione ottica con la lampada a fessura o con la tomografia ottica computerizzata (OCT).

L'aggiunta di fluoresceina nella lente prima dell'applicazione serve proprio ad identificare le aree di contatto corneale o limbare. Se c'è uno spazio centrale eccessivo, dovrebbe essere provata una lente con profondità sagittale minore o una curva di base più piatta, e se c'è un tocco apicale, dovrebbe essere selezionata una lente con una profondità sagittale maggiore o un raggio di base più curvo. È ugualmente importante valutare l'adeguatezza della zona d'appoggio e se sono presenti aree con eccessivo sollevamento del bordo, è possibile ridurre il diametro della lente o utilizzare una lente torica. Allo stesso modo, se la lente è troppo stretta o si osserva una compressione vascolare, può essere modificata la geometria della lente in modo da evitare tale effetto.

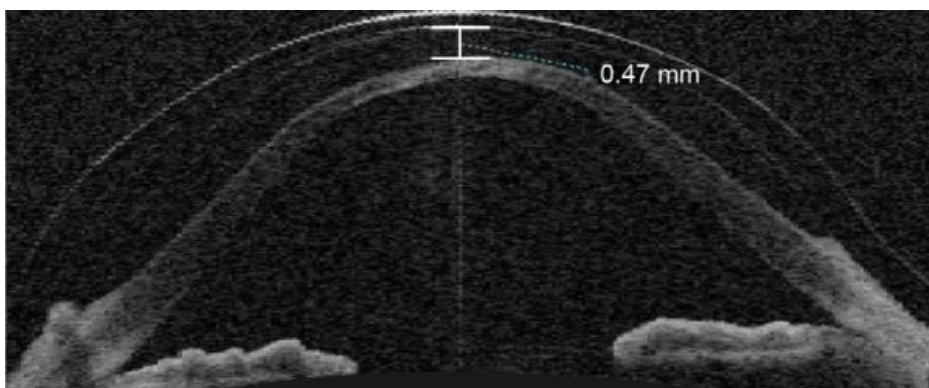


Figura 21: Immagine OCT di una lente sclerale su cheratocono.

https://www.researchgate.net/figure/OCT-in-a-patient-with-keratoconus-with-vault-measured-as-047-mm-Note-the-vault-is_fig2_26332909

Le lenti sclerali possono, inoltre, ridurre o ritardare la necessità di trapianto corneale nei casi di cheratocono. Da uno studio condotto dalla dottoressa Carina Koppen in cui su una popolazione clinica di quasi 850 pazienti con cheratocono, ha selezionato alcuni pazienti affetti da cheratoconi molto avanzati per l'applicazione di lenti sclerali.

Dei 51 occhi che ha seguito interamente durante il suo studio di cinque anni, 40 sono stati trattati con successo con lenti sclerali a lungo termine riducendo la necessità di trapianto corneale di più della metà. Per quanto riguarda i restanti 9 occhi, essi sono stati sottoposti a

cheratoplastica, 5 perché le lenti a contatto non hanno fornito un adeguato miglioramento della vista, 2 erano intolleranti alle lenti sclerali , 1 occhio ha sviluppato idrope (improvviso accumulo di liquido all'interno della cornea con conseguente opacizzazione) e 1 paziente per problemi legati alla manutenzione della lente stessa. Il vantaggio dell'utilizzo di lenti a contatto sclerali in questi casi è rappresentato dalla reversibilità del processo e nel momento in cui l'applicazione non dia i risultati desiderati, si può scegliere di ricorrere all'intervento chirurgico.

5 - Impieghi in età pediatrica

5.1 Contattologia pediatrica

L'applicazione di lenti a contatto in età pediatrica può rappresentare un vantaggio per una serie di motivi che vanno dalla correzione dell'errore refrattivo all'opportunità di maturazione psico-fisiologica del bambino. La lunghezza assiale del bulbo oculare alla nascita è di 17 mm mentre già a quattro anni, diventa di 23 mm. Nei primi anni di vita varia anche il raggio di curvatura ed il diametro corneale.



Figura 22: Lac RGP applicata ad un bambino per permettere all'occhio di focalizzare dopo un'operazione di cataratta. Di Buddy Russell, Emory Eye Center da <https://www.healthcanal.com/eyes-vision/48436-emory-eye-center-leads-five-year-study-on-infant-vision-after-cataract-surgery.html>

La curvatura della cornea diminuisce nei primi 2 anni di età da circa 45 D a 43 D e il diametro corneale aumenta da circa 10 mm alla nascita a 11,5 mm a 3 o 4 anni di età.

Occhiali indossati per correggere un vizio refrattivo congenito o acquisito elevato, possono causare ingrandimento o minimizzazione dell'immagine, distorsione periferica, distorsione prismatica e campo visivo ridotto. Particolarmente problematica è la presenza di un vizio refrattivo monolaterale poiché ostacola l'evoluzione della visione binoculare e dai 6 mesi ai 6-7 anni la mancanza di visione binoculare può costituire la base per una ambliopia da deprivazione sensoriale (Campos e coll.1983, da "Manuale di optometria e contattologia", 2003).

Il sistema visivo in via di sviluppo di un bambino richiede una visione chiara per raggiungere il massimo potenziale visivo e anche solo 1-2 settimane di deprivazione visiva costante in età evolutiva, può causare ambliopia.

L'impiego di lenti a contatto in età pediatrica può essere fondamentale nei casi di afachia (assenza del cristallino). La correzione con lenti a contatto è solitamente più urgente per l'afachia monolaterale poiché le immagini dei due occhi non hanno le stesse dimensioni, quindi non possono essere fuse. Questo può portare ad uno scarso sviluppo della visione binoculare. L'applicazione unilaterale di lenti a contatto riduce al minimo la differenza dimensionale delle immagini e consente un corretto input visivo per entrambi gli occhi.

5.2 Applicazione di lenti a contatto sclerali

Secondo l'American Optometric Association (AOA), circa il 14,5% di tutti i bambini di età inferiore ai 17 anni adottano lac, spesso morbide anche se queste non sono adatte a tutte le condizioni oculari e refrattive. È possibile applicare lenti a contatto sclerali fin dai 6 mesi di età, specialmente a coloro che hanno una grave malattia della superficie oculare su cui lenti sclerali forniscono protezione all'intera superficie anteriore preservando l'integrità della cornea ed il suo regolare sviluppo. Nella figura



Figura 23: Lac sclerale su un paziente di 5 anni.

[http://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484\(21\)30063-1/fulltext](http://www.contactlensjournal.com/article/S1367-0484(21)30063-1/fulltext)

23, possiamo osservare l'applicazione di una lente a contatto sclerale di 16 mm su una paziente di 5 anni per la riabilitazione visiva nel contesto di cicatrici corneali e astigmatismo irregolare derivanti da cheratite erpetica. Le lenti a contatto sclerali rappresentano una valida alternativa anche per i soggetti che mostrano bassa tolleranza alle lenti corneali gas-permeabili o a coloro che mostrano superfici oculari post-traumatiche e dal punto di vista funzionale, le lenti a sono le più adatte a trattare i casi di albinismo (mancanza di pigmento, nel segmento anteriore e posteriore che causa un'eccessiva diffusione di luce all'interno del bulbo oculare) poiché permette una completa copertura della superficie esterna dell'occhio. In tal caso bisogna intervenire precocemente con lenti (spesso colorate di nero) così che il soggetto albino non sviluppi un'ambliopia.

Inoltre, le lenti mini-sclerali, generalmente di dimensioni comprese tra 15,0 mm e 18,0 mm, sono un'ottima scelta per i bambini con cornee normali ma con elevati errori di rifrazione o per coloro che hanno cornee irregolari come il cheratocono.

Oltre alla riabilitazione visiva e protezione della superficie corneale, le lenti a contatto sclerali possono impedire o ritardare interventi chirurgici e questi benefici possono essere ampliati in termini di ritorno visivo per i bambini nella fascia di età ambliogena (Severinsky e Lenhart, 2021).

Durante uno studio effettuato dalla Boston Foundation for Sight, sono stati valutati 31 pazienti sotto i tredici anni di età, 16 femmine e 15 maschi, a cui sono state applicate le lenti a contatto

sclerali gas-permeabili. La durata media dell'uso documentato di lenti sclerali è stata di 24 mesi. La maggior parte dei pazienti valutati erano affetti da una malattia della superficie oculare (27 su 31, 87%) piuttosto che disturbi refrattivi (4 su 31, 13%). Da questo studio si è concluso che l'applicazione di lenti a contatto sclerali rappresenta una modalità di successo per un'ampia gamma di disturbi della superficie oculare e refrattivi nella fascia di età pediatrica.

È stato condotto uno studio più recente sull'applicazione di lenti a contatto sclerali su pazienti in età pediatrica all' Emory Eye Center Contact Lens Service, da Marzo 2018 a Febbraio 2020. Sono stati valutati un totale di 18 pazienti (24 occhi), 5 femmine e 13 maschi, dai sedici mesi ai quattordici anni.

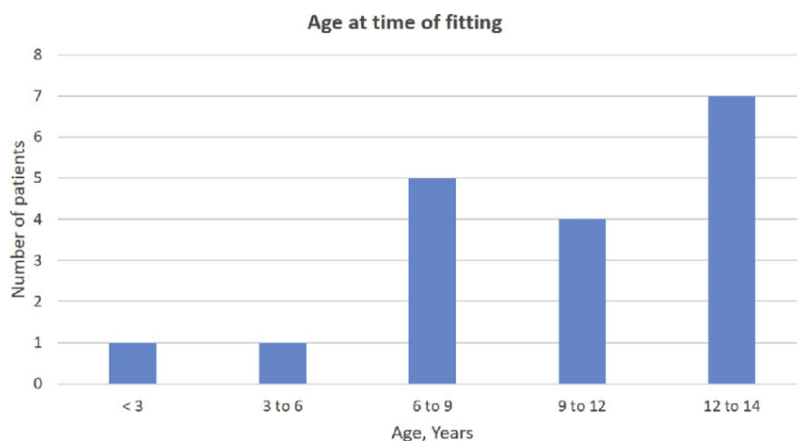


Figura 24: Grafico del numero di pazienti valutati e della loro età.

https://www.researchgate.net/figure/Patient-age-at-the-time-of-fitting-main_fig2_351327343

In sei occhi con cheratocono avanzato e tutti gli occhi con cicatrici corneali dopo lesioni oculari penetranti, l'uso di lenti a contatto sclerali ha migliorato l'acuità visiva eliminando la necessità di ricorrere alla cheratoplastica. Durante il periodo di studio, l'applicazione su 15 pazienti (83%) è avvenuta con successo e i soggetti sono stati in grado di tollerare le lenti a contatto sclerali da 7 a 12 ore al giorno. Non è stata documentata nessuna infezione corneale tra tutte le applicazioni effettuate.

5.3 Complicanze durante l'applicazione in età pediatrica

La sfida principale nell'applicazione di una lente a contatto su un bambino non è incentrata sulle caratteristiche fisiche bensì sull'inserzione della lente nell'occhio. Gli aspetti più difficili dell'applicazione sono: superare lo stress del bambino, comunicare con lui ed adattarsi al rapido sviluppo di un occhio giovane. Nonostante molte somiglianze tra l'occhio di un bambino e quello di un adulto, la fessura palpebrale del bambino è generalmente più piccola, il che rende più difficile l'inserimento e la rimozione delle lenti a contatto, specialmente nel caso delle sclerali, avendo un diametro più grande.



Figura 3. The patient experienced no pain with the application of the impression material.

Figura 25: Esecuzione del calco oculare su un soggetto di 11 anni con cheratocono. Il processo non causa alcun dolore al paziente.

<https://www.optometrytimes.com/view/full-pediatric-cones-impression-based-prosthetic-scleral-lenses>

Poiché la concentrazione di lipidi e proteine nelle lacrime sono ridotte nei bambini, raramente hanno problemi con i depositi proteici sulla superficie della lac, ad eccezione delle lenti a contatto morbide, su cui i depositi possono accumularsi più rapidamente. Anche se sono le lac più utilizzate in età pediatrica, risulta difficile trovare lenti a contatto morbide con parametri pediatrici e richiedono, inoltre, una maggiore destrezza nella manipolazione rispetto alle lenti a contatto rigide gas-permeabili e presentano un rischio maggiore di infezione, soprattutto se indossate per molte ore. Le lenti a contatto rigide gas permeabili sono spesso ben tollerate dai bambini e sono più pratiche in termini di manutenzione e cura.

Queste lenti hanno un'eccellente permeabilità all'ossigeno, correggono vizi refrattivi e strutturali che non possono essere risolti con le lenti morbide e possono essere realizzate su misura per adattarsi agli occhi dei bambini (come mostra la figura 25). Tuttavia, le lenti a contatto rigide possono essere inizialmente meno comode, con maggiore possibilità di perdersi o muoversi rispetto alle lenti a contatto morbide.

Durante l'adattamento di una lente a contatto sul bambino e lo studio del caso, è fondamentale la presenza e l'istruzione dei genitori, non solo per il processo di applicazione e rimozione delle lenti ma anche per l'attenzione nella manutenzione successiva, almeno fino ai 5-6 anni dopo i

quali il bambino può eseguire tali procedure in modo autonomo. Inoltre, la crescita dell'apparato visivo rende necessario effettuare sedute di controllo più spesso che in età adulta anche per monitorare eventuali insorgenze di complicazioni e cambiare la geometria o le caratteristiche della lente a contatto scelta nel caso in cui fosse necessario.

Conclusioni

Nonostante le lenti a contatto sclerali non abbiano raggiunto una notorietà eminente, negli ultimi anni si è notato un incremento nelle pubblicazioni che riguardano queste lenti e nelle novità portate da diversi produttori che sviluppano design, soluzioni e tecnologie di lenti sclerali nuove e innovative. Circa il 10% di tutte le applicazioni di lenti a contatto a livello globale sono costituite da materiali gas-permeabili. La maggior parte di queste sono lenti corneali (75%), seguite da lenti sclerali (13%), lenti per ortocheratologia (8%) e lenti ibride (5%) (Scleral Lens Update, Current and Future Applications, 2020).

In generale, il tempo da dedicare all'adattamento di una lente a contatto sclerale è maggiore rispetto allo studio di un caso per lente corneale, in particolar modo nei casi di anomalie della superficie oculare. Inoltre, poiché il processo applicativo delle lenti a contatto sclerali è diverso da quello delle lenti rigide corneali o morbide, può risultare più complesso il metodo di inserzione della lente, anche considerando le dimensioni della stessa e i futuri portatori dovrebbero essere adeguatamente istruiti dal proprio specialista.

Il benessere visivo è un aspetto fondamentale per la vita di ognuno e trovare la lente a contatto adatta a soddisfare le esigenze del portatore minimizzando le possibili complicanze, può cambiare la quotidianità di molte persone con problematiche complesse.

Nonostante le apparenti difficoltà nell'applicazione delle lenti a contatto sclerali, sono innegabili i benefici che possono portare ai soggetti con irregolarità della superficie oculare, arrivando in alcuni casi anche a ridurre il bisogno di trapianto corneale, come discusso nel capitolo 4.

Con questo elaborato spero di aver mostrato in modo chiaro perché le lenti a contatto sclerali rappresentano un'opzione estremamente valida da considerare nei casi di anomalie della superficie oculare e dei potenziali benefici nell'applicazione in età pediatrica.

Bibliografia e Sitografia

“Citologia e Istologia funzionale” – di Autori vari. Edi ermes (2005).

“Manuale di optometria e contattologia” – di A.Rossetti, P.Gheller. Zanichelli (2003)

“I vizi di refrazione” – di Gian Paolo Paliaga. Edizioni Minerva Medica (2008)

“Contattologia una guida clinica” – di L.Lupelli. R.Fletcher, A.L.Rossi. Medical Books. (2004)

“Contact lenses in ophtalmic practice” – di M. J. Mannis, K. Zadnik, C. Coral-Ghanem, N. Kara-José. Springer (2004).

“Guida all’applicazione di lenti sclerali” – di E.Van der Wrop.

“Clinical Guide for Scleral Lens Success” – di Barnett Melissa, Fadel Daddi. SLS & AILeS. (2018)

“Scleral contact lenses in the pediatric population - Indications and outcomes” – di B. Severinsky, P. Lenhart. Contact Lens and Anterior Eye. (2021), <https://doi.org/10.1016/j.clae.2021.101452>

<https://www.iapb.it/sclera/>

<https://www.sedesoi.com/vademecum-cheratocono/>

https://archivio.forumriskmanagement.it/images/FORUMRISK11/LABORATORIO-PDTA/REGIONI/LAZIO/oftalmico-policlinico_cheratocono.pdf

https://eyewiki.aao.org/Pellucid_Marginal_Corneal_Degeneration

<https://www.otticavisus.com/pagina.php?pag=578&l=Glossario>

<https://www.letiziamansutti.com/chirurgia-refrattiva-tecniche/>

<https://www.nhs.uk/conditions/cornea-transplant/>

<https://www.miamicontactlens.com/chemical-and-burn-injuries/>

<https://collaborativeeye.com/articles/best-of-aoc/scleral-lenses-from-the-renaissance-to-the-21st-century/>

<https://www.clspectrum.com/issues/2019/january-2019/scleral-profile-assessment>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2387685/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6181806/>

<https://www.reviewofcontactlenses.com/article/making-sense-of-scleral-lens-materials>

<https://www.med.umich.edu/1libr/Ophthalmology/ContactLens/InsertionandRemovalofScleralContactLenses.pdf>

<https://collaborativeeye.com/articles/july-aug-18/scleral-lens-complications-you-cant-miss/>

<https://www.forsightvisioncare.com/contact-lenses/scleral-lenses-optometrist/scleral-lenses-for-athletes/>

<https://manganottioculista.it/download/decv/394/420cose20il20warpage20corneale.pdf>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6181806/#:~:text=Scleral%20contact%20lenses%20are%20a,in%20conjunction%20with%20other%20therapies.>

<https://nkcf.org/nkcf-newsletter/sclerals-reduce-corneal-transplants/>

<https://ab-eyes.com/2020/12/01/kids-can-wear-scleral-lenses-too/>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18258469/>

<https://contactlensupdate.com/2020/10/28/scleral-lens-update-current-and-future-applications/>