

RIFRAZIONE: LA DISTANZA OCCHIO-LENTE CONTA!

Benché l'effetto della distanza occhio-lente sulla correzione ottica sia ben noto, in pratica viene raramente preso in considerazione, salvo in caso di correzioni di poteri elevati. Fintanto che le lenti oftalmiche venivano proposte unicamente con incrementi di 0,25 diottrie (D), le conseguenze per la maggior parte delle correzioni erano limitate. Tuttavia oggi grazie alla determinazione della rifrazione con incrementi di 0,01 D^(*) e alle lenti ad essa associate, la conoscenza della distanza occhio-lente e la sua misurazione diventano particolarmente importanti. Questo articolo esamina gli effetti ottici della distanza occhio-lente, mostra quanto la distanza tra l'occhio e il forottero possa variare e illustra come la distanza occhio-lente consenta di calcolare con maggiore precisione il potere delle lenti correttive.



Mathilde SEBAG

Responsabile degli studi
Dipartimento Ricerca e Sviluppo –
Divisione Strumenti
Essilor International

Mathilde, ingegnere della salute specializzata nelle scienze della visione, si è diplomata presso l'Université Paris-Sud (Francia) dopo aver studiato all'EOL, l'École d'Optique & Lunetterie di Lilla (Francia), e aver conseguito una laurea triennale presso l'ICO, l'Institut et Centre d'Optométrie di Bures-sur-Yvette (Francia). Nel 2019, dopo un'esperienza di 6 anni in un negozio di ottica, Mathilde è entrata a far parte del dipartimento di Ricerca e Sviluppo della Divisione Strumenti del gruppo Essilor International. In quest'ambito è responsabile degli studi del polo Optometria, Scienza e Innovazione, dove partecipa allo sviluppo di nuovi strumenti di optometria.



Dominique Meslin

Direttore Soluzioni di Rifrazione –
Divisione Strumenti
Essilor International

Dopo una formazione di ottico e optometrista, Dominique ha trascorso la maggior parte della sua carriera presso Essilor, inizialmente nel dipartimento di Ricerca e Sviluppo e successivamente rivestendo diversi ruoli di marketing e tecniche di comunicazione in Francia e negli Stati Uniti. Dominique è stato per 10 anni direttore della Essilor Academy Europe e successivamente responsabile delle relazioni professionali presso Essilor Europe. È attualmente direttore delle nuove soluzioni di rifrazione per la Divisione Strumenti di Essilor International. Nel corso della sua carriera, Dominique ha condotto numerosi seminari per i professionisti della visione. È autore di varie pubblicazioni scientifiche e di numerose pubblicazioni tecniche di Essilor, tra cui spicca la collana dei "Cahiers d'Optique Oculaire".

Le leggi dell'ottica fisiologica lo impongono: il potere della correzione ottica di un'ametropia dipende dalla distanza alla quale il sistema ottico di correzione viene collocato davanti all'occhio. Infatti, poiché il principio ottico della correzione mira a far coincidere il fuoco dell'immagine della lente con il punto remoto dell'occhio, è necessario regolare la distanza focale del sistema – ossia modificarne il potere – non appena viene modificata la distanza che separa il sistema ottico dall'occhio. Pertanto, il valore di correzione ottica delle lenti dipende dalla distanza occhio-lente e ogni prescrizione dovrebbe teoricamente essere accompagnata dalla distanza occhio-forottero per cui è stata formulata. Tuttavia, in pratica, questa distanza viene raramente precisata.

L'importanza della distanza occhio-lente è ben nota ai contattologi, che regolano il potere correttore delle lenti a contatto a partire dalla correzione degli occhiali, per lo più mediante tabelle di conversione fornite dai fabbricanti. Lo stesso avviene nell'ambito della chirurgia refrattiva, in cui la rifrazione è regolata sul piano oculare.

Per quanto riguarda le lenti degli occhiali, l'effetto ottico dipende dal potere della correzione e resta il più delle volte piuttosto debole: non viene generalmente preso in considerazione perché non raggiunge il valore di 0,25 D, corrispondente all'incremento di potere delle lenti tradizionali, salvo nei casi di correzioni elevate. Si stima che è necessaria una variazione di 5 mm (+/- 2,5 mm) con un potere di 5,00 D – che induce una variazione di 0,125 D – per giustificare una modifica della correzione pari a un incremento di 0,25 D. Ma oggi, con i nuovi sistemi di rifrazione a variazioni di potere continuo, che consentono di determinare la rifrazione al centesimo di diottria (0,01 D)^(*), diventa necessario prendere in considerazione questo effetto sin dai poteri ridotti. In tal modo, la stessa variazione di 5 mm (+/- 2,5 mm) con un potere di 2,00 D, produce una variazione di 0,02 D, sufficientemente significativa per essere presa in considerazione.

^(*) Rifratore Vision-R 800 sviluppato da Essilor Instruments.

^(**) Per le lenti con opzione AVA – Advanced Vision Accuracy – fabbricate con incrementi di 0,01 D.

PAROLE CHIAVE:

Rifrazione soggettiva, forottero, distanza occhio-lente, distanza occhio-rifratore, distanza occhio-montatura, lenti precise, Advanced Vision Accuracy, Vision-R 800.

Nel presente articolo faremo innanzitutto un promemoria degli effetti ottici legati alla distanza occhio-lente. Mostriamo poi, in base alle misurazioni realizzate su vari soggetti, quanto la distanza tra l'occhio e il forottero possa variare. Infine, illustreremo le applicazioni pratiche di questo nuovo parametro per la nuova generazione di lenti con incrementi di 0,01 D, ormai disponibili.

Promemoria degli effetti ottici legati alla distanza occhio-lente

Il principio ottico di base per la correzione di qualsivoglia ametropia è fare in modo che il fuoco dell'immagine del sistema ottico collocato davanti all'occhio (lente o lente a contatto) coincida con il punto remoto dell'occhio da correggere. In tal modo, il sistema ottico di correzione – che genera, a partire da oggetti situati all'infinito, immagini ottiche sul piano focale dell'immagine della lente – proietta otticamente tali immagini in corrispondenza del punto remoto dell'occhio. Di conseguenza, l'occhio potrà vederle chiaramente in stato di accomodazione rilassata. In questo modo l'occhio ametrope ritrova una situazione ottica di emmetropia.

Questo principio di base ha una conseguenza semplice: se la posizione del sistema ottico viene modificata – ossia se la distanza tra l'occhio e la lente cambia – il suo potere deve essere regolato per conservare la posizione del fuoco dell'immagine F' in corrispondenza del punto remoto R , che non si sposta perché è naturalmente determinato dall'occhio (figura 1). Di conseguenza, se una lente viene allontanata dall'occhio, il suo potere deve essere modificato aumentandone il potere se negativo, diminuendolo se positivo.

Si noti a tal proposito che l'effetto ottico della variazione della distanza occhio-lente si verifica "nello stesso senso" indipendentemente dal potere, positivo o negativo, della correzione: un allontanamento delle lenti crea sempre un effetto di potere positivo (da compensare con poteri negativi) e un loro avvicinamento crea sempre un effetto di potere negativo (da compensare con poteri positivi).

In tal modo, ogni soggetto perfettamente corretto che allontana le lenti dovrebbe teoricamente osservare che la visione da lontano diventa leggermente sfocata; al contrario, se le avvicina, non dovrebbe percepire effetti (poiché compensa l'effetto ottico con la sua accomodazione). Analogamente, un soggetto che allontana le lenti per leggere più comodamente, cerca un effetto di potere positivo o di addizione superiore. A tal proposito, non bisogna dimenticare il caso dei soggetti afachici, non muniti di impianti intraoculari e corretti mediante lenti con forti poteri positivi, che riescono a creare una notevole addizione della visione da vicino grazie al semplice allontanamento delle lenti. Tuttavia questi effetti sono realmente significativi e percepibili solo per le correzioni di poteri elevati.

Sarebbe interessante quantificare gli effetti ottici della distanza occhio-lente per renderli oggettivi. Ciò può essere determinato con semplicità a partire da R , la rifrazione dell'occhio da correggere, ossia il difetto di potere dell'occhio o ancora la prossimità del punto remoto dell'occhio ametrope. Il potere DI della lente di correzione dell'ametropia viene espresso in funzione della distanza occhio-lente d , con la formula $DI = R / (1 + d \times R)$, in cui R è espresso in diottrie e d in metri.

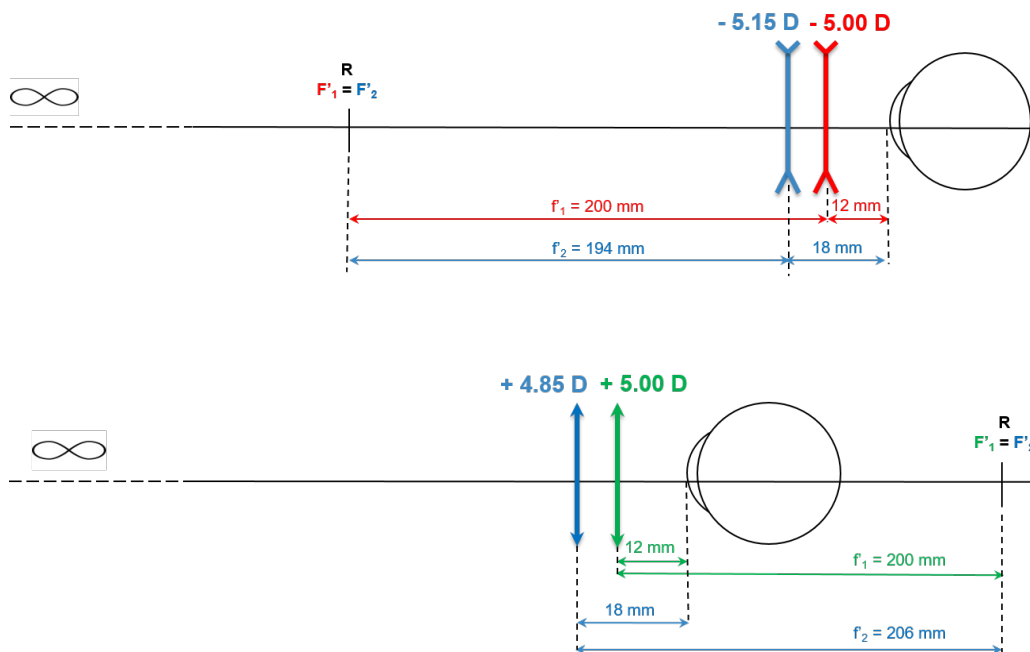


Figura 1: Regolazione necessaria della rifrazione con la modifica della distanza occhio-lente:

- a) Caso di una miopia corretta con una lente di $-5,00\text{ D}$ a 12 mm : il potere della lente deve essere regolato a $-5,15\text{ D}$ se la lente si allontana di 6 mm .
- b) Caso di un'ipermetropia corretta con una lente di $+5,00\text{ D}$ a 12 mm : il potere della lente deve essere regolato a $+4,85\text{ D}$ se la lente si allontana di 6 mm .

Se questo calcolo viene realizzato per tutti i poteri di correzione e per tutte le variazioni della distanza occhio-lente, gli effetti possono essere rappresentati sotto forma di curve, come quelle nella figura 2. Il grafico fornisce le variazioni della distanza occhio-lente necessarie per indurre rispettivamente variazioni di potere di 0,25 D, 0,125 D o 0,05 D, in funzione della correzione. Ad esempio, per un potere di 5,00 D, una variazione della distanza occhio-lente di 5 mm (ossia +/- 2,5 mm) induce una variazione di 0,125 D. Diventa possibile osservare gli effetti significativi delle variazioni della distanza occhio-lente sulla correzione ottica.

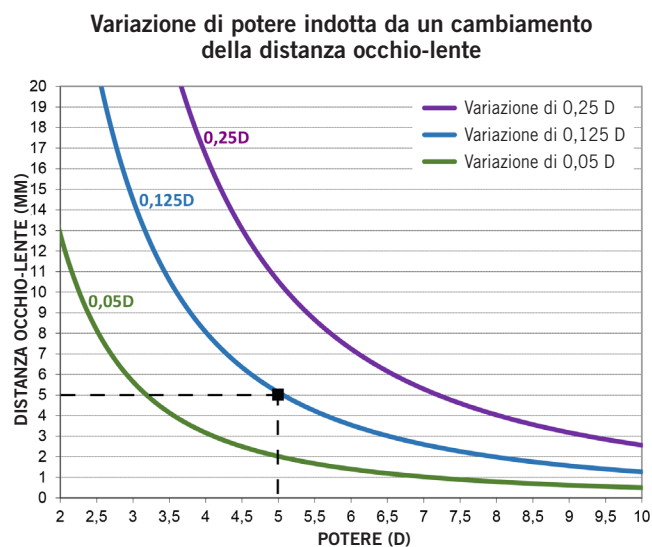


Figura 2: Variazioni di potere indotte da un cambiamento della distanza occhio-lente, in funzione del potere della lente di correzione.

Queste curve mostrano inoltre che gli effetti ottici sono piuttosto limitati per la maggior parte delle correzioni. Pertanto, il fatto di non tener conto della distanza occhio-lente, nelle lenti oftalmiche con incrementi di potere di 0,25 D, aveva conseguenze limitate perché l'effetto restava inferiore all'incremento offerto da tali lenti (0,25 D). Possiamo quindi affermare che in una gamma di correzioni da -4,00 a +4,00 D, con incrementi di 0,25 D, il fatto di non tener conto della distanza occhio-lente non aveva conseguenze significative. Tuttavia, per poteri superiori, era importante garantire che la correzione fosse esatta per la distanza di utilizzo degli occhiali. Attualmente invece, con lenti che offrono incrementi di 0,01 D, è importante prendere in considerazione la distanza occhio-lente sin dai poteri ridotti, come vedremo qui di seguito.

La distanza occhio-forottero può variare notevolmente!

Per illustrare questi principi abbiamo realizzato una serie di misurazioni della distanza occhio-forottero su soggetti sottoposti all'esame di rifrazione. A tal fine, abbiamo utilizzato un rifrattore che consente di eseguire misurazioni precise grazie all'impiego di videocamere^(*) (figura 3). Durante l'esperimento abbiamo misurato la distanza occhio-lente su un campione di 50 soggetti selezionati a caso. Per il soggetto di riferimento, la distanza è stata impostata su 12 mm mediante la regolazione del poggiafronte; la posizione del forottero è rimasta invariata per tutte le misurazioni eseguite con gli altri soggetti.

Ogni misurazione è stata condotta nel modo seguente: il soggetto è stato posizionato dietro la testa del forottero, con lo sguardo in posizione primaria, facendogli osservare uno schermo di test situato a 5 m. La distanza interpupillare del forottero è stata regolata per ciascun occhio. Grazie alle videocamere, situate sul retro di entrambe le parti della testa del forottero, sono state scattate lateralmente foto di entrambi gli occhi. Queste immagini comparivano sulla consolle dei comandi del forottero (figura 3). Un reticolo virtuale è stato quindi posizionato e regolato in corrispondenza del vertice corneale di ciascun occhio. La regolazione è stata innanzitutto realizzata in modo binoculare e successivamente, se compariva una differenza tra l'occhio destro e quello sinistro, in modo monoculare. Il sistema indicava quindi in modo preciso il valore della distanza occhio-forottero, con incrementi di 0,5 mm, consentendo inoltre di registrarlo. La misurazione è stata eseguita 3 volte per ciascun soggetto, chiedendogli di allontanarsi dal forottero e poi di riposizionarsi dietro di esso.

Sono state inoltre realizzate 30 misurazioni consecutive del soggetto di riferimento, chiedendogli di allontanarsi e poi di riposizionarsi tra una misurazione e l'altra.

I risultati delle misurazioni sono presentati nella figura 4. Da un lato, essi mostrano che la distanza occhio-forottero varia in base al soggetto, all'interno di un intervallo di 15,5 mm (da 4,0 mm per la più piccola a 19,5 mm per la più grande), e che il valore intermedio dell'esperimento è pari a 11,1 mm, con una notevole differenza standard di +/- 3,11 mm. Dall'altro, i risultati mostrano che nelle misurazioni ripetute sullo stesso soggetto, la distanza occhio-forottero varia all'interno di un intervallo di 5,00 mm, con una differenza standard di +/- 1,31 mm, anch'essa notevole. Risulta chiaro che la distanza tra l'occhio e il forottero è un parametro estremamente variabile in funzione della morfologia dei diversi soggetti, ma anche della postura adottata da un singolo soggetto dietro al rifrattore. Queste misurazioni dimostrano che il parametro della distanza occhio-forottero, spesso ignorato, non può più essere trascurato per poter determinare con precisione la correzione ottica.

Applicazione pratica della distanza occhio-lente

Regolazione della distanza occhio-forottero

Benché l'importanza della distanza occhio-lente sia ben nota, la sua applicazione resta piuttosto variabile. In pratica, è abbastanza raro che tale distanza venga presa in considerazione durante la rifrazione e ancora meno che sia misurata. Essa viene spesso verificata e regolata durante il posizionamento del forottero davanti alla testa del cliente, in modo da corrispondere a un valore medio. Il principio è quello di posizionare il forottero sufficientemente vicino agli occhi del cliente, in modo che goda di un campo visivo quanto più ampio, ma anche sufficientemente lontano dagli occhi per evitare che le ciglia sfiorino la finestra posteriore del forottero (che non sarebbe solo una fonte di fastidio, ma può sporcare la lente. Con i forotteri tradizionali questa regolazione avviene spostando



Figura 3: Misurazione della distanza occhio-rifratore mediante videocamera

il poggiafronte, in contatto con la testa, e osservando gli occhi del cliente attraverso la parte posteriore del forottero o mediante sistemi di specchi graduati laterali appositamente predisposti.

I seguenti aspetti meritano la nostra attenzione:

- La distanza occhio-forottero può notevolmente variare da un soggetto all'altro con la stessa posizione del poggiafronte (come dimostrato in precedenza) ed è quindi fondamentale regolare con precisione la posizione della testa del forottero davanti agli occhi del soggetto.
- La distanza occhio-forottero può variare significativamente in funzione della posizione della testa del soggetto: si riduce quando il soggetto solleva la testa e aumenta quando l'abbassa. È quindi importante collocare il soggetto in una posizione comoda per evitare che modifichi la posizione della testa durante la rifrazione.
- La distanza occhio-forottero può variare significativamente durante la rifrazione; è quindi importante verificarla alla fine dell'esame, in particolare per le correzioni di poteri elevati e per la prescrizione di lenti precise, con incrementi di 0,01 D.

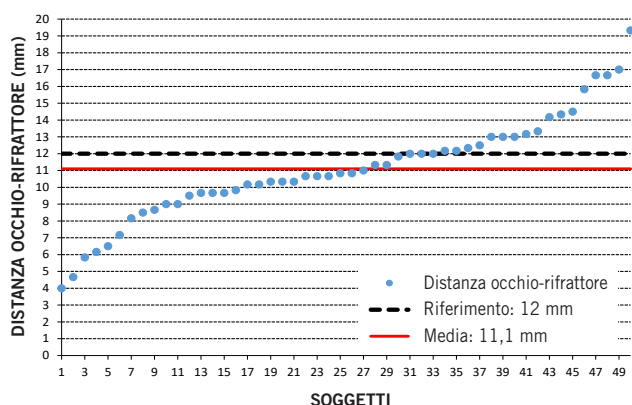
La distanza occhio-forottero è un parametro a cui è stata raramente prestata attenzione. Con i forotteri tradizionali essa può essere verificata ma difficilmente misurata. Con i forotteri moderni^(*) è ormai possibile misurare questo parametro con precisione mediante videocamere e controllarlo con accuratezza, in particolare per tenerne conto durante il calcolo delle lenti.

Misurazione della distanza occhio-montatura

Benché sia importante conoscere con precisione la distanza occhio-forottero, ciò ha senso unicamente se possiamo misurare anche la distanza occhio-montatura. Per eseguire questa operazione, gli ottici dispongono di vari sistemi. Oltre alle tradizionali misurazioni manuali poco utilizzate, è possibile calcolare la distanza occhio-montatura tramite le colonne e i tablet elettronici di misurazione attualmente disponibili. L'obiettivo del presente articolo non è quello di esaminare queste apparecchiature in dettaglio. Basterà precisare che questi sistemi eseguono molteplici acquisizioni delle immagini della montatura e degli occhi del soggetto e ricostituiscono le loro posizioni in uno spazio tridimensionale, calcolando con precisione la distanza che separa il piano della montatura

Variazione interindividuale della distanza occhio-forottero misurata su 50 soggetti

(con il poggiafronte a una distanza di 12 mm per il soggetto di riferimento)



Variazione intraindividuale della distanza occhio-forottero con 30 misurazioni di un soggetto

(con il poggiafronte a una distanza di 12 mm per il soggetto di riferimento)

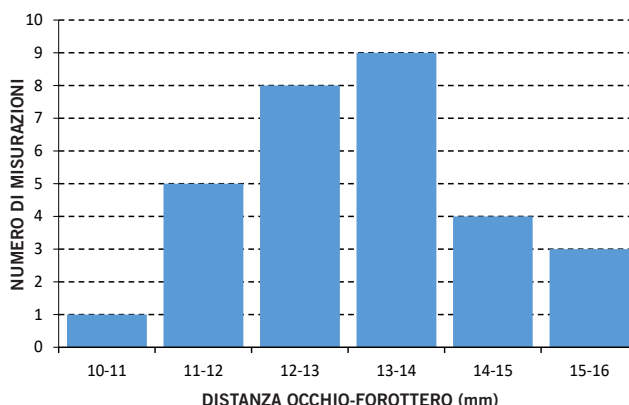


Figura 4: Variabilità della distanza occhio-forottero:

- Variazione interindividuale misurata su 50 soggetti
- Variazione intraindividuale misurata su un soggetto (30 misurazioni)

dal vertice corneale di ciascun occhio. La distanza occhio-montatura può essere in tal modo misurata e utilizzata per il calcolo esatto della correzione ottica.

Applicazione della distanza occhio-lente al calcolo delle lenti con incrementi di 0,01 D

Ad oggi, il parametro della distanza occhio-lente non è mai stato veramente preso in considerazione per regolare i poteri delle correzioni ottiche. Infatti è sempre stata avanzata implicitamente l'ipotesi che il potere della correzione ottica viene stabilito per la distanza alla quale le lenti saranno indossate. In pratica ciò avviene raramente.

Questa ipotesi è stata formulata anche per le lenti "personalizzate", per cui i dati di posizionamento dell'occhio dietro la lente sono misurati e integrati nel calcolo. In questo caso, viene più precisamente utilizzata la distanza che separa il centro di rotazione dell'occhio (CRO) dalla montatura, che consente di ottimizzare la concezione delle superfici ottiche delle lenti a geometria complessa, simulando l'occhio mentre esplora la lente in tale posizione. D'altro canto, è stata sempre e invariabilmente avanzata l'ipotesi che la prescrizione ottica veniva stabilita esattamente per la distanza a cui le lenti sarebbero state indossate, in particolare per la direzione primaria dello sguardo.

Attualmente grazie alle nuove tecnologie, che consentono di misurare con semplicità e precisione la distanza occhio-forottero e la distanza occhio-montatura, è ormai possibile integrare la distanza di riferimento reale lente-occhio di 12 mm nel calcolo delle lenti. Questa operazione deve essere presa in considerazione durante l'intero follow-up del cliente nel modo seguente:

- Innanzitutto, la distanza occhio-forottero viene misurata durante l'esame di rifrazione: il valore della prescrizione viene convertito, alla fine dell'esame, per la distanza di riferimento standard di 12 mm, perché il calcolo viene eseguito automaticamente dal forottero^(*).
- Successivamente, dopo la scelta della montatura e prima della realizzazione degli occhiali, l'ottico misura la distanza occhio-montatura e la fornisce al fabbricante al momento dell'ordine delle lenti^(**).
- Infine, poco prima dell'inizio della costruzione della lente, il fabbricante converte il valore della correzione ottica, considerata come definita per 12 mm, per la distanza occhio-montatura reale misurata dall'ottico.

In questo modo, la distanza lente-occhio viene presa in considerazione durante tutto il follow-up del cliente e la precisione viene rispettata durante l'intera procedura: calcolo della rifrazione, misurazioni di centraggio delle lenti e consegna degli occhiali. Se queste condizioni sono rispettate, diventa possibile offrire al cliente la correzione esatta dell'ametropia.

Conclusione:

Grazie all'evoluzione degli strumenti di rifrazione e misurazione, è oggi possibile acquisire con precisione la distanza occhio-lente. Questo parametro diventa un ulteriore elemento della prescrizione, che può essere preso in considerazione durante la realizzazione delle lenti di alta precisione^(***). Tutta la catena dei professionisti della visione beneficia oggi dell'opportunità di fornire ai clienti una correzione ancora più precisa.



MESSAGGI CHIAVE:

- L'effetto della distanza occhio-lente sulla correzione ottica è ben noto, ma viene raramente preso in considerazione, salvo nei casi di correzioni elevate. Le conseguenze erano limitate per la maggior parte delle correzioni perché le lenti venivano proposte con incrementi di 0,25 D.
- Attualmente, con rifrazioni realizzabili con incrementi di 0,01 D – grazie ai forotteri con variazioni continue dei poteri – e con la disponibilità delle lenti corrispondenti, l'acquisizione della distanza occhio-lente diventa importante sin dai poteri ridotti.
- Per eseguire questa operazione è necessario misurare la distanza occhio-forottero durante la rifrazione e la distanza occhio-montatura durante l'adattamento degli occhiali. La correzione ottica potrà quindi essere regolata con precisione per la fabbricazione di lenti con poteri di correzione accurati.
- La distanza occhio-lente diventa in tal modo un ulteriore parametro della rifrazione, che consente di proporre ai clienti una correzione dell'ametropia ancora più precisa.

BIBLIOGRAFIA:

- (1) Longo A., Meslin D., Une nouvelle approche de la réfraction subjective, Cahiers d'Ophtalmologie, numero 230, pp. 59-63, (settembre 2019) e Points de Vue, www.pointsdevue.com (maggio 2020).
- (2) Barthélemy B., Thiébaud T. In Contactologie. 2^e ed. Optique et Vision. pp. 293-305, Lavoisier (2012).
- (3) Gatineau D., Distance verre-œil, www.gatineau.com/recherche-formation/optique-paraxiale-et-points-cardinaux/formule-de-vergence/ (aggiornamento 2019).
- (4) Opticians, The influence of back vertex distance in ocular refraction, www.opticianonline.net/news/the-influence-of-back-vertex-distance-in-ocular-refraction (2005).