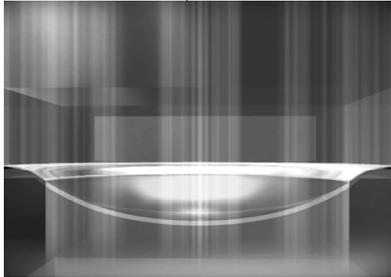


lenti a contatto

lac

contact lenses



Codirettori scientifici	L. Lupelli (Roma), N. Pescosolido (Roma)
Comitato scientifico	D. Akerman (Chicago), L. Boccardo (Certaldo), M. Bovey (Palermo), R. Fletcher (London), A. Fossetti (Firenze), P. Gheller (Bologna), S. Lorè (Roma), A. Madiesani (Forte dei Marmi), L. Mannucci (Padova), U. Merlin (Rovigo), M. Rolando (Genova), A. Rossetti (Pieve di Cadore), C. Saona (Barcelona), L. Sorbara (Toronto), A. Vinciguerra (Trieste)
Ringraziamenti	Si ringrazia S.Opt.I. per la collaborazione scientifica
Comitato editoriale	A. Calossi (Certaldo), M. Lava (Roma), C. Masci (Roma), F. Zeri (Roma)
Segreteria	O. De Bona, M. Lava Via E. Mattei, 17 30020 Marcon (VE) Tel. 041.5939411 E-mail: rivista.lac@cibavision.novartis.com
Nome della rivista	LAC
Direttore responsabile	Marco Perini
Proprietario testata	BieBi Editrice
Editore	BieBi Editrice di Mauro Lampo Via Losana, 4 - 13900 Biella
Tiratura	Quadrimestrale, 32 pagine
Tipografia	True Color Via Cave 1 - 28831 Baveno (Verbania)
Registrazione Tribunale	Biella, in data 6/5/99 al n. 487
	Sped. gratuita
Numeri arretrati	Presso la segreteria

Cornea, lenti a contatto e ossigeno

Noel A. Brennan, MSc Optom, PhD, FAAO
M-L Chantal Coles, BSc, OD

Sommario

Questo lavoro è un modulo educativo organizzato per offrire agli studenti e ai contattologi un aggiornamento sulle attuali conoscenze in merito alla richiesta di ossigeno da parte della cornea, al modo con cui le lenti a contatto interferiscono con questa richiesta e ai meccanismi con i quali è possibile ridurre questa interferenza. Dopo una breve introduzione, necessaria per prendere in considerazione l'apporto di ossigeno, verranno rivisti i processi fisiologici di base del metabolismo corneale per poi prendere in considerazione le richieste della cornea rispetto all'apporto critico di ossigeno. Questo ci porterà a prendere in considerazione il percorso e l'ammontare di ossigeno in grado di raggiungere la cornea sotto la lente a contatto, guarderemo alle conseguenze prodotte dalla mancata soddisfazione delle necessità di base della cornea, in termini di reazioni avverse. Infine, valuteremo le performance critiche di ossigeno nei materiali per lenti a contatto e i modi per ottimizzare queste performance.

Il contenuto di questo materiale è stato prodotto dai Drs Noel Brennan e Chantal Coles of Melbourne, Australia, da una commissione Ciba Vision Corporation.

Introduzione

Con le lenti a contatto dobbiamo tenere in considerazione l'apporto di ossigeno corneale? Non è forse una vecchia tematica – peraltro già affrontata sin dagli anni '70? Non conosciamo già tutto quello che c'è da sapere sulla cornea, le lenti a contatto e l'ossigeno?

Sebbene sia disponibile un'esauriente e corposa quantità di informazioni ci sono diverse domande alle quali non è stata ancora data una risposta. Molte ricerche, effettuate in passato, sono state fatte con tecniche ormai sorpassate, su un esiguo numero di pazienti e su materiali oggi non più disponibili. Il nostro compito non è quello di rimanere ancorati al passato bensì quello di guardare alle lenti a contatto di oggi valutandole sulla base delle tecniche e delle conoscenze attuali. Dobbiamo tenere in dovuta considerazione l'apporto di ossigeno, che è la base su cui poggia un utilizzo sano e sicuro delle lenti a contatto, oltre al

sistema immunitario e alle lacrime, elementi estremamente importanti, che non possono svolgere la loro funzione in modo adeguato se la salute oculare viene compromessa da una riduzione di ossigeno.

L'utilizzo delle lenti a contatto, a fine estetici, è indubbiamente strettamente legato alla loro capacità di offrire un'adeguata, confortevole e sana correzione visiva ed è possibile affermare con serenità che, nella maggior parte dei casi è esattamente ciò che fanno.

La gamma di lenti a contatto non è mai stata così ampia e varia come oggi. La maggior parte dei portatori utilizza lenti disposable o a sostituzione frequente (le stime indicano che, nel mondo, la metà o i 2/3 di coloro che si affacciano per la prima volta all'uso delle lenti a contatto privilegiano lenti disposable), circa 1/10 di tutti i portatori di lenti a contatto utilizza lenti RGP, mentre il restante indossa lenti morbide convenzionali¹. Di tutti i portatori di lenti il 10%, o più in alcuni paesi, utilizza lenti con modalità permanente¹.

Quali sono le ragioni per cui un portatore di lenti a contatto desidera dormire con le lenti? Liberarsi dalla schiavitù della manutenzione, evitare la perdita di tempo della rimozione e dell'inserimento sono certamente le ragioni principali, insieme al desiderio di svegliarsi nel cuore della notte ed essere in grado di vedere subito bene, specialmente in situazioni di emergenza, o più semplicemente poter vedere l'ora della sveglia senza, per questo, dover inforcare gli occhiali.

L'esperienza ci ha insegnato che le lenti per il porto continuo, utilizzate durante gli anni '70 e i primi anni '80², erano ben lontane dall'essere sceve da problemi. Apparve infatti chiaro, dopo l'ampio utilizzo di questo tipo di lenti (per altro ancora utilizzate con questa modalità), che le reazioni avverse si presentavano con una certa frequenza. In particolare, reazioni infiammatorie come l'occhio rosso e la congiuntivite papillare gigante furono tra le cause più frequenti di interruzione dell'uso delle lenti a contatto³⁻⁶. In alcuni casi, associate all'uso delle lenti a porto continuo, furono osservate cheratiti infettive con conseguente perdita parziale della visione e dolore acuto⁷⁻¹⁷. I ricercatori inoltre stilano una lunga lista di variazioni nella fisio-

logia corneale, sebbene conseguenze funzionali specifiche siano state talvolta poco chiare¹⁸⁻²⁶. La stampa riportò storie di reazioni avverse mettendo l'accento in particolare sulle infezioni corneali che spinsero, sia gli specialisti che i pazienti, ad allontanarsi dal porto prolungato.

Gli studiosi hanno individuato nell'ipossia il principale responsabile dei cambiamenti della fisiologia corneale che avvengono durante l'utilizzo di lenti a porto continuo^{24,27-29}. Una profusione di dati ha dimostrato come la cornea reagisca negativamente alla riduzione di ossigeno, tuttavia la conclusione che l'ipossia sia colpevole della maggior parte dei cambiamenti corneali osservati durante l'uso permanente rimane circostanziale piuttosto che diretta.

Capire i meccanismi di apporto di ossigeno corneale, che avvengono durante l'utilizzo delle lenti a contatto, è di estrema importanza per il contattologo, perché solo un professionista ben informato, con un approccio attento sarà in grado di ribaltare la cattiva pubblicità sul porto continuo degli anni passati e condurre la crescita della propria attività verso nuove frontiere. Forse ancora più importante, per quei pazienti che cercano di liberarsi dai problemi dei vizi refrattivi, il porto prolungato rappresenta la più interessante alternativa alla chirurgia refrattiva.

Per avere una solida base su cui appoggiare la comprensione del ruolo e dell'importanza dell'apporto di ossigeno con le lenti a contatto, è necessario rivedere brevemente i processi fisiologici di base del metabolismo corneale. Queste nozioni permetteranno di prendere in giusta considerazione sia le richieste critiche della cornea, che le complicazioni che possono sorgere se tale apporto non è adeguato. Sarà quindi necessario rivedere la quantità e la modalità con cui l'ossigeno raggiunge la cornea attraverso le lenti, prima di mettere sotto i riflettori i materiali delle nuove lenti a contatto. L'impossibilità delle lenti a contatto, utilizzate sino a oggi, di soddisfare i criteri di fabbisogno di ossigeno, aprono la porta ai nuovi materiali che crediamo ci accompagneranno verso una nuova era della correzione visiva.

I processi del metabolismo corneale e le proprietà chimiche, fisiche e biologiche dell'ossigeno

L'ossigeno è l'essenza della vita animale e il funzionamento corneale non differisce, a questo riguardo, da qualsiasi altro tessuto. L'energia derivata dal metabo-

lismo viene utilizzata per l'attività vegetativa quotidiana e per il mantenimento delle cellule. Questa include: la divisione cellulare, la sintesi proteica, lipidica e di altri componenti essenziali, la costruzione e il mantenimento di giunzioni cellulari, il bilanciamento dell'ambiente cellulare ed extracellulare (pH e osmosi), il programma di maturazione cellulare. L'energia viene inoltre impiegata nei processi di migrazione, riparazione e riproduzione di nuove cellule. Un'inadeguata quantità di ossigeno compromette tutte queste funzioni.

Per studiare i processi metabolici corneali è necessario rivedere alcuni fondamenti di fisica, chimica e biologia correlati con la natura del mondo. La fig.1 mostra i due principali gas atmosferici: l'azoto e l'ossigeno, con i relativi valori di pressione parziale, dalla quale emerge che l'ossigeno esercita una pressione pari al 21% della totalità dei gas. Ciò sta a significare che la pressione dell'ossigeno, a livello del mare, equivale a quella di 155 millimetri di mercurio (Hg). Il livello di ossigeno è (più facilmente in accordo con le leggi della natura, della selezione e dell'evoluzione naturale piuttosto che una mera coincidenza) chiaramente sufficiente a favorire lo sviluppo delle varie forme di vita sul pianeta e a mantenere le funzioni del tessuto corneale.

Gas	Pressione parziale (mmHg)	Concentrazione %
Ossigeno	155	21
Azoto	600	78
(CO ₂ , vapore acq.)	<10	1

Figura 1
Concentrazione gassosa.

L'espressione della concentrazione di ossigeno, in termini di percentuale, è concettualmente facile da capire, ma a noi poco utile. Prendendo in considerazione la pressione parziale dell'ossigeno, invece della concentrazione, come mostrato nella fig. 2 si ottengono indicazioni di maggior interesse, sebbene presentino alcune difficoltà di comprensione. È possibile infatti notare come la pressione parziale diminuisca all'aumentare dell'altitudine e, dato che è la pressione parziale, piuttosto che la concentrazione, a determinare i processi fisici del metabolismo dell'ossigeno nella cornea, se ne deduce che indossare lenti a contatto ad elevate altitudini significa porre la cornea in una situazione di maggior rischio di complicazioni correlate all'ipossia.

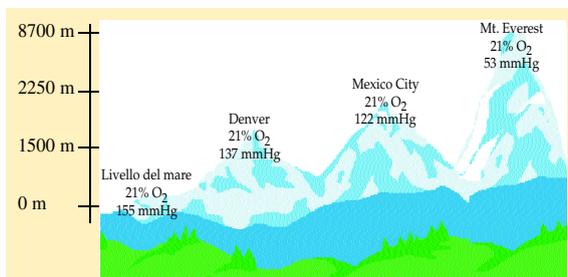


Figura 2
Effetti dell'altitudine.

In questo lavoro, come indice di pressione, se non diversamente indicato, verrà utilizzata la pressione parziale di ossigeno al livello del mare.

Il livello di ossigeno nei tessuti corporei ha importanti risvolti nell'applicazione delle lenti a contatto e costituisce un punto di riferimento per il livello di sopravvivenza (fig 3).

- Vasi sanguigni (arteriosi): 55 mmHg
- Congiuntiva palpebrale: 55 mmHg
- Umor acqueo: 55 mmHg
- Cervello: 5-10 mmHg per Mitochondri
- Oltre 3500 m, bisogno di ossigeno supplementare
- Il corpo si può adattare

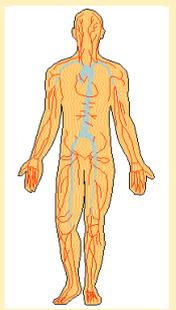


Figura 3
Livelli di ossigeno nel corpo.

All'interno del sistema arterioso la pressione sanguigna è di 55 mmHg, vale a dire circa 1/3 di quella presente nell'atmosfera. Questo significa che anche la pressione dell'ossigeno sotto la congiuntiva tarsale superiore, fortemente vascolarizzata, è di 55 mmHg³⁰⁻³².

Ne consegue che questi valori corrispondono anche a quelli della pressione parziale presente sulla superficie corneale anteriore, a palpebre chiuse e senza lenti a contatto³³. Varie stime della pressione parziale dell'umor acqueo indicano una gamma di valori compresi tra 20 e 55 mmHg, a seconda della pressione interna dell'umor acqueo. In altri siti corporei il valore della pressione scende a livelli inferiori, 5-10 mmHg, come a livello dei mitocondri cerebrali. Questo tessuto appare totalmente funzionante a questo basso livello,

ma non potrebbe che sopravvivere per pochi minuti, se la pressione parziale cadesse sotto tale valore. Mentre altri tessuti corporei possono sopravvivere senza ossigenazione per minuti o anche ore.

Sopra i 3.500 metri, un essere umano abituato a vivere vicino al livello del mare ha bisogno di apporto di ossigeno supplementare per poter sopravvivere. È stato dimostrato, per esempio, che la visione dei colori delle guide di montagna inizia a degradare sopra a questa altitudine.

È altresì evidente che gli esseri umani, dopo un certo periodo di tempo, possono adattarsi alla riduzione del livello di ossigeno presente ad altitudini elevate, attraverso un processo che implica un incremento del numero dei globuli rossi nel sangue. Infatti, gli sherpa nella montagna dell'Himalaya sono in grado di sopravvivere in presenza di una pressione parziale d'ossigeno di circa 120 mm Hg. Non è ancora chiaro se la cornea, intesa come un tessuto a se stante, possiede un meccanismo che consenta un tipo di adattamento simile.

Apporto e utilizzo dei metaboliti corneali

La cornea, come tutti gli altri tessuti, necessita di un certo numero di sostanze nutritive per adempiere alle attività metaboliche funzionali e vegetative. Ma diversamente da altri tessuti è avascolare, requisito essenziale affinché possa essere trasparente, e per questa ragione il trasporto degli elementi nutritivi ai siti dell'attività metabolica non può avvenire esclusivamente attraverso il flusso sanguigno. L'acqueo è la principale sorgente della maggior parte dei metaboliti, in particolare per il glucosio, il principale substrato del catabolismo. Una piccola riserva di glucosio, convertito in glicogeno, viene immagazzinata nella cornea per essere utilizzata in caso di ipossia corneale.^{18,34-37} Anche gli aminoacidi, le vitamine e i minerali provengono dall'umor acqueo. Il film lacrimale può essere una sorgente non essenziale per alcuni di questi elementi nutritivi (fig. 4).

Diversamente dagli altri componenti l'ossigeno, necessario per il metabolismo essenziale della cornea, deriva principalmente dalla diffusione attraverso la superficie anteriore. La via di afflusso dell'ossigeno dipende dall'ambiente circostante il quale è a sua volta condizionato da fattori come l'altitudine, la chiusura delle palpebre, la presenza o meno di una lente a contatto (fig. 5).

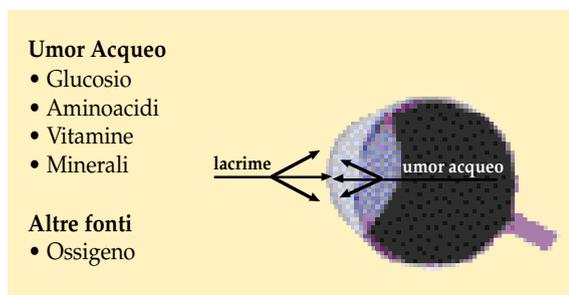


Figura 4
Fonti di nutrimento per la cornea.



Figura 5
Fonti di ossigeno per la cornea.

A occhi aperti, l'aria, che è la principale fonte dell'ossigeno corneale in questa situazione, raggiunge la cornea dopo un breve passaggio attraverso lo strato lacrimale.

A palpebre chiuse è la congiuntiva palpebrale a fornire la maggior parte dell'ossigeno e soltanto una piccola quantità di questo gas raggiunge la cornea periferica attraverso il plesso limbare.

L'umor acqueo sembra fornire invece il contributo di ossigeno necessario alla cornea posteriore, un apporto che risulta più critico a palpebre chiuse.

Durante l'uso delle lenti a contatto, l'ossigeno proveniente dall'aria o dalla congiuntiva (dipende se le palpebre sono aperte o chiuse) può raggiungere la superficie corneale anteriore fluendo attraverso la lente o per mezzo delle lacrime dove la lente è immersa. La forza necessaria per creare un flusso di ossigeno attraverso una lente a contatto deriva dal metabolismo corneale, mentre l'ossigeno che si trova

nelle lacrime sotto la lente raggiunge la cornea per mezzo della pompa lacrimale. Ulteriori informazioni sull'apporto di ossigeno corneale possono essere ottenute studiando il profilo della tensione d'ossigeno esposta più avanti.

Gli strati che compongono la cornea mostrano tassi di respirazione aerobica differenti. Il consumo relativo dei vari strati è stato studiato da Freeman nel 1972, il quale ha trovato un consumo del 40, 39 e 21% per l'epitelio, per lo stroma e l'endotelio³⁸ rispettivamente. Sulle basi di quanto detto si evince che, a parità di volume unitario, il tessuto endoteliale è sei volte più attivo di quello epiteliale. Sebbene i cheratociti stromali metabolizzino alla stessa velocità delle cellule endoteliali, il tessuto stromale nella sua totalità risulta meno attivo di quello endoteliale, in quanto lo stroma contiene un numero inferiore di cellule.

Il contributo relativo al flusso totale di ossigeno attraverso la superficie anteriore della cornea, suddiviso in consumo di ossigeno epiteliale, consumo di ossigeno stromale e di diffusione di ossigeno nell'acqueo, è stato misurato da Holden e coll. con un polarografo a sensore di ossigeno, e ha evidenziato un rapporto di 55:5:40³⁹.

Comunque, sulla base del profilo di ossigeno di Fatt e coll., la diffusione dell'ossigeno nell'acqueo risulta inconsistente visto la presenza di un gradiente dall'acqueo verso l'endotelio corneale⁴⁰.

Prima di vedere come l'ossigeno viene metabolizzato a livello delle cellule corneali è necessario rivedere i processi energetici utilizzati.

I corpi sono in grado di ottenere energia utilizzando i carboidrati di base convertendo l'adenosina difosfato (ADP) in adenosina trifosfato (ATP), molecola a più alto livello energetico. L'attività metabolica corneale risulta quindi del tutto simile a quella presente in altre parti del corpo.

Il metabolismo corneale utilizza tre diverse vie energetiche. La più importante di queste è il ciclo degli acidi tricarbossilici, o di Krebs, un processo aerobico e pertanto dipendente dalla disponibilità di ossigeno. Questo processo è una via ad elevata resa energetica (36 moli di ATP per mole di glucosio) con prodotti di reazione, come l'acqua e l'anidride carbonica, relativamente facili da eliminare. Riley indica che almeno il 15% del glucosio viene metabolizzato in questo modo⁴¹, sebbene Klyce sostenga che, con una ossige-

nazione adeguata, i dati sarebbero più elevati ⁴². Ad ogni modo, l'elevato livello di ATP prodotto lo rende il più importante processo produttivo di energia.

Il processo di Embden-Meyerhof (glicolisi anaerobica) è invece uno dei processi energetici anaerobici (senza ossigeno) utilizzati dalle cellule, ma la quantità di energia prodotta è piuttosto bassa: circa due moli di ATP per mole di glucosio o glicogeno. Inoltre il lattato, prodotto nella reazione, non è di così facile eliminazione come l'acqua o l'anidride carbonica. La ritenzione del lattato, quando il livello di ossigeno è ridotto, sembra essere una tra le principali cause dell'edema corneale determinato dallo sbilanciamento osmotico ⁴².

Il terzo percorso è quello dei Pentosi fosfati (conosciuto anche come "shunt dell'esoso-fosfato"). È un processo aerobico e converte gli esosi in pentosi. In questo caso solo una mole di ATP viene prodotta da una mole di glucosio, ma è un percorso vitale in quanto i prodotti che si formano durante la rottura delle molecole di glucosio vengono utilizzati per la sintesi di acidi nucleici e dei lipidi. Circa il 35% del glucosio viene metabolizzato attraverso questo percorso, tuttavia può non essere attivo a livello dei cheratociti stromali ⁴³.

Quando la tensione dell'ossigeno corneale anteriore decade, i due percorsi aerobici operano a velocità ridotta. Sebbene il percorso di Embden-Meyerhof compensi parzialmente, la produzione totale di adenosina trifosfato tende a diminuire. Questo fatto mette in evidenza il legame esistente tra concentrazione di ossigeno ed energia disponibile per le funzioni cellulari ^{35,37,44,45}. Vari indicatori biochimici, tracciati in situazioni di ipossia, dimostrano una down regulation dello stato metabolico a livello corneale. ^{18,19,23,46-54}

Ricapitolando, in condizioni di occhio aperto, il metabolismo oculare utilizza il ciclo di Krebs, in grado di produrre una notevole quantità di energia. I due prodotti di reazione, l'acqua e l'anidride carbonica, sono facilmente eliminabili.

In condizioni di occhio chiuso, o in scarsa presenza di ossigeno, l'occhio preferisce utilizzare la via di Embden-Meyerhof che fornisce un livello energetico inferiore. Il lattato o acido lattico, prodotto durante le reazioni chimiche, è difficilmente eliminabile e il suo accumulo è la causa dei molti cambiamenti fisiologici che possono essere osservati durante una situazione ipossica.

Dopo aver preso in considerazione gli elementi di chimica, fisica e biologia di base relativi al metabolismo corneale è possibile ora valutare il consumo di ossigeno corneale per poi porre l'attenzione sui bisogni critici della cornea.

Stima del consumo di ossigeno

Per stimare il consumo di ossigeno della cornea, vengono utilizzate una serie di tecniche tra cui il respirometro di Warburg ⁵⁵, la lente a tenuta ^{56,57} e il sensore di ossigeno polarografico di Clark, tecnica preferita dai ricercatori per molti anni. Una rappresentazione schematica del sensore d'ossigeno polarografico è osservabile nella figura 6a. Il sensore può essere utilizzato per effettuare diverse misurazioni, inclusa la misurazione del consumo di ossigeno corneale e quella della trasmissibilità all'ossigeno di una sottile membrana permeabile.

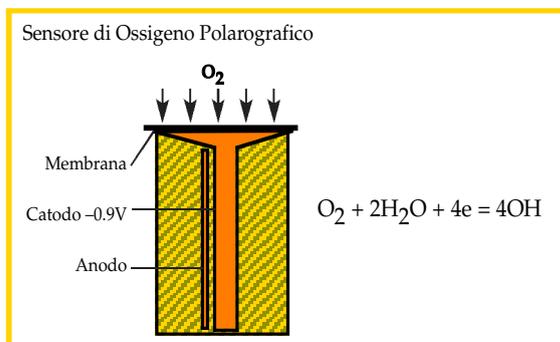


Figura 6a
Utilizzato per misurare il consumo di ossigeno e la trasmissibilità all'ossigeno delle lenti a contatto

Il catodo, l'anodo, una soluzione di elettroliti e una membrana sintetica (da utilizzare in alcune applicazioni) sono i componenti fondamentali dell'elettrodo di Clark. Il catodo è polarizzato a $-0.9V$, valore di potenziale al quale l'ossigeno reagisce con l'acqua presente producendo ossidrili. Gli ioni ossidrili vengono attratti dall'anodo determinando una corrente. La pressione parziale dell'ossigeno nell'atmosfera determina la velocità con la quale l'ossigeno viene trasformato, quindi la corrente all'anodo. Per misurare il consumo di ossigeno della cornea viene posta una membrana di polietilene o di teflon sul catodo. Questa membrana agisce come un serbatoio e monitorando la riduzione di ossigeno di questa riserva, quando posta in contrapposizione con la superficie frontale della cornea, è possibile calcolare il flusso di ossigeno sulla cornea.

Autore	Anno	Tecnica ($\mu\text{l}/\text{cm}^2/\text{hr}$)	Valutazione
Hill	1963	Lente a tenuta stagna	4.8
Haberich	1966	Volumetrica	9.0
Jauregui	1972	POS in goggle	2.8
Larke	1981	POS	6.0
Quinn	1984	POS	1.6
Fitzgerald	1986	POS	10.9

Figura 6b
Valutazione del consumo di O_2 a livello corneale.
(POS: sensore di ossigeno polarografico)

Il valore del consumo di ossigeno corneale, misurato con il sensore d'ossigeno polarografico⁵⁸⁻⁶², è stato valutato da un cospicuo numero di ricercatori (fig. 6b). Il sensore di Clark è lo strumento più frequentemente utilizzato, in tempi recenti, a tale scopo. Il consumo è stato ragionevolmente ben definito e le stime dei vari studi cadono all'interno dello stesso ordine di grandezza. Il range va da 1.6 a 10.9 $\text{ml}/\text{cm}^2/\text{h}$ e la maggior parte dei valori sono centrati intorno a 6 $\text{ml}/\text{cm}^2/\text{h}$. Ciò significa che, in un'ora, l'intera cornea consuma approssimativamente 6 mm^3 di ossigeno. È stato inoltre dimostrato che il consumo varia da zona a zona, la porzione corneale superiore, ad esempio, utilizza un quantità di ossigeno inferiore, presumibilmente a causa della palpebra superiore⁶¹.

La cornea è un tessuto specializzato, in delicato equilibrio con l'ambiente circostante. Quando le sue necessità vengono soddisfatte, essa risulta elastica. Comunque, ciò che è rilevante ai fini contattologici è capire come essa si comporta in situazione di stress fisiologico.

Apporto critico di ossigeno

Mentre il normale flusso di ossigeno è stato chiaramente definito, la questione riguardante il livello di ossigeno necessario al funzionamento corneale invece è meno chiara. I ricercatori hanno incontrato diverse difficoltà tra cui quella di stabilire entro quanto tempo il fattore salute deve essere misurato e la difficoltà a individuare i criteri che permettono di definire la situazione come "preoccupante". Molti tessuti, per esempio, possono resistere in condizioni di assenza di ossigeno solo per pochi minuti mentre altri, come la cornea, possono resistere per ore, sebbene l'assenza di ossigeno, protratta per un certo numero di giorni, possa determinare cambiamenti degenerativi permanenti. Ad ogni

modo l'argomento che ci interessa definire è quello dei cambiamenti corneali inaccettabili.

Il metodo preferito, utilizzato per misurare questi valori, consiste nell'esporre la superficie corneale anteriore a diverse concentrazioni di ossigeno per poi registrare a quale specifico livello, misurabile, sia possibile osservare o misurare variazioni corneali. I valori riportati nelle figure 7a e 7b rappresentano i valori medi. È doveroso sottolineare che sono state rilevate considerevoli variazioni individuali sia in termini di estensione degli effetti, quando deprivato dall'ossigeno, che di tempo, il momento in cui iniziano le manifestazioni. Inoltre il livello critico può variare sia in base all'area di cornea presa in esame che in base al periodo di tempo preso in considerazione. Sebbene si possa esprimere la richiesta critica in termini di flusso la rappresentazione maggiormente utilizzata è quella in termini di pressione parziale o concentrazione. Ai fini di questa trattazione si è ritenuto opportuno convertire tutti i valori di concentrazione in valori di pressione parziale.

Autore	Anno	Criterio	COR (mmHg)
Epitelio			
Fatt	1968	Flusso d'ossigeno	20
Uniacke et al	1972	Spessore	37
Uniacke et al	1972	Riduzione di glicogeno	37
Uniacke et al	1972	Concentrazione di LDH	37
Hill et al	1974	Reattività a SDH	37
Millodot & O'Leary	1980	Sensibilità al tocco	>57
Hamano et al	1983	Lattato	<98
Hamano et al	1983	Mitosi	<98
Masters	1984	Mitocondri	>74
Benjamin & Hill	1985	Flusso d'ossigeno	116
Mauger & Hill	1986	Rigenerazione epiteliale	76

Figura 7a
Richiesta Critica di Ossigeno (COR).

Autore	Anno	Criterio	COR (mmHg)
Stroma			
Polse & Mandell	1971	Edema Corneale	11-19
Carney	1974	Edema Corneale	15
Mandell & Farrell	1980	Edema Corneale	23
Mizutani et al	1983	Edema Corneale	111
Holden et al	1984	Edema Corneale	75
Brennan et al	1987	Edema Corneale (gas)	81
Brennan et al	1987	Edema Corneale (EOP)	133
Endotelio			
Williams	1986	Bleb	123

Figura 7b
Richiesta Critica di Ossigeno (COR).

Le valutazioni sono influenzate dal metodo utilizzato, in particolare la sensibilità della tecnica usata per misurare le variazioni corneali e altri fattori quali: precisione della strumentazione, dimensioni del campione, procedure statistiche, effetti dell'interpolazione e dell'estrapolazione e durata dell'ipossia.

Le figure 7a e 7b riportano una lista dettagliata di ricerche svolte per individuare il livello critico di ossigeno necessario per evitare di incorre in cambiamenti nel funzionamento corneale. Le stime riguardano l'epitelio,^{18-20,23,30,47,63,64} lo stroma,⁶⁵⁻⁶⁸ e l'endotelio⁶⁹. È possibile quindi concludere che:

- Dopo gli anni '70 e i primi anni '80, aumenta quello che viene considerato essere il valore del livello critico di ossigeno.
- Le più recenti valutazioni mostrano valori superiori alla pressione parziale comunemente trovata a palpebre chiuse.
- I valori trovati per lo stroma e l'epitelio sono molto simili.
- La frequenza con cui, negli ultimi 10 anni, è stata valutata la tensione minima di ossigeno risulta essere inferiore rispetto a quella degli anni precedenti. La ragione di ciò può essere ritrovata nel fatto che l'attenzione, rivolta ai fattori di una lente a contatto che evitano di incorrere a questi cambiamenti, si è spostata dalla pressione parziale di ossigeno alla trasmissibilità di ossigeno critica.

Uno degli studi chiave sulla valutazione del livello critico di ossigeno richiesto dalla cornea fu fatto da Holden e coll. nel 1984⁶⁷. Sull'asse delle y (fig. 8) sono stati riportati i valori di rigonfiamento corneale misurato dopo 8 ore di esposizione, a diverse concentrazioni, come indicato nell'asse delle x. I livelli di ossigeno sono stati indicati come % di concentrazioni. Dal grafico appare evidente come, per evitare un edema corneale, sia necessario essere in presenza di almeno il 10% di ossigeno, sebbene sia altrettanto evidente come l'esatto valore indicato sia fortemente dipendente dal criterio utilizzato.

Come avrebbero allora dovuto essere interpretati i dati sull'ossigeno critico? Secondo Efron e Brennan i dati evidenziavano che il funzionamento corneale variava consistentemente al variare della pressione parziale dell'ossigeno presente a livello della superficie anteriore.^{70,71} Il livello critico avrebbe quindi dovuto essere visto come un valore di una scala continua piuttosto che come uno spartiacque. Da allora in poi la cornea venne chiamata "normale" soltanto se appariva no-

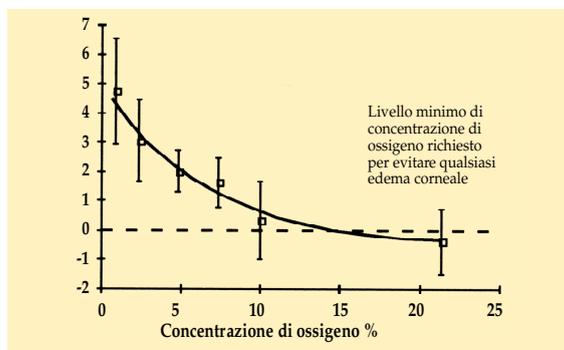


Figura 8
Richiesta di ossigeno minimo.

male in presenza di una pressione di 155 mm Hg. Una caduta di pressione determina cambiamenti sia nella struttura che nel funzionamento. Questi cambiamenti possono determinare conseguenze lievi e reversibili, se la caduta di pressione è lieve e si protrae per un breve periodo, mentre saranno sempre più significativi e meno reversibili via via che il livello e il tempo di esposizione alla situazione ipossica tenderà ad aumentare.

Fatt non concorda con questa affermazione⁷². Egli sostiene invece che l'enfasi sulla richiesta di ossigeno critico è ingiustificata, dato che è risaputo che il tessuto celebrale è in grado di sopravvivere in presenza di concentrazione di ossigeno da 5 a 10 mm Hg.

Passaggio di ossigeno attraverso le lenti a contatto

Da quanto affermato sopra appare chiaro che molti degli effetti collaterali delle lenti a contatto possono essere attribuiti a origini ipossiche. Per migliorare l'apporto di ossigeno alla cornea, durante l'utilizzo delle lenti a contatto, è innanzi tutto importante stabilire i principi secondo i quali viene quantificato l'apporto di ossigeno. Durante questi 25 anni sono emerse due tecniche principali: la Percentuale di Ossigeno Equivalente (EOP) e la Permeabilità all'Ossigeno (Dk).

La tecnica della Percentuale di Ossigeno Equivalente venne introdotta da Hill⁷³ e può essere definita come la concentrazione di ossigeno, presente in una miscela di gas, in grado di indurre a livello corneale una "sete" di ossigeno equivalente a quella di una determinata lente.

Il principio su cui si basa è schematizzato nella fig. 9. Un ambiente gassoso, avente concentrazione nota, viene

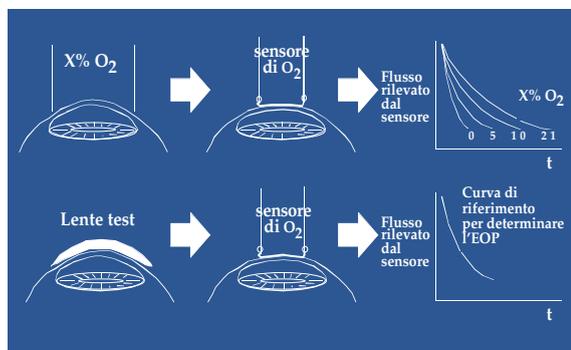


Figura 9
Percentuale di ossigeno equivalente.

fatto fluire sulla superficie corneale. Rimosso il flusso, sull'area corneale viene posto un sensore di ossigeno. L'esaurimento di ossigeno viene monitorato attraverso la membrana del sensore. Il processo viene poi ripetuto per una serie di ambienti, contenenti gas con concentrazioni di ossigeno diverse, ottenendo così delle curve di riferimento.

Dopo di che, sulla cornea viene posta la lente da testare. La curva dell'esaurimento, proveniente dalla membrana del serbatoio, viene quindi paragonata con quella proveniente dall'esaurimento in ambiente gassoso equivalente. L'EOP può avere valori compresi tra 0 e 20.9%.

Senza lente a contatto nell'occhio il valore di EOP è 21%, lo stesso valore della concentrazione di ossigeno nell'atmosfera. A palpebre chiuse, quando la pressione parziale dell'ossigeno cade a 55 mm Hg, il valore di EOP scende al 7.5%. Questi due valori sono i valori di riferimento con i quali è possibile confrontare le performance delle lenti a contatto.

Questa procedura è una misurazione in vivo, viene effettuata sia sui conigli che sugli esseri umani e permette di valutare come la lente si comporta nell'occhio tenendo in debito conto le variazioni fisiologiche individuali.

Generalmente, durante la misurazione dell'EOP l'ammiccamento viene inibito. In questo modo non viene misurato l'ossigeno che fluirebbe sotto la lente durante il normale ammiccamento. Un importante aspetto della tecnica appena illustrata sta proprio nel fatto che il fattore ammiccamento può essere facilmente introdotto. Così facendo è possibile valutare il comportamento di una lente nell'occhio tenendo conto sia del passaggio di ossigeno attraverso la lente che di quello attraverso il meccanismo di pompa lacrimale.

Recentemente Harvitt e Bonanno hanno utilizzato dei maratori per ottenere una valutazione della tensione di ossigeno al di sotto della lente in vivo utilizzando un modello animale⁷⁴. I valori così ottenuti confortano quelli ottenuti con la tecnica EOP e permettono quindi di avere a disposizione un nuovo modello per misurare direttamente la tensione dell'ossigeno sotto la lente a contatto.

Un altro noto sistema di quantificazione del passaggio di ossigeno attraverso una lente a contatto è stato descritto da Fatt e St.Helen nel 1971.⁷⁵ Il ben noto Dk, o permeabilità all'ossigeno di una materiale, è un coefficiente della legge di Fick, termine ben conosciuto in ambito ingegneristico, il quale determina quanto gas fluisce attraverso un campione di materiale a un gradiente di pressione parziale unitario. Esso è quindi una costante per un dato materiale. L'unità di misura è il Barrer, che corrisponde a (cm²/sec)(ml O₂/ml x mmHg).

Il Dk/t (trasmissibilità all'ossigeno) è in sostanza la permeabilità all'ossigeno diviso per lo spessore del campione e risulta pertanto relativo a una specifica lente. La lettera "t" identifica lo spessore della lente.

La tecnica del Dk è stata ampiamente accettata dalla comunità scientifica sebbene la tecnica dell'EOP sia quella maggiormente utilizzata dai clinici. La misurazione del valore di Dk è una tecnica in vitro, che viene effettuata su un banco di laboratorio e non coinvolge nessun tessuto vivente. Quindi, sebbene essa sia più prevedibile della misurazione dell'EOP, non è in grado né di misurare né di predire variazioni e risposte individuali. Il Dk è solamente una misura del materiale, mentre l'EOP è la misura della risposta del tessuto vivente di un individuo a uno specifico materiale e a una specifica geometria. Il Dk è influenzato dalla temperatura e un suo innalzamento determina un incremento del Dk. In generale viene misurato a 35° +/- 1°C, che è approssimativamente la temperatura dell'occhio aperto. Il valore di Dk/t può essere utilizzato anche nella legge di Fick

$$j = (Dk/t)(P_1 - P_2)$$

per determinare il flusso "j" attraverso una data lente, con una pressione parziale (P₁-P₂) diversa da una parte all'altra della lente. In generale, la pressione sotto una lente a contatto è un valore non noto ed è quindi possibile utilizzare il modello di diffusione, utilizzato in ingegneria, per determinare questo valore e il flusso attraverso la lente a contatto. A questo proposito, Harvitt e Bonanno hanno appurato che questo sistema è meno accurato di quello della tecnica EOP.

Misurazione del Dk

A seguito del diffondersi dei valori della trasmissibilità all'ossigeno, come elemento di valutazione delle lenti a contatto, sono state sviluppate diverse tecniche di misurazione. Il metodo originario, conosciuto come metodo polarografico, utilizzava l'elettrodo di Clark⁷⁵ dove la membrana veniva sostituita con la lente da testare. La trasmissibilità della lente determinava il valore con cui l'ossigeno raggiungeva il catodo per essere trasformato in ioni ossidrilici in grado di produrre un flusso di corrente. Il metodo coulometrico è costituito da due camere separate dal campione che deve essere testato,⁷⁶ nella prima camera il gas ossigenato viene fatto passare attraverso la superficie anteriore della lente, mentre nella seconda, l'ossigeno non addizionato ad alcun gas viene fatto fluire attraverso la superficie posteriore della lente. La concentrazione di ossigeno presente nella seconda camera è indice della misura della trasmissibilità all'ossigeno della lente.

La confusione che regnava, intorno alla metà degli anni '80, sui valori di permeabilità delle lenti RGP fu parzialmente risolta grazie alla tecnica coulometrica. Ciò nonostante, in seguito furono necessari degli aggiustamenti delle tecniche utilizzate affinché i valori ottenuti con le due diverse metodologie potessero essere confrontati. Per esempio, la diffusamente citata trasmissibilità dell'ossigeno di 40 Barrer/cm, di una ben nota lente disposable (il cui vero valore era intorno a 18) nasceva dal fatto che questa tecnica non era stata messa a punto per essere utilizzata con lenti morbide. La tecnica coulometrica è più adatta, di quella polarografica, per la valutazione di lenti con una permeabilità all'ossigeno superiore a 100 Barrer/cm.

Le misurazioni ottenute sia con il sistema coulometrico che con quello polarografico sono soggette all'effetto del "bordo" e dell'"interfaccia liquido-materiale".⁷⁷⁻⁸⁰ Questi errori sono indotti dall'infondatezza di certi assunti nel processo di misurazione. Sebbene tutti questi fattori siano stati soggetti di ampi dibattiti accademici, ora è stato raggiunto un consenso generale sul modo di eliminarli e ottenere valori di Dk coerenti con una tecnica standardizzata di misurazione.⁸⁰

Influenza del contenuto d'acqua e dello spessore della lente

La trasmissibilità all'ossigeno di una lente generalmente cade entro un ben definito modello, come ad

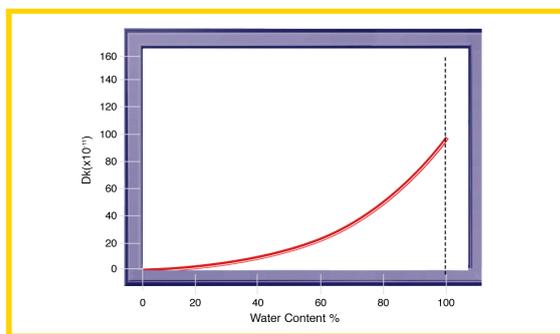


Figura 10
Relazione tra Dk e contenuto d'acqua.

esempio la relazione tra contenuto d'acqua e spessore della lente. Esiste una relazione logaritmica tra il contenuto d'acqua e la permeabilità all'ossigeno per tutti i materiali idrogel della precedente generazione. Questo tipo di relazione esiste in quanto tutto l'ossigeno passa attraverso la fase acquosa della lente. Maggiore è il contenuto d'acqua, maggiore è la permeabilità all'ossigeno; ma più il contenuto d'acqua è elevato maggiore è la fragilità. Così per permettere un'adeguata manipolazione risulta necessario aumentare lo spessore della lente. L'incremento di spessore a sua volta neutralizza i vantaggi in termini di trasmissibilità di ossigeno che l'alto contenuto d'acqua assicura⁸¹. I materiali di nuova generazione non necessariamente seguono questa relazione.

Nella fig. 10, la stessa relazione è stata tracciata su una scala lineare invece che su quella logaritmica. È stata questa relazione, tra permeabilità all'ossigeno e acqua, che per circa 20 anni, ha tenuto statiche le performance delle lenti morbide. I materiali di nuova generazione hanno rotto questa relazione.

Un altro aspetto importante nella determinazione del passaggio di ossigeno attraverso una lente a contatto riguarda lo spessore della lente. Sebbene i valori degli spessori centrali normalmente indicati siano effettivamente degli spessori reali è bene ricordare che in una lente graduata gli spessori non sono costanti ma variano lungo tutto il suo profilo, determinando un diverso passaggio di ossigeno attraverso la superficie della lente.

Nel 1983, Holden e coll. hanno trovato che l'ispessimento corneale della zona centrale, indossando una lente di alto potere negativo, era maggiore rispetto a quello che avveniva in presenza di una lente di basso potere.⁸² Sulla base di quanto detto sopra, nell'intento di fornire un valore di spessore per determinare un

modello di risposta corneale, è stato ritenuto opportuno inserire il concetto di spessore medio⁸³⁻⁸⁵. In seguito è stato pertanto sviluppato il concetto di spessore.^{86,87}

Fatt e coll. sostenevano invece che l'ipossia epiteliale doveva essere misurata punto per punto, mentre una risposta generale, come l'edema corneale, poteva essere meglio spiegata utilizzando il valore di spessore medio.^{88,89} Comunque, Holden e coll. sostengono la presenza di una limitata diffusione laterale dell'edema.⁹⁰ È ragionevole dire che c'è ancora un po' d'incertezza sull'argomento in quanto non è ancora chiaro se il "mix" di effetti, che vengono osservati con le lenti graduate durante l'edema, sia dovuto al livello di diffusione dell'ossigeno, al movimento laterale del latrato o alla presenza di acqua nello stroma. I dati forniti da Fatt recentemente, per lenti di tipo diverso, indicano sia i valori dello spessore punto per punto che la media dei valori.⁹¹ Per evitare confusione, sui dati di trasmissibilità all'ossigeno delle lenti, è importante che venga sempre specificato il modo in cui lo spessore viene calcolato.

Tradizionalmente, la trasmissibilità all'ossigeno di una lente a contatto viene indicata con il simbolo Dk/L . Dalla definizione di permeabilità (Dk) e trasmissibilità (Dk/L) si deduce chiaramente che il Dk offre una descrizione del solo materiale mentre il Dk/L descrive sia il materiale che la lente. Come le industrie di lenti a contatto evolvono l'ISO, per favorire la standardizzazione industriale, sviluppa nuovi standard e nuove linee guida. Nell'ottica di quanto detto deve essere letto il cambiamento della trasmissibilità da Dk/L a Dk/t , dove sia "L" che "t" indicano lo spessore e quindi il Dk/t risulta equivalente al Dk/L .

Comunque variazioni nella nomenclatura non significano variazioni metodologiche. L'ISO definisce ancora la trasmissibilità all'ossigeno come la permeabilità all'ossigeno divisa per lo spessore, misurato in centimetri. Lo spessore viene, a sua volta, definito come lo spessore a un punto specifico o come spessore armonico in una data area della lente o del campione.

Effetti avversi dell'ipossia corneale

L'ipossia corneale cronica non è un fatto usuale tra i non portatori di lenti a contatto, così la maggior parte di informazioni sulla sua esistenza o sui suoi effetti provengono dall'osservazione della cornea dei por-

tatori di lenti a contatto, sebbene alcuni studi a breve termine siano stati eseguiti su esseri umani alterando il livello di ossigeno in isolamento. Studi più lunghi sono stati effettuati su animali, con la possibilità di limitare l'influenza sui risultati di variabili estranee, ma introducendo il limite dell'applicazione delle speci-incrociate. Con l'utilizzo delle lenti nel tempo, l'origine di un segno di ipossia non può essere assoluto, dato che altri fattori lavorano in tandem con questa. L'evidenza che lega l'ipossia a molti dei cambiamenti discussi è quindi circostanziale.

Ciò che segue è un breve sommario della serie di cambiamenti che si considerano essere legati all'ipossia cronica, indotta dall'uso delle lenti a contatto. In verità, esso cerca di sintetizzare ciò che oggi si pensa sui cambiamenti determinati dall'ipossia piuttosto che fare un sunto dei singoli esperimenti.

Non vengono invece qui trattati cambiamenti che si pensa siano dovuti ad altre cause. Alcuni degli altri cambiamenti che avvengono nei portatori di lenti a contatto possono essere considerati come veramente fisiologici in natura, senza invocazioni di sottintesi patologici. Sono disponibili trattazioni più approfondite sull'intero spettro dei cambiamenti indotti dall'uso delle lenti.^{29,92,93}

Epitelio

L'impatto immediato di un basso livello di ossigeno sulla superficie corneale anteriore è una riduzione del flusso di ossigeno, con un concomitante rallentamento del metabolismo corneale epiteliale, a causa della ridotta disponibilità energetica. È stato osservato che la divisione cellulare, che ha un ampio raggio di influenza, in questa situazione tende a diminuire.⁴⁷ Una ridotta riproduzione cellulare è seguita, se non da tutti, almeno da uno di questi tre avvenimenti: allungamento della vita delle cellule, ingrandimento delle dimensioni cellulari, assottigliamento dell'epitelio.^{25,26,94,95} Con una minor quantità di tessuto, il consumo totale di ossigeno, anche in un'atmosfera con valori normali di ossigeno, si riduce.^{26,96,97}

Le microcisti (fig. 11) sono un altro segno, clinicamente osservabile, di grande significato clinico. Esse possono essere usate per misurare il grado di ipossia nel corso di un periodo di porto prolungato. Sono cellule incomplete che si muovono attraverso l'epitelio seguendo il normale processo di turnover. Un numero elevato di microcisti indica la necessità di ricorrere ad una lente con un Dk/t più elevato o, in caso di uso prolungato, la necessità di ridurre il numero di notti sequenziali.

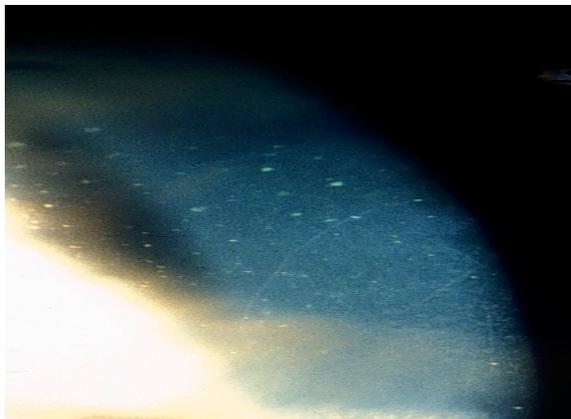


Figura 11
Le microcisti.

Le microcisti sono lente da risolvere e possono aumentare il numero anche dopo l'interruzione della situazione ipossica. Esse sono il risultato di una riproduzione cellulare già ridotta in velocità, che può essere non funzionale, disorganizzata o incompleta.^{26,98-101} Un numero limitato di microcisti è osservabile anche in cornee normali. Più specificatamente esse appaiono, in largo numero, dopo due o tre mesi di porto continuo e possono essere considerate clinicamente come un importante indicatore di stress, sebbene non abbiano un significato patologico immediato.¹⁰¹

Un altro importante fenomeno è costituito dalla perdita di giunzioni intercellulari, con conseguente separazione delle cellule e riduzione degli emidesmosomi; un effetto probabilmente dovuto ad una ridotta disponibilità energetica per lo svolgimento della normale attività cellulare.¹⁰³⁻¹⁰⁵

Sebbene sia logico pensare che la compromissione dell'integrità delle giunzioni intercellulari possa determinare un incremento della permeabilità dell'epitelio, questo sembra però non avvenire.¹⁰⁶ Si pensa che ciò sia dovuto a un incremento del numero di cellule associate con una conseguente riduzione dell'esfoliazione. Clinicamente l'epitelio diventa più fragile,¹⁰⁷ e ciò si manifesta con la presenza di staining.^{104,108} o in casi più severi con abrasioni.^{25,94,109}

Un ulteriore effetto dell'uso delle lenti a contatto, chiaramente correlata all'ipossia²⁰, è la riduzione della sensibilità corneale.¹¹⁰⁻¹¹³ L'effetto finale di tutti questi cambiamenti nell'epitelio è un meccanismo di difesa indebolito, il quale rende la cornea vulnerabile ad attacchi esterni come le infezioni.

Stroma

Una serie di effetti avversi possono essere localizzati anche sul tessuto stromale. L'edema è quello maggiormente studiato e sebbene sia localizzato a livello dello stroma, curiosamente le sue origini risiedono nell'epitelio. Durante l'ipossia epiteliale indotta da lenti a contatto, il metabolismo aerobico viene sostituito da quello anaerobico, determinando una iperproduzione di lattato.¹¹⁴ L'eliminazione del lattato non avviene così facilmente, come quella relativa ai prodotti di razione che si ottengono con il metabolismo aerobico, e il suo accumulo è responsabile del gradiente osmotico per il quale l'acqua fluisce verso lo stroma.⁴² L'accumulo di acido lattico è responsabile, in combinazione con l'aumento di anidride carbonica¹¹⁵, anche dell'acidosi stromale.¹¹⁶⁻¹¹⁸ Clinicamente, un pH ridotto può essere responsabile di alcune osservazioni endoteliali riportate.

Generalmente il rigonfiamento corneale dopo quattro ore di anossia raggiunge circa l'8% ma, con le lenti a contatto e a occhi chiusi, il valore può raggiungere il 14%, suggerendo l'idea che l'ipossia interagisca con altri fattori.^{68,82} Mentre l'edema è uno dei classici parametri preclinici utilizzati per misurare il deficit di ossigeno indotto durante la valutazione dei materiali, esso assume un valore marginale per il singolo paziente di uno studio clinico. Un clinico può rilevare un edema corneale del 5% osservando le strie, o del 10% osservando le pieghe ma la cornea può soffrire di ipossia cronica, durante l'uso delle lenti a contatto continuo senza che il clinico sia in grado di rilevarlo. Questo perché il rigonfiamento corneale può raggiungere il 12% a occhi chiusi ma può ritornare rapidamente al 4%, al di sotto della soglia di detenzione delle strie dopo una o due ore di veglia, vale a dire prima dell'appuntamento per il controllo.⁸² Generalmente la presenza di una stria è indice di un edema corneale del 5%, mentre quelle di una piega nella Descemet del 10%. Ogni stria o piega in più indicano approssimativamente un 1% di edema in più rispetto alla linea di partenza (fig. 12).

La visione non pare essere significativamente influenzata dall'edema stromale. Affinché lo sia, l'edema deve necessariamente raggiungere un valore del 15%, e comunque può essere dovuto all'epitelio. L'edema di per se non è necessariamente preoccupante (sebbene valori elevati possano determinare una momentanea riduzione dell'acuità), poiché in realtà sembra esserci una sorta di adattamento all'edema, dato che la risposta tende a ridursi nel tempo. Entrambi i valori, sia quello di partenza che la quantità di edema che si

% Edema corneale	Numero di Strie	Numero di Pieghe
4	0	0
5	1	0
6	2	0
7	3	0
8	5	1
9	7	3
10	8	4

Figura 12
Strie e pieghe.



Figura 13
Edema stromale.

presenta giornalmente, tendono a diminuire con il tempo d'uso del porto prolungato.^{108,120-122} Nel lungo termine può avvenire un assottigliamento stromale dovuto a una fluttuazione giornaliera di glicosaminoglicani, la sostanza base del collagene. Secondo Solomon, coloro che hanno sofferto di edemi significativi corrono il rischio di dover sospendere l'uso delle lenti a contatto¹²³, sebbene non sia chiaro se le complicazioni possano avvenire a valori più elevati (fig. 13).

Normalmente, la cornea di soggetti che non indossano lenti a contatto durante la fase del sonno, si rigonfia a p p rossimativamente tra l'1 e il 5%, a causa della riduzione di ossigeno dovuta alla chiusura delle palpebre. Dopo il risveglio, e a occhi aperti, essa si sgonfia e torna al suo spessore iniziale. Quindi, in breve, un incremento del 5% dello spessore corneale generalmente non determina segni avversi o sintomi ed è considerato clinicamente accettabile. Comunque, gli effetti a lungo termine di un edema cronico di basso valore non sono ben conosciuti.

Il rigonfiamento corneale superiore al 5-6% invece determina dei cambiamenti, a livello degli strati corneali posteriori, tali da poter essere osservati. Sebbene gli effetti a lungo termine dell'edema corneale cronico non siano totalmente compresi, è possibile affermare

che la situazione di stress a cui la cornea è sottoposta può danneggiare le cellule dell'endotelio compromettendo permanentemente la salute corneale.

I due cambiamenti stromali che sembrano essere in relazione con l'ipossia e che presentano importanti ramificazioni con l'uso delle lenti a contatto sono la vascolarizzazione e la sindrome da esaurimento corneale. La vascolarizzazione corneale è il cambiamento più frequente e più significativo.¹²⁴ Generalmente non avanza così tanto da poter compromettere la visione o lo stesso uso delle lenti a contatto, ma ha le potenzialità per poterlo fare.¹²⁵ La vascolarizzazione (fig. 14) si osserva maggiormente con lenti a contatto negative a basso contenuto d'acqua (poiché hanno una più bassa trasmissibilità all'ossigeno in periferia), con il porto continuo, con lenti morbide piuttosto che con lenti rigide, al limbus superiore (poiché coperto dalla palpebra superiore), in tutti i casi in cui l'ipossia implichi un fattore vasogenico.¹²⁵ Chan e Weissman hanno recentemente dimostrato che l'ipossia è associata al pannus corneale.¹²⁶

Un altro importante cambiamento stromale è la sindrome da esaurimento corneale che si presenta dopo diversi anni di uso di lenti in PMMA o lenti spesse in HEMA, entrambe i tipi di lenti infatti hanno una bassa trasmissibilità all'ossigeno.¹²⁷ Essa si manifesta con intolleranza alle lenti a contatto, riduzione dell'acuità visiva, alterazione della refrazione sfero-cilindrica, irregolarità endoteliali e irregolarità della forma anteriore della cornea.¹²⁷ La sindrome era rilevata con maggior frequenza durante il periodo in cui veniva utilizzato il PMMA.

Raramente possono presentarsi emorragie intracorneali e opacità corneali entrambe debolmente correlate con origini ipossiche.²⁹



Figura 14
Vascolarizzazione.

Endotelio

Nel breve periodo, le lenti a contatto possono indurre un edema endoteliale transitorio, conosciuto talvolta con il nome "blebs" (fig. 15). Questo tipo di risposta è inversamente proporzionale alla trasmissibilità all'ossigeno delle lenti a contatto.^{128,129} È stato teorizzato che il rigonfiamento delle cellule endoteliali sia dovuto all'abbassamento del pH, nell'ambiente vicino a quello dell'endotelio.⁶⁹ L'accumulo di anidride carbonica è probabilmente uno dei fattori che accelerano l'induzione dell'edema endoteliale.⁶⁹ La relazione esistente tra la trasmissibilità d'ossigeno e quella dell'anidride carbonica, di una lente a contatto¹³⁰, può spiegare l'associazione tra trasmissibilità all'ossigeno e apparizione delle blebs come risposta, piuttosto che qualsiasi altro effetto diretto. C'è un effetto di adattamento dell'edema endoteliale per cui la reintroduzione di una lente a contatto in un occhio produce un effetto minore.⁶⁹ A prescindere dall'indicazione di una sofferenza a breve termine, sembra non esserci alcun altro segno di disfunzione associato alle blebs. Per poterle osservare è necessario utilizzare un ingrandimento di 40X. La presenza di un numero di blebs compreso tra 0 e 10 viene definita con un termine compreso tra "tracce" e "leggero" e generalmente non richiede alcun tipo di intervento clinico. Mentre la presenza di una dozzina di blebs, o il coinvolgimento di circa il 15% dell'endotelio, identificano la necessità di passare a un valore di Dk/t più elevato.

L'ipossia cronica può determinare, nel lungo termine, alcune importanti conseguenze alla salute dell'endotelio corneale. Mentre la densità cellulare, nel lungo termine, non subisce un forte effetto, la forma e la dimensione della cellula ne sono drammaticamente influenzate.^{131,132} Questi effetti, conosciuti rispettivamente come polimorfismo e polimegatismo (fig. 16) sono evidenti in complicazioni come l'esaurimento corneale.¹²⁷ Dal punto di vista funzionale non è chiaro se il polimegatismo, di per se, abbia un impatto, sebbene Polse e coll. sostengono che sia così.¹³³ Il recupero è lento e la condizione può persistere per molti mesi anche dopo la sospensione dell'uso di lenti a contatto.^{26,134} Il fatto che l'ipossia corneale sia implicata nello sviluppo del polimegatismo è stato evidenziato dal fatto che condizioni di scarso ossigeno, come l'utilizzo di lenti a bassa permeabilità all'ossigeno (PMMA) e il porto continuo, presentano un elevato grado di polimegatismo.^{26,27,131,132,134}

Un altro fattore, che è stato considerato separatamente dagli aspetti anatomici, è la capacità funzionale del-

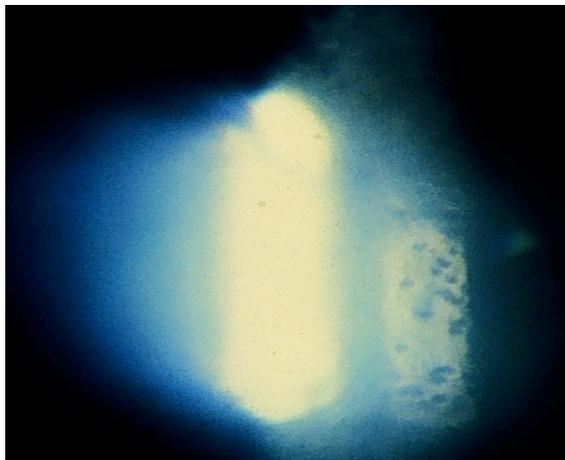


Figura 15
Blebs.

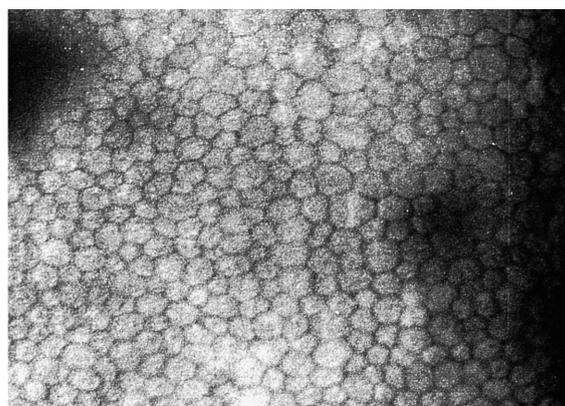


Figura 16
Polimegatismo.

l'endotelio nel mantenere lo spessore centrale o di ripristinarlo dopo episodi di stress.^{135,136} Importanti lavori sono stati recentemente eseguiti, in quest'area, da Polse, Bonanno e coll.^{133,137-139} Acidità nello stroma correlata con la diminuzione della capacità funzionale.¹³⁹ Da studi recenti sembra che l'acidosi endoteliale sia dovuta quasi esclusivamente dalla crescita di anidride carbonica.¹⁴⁰ Ricerche future chiariranno i nostri dubbi sull'importanza dell'acidificazione stromale ed endoteliale nelle complicazioni delle lenti a contatto.

Infezione e infiammazione

I processi infiammatori e infettivi non possono essere delineati entro uno specifico strato corneale, essi infatti possono coinvolgere lacrime, epitelio, stroma e, nei casi

peggiori, tutta la struttura oculare. Il ruolo dell'ipossia in questa condizione verrà affrontato separatamente, più avanti. La discussione sulla patogenesi della cheratite infettiva associata con le lenti a contatto è al di là degli scopi di questo lavoro ed è stata discussa in modo esauriente altrove.^{17,141,142} Il ruolo potenziale dell'ipossia nell'indurre infezioni corneali è di grande interesse ed è comunque chiaro che la cornea, durante l'uso delle lenti a contatto, è più incline alle infezioni, in modo particolare con il porto prolungato.^{7,10,16,143-156}

Non ci sono evidenze cliniche che mettano in relazione la trasmissibilità all'ossigeno delle lenti a contatto con l'incidenza della cheratite infettiva, malgrado la presenza di un legame intuitivo. È stato comunque rilevato che un aumento della frequenza del porto notturno determina un relativo incremento del rischio di infezioni.¹⁴³ Questi due fattori possono lavorare in tandem: innanzi tutto l'ipossia, come discusso precedentemente, compromette le difese corneali, (e questo fenomeno dipende dal tempo) in secondo luogo, la possibilità di invasione batterica cresce in concomitanza con l'esposizione nel tempo.¹⁵⁷ Il porto notturno incrementa l'ipossia, compromette le difese corneali e permette un'interazione più lunga tra batteri e cornea.

È risaputo che lenti a porto prolungato incrementano i legami tra batteri e cellule epiteliali.¹⁵⁸ L'importanza immediata di quanto trovato non è chiara, in quanto il passo tra questo tipo di adesione ed una vera e propria infezione è grande. In modelli animali, il legame tra adesione batterica e cellule epiteliali raccolte corrisponde con il livello di ossigeno.¹⁵⁹

Il ruolo dell'ipossia in una condizione infiammatoria non infettiva può essere significativo. L'ipossia infatti sembra giocare un ruolo importante nella regolamentazione del grado e della durata della risposta infiammatoria in altri tessuti del corpo. Per esempio, è risaputo che incrementa l'espressione dei neutrofili chemiotattici, i cui segnali provocano la migrazione dei globuli bianchi nel tessuto danneggiato.^{160,161} L'ipossia inoltre prolunga la sopravvivenza dei globuli bianchi infiammatori prolungando così la risposta infiammatoria.¹⁶² Si stanno inoltre accumulando prove che i processi infiammatori all'interno della struttura corneale sono in parte mediati dall'ipossia.^{163,164}

Lo spettro delle variazioni tessutali correlate con l'ipossia è ampio. Ottenere la prova assoluta del coin-

Sistemica	Tipo di lenti Applicazioni Tempo di utilizzo Sostituzione Igiene Anamnesi
Patologia oculare	
Trauma	
Lente a contatto	
Metabolico	
Immunologico	
Infezioni oculari	
Idiopatico	

Figura 17
Fattori di rischio correlati alle complicazioni.

volgimento è risultato difficile ma ora è ragionevole supporre che l'ipossia sia il principale fattore che conduce alle complicanze da lenti a contatto, sia da sola che associata, che attraverso l'interazione con altri agenti.

Alti fattori di rischio di complicanze possono includere la salute generale del paziente, vari aspetti legati alle lenti a contatto stesse e quanto il paziente si attiene alle istruzioni dell'applicatore (fig. 17).

Performance dell'ossigeno delle lenti a contatto

Fatt e coll. hanno calcolato la tensione dell'ossigeno lungo tutto il profilo corneale durante l'uso delle lenti a contatto.⁴⁰ Il grafico nella fig. 18, preso dal lavoro di Fatt, mostra la tensione normale di ossigeno attraverso la cornea senza lenti a contatto sia ad occhi aperti che a occhi chiusi.

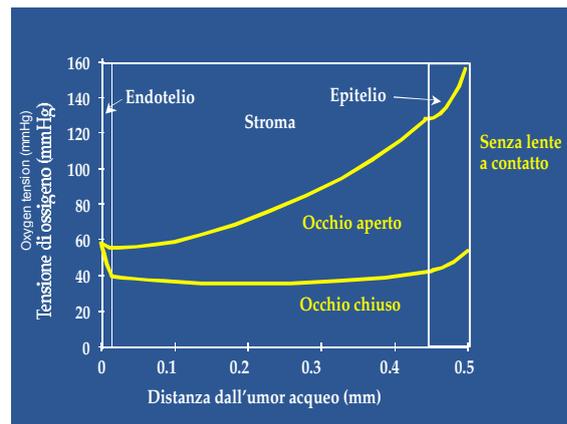


Figura 18
Profilo della tensione d'ossigeno sulla cornea senza lenti a contatto con occhio aperto e chiuso. (Fatt e coll. 1974)

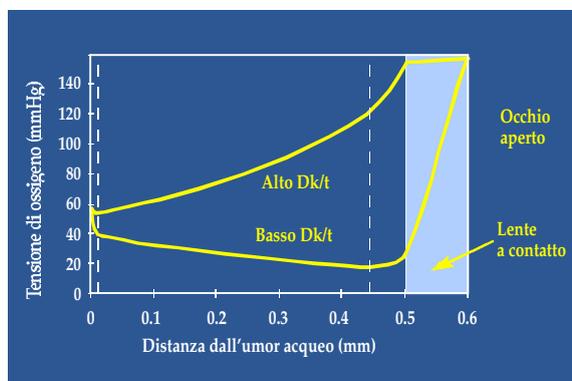


Figura 19
Profilo della tensione d'ossigeno sulla cornea durante l'utilizzo di una lac a basso ed elevato Dk. (Fatt e coll. 1974)

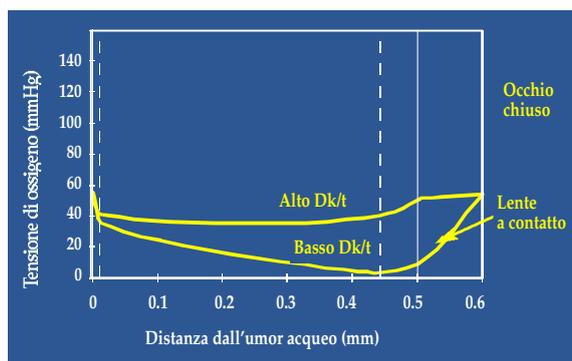


Figura 20
Profilo della tensione d'ossigeno sulla cornea sulle stesse lac della fig. 19 in condizione di occhio chiuso. (Fatt e coll. 1974)

La fig. 19, sempre ripresa dal lavoro di Fatt, mostra invece il profilo della tensione di ossigeno durante l'utilizzo di una lente a basso e alto Dk/t (trasmissibilità) in condizione di occhio aperto.

La fig. 20 riporta il profilo delle stesse lenti in condizione di occhio chiuso.

Il confronto tra il profilo con lenti indossate e quello senza lenti indossate mostra il grado di ipossia relativa ai vari strati corneali.

In presenza di una lente con un basso valore di Dk/t si vede come, all'interno dell'epitelio, la tensione decada a valori inferiori di 20 mm Hg, producendo un indesiderato effetto ipossico. Durante la chiusura delle palpebre e con una lente ad alto Dk/t indossata, la tensione cade leggermente sotto i 40 mm Hg su tutta la cornea.

Ad occhi chiusi e con una lente a basso Dk/t indossata la tensione decada vicino allo zero a livello del-

l'epitelio posteriore, potendo determinare severe conseguenze ipossiche.

Performance critica dell'ossigeno delle lenti a contatto

Abbiamo sino ad ora preso in considerazioni i valori di tensione di ossigeno necessari per evitare cambiamenti nella funzioni corneali ma, per evitare di incorrere in questi cambiamenti indesiderati, sarebbe opportuno prendere anche in considerazione i valori di trasmissibilità all'ossigeno delle lenti a contatto. Nella fig. 21 vengono elencati degli studi che hanno fornito valori di trasmissibilità critica necessari per evitare cambiamenti corneali indesiderati. ^{22,51,53,54,118,165-167}

Forse il lavoro più significativo a tal proposito può essere considerato quello di Holden e Mertz nel 1984.²² Per comodità, i dati, da loro ottenuti, sono stati riportati su più grafici. La fig. 22 mostra il livello di rigonfiamento corneale (asse delle y) per lenti con diversi valori di trasmissibilità (asse delle x), in condizione di occhio aperto. Secondo questi dati il livello critico sopra al quale si determina un rigonfiamento corneale è quello di 24 Barrer / cm.

Le lenti a contatto durante la chiusura delle palpebre presentano una situazione più complessa come illustrato nella fig. 23 e 24.

Innanzitutto possiamo osservare che senza lenti e a occhi chiusi si registra un edema corneale tra il 2-4%; ciò significa che il valore di partenza non è uguale a zero.

Secondo, ci sono pochi materiali con valori Dk/t in regioni del grafico in cui non si rileva edema corneale.

Autore	Anno	Criterio	Dk/t
Holden et.al.	1984	edema zero uso diurno	24
Holden et.al.	1984	edema residuo zero P/N	34
Holden et.al.	1984	edema a occhio chiuso	87
O'Neal et.al.	1984	edema a occhio chiuso	75
Andrasko	1986	edema a occhio chiuso	159
Ichijima et.al.	1992	rapporto PN/Fp	59
Tsubota et.al.	1993	LDH, MDH	64
Giasson & Bonanno	1994	pH umor acqueo	84
Giasson & Bonanno	1994	pH epiteliale	300
Ichijima et.al.	1994	LDH	84

Figura 21
Stima della trasmissibilità all'ossigeno critica per evitare cambiamenti corneali indotti da lente a contatto.

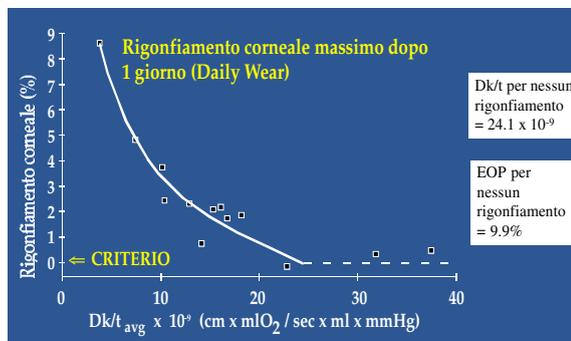


Figura 22
Studi sul livello critico di ossigeno nell'uso quotidiano. (Fatt e coll. 1974)

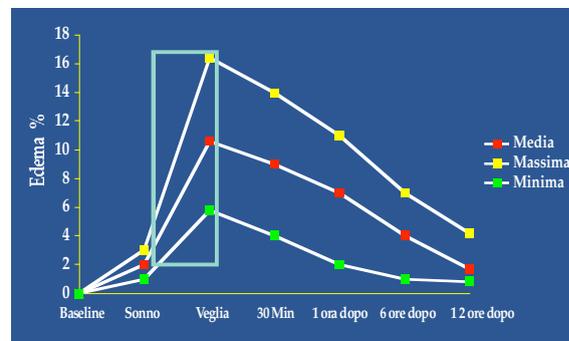


Figura 25
Range di risposte a un basso Dk. (Fatt e coll. 1974)

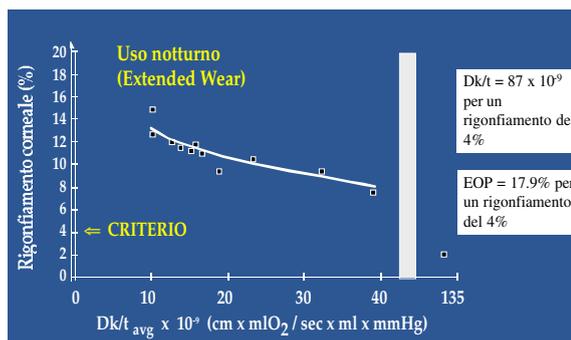


Figura 23
Studi sul livello critico di ossigeno nell'uso notturno. (Fatt e coll. 1974)

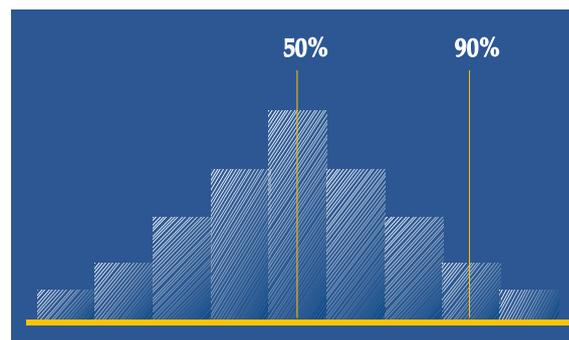


Figura 26
Criteri di successo.

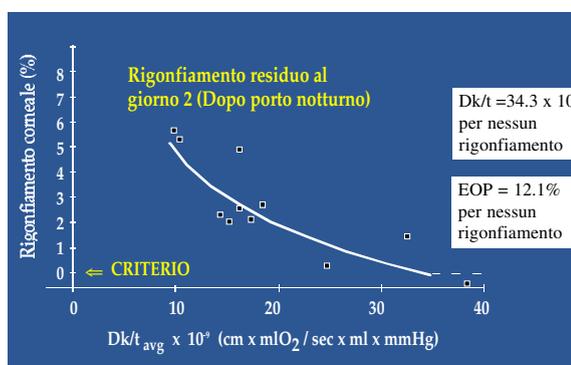


Figura 24
Studi sul livello critico di ossigeno nell'uso notturno. (Fatt e coll. 1974)

Terzo, la forma asintotica della curva indica che il valore potrebbe cadere in qualsiasi punto lungo un ampio continuum.

Holden e Mertz trovarono che il valore critico di Dk/t, per un rigonfiamento corneale limitato al 2-4% durante l'uso notturno, era di 87 Barrer/cm. Essi sug-

gerirono inoltre di prendere in considerazione il rigonfiamento residuo presente il giorno dopo l'uso notturno (la cornea ha la capacità di eliminare sino all'8% dell'edema durante il giorno), in questo modo trovarono che un Dk/t maggiore di 34 Barrer/cm, permetteva di mantenere l'edema entro questo livello. La risposta individuale all'edema corneale può variare moltissimo (fig. 25).

Poiché la stima originaria di un Dk/t di 87, per avere un rigonfiamento corneale solo del 4%, era basata su pochi punti ed era la media delle risposte di diversi individui, è possibile che singoli pazienti per poter raggiungere il valore del 4%, possano necessitare di un valore di Dk/t più elevato.

Una frequenza di distribuzione che segua un pattern di variabilità biologica naturale per il rigonfiamento corneale è facilmente determinabile. Se una lente a contatto è stata progettata per raggiungere certi livelli di rigonfiamento corneale notturno basandosi sui valori medi, il 50% della popolazione potrebbe ancora presentare un rigonfiamento maggiore del valore medio (fig 26).

Dato che le variazioni individuali del rigonfiamento corneale sono così ampie, le lenti devono essere studiate per permettere un minimo edema corneale anche per quei pazienti "fuori quota" che richiedono valori un poco più alti di Dk/t, così che il 90-95% dei pazienti possa esibire un normale rigonfiamento corneale. Le ricerche cliniche coinvolgono una popolazione ma il contattologo deve prendersi cura di ogni singolo paziente. Quindi, la geometria delle lenti a contatto a porto continuo deve essere basata sulle necessità di questi pazienti "fuori quota", e non sui valori medi, in modo da assicurare il minimo rigonfiamento corneale alla maggior parte dei pazienti. Dato che il valore di Dk/t 87, indicato a suo tempo da Holden e Mertz come valore minimo per avere un rigonfiamento corneale non superiore al 4% durante il porto continuo è basato sui valori medi, è naturale che sorga l'interrogativo se questo valore sia sufficientemente elevato. È molto probabile che possa raggiungere questo livello di rigonfiamento minimo in solo circa il 50% dei pazienti.

Performance a confronto

Quali lenti a contatto oggi disponibili rispondono a questi criteri? La fig. 27 riprodotta dal lavoro di Brennan e coll, nel 1991⁸¹ mostra la trasmissibilità all'ossigeno di diverse lenti rigide e morbide. Questo modello assume che una lente sia il più sottile possibile ma sia in grado di mantenere le necessarie proprietà meccaniche e anche che sia abbastanza spessa da minimizzare il problema della disidratazione della lente applicata. Lo spessore medio, calcolato al centro, è di 0,06 mm. La permeabilità all'ossigeno per una lente morbida è determinato dalla ben conosciuta relazione logaritmica del contenuto d'acqua.⁸¹ Da ciò si può dedurre chiaramente come nessuna delle tradizionali lenti a contatto morbide disponibili risponda ai criteri di 34 Barrer/cm per non aver alcun edema notturno residuo, tralasciando il criterio di 87 Barrer/cm, per non aver alcun rigonfiamento corneale notturno oltre il livello fisiologico.

Ricapitolando, nella fig. 28 sono stati riportati i valori minimi di Dk/t e di EOP necessari per evitare l'edema durante il porto giornaliero e per avere un valore di edema non superiore a quello del 4% (edema notturno) con le lenti a porto continuo, così come il valore di "compromesso", suggerito da Holden e Mertz nel 1984, di rigonfiamento residuo zero dopo 2 giorni.

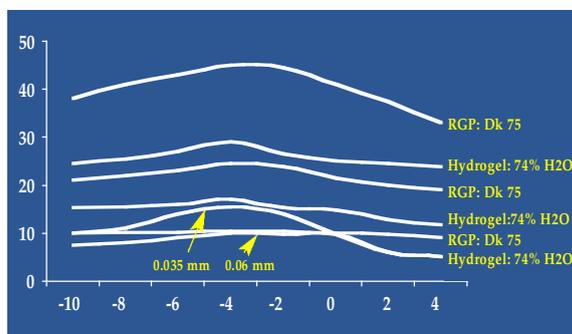


Figura 27
Comparazione delle performance.

	Dk/t	EOP
"Porto giornaliero sicuro": Nessun rigonfiamento corneale al g. 1	24.1 +/- 2.7	9.9%
"Porto prolungato sicuro": rigonfiamento corneale notturno 4% o meno	87.0 +/- 3.3	17.9%
"Criterio di compromesso": Nessun rigonfiamento residuo al giorno 2	34.3 +/- 5.2	12.1%

Figura 28
Sommario delle richieste d'ossigeno.

Ottimizzazioni delle performance di ossigeno

Le performance di ossigeno per ogni singolo individuo possono essere migliorate con le seguenti strategie.

- Lo spessore totale della lente può essere ridotto utilizzando una lente ultrasottile piuttosto che una lente con spessore standard. Problemi pratici come la manipolazione o la fragilità possono essere un limite.
- Una maggiore mobilità della lente può migliorare le performance dell'ossigeno. Comunque la pompa lacrimale off re un piccolo miglioramento dell'ossigenazione durante l'uso delle lenti morbide.
- La riduzione della zona ottica nelle lenti, ad alto potere, riduce lo spessore della lente nella zona di massimo spessore sia nelle lenti positive che in quelle negative.¹⁶⁸ Un limite di questa riduzione è dato dalla necessità di mantenere una adeguata performance ottica.

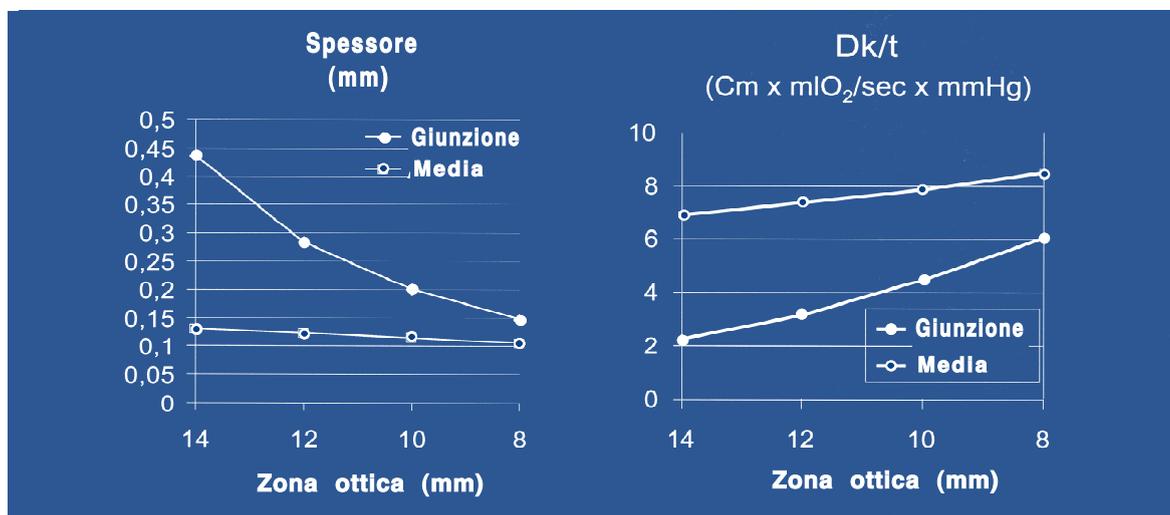


Figura 29
Effetti della dimensione della zona ottica.

• Una modalità utilizzata per migliorare la permeabilità all'ossigeno del materiale di una lente a contatto tradizionale in idrogel è quella di aumentare il contenuto d'acqua. Comunque le lenti ad elevata idrofilia hanno mediamente una vita più corta. Il progresso, negli ultimi anni, della formulazione chimica nei materiali per lenti a contatto ha permesso di migliorare le loro performance senza per altro dover aumentare il contenuto d'acqua, questo sviluppo si ripro-

mette di cambiare il modo con cui le lenti a contatto verranno utilizzate nel prossimo futuro.¹⁶⁹

La relazione tra dimensione della zona ottica e spessore, discussa precedentemente, non è sempre immediatamente chiara. Dal grafico 29 appare evidente che la riduzione della zona ottica non determina una riduzione dello spessore medio della lente, che rimane sostanzialmente costante, mentre è possibile osservare

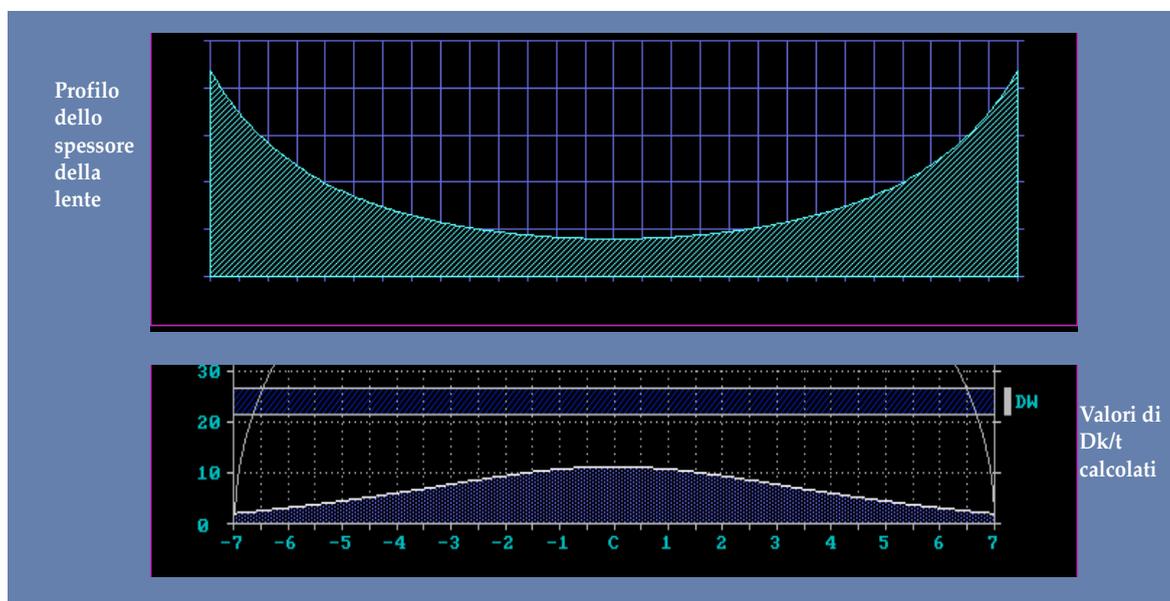


Figura 30
Spessore e Dk/t (14.0 mm OZ).

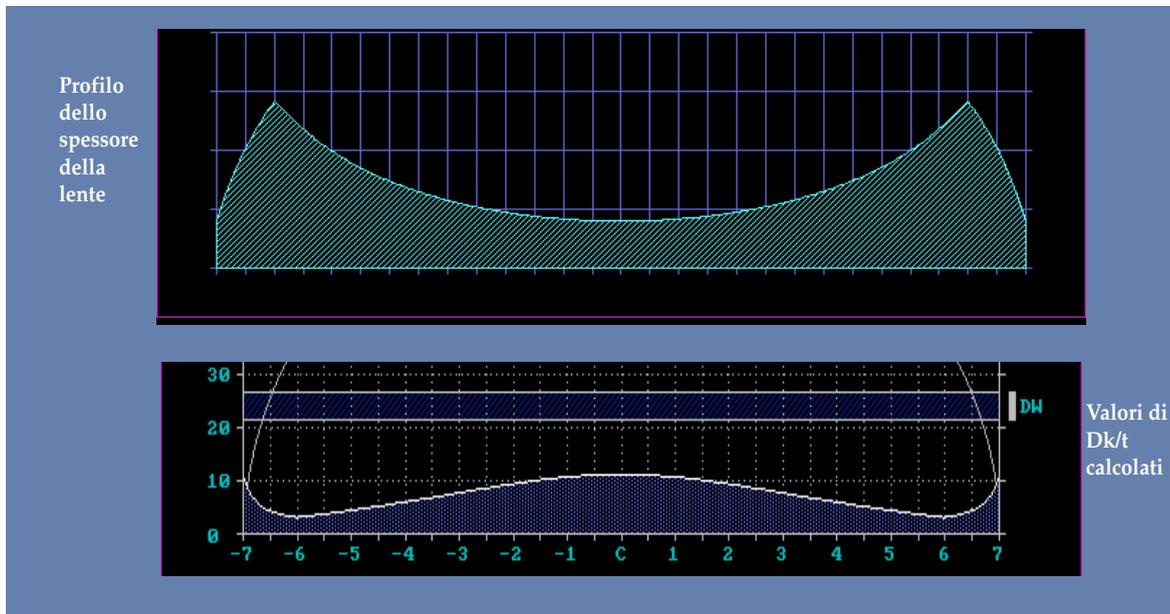


Figura 31
Spessore e Dk/t (12.0 mm OZ).

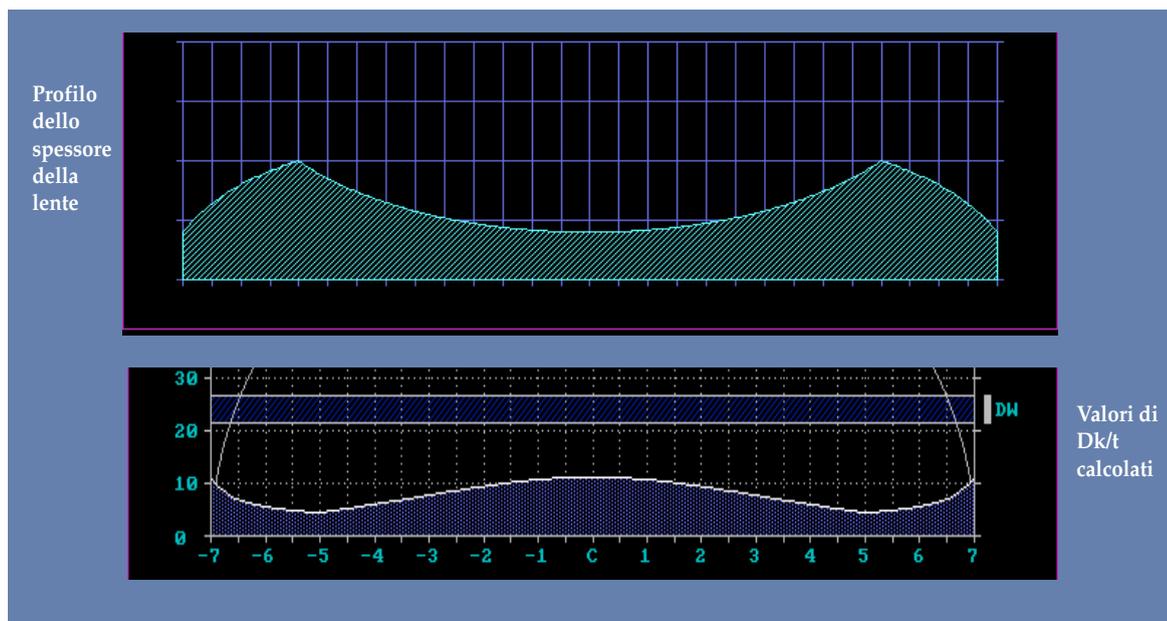


Figura 32
Spessore e Dk/t (10.0 mm OZ).

che lo spessore nella zona di giunzione diminuisce in modo sostanziale. Questo si traduce in un più elevato valore di Dk/t come la dimensione della zona ottica si riduce. Talvolta è facile visualizzare questo

effetto osservando la lente in sezioni. Le sezioni riportate nella fig. 30, 31, 32, 33 sono sezioni di lenti in HEMA con potere $-3.00D$ e spessore centrale di 0.10 mm. È possibile osservare che il valore

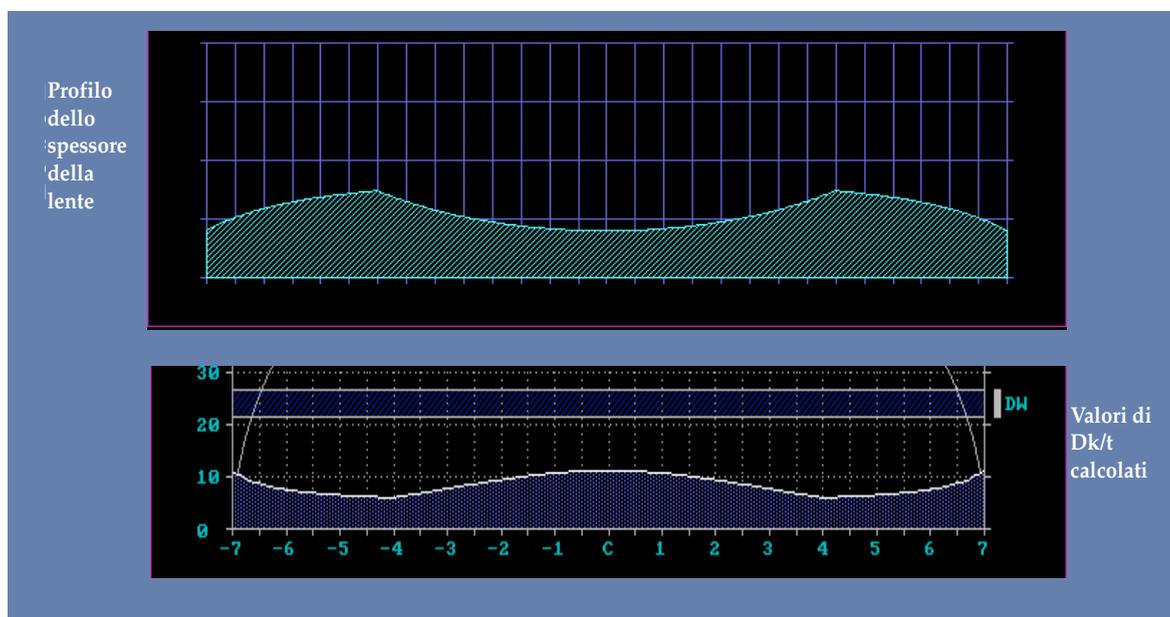


Figura 33
Spessore e Dk/t (8.0 mm OZ).

Dk/t al bordo è veramente basso (fig. 30), ma via, via che il diametro della zona ottica diminuisce il valore di Dk/t del bordo tende ad aumentare. Con una zona ottica di 8.00 mm (fig. 33) si ottiene un valore Dk/t uguale a 10, pressoché costante su tutta la lente.

Lenti morbide ad elevato Dk

Molti dei nuovi materiali sono materiali ibridi in quanto contengono sia componenti silicici che idrofilici.

La componente idrofilica conferisce alla lente molti dei desiderabili aspetti di una lente tradizionale, come comfort, conformità e compatibilità della superficie. La componente silicica ha il compito di trasportare ossigeno insieme alla componente in idrogel, assicurandone un apporto elevato. I risultati clinici con questi materiali sono molto promettenti.

Uno di questi materiali è il lotrafilcon A (CIBA Vision). La permeabilità all'ossigeno di questo materiale è di 140 Barrer il che pone questo materiale persino al di sopra dei migliori materiali per lenti a contatto RGP. Con uno spessore centrale di 80 μ m, le performance in termini di flusso di ossigeno verso la cornea sono eccezionalmente buone, fatto peraltro confermato dai test di rigonfiamento corneale che mostrano un edema

Lenti	Dk/t	Edema notturno (%)
Polymacon	24	12
Etafilcon A	27	11
Omafilcon	35.7	12
Vasurfilcon A	38.9	9
Satafocon (RGP)	45	7
Senza lenti		3.9

Figura 34
Performance a confronto.

notturmo del 2,5%, misurato immediatamente dopo la chiusura palpebrale, contro uno 1,8% nell'occhio di controllo¹⁷². Questo significa che l'edema indotto dal porto prolungato dovrebbe essere facilmente risolto entro il giorno 2. Le performance di queste lenti sono nettamente superiori a quelle delle tradizionali lenti in idrogel.

A supporto di quanto detto la fig. 34 permette una comparazione tra i dati del materiale lotrafilcon A con quelli di altri importanti tipi di lenti, per un valore medio di trasmissibilità all'ossigeno di una lente di potere -3.00D. Tutti i valori di Dk/t, ad eccezione del lotrafilcon A, sono stati misurati dallo stesso laboratorio¹⁷³. Il grafico che mette in evidenza la relazione esistente tra contenuto d'acqua e permeabilità all'ossigeno non è quindi più attuale.

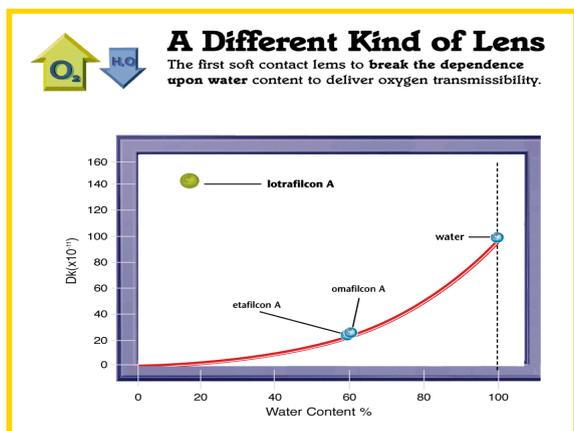


Figura 35
Dk Vs. Contenuto d'acqua.

La fig. 35 traccia il classico grafico della relazione tra permeabilità all'ossigeno e acqua di Brennan e altri⁸¹, al quale è stato aggiunto il materiale lotrafilcon A. Dal grafico risulta evidente come il lotrafilcon A sia sganciato dai legami e dalla restrizioni presenti nei materiali che basano la propria permeabilità all'ossigeno sull'acqua.

Fermo restando che la trasmissibilità all'ossigeno è un parametro particolarmente importante, è bene ricordare che ci sono altri importanti aspetti che determinano il successo dell'applicazione di lenti a contatto. Materiali che hanno una elevata permeabilità all'ossigeno ma che falliscono in termini di comfort, resistenza ai depositi, visione, applicazione, costo o praticità sono votati all'insuccesso.

Le lenti in gomma siliconica, della generazione precedente, avevano un'eccellente permeabilità all'ossigeno ma avevano limiti rilevanti a causa delle proprietà meccaniche della superficie.

Le lenti RGP si trovano nella stessa situazione sempre per ragioni di comfort e di proprietà meccaniche della superficie. Recenti ricerche hanno dimostrato che con

- Le performance d'ossigeno delle lenti a contatto sono vitali per un uso sicuro
- Gli attuali materiali non forniscono un'adeguata ossigenazione per il porto prolungato
- Nuovi materiali possono essere adatti per il porto continuo
- Il successo di uno studio contattologico si basa sulla comprensione della fisiologia di base delle lenti a contatto

Figura 36
Conclusioni.

il lotrafilcon A non è necessario arrivare a questi compromessi per raggiungere un'elevata permeabilità all'ossigeno.

Conclusioni

Questo lavoro è stato dedicato alla valutazione dell'importanza dell'ossigeno nell'uso sicuro delle lenti a contatto, trovando conferma del fatto che è un elemento vitale. I materiali in idrogel precedentemente disponibili, per il porto prolungato, avevano una trasmissibilità all'ossigeno insufficiente per soddisfare le necessità corneali. Questa è una valida ragione per credere che molte delle complicanze del porto prolungato siano state causate dall'ipossia cronica. I nuovi materiali, messi a disposizione delle aziende, hanno superato la "barriera" dell'ossigeno. La disponibilità di questi materiali aiuta i contattologi a considerare, quando prescrivono lenti a contatto a porto prolungato per i loro pazienti, che hanno di fronte a loro una nuova era della trasmissibilità all'ossigeno (fig. 36).