



Progresivní čočky



essilor

Author
Dominique Meslin
Essilor Academy Europe

IF YOU WISH TO ORDER A PRINTED VERSION OF THIS FILE

[Click Here](#)

www.essiloracademy.eu

GENERAL CONDITIONS OF USE of the *Essilor Academy Europe Publications*

ESSILOR ACADEMY EUROPE ACADEMY EUROPE has developed a Publication called
“Progressive Lenses”

*Copyright © 2006 ESSILOR ACADEMY EUROPE, 13 rue Moreau, 75012 Paris, France
All rights reserved – Do not copy or distribute*

(hereinafter the “Publication”)

1. The Publication and all its content is the property of ESSILOR ACADEMY EUROPE, its affiliates, or other third parties holding the relevant right (“Licensors”) and is protected by copyright, trademark and other intellectual property laws. No right or licence can be granted for any of the aforementioned elements without the written agreement of ESSILOR ACADEMY EUROPE, its affiliates or Licensors. Although ESSILOR ACADEMY EUROPE makes the Publication information freely accessible, ESSILOR ACADEMY EUROPE does not intend to give up its rights, or anyone else’s rights, to the Publication and any materials appearing therein.

2. ESSILOR ACADEMY EUROPE accepts to grant a non exclusive, non transferable license to use the Publication upon the General Conditions set forth hereinafter to the Licensee, provided that such Licensee has :

- a. recorded its name, e-mail address and other personal details and
- b. has hereby expressly accepted the present General Conditions of Use, as a condition precedent to downloading the Publication on ESSILOR ACADEMY EUROPE web site.

3. The Licensee acknowledges that ownership of and title in and all intellectual property rights in the Publication are and shall remain in ESSILOR ACADEMY EUROPE its affiliates or Licensors. The Licensee acquires only the right to use the Publication and does not acquire any ownership rights or title in or to the Publication and any materials appearing therein.

4. The reproduction or downloading of the Publication is authorised solely for informational purpose in the context of personal and private use; any reproduction and use of copies made for any other purpose is expressly prohibited.

5. The Licensee may not reproduce the Publication or any part thereof without ESSILOR ACADEMY EUROPE’s consent. The Licensee

may not use any trademark, service mark or other intellectual property appearing in the Publication, or frame or incorporate into another document or other medium any of the content of the Publication, without the prior written consent of ESSILOR ACADEMY EUROPE.

6. The Licensee is not authorised to modify the Publication without ESSILOR ACADEMY EUROPE’s prior written approval.

7. The Licensee shall not copy nor translate in whole or in part the content of the Publication without the express written consent of ESSILOR ACADEMY EUROPE.

8. The Licensee shall not remove any proprietary, copyright or trademark legend from the Publication.

9. As a condition for the use of the Publication, the Licensee warrants to ESSILOR ACADEMY EUROPE that he/she will not use the Publication for any purpose that is unlawful or prohibited by these terms, conditions and notices.

10. The Publication is provided on an “As Is basis”:

- a. The Licensee acknowledges that no representation or warranty, express or implied, is made by ESSILOR ACADEMY EUROPE with respect to the truth, accuracy, sufficiency, absence of defect or infringement of third parties rights, completeness or reasonableness of the Information displayed in the Publication
- b. If the Licensee is dissatisfied with any of the contents of the Publication, or any of these terms of use, the Licensee’s sole and exclusive remedy is to discontinue using the Publication.

11. **APPLICABLE LAW**
THESE GENERAL CONDITIONS OF USE ARE GOVERNED BY, INTERPRETED AND CONSTRUED IN ACCORDANCE WITH THE LAWS OF FRANCE, BY THE FRENCH COURTS ATTACHED TO THE PARIS COURT OF APPEAL.

ISBN 979-10-90678-07-1



Obsah

Obsah	str. 3
Úvod	str. 5
1 Koncepce progresivních čoček	
A Základní konstrukční typy progresivních čoček	str. 6
B Výhody progresivních čoček	str. 8
2 Fyziologická hlediska konstrukce progresivních čoček	
A Foveolární (centrální) vidění	str. 9
B Periferní vidění	str. 10
C Binokulární vidění	str. 11
3 Konstrukce progresivních čoček	
A Zásady konstrukce progresivních čoček	str. 12
B Konstrukce progresivních čoček	str. 14
4 Popis a výpočet konstrukce progresivních čoček	
A Grafické zobrazení progresivních čoček	str. 17
B Měření a kontrola progresivních ploch	str. 19
Příloha	str. 20
5 Výroba progresivních čoček	
A Výroba čoček s progresivní (proměnlivou) optickou mohutností	str. 22
B Vylepšení vlastností hotových progresivních čoček	str. 23
6 Vývoj progresivních čoček	
1. generace: „první“ progresivní čočka	str. 25
2. generace: progresivní čočka s „optickou modulací“	str. 26
3. generace: progresivní čočka s „multi-designem“	str. 27
4. generace: progresivní čočka pro „přirozené vidění“	str. 28
5. generace: progresivní čočka s „rozšířeným zorným polem“	str. 31
6. generace: progresivní čočky pro „úzké obruby“	str. 33
7. generace: progresivní čočka s „vysokým rozlišením“	str. 34
Nová technologie: „Twin Rx Technology™“	str. 36
Nový rozměr: progresivní čočky „na míru“	str. 37
Závěr	str. 39



Úvod

V roce 1959 uvedla společnost ESSILOR jako první na světě na trh progresivní čočku Varilux. Od té doby jsou progresivní čočky na celém světě přijímány jako nejvhodnější brýlové čočky pro korekci presbyopie. A to hlavně díky jasnému, pohodlnému a přirozenému vidění na všechny vzdálenosti. Postupně vytlačují bifokální čočky a stále častěji se používají i místo jednoohniskových čoček na blízko.

V současnosti je na celém světě asi 1,5 miliardy lidí s presbyopickou vadou (čtvrtina světové populace) a méně než polovina těchto presbyopů je korigována. Tuto korigovanou část lze dále dělit následujícím způsobem: Více než 25% z těchto korigovaných pacientů nosí progresivní čočky, méně než 25% nosí bifokální čočky a přibližně 50% nosí jednoohniskové čočky.

Přestože se rozložení v různých zemích liší, můžeme celosvětově pozorovat narůstající tendenci při používání progresivních čoček.

S očekávaným nárůstem presbyopie ve světové populaci, zejména u starší generace, bude výskyt presbyopie v dalších letech ještě četnější. Segment trhu pro korekci presbyopie v budoucnu nadále poroste a progresivní čočky budou zcela jistě nahrazovat bifokální a jednoohniskové čočky. Progresivní čočky tak mají slibnou budoucnost.

V tomto vydání Studie oční optiky společnosti Essilor se seznámíte s fyziologickými a technickými základy koncepce progresivních čoček od jejich prvního uvedení na trh až po současnost.



Obr. 1: Presbyopové: rostoucí populace

1. Koncepce

Progresivních čoček

A Základní konstrukční typy progresivních čoček

Za progresivní čočku je označována ta čočka, jejíž optická mohutnost se směrem shora dolů plynule zvyšuje (mezi horní oblastí určenou pro vidění do dálky a spodní oblastí pro vidění na blízko). K nárůstu optické mohutnosti dochází plynulou změnou zakřivení jedné nebo obou ploch čočky. Na porovnání s konstrukcí jednoohniskové a bifokální čočky si vysvětlíme princip progresivní čočky.

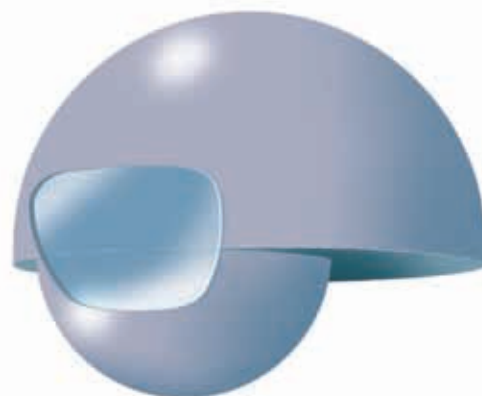
Jednoohniskovou čočku na čtení tvoří jedna kulovitá plocha příslušného poloměru, která v kombinaci se zadní plochou zajišťuje korekci pro vidění na blízko (Obrázek 2a). Protože čočka pomáhá při zaostření oka na blízko, pacient při pohledu do dálky vidí rozmazaně. Navíc tato čočka specificky neupravuje vidění na střední vzdálenost a pacient musí ostré vidění na střední vzdálenost upravit zvýšenou akomodací.

U bifokálních čoček je zakřivení plochy pro vidění do dálky umístěno nad oblastí pro vidění na blízko a ostrý přechod obou oblastí je viditelný jako rozdělovací linie (Obrázek 2b). Na obrázku 3b, který znázorňuje subjekt s rozsahem akomodace 1,50 D a který má čočku s adicí 2D pro vidění na blízko, si všimněte nepokryté oblasti vidění na střední vzdálenost, která odpovídá délce paže – mezi 50 cm a 67 cm.

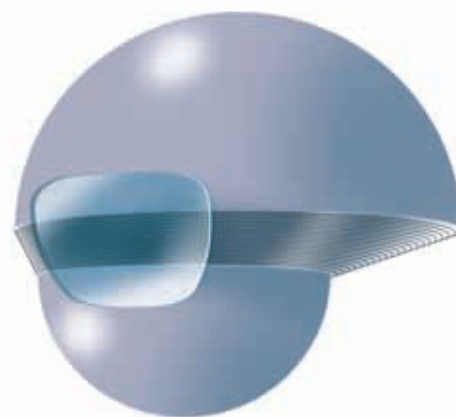
U progresivní čočky se zakřivení mezi segmentem pro vidění do dálky a na blízko zvětšuje v předem stanovených krocích a tak je zajištěno ostré vidění na střední vzdálenost i všechny mezi-vzdálenosti. Umožňuje to posloupná řada horizontálních zakřivení mezi segmenty pro vidění do dálky a na blízko, které nejsou viditelným způsobem odděleny, takže optická mohutnost čočky se plynule zvětšuje od horní oblasti čočky pro vidění do dálky, přes střední oblast pro vidění na střední vzdálenost až po oblast pro vidění na blízko ve spodní části čočky. Toto uspořádání přináší pacientovi výhodu ostrého vidění v celém rozsahu od dálky až po blízko (Obrázek 3c).



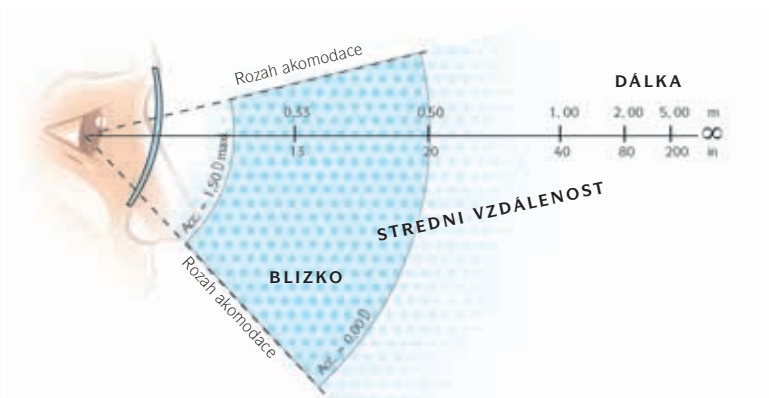
Obr. 2a: Jednoohnisková čočka



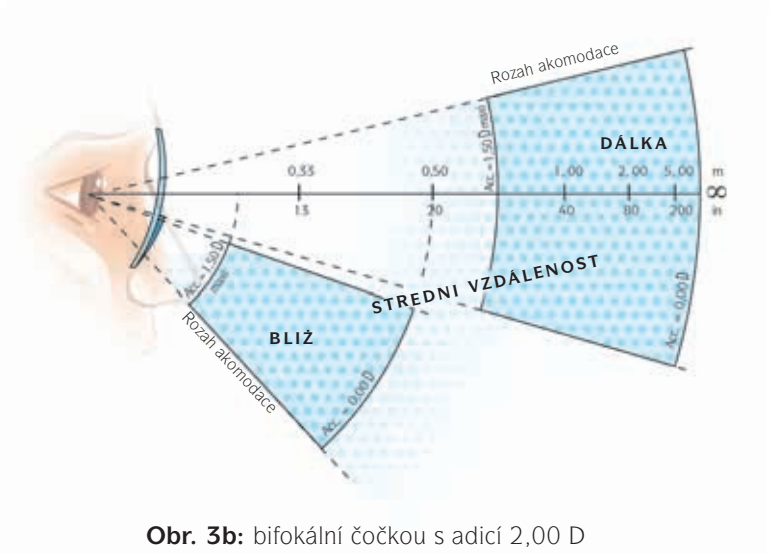
Obr. 2b: Bifokální čočka



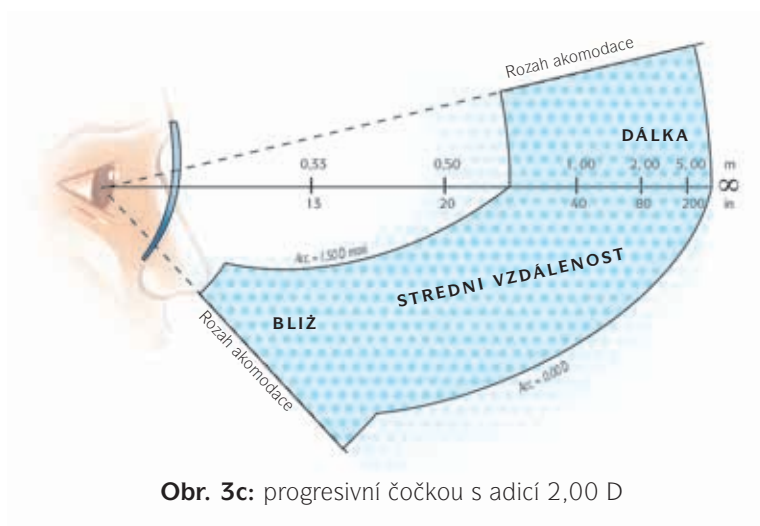
Obr. 2c: Progresivní čočka



Obr. 3a: jednoohniskovou čočkou s optickou mohutností +2,00 D



Obr. 3b: bifokální čočkou s adicí 2,00 D



Obr. 3c: progresivní čočkou s adicí 2,00 D

B Výhody progresivních čoček (čoček s proměnlivou optickou mohutností)

Progresivní čočky přináší presbyopům v porovnání s jednoohniskovými a bifokálními čočkami následující výhody:

Spojitou oblast vidění od dálky až po blízko:

Jednoohniskové čočky umožňují ostré vidění pouze na blízko, zatímco bifokální čočky s náhlou změnou optické mohutnosti jsou rozděleny na dvě oblasti – jednu pro vidění do dálky a druhou pro vidění na blízko.

Pohodlné vidění pro celou oblast středních vzdáleností (50 cm až 1,5 m), protože jenom konstrukce progresivních čoček vytváří specifické oblasti pro vidění na tyto vzdálenosti. V ranných stádiích presbyopie (adice menší než 1,5 D) může pacient s jednoohniskovými a bifokálními čočkami na tyto vzdálenosti vidět ostře. Nízká adice ve spojení se zbývajícím rozsahem akomodace umožňuje ostré vidění v celém rozsahu této vzdálenosti. Ale pozdější stadia presbyopie (adice větší než 2,00 D) již neumožňují ostré vidění na střední vzdálenost, protože zbytkový rozsah akomodace je příliš malý a adice na čtení příliš velká na to, aby umožnila ostré vidění na tyto vzdálenosti. Pouze progresivní čočky umožňují pohodlné vidění v celém rozsahu střední vzdálenosti.

Plynulá podpora akomodace pro všechny vzdálenosti:

U progresivní čočky oko vždy najde oblast se správnou optickou mohutností pro určitou vzdálenost vidění. Jednoohniskové čočky na čtení umožňují vidění pouze na blízko. U bifokální čočky musí oko při pohledu na střední vzdálenosti zvětšit svou akomodaci a potom ji uvolnit.

Plynulé vnímání prostoru je výsledkem postupné změny optické mohutnosti čočky. Jednoohniskové čočky neumožňují skutečné prostorové vnímání, protože omezují vidění pouze na blízko. Bifokální čočky rozdělují vzdálenost na dvě části a ovlivňují vnímání tak, že horizontální a vertikální linie se zdají být narušené a v části, která rozděluje čočku na oblast pro vidění do dálky a na blízko, způsobují uskočení vnímaného obrazu.

Omezení progresivních čoček:

Přestože progresivní čočky mají četné výhody, mají rovněž některá omezení. V důsledku nezbytné různé optické mohutnosti napříč povrchem čočky dochází podle fyzikálních zákonů k výskytu optických aberací (vad, anomálií). Proto se u všech progresivních čoček v okrajových oblastech vyskytují nežádoucí změny sférické a cylindrické mohutnosti. Úkolem konstruktéra čočky je v co největší míře zabránit výskytu těchto aberací a dostat je pod kontrolu s přihlédnutím k fyziologii zraku a s využitím všech dostupných prostředků používaných pro výpočet a konstrukci čočky.



a) Oblast bifokální čočky pro vidění do dálky.



b) Oblast bifokální čočky pro vidění na blízko.



c) oblast progresivní čočky pro vidění na střední vzdálenost.

Obr. 4: Vidění na střední vzdálenosti

2. Fyziologická hlediska konstrukce

Progresivních čoček

Progresivní čočky musí nejen obnovit schopnost ostrého vidění, ale zároveň nesmí narušit vzájemné fyziologické vztahy mezi foveolárním, periferním a binokulárním viděním.

A Foveolární (centrální) vidění

Vztahuje se ke všem oblastem čočky, které oko používá při úkonech, které vyžadují rozlišení jemných detailů. Tyto oblasti musí poskytovat velmi kvalitní obraz.

Akomodace, poloha a pohyb očí:

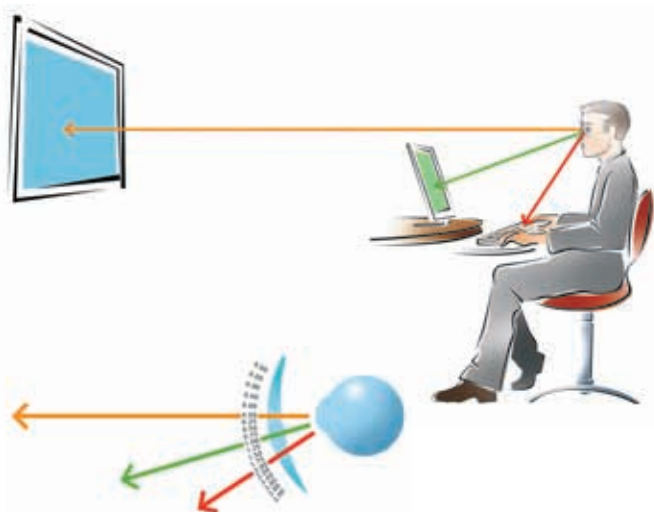
Přirozené držení těla a hlavy je určujícím faktorem vertikální rotace oka při vidění do dálky a na blízko a tím i pro optimální přírůstek optické mohutnosti čočky. Vedle toho vymezuje hodnotu optické mohutnosti potřebné v každém bodě její změny koordinace pohybů těla, hlavy a oka vzhledem k umístění pozorovaného objektu v zorném poli.

Pohyby oka a hlavy:

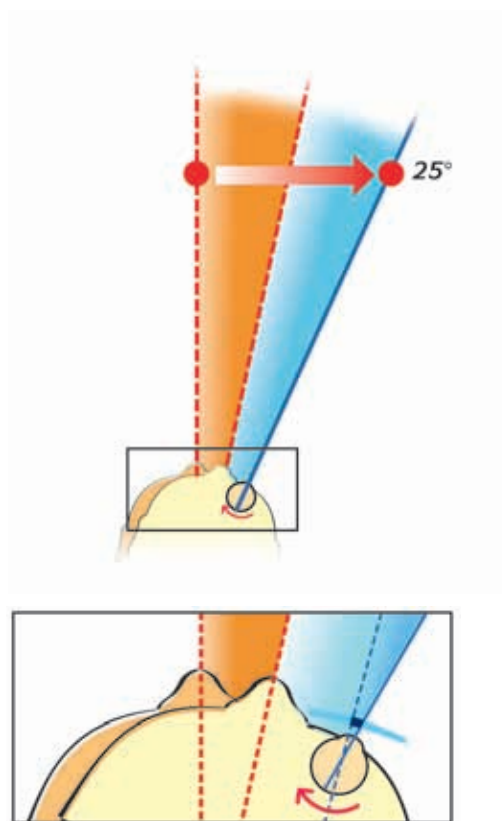
Obdobně přirozená koordinace horizontálního pohybu oka a hlavy určuje za fyziologických podmínek zorné pole a je určující pro šířku koridoru čočky, která se běžně využívá pro foveolární vidění (obvykle méně než 15°).

Zraková ostrost:

Pro maximální zrakovou ostrost v centrální oblasti čočky musí být hodnoty nežádoucí aberace sníženy na minimum a musí být posunuty do okrajových oblastí čočky.



Obr. 5: Progrese (změny) optické mohutnosti ve vztahu ke vzdálenosti vidění, držení hlavy a pohybům oka.



Obr. 6: Koordinace horizontálních pohybů oka a hlavy a šířky zorného pole.

B Periferní vidění

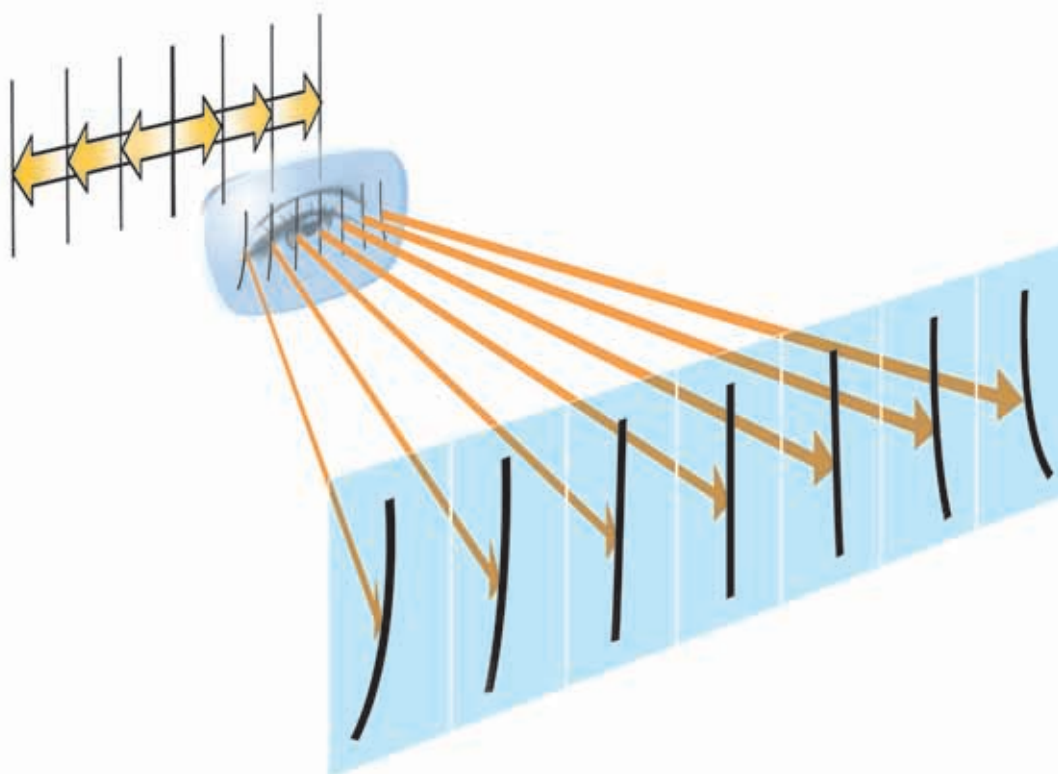
Periferní vidění je zrakové vnímání zprostředkované okrajovými oblastmi sítnice. Při extra-foveolárním vidění pacienti nevidí předměty ostře, ale jsou schopni určit jejich polohu v prostoru, vnímat jejich tvar a rozpoznat jejich pohyb. Všechny tyto vjemy přicházejí do oka okrajovými oblastmi čočky.

Vnímání prostoru a tvaru:

Vnímání prostoru a tvaru zprostředkuje okrajová oblast sítnice a je přímo ovlivněno rozložením prizmatu na povrchu progresivní čočky. V závislosti na orientaci a velikosti těchto prizmatických jevů způsobují změny optické mohutnosti (progrese) deformace horizontálních a vertikálních linií a ovlivňují tak zrakové pohodlí pacienta.

Vnímání pohybu:

Pohyb je vnímán celou plochou sítnice, která je v celém svém rozsahu téměř stejně citlivá na pohyb. Rovněž zde ovlivňuje různorodost prizmatických jevů zrakové pohodlí pacienta a pro pohodlné dynamické vidění je třeba zajistit jejich plynulé přechody v malých krocích po celé ploše čočky.



Obr. 7: Vnímání tvaru a pohybu s progresivní čočkou.

C Binokulární vidění

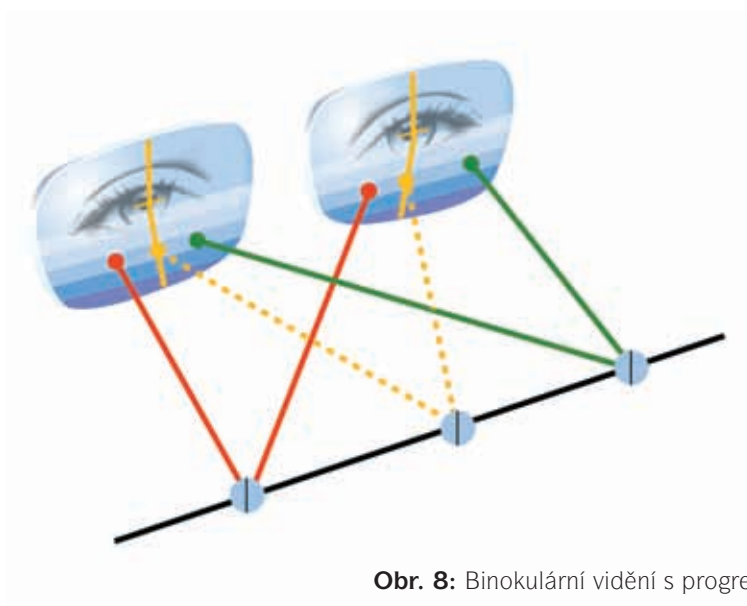
Binokulární vidění tvoří simultánní vnímání, skládání obrazů a stereoskopické vnímání (prostorové vnímání). Kritériem dobrého binokulárního vidění u progresivních čoček je to, že umožňují přirozené skládání obrazů vnímaných oběma očima.

Koordinace pohybu:

Při sklopení očí při pohledu na blízko dochází k přirozené konvergenci obou očí. Progrese optické mohutnosti musí být na čočce umístěna v dráze konvergence, kterou oči opisují – směrem dolů a dovnitř (nazálně). Pro usnadnění koordinovaného pohybu očí musí ve všech směrech pohledu pravá i levá čočka vykazovat přibližně stejnou úroveň vertikálních prizmatických efektů na obou stranách dráhy progrese optické mohutnosti.

Koordinace vnímání:

Aby se zajistila koordinace vnímání obrazů vytvořených na sítnici obou očí, musí být oba vytvořené obrazy podobné, bez ohledu na směr pohledu. Proto optická mohutnost a astigmatismus, který se vyskytuje v odpovídajících oblastech pravé a levé čočky, musí být přibližně stejné, bez ohledu na směr pohledu. Pro tyto účely je velmi důležitá koncepce asymetrie progresivní plochy: čočka by měla být konstruována symetricky podél horizontálních linií, na každé straně šikmé linie progrese optické mohutnosti, aby během laterální rotace očí v oblastech pro vidění na střední vzdálenost a na blízko obě oči vnímaly přibližně stejný obraz.



Obr. 8: Binokulární vidění s progresivními čočkami

Fyziologická kritéria progresivních čoček mohou být definována dvěma způsoby:

- buď podle průměrných potřeb velkého počtu presbyopických pacientů a dosáhnout tak „univerzální“ konstrukce progrese,
- nebo se pokusit zdůraznit specifické potřeby pacienta a zkonstruovat „přizpůsobenou“ čočku.

Tyto protichůdné, ale zároveň vzájemně se doplňující přístupy, jsou podstatou dvou hlavních kategorií konstrukcí progresivních čoček, které jsou dnes na trhu: progresivní čočky pro „univerzální“ použití a progresivní čočky „na míru“.

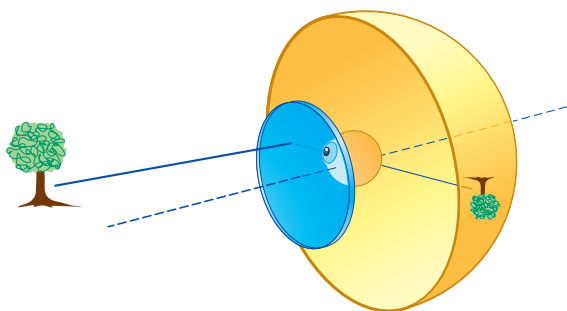
3. Konstrukce

Progresivních čoček

A Zásady konstrukce progresivních čoček

1) Korekční čočka jako optický systém

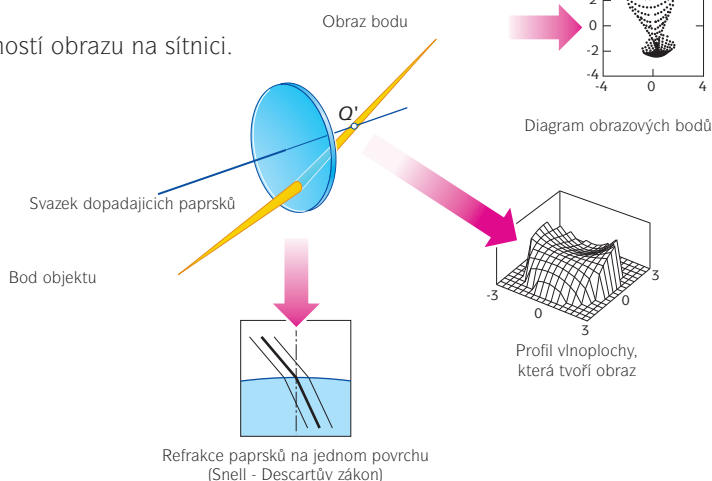
Korekční čočka je optický systém navržený tak, aby vytvářel obraz předmětů na protilehlé kulovité ploše oka. Tato fiktivní kulovitá plocha odpovídá sítnici neakomodovaného oka při jeho rotaci při sledování předmětů v zorném poli. Působením různých aberací (vad) čočky je obraz jednotlivých bodů na této kulovité ploše obvykle rozmazaný.



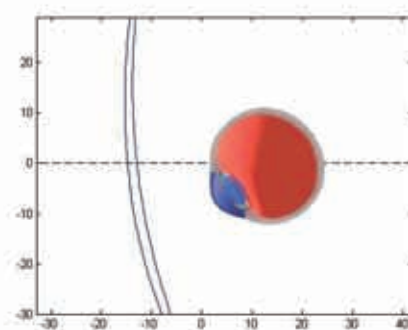
Obr. 9: Vytvoření obrazu na protilehlé kulovité ploše.

Při měření kvality kteréhokoliv obrazového bodu konstruktér sleduje vybraný svazek světelných paprsků, které čočkou vstupují do zornice oka a vypočítá jejich průsečík s protilehlou kulovitou plochou. Kvalitu obrazu určuje průměr rozmazaného bodu vytvořeného na této kulovité ploše. Konstruktér čočky se snaží zlepšit kvalitu obrazu tak, že co nejlepším způsobem upravuje optické aberace čočky.

Obr. 10: Výpočet vlastností obrazu na sítnici.



Potom vyhodnotí kvalitu obrazu, který se vytvoří na sítnici. Musí proto vytvořit optický model, jehož vlastnosti co nejvěrněji simulují brýlovou čočku a oko. Přestože parametry čočky mohou být přesně určeny, jejich stanovení pro oko je mnohem obtížnější. Je třeba znát optickou mohutnost rohovky a oční čočky, jejich vzájemnou polohu (hloubku komor, délku osy oka) a refrakční indexy různých transparentních médií lidského oka. Pro stanovení jednotlivých údajů modelu průměrného oka se použijí získané průměrné hodnoty. Do výpočtu je zapotřebí rovněž zahrnout umístění a sklon čočky před okem, údaje o vzdálenosti vrcholu čočky, pantoskopickém úhlu a úhlu předních ploch. Po zjištění všech údajů může být analyzován celý optický systém, který se skládá z brýlové čočky a oka, lze stanovit jeho optické vlastnosti.

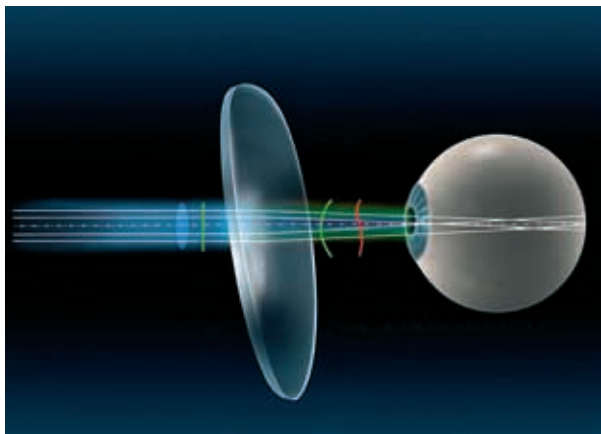


Obr. 11: Model oka + čočky.

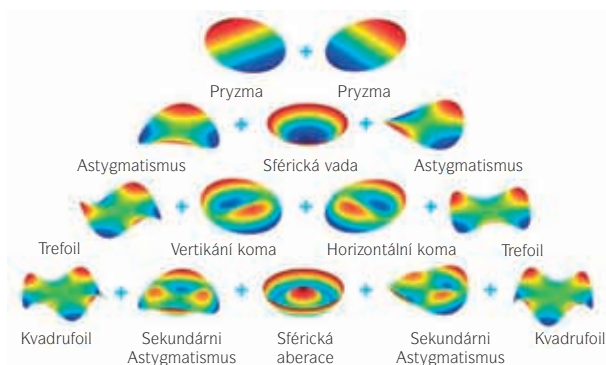
2) Technologie vlnoplochy:

Tato technika se používá pro analýzu vlnoploch světla, které procházejí čočkou. Princip spočívá v zajištění co nejpravidelnějšího tvaru vlny pro všechny směry pohledu dříve, než svazek světelných paprsků vstoupí do zornice oka. V praxi dochází k rozkladu vlnoplochy na jednotlivé elementární vlny, kde prvním elementem je hodnota pacientova předpisu a ostatní vznikají následkem optických aberací (Obrázek 12). Tvar ploch čočky se potom upraví tak, aby se podle požadavků pacienta na vidění výskyt aberací co nejvíce omezil a dostal pod kontrolu. Tato technologie byla poprvé použita při konstrukci čoček Varilux Physio (viz dále).

Obr. 12: Technologie vlnoplochy



a) Vlnoplocha



b) Rozklad vlnoplochy

3) Optimalizační software a Meritní funkce.

Konstrukteři čoček nedokáží vytvořit optimalizovaný optický systém v jednom kroku. Většina konstruktérů používá opakující se postupy s využitím optimalizačního softwaru. Konstruktor nejdříve definuje výchozí optický systém a meritní funkci, které se používá pro vyhodnocení celkového nastavení optického systému. Po vyhodnocení výchozího optického systému optimalizační software vypočítá parametry pro upravený systém. Tento postup se opakuje, dokud není nalezen optimální optický systém. Pomocí meritní funkce se vyhodnocuje velký počet bodů čočky. Každému bodu čočky je přidělena cílová hodnota vlastnosti a její hodnota (upřednostnění): optická mohutnost, astigmatismus, prizmatické složky a jeho gradienty. Meritní funkce, vypočítaná pro každý bod, je zprůměrovaná suma kvadratického rozdílu mezi řadou optických vlastností T_j a skutečnými vlastnostmi systému A_j . Vlastnosti čočky jako celku jsou pak podle následujícího vzorce vypočteny jako průměrná suma zjištěných hodnot meritních funkcí:

$$\text{Meritní funkce} = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \sum_{j=1}^n w_j \cdot (T_j - A_j)^2$$

kde:

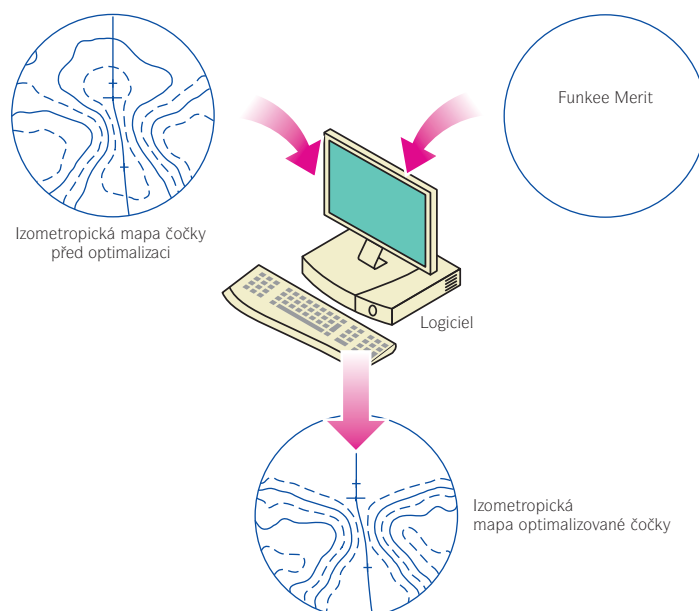
P_i hodnota (míra upřednostnění) bodu i

w_j hodnota (míra upřednostnění) optické vlastnosti j

T_j cílová optická vlastnost j

A_j aktuální hodnota optické vlastnosti j

Meritní funkce je klasická metoda používaná pro práci s velkým počtem vzájemně rozporných a omezujících se číselných údajů. Použití meritní funkce na korekční čočky umožňuje propojení fyziologických požadavků a výpočtu vlastností čočky.



Obr. 13: Optimalizační software.

B Konstrukce progresivních čoček

1) Specifické optické požadavky na progresivní čočku

Klinické pokusy prokázaly, že optické vlastnosti progresivní čočky určuje fyziologie zraku a posturální chování (poloha) pacienta. Můžeme je rozdělit do dvou kategorií:

- vlastnosti, které musí respektovat přesně stanovené hodnoty,
- vlastnosti, které by neměly přesáhnout stanovené mezní hodnoty.

a) Požadavky na posloupnost optické mohutnosti (progrese)

Hlavní funkcí progresivní čočky je obnovit schopnost vidění na blízko a na střední vzdálenost a zároveň zachovat ostré vidění do dálky. Konstrukteři čoček musí respektovat optickou mohutnost pro vidění do dálky a na blízko, ale při stanovení přechodu optické mohutnosti (progrese) mají větší volnost, zejména při:

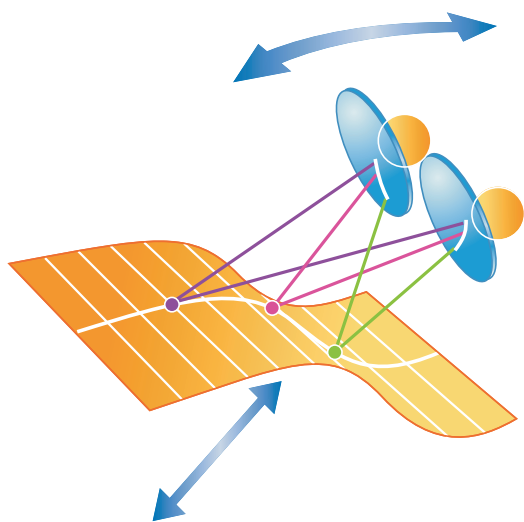
- Vertikálním umístění oblasti pro vidění na blízko: fyziologická hlediska, jako namáhání extraokulárních svalů nebo omezený rozsah binokulární konvergence při pohledu dolů, vyžaduje umístit v čočce oblast pro vidění na blízko vysoko. Proto se používá změna optické mohutnosti v malých krocích, což má naneštěstí za následek značné rozdíly v periferní aberaci. Vyhovující kompromis spočívá v umístění oblasti pro vidění na blízko v úhlu 25 stupňů při pohledu dolů.
- Profil změn optické mohutnosti (progrese): vhodná posloupnost optické mohutnosti podél svíslé středové

linie umožňuje pacientovi vidění bez únavných vertikálních pohybů hlavy. Toho je dosaženo spojením tvaru posloupnosti optické mohutnosti a orientace vertikálního horopteru (= souhrn bodů, jejichž obrazy se při určitém postavení očí jeví jednoduše) v návaznosti na přirozený sklon čteného materiálu.

- Horizontální (laterální) umístění oblasti pro vidění na blízko: jakmile je definován profil optické mohutnosti, jeho umístění na čočce je nutno přizpůsobit přirozené konvergenci očí, optické mohutnosti pro vidění na dálku a hodnotám adice pro čtení. Přirozená konvergence zrakových os při sklonu hlavy na běžnou vzdálenost pro čtení určuje decentralizaci oblasti pro vidění na blízko směrem dovnitř. S věkem se zmenšuje zraková ostrost a zároveň s rozvojem presbyopie mají pacienti tendenci přidržovat čtené materiály blíž k očím než v ranějších stádiích a dosáhnout tak zvětšení obrazu na sítnici. Proto musí být oblast pro vidění na blízko decentralizována ještě více směrem dovnitř a mít větší adici na blízko. Navíc prizmatické efekty v oblasti pro vidění na dálku ovlivňují polohu bodu pro vidění na blízko tak, že je nutná menší decentralizace pro myopy a větší pro hypermetropy, než když jsou hodnoty pro vidění do dálky zanedbatelné.

b) Požadavky na zrakové vjemy

Pro zabezpečení optimálního foveolárního vidění musí být aberace zobrazení na povrchu čočky co nejmenší, zejména podél vodorovné středové linie (meridiální) a v její blízkosti

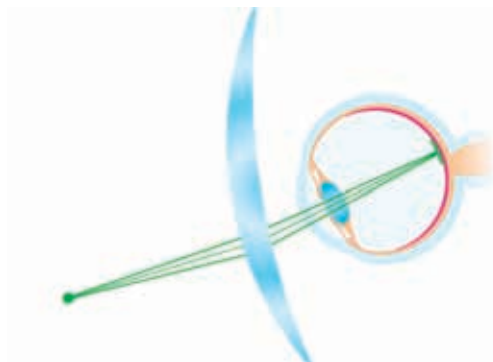


Obr. 14: Progrese optické mohutnosti.

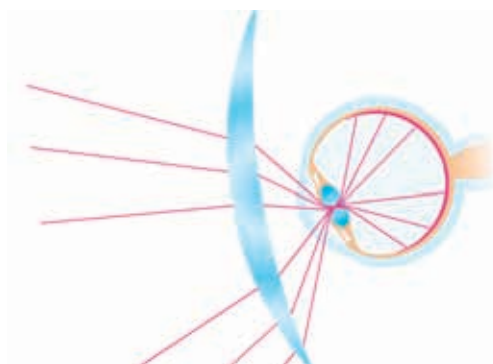
Pro zajištění pohodlného binokulárního vidění je třeba v centrální oblasti čočky věnovat velkou pozornost vyvážení optické mohutnosti, astigmatismu a efektu vertikálního prizmatu mezi pravým a levým okem. Toho se dosáhne asymetrickou konstrukcí progresivní plochy ve spojení se správným umístěním poledníkové linie. V periferní oblasti čočky, která se používá hlavně pro extrafoveolární vidění, nelze aberace zcela eliminovat. V této oblasti nejsou nároky na kvalitu obrazu tak náročné, ale je důležité dostat zde pod kontrolu prizmatické efekty. Hlavním faktorem v periferní oblasti čočky je vnímání pohybu a proto je zde důležitější gradient změn zbytkových aberací než jejich absolutní hodnoty. Pro zohlednění efektů, ke kterým v korekčních čočkách dochází při periferním vidění, je nutné použít jiný model oka než ten, který se používá pro popis foveolárního vidění. Předpokládejme, že oko se nepohybuje a pozoruje průsečíky čar na mřížce a paprsky z každého tohoto bodu procházejí skrz obě plochy čočky, procházejí středem pupily oka a dopadají na sítnici. Výsledkem jsou obrazy všech průsečíků na sítnici. Takto získáme informaci o tom, k čemu dochází, jestliže vyšetřovaný subjekt pohne hlavou, tj. o vlastnostech čočky při dynamickém vidění.

Všechny výše uvedené optické vlastnosti jsou zadány do meritní funkce a posléze zadány do softwaru pro optimalizaci konstrukce čočky.

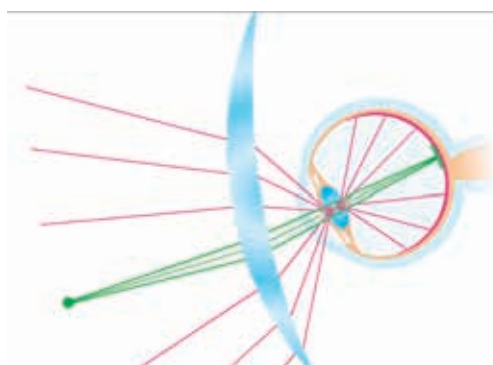
Obr. 15: Modelování systému čočka – oko.



a) Model pro centrální vidění: paprsky vyzařují z pevného bodu a soustřeďují se na sítnici.



b) Model pro periferní vidění: paprsky vyzařují ze všech bodů prostorového objektu. Spíše než jejich kvalita se zkoumá jejich umístění na sítnici.



c) Kombinace obou modelů pro centrální a periferní vidění: konstruktér musí korigovat oba efekty současně.

Přizpůsobené progresivní čočky:

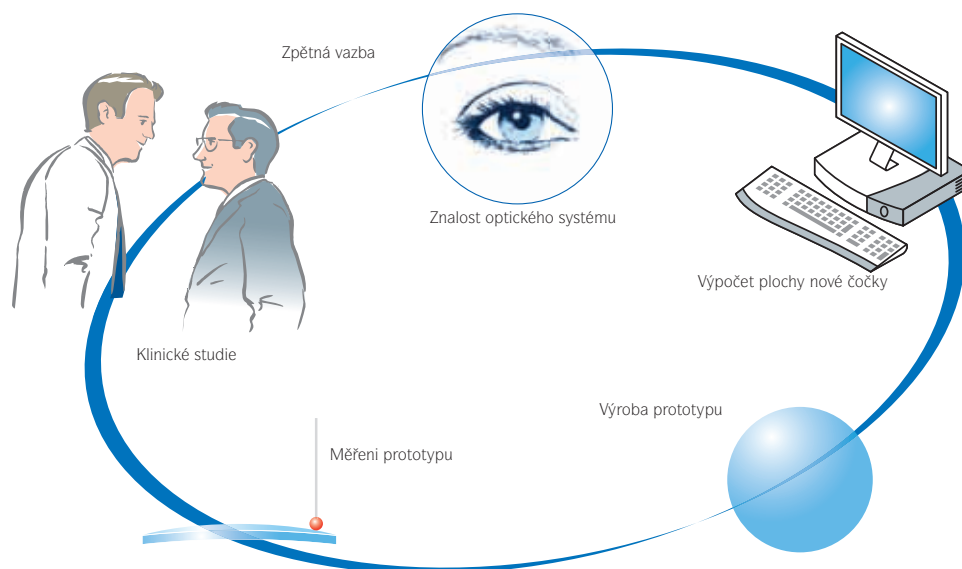
Poslední trendy při vývoji a opracování čoček umožňují konstrukci a výrobu progresivních čoček podle individuálních potřeb pacientů. Tak je možné zohlednit individuální vlastnosti a návyky každého pacienta. Například se tak může pro jednotlivé pacienty zohlednit specifický vztah mezi pohyby očí a hlavy při pohledu na střední vzdálenost a na blízko a přizpůsobit velikost centrální

oblasti čočky a měkkost periferní oblasti. (Viz podrobný popis v kapitole Varilux Ipseo). Vedle toho je při výpočtu progresivní čočky možné zohlednit i hodnoty předpisu, centrování a osazení do obruby.

2) Klinické studie a „dioptrická smyčka“

Po optimalizaci a výpočtu konstrukce čočky navrhne tým konstruktérů – ve kterém jsou zastoupeni fyziologové i techničtí odborníci – několik zkušebních konstrukcí. Tyto prototypy jsou vyrobeny a pečlivě testovány v klinických testech, které probíhají podle zásad „dvojí nevědomosti“ (ani pacient ani oční lékař neznají přesné vlastnosti testovaných čoček). Protokol, který je o těchto testech veden, vylučuje při klinickém vyhodnocení všech prototypů jakoukoliv předpojatost. Součástí kontrolních mechanismů testování jsou: výběr reprezentativního vzorku pacientů, kteří nosí brýle, je znám typ brýlí, které nosili dříve, jak dlouho pořadí a doba, po kterou nosí prototypy brýlí, materiál, ze kterého jsou vyrobeny čočky, povrchové úpravy čoček a je ověřena přesnost centrace čoček. Po skončení klinických testů je podrobným rozбором provedeno srovnání čoček a jsou posouzeny připomínky a poznámky pacientů. Je provedena rovněž statistická analýza. Na základě výsledků je určena nejlepší progresivní plocha. Je důležité zdůraznit, že je obtížné, ne-li nemožné, stanovit

obecně platný vztah mezi vypočtenými vlastnostmi a spokojeností pacienta. Proto musí být všechny inovace systematicky vyhodnoceny v procesu, označovaném jako „dioptrická smyčka“ (Obrázek 16). Ta spočívá v převedení fyziologických požadavků do vypočtené konstrukce povrchu, na jejímž základě je vyrobena řada prototypů čoček. Vyrobené čočky jsou pečlivě změřeny, aby odpovídaly konstrukčním údajům a potom jsou předány ke klinickým zkouškám na vybrané skupině pacientů. Jestliže klinické zkoušky ukáží, že se podařilo vyrobit čočku s vynikající konstrukcí (nabízejí lepší vidění, pacienti jsou spokojenější), pak by se mohlo jednat o novou konstrukci pro uvedení na trh. Jestliže klinické zkoušky ukáží, že se podařilo vyrobit lepší čočky, získané informace poslouží konstrukčnímu týmu a v dalším kole „dioptrické smyčky“ jsou tyto zkušenosti uplatněny.



Obr. 16: „Dioptrická smyčka“ – „jediná skutečná inovace je ta, kterou zaznamená pacient“

4. Popis a výpočet konstrukce

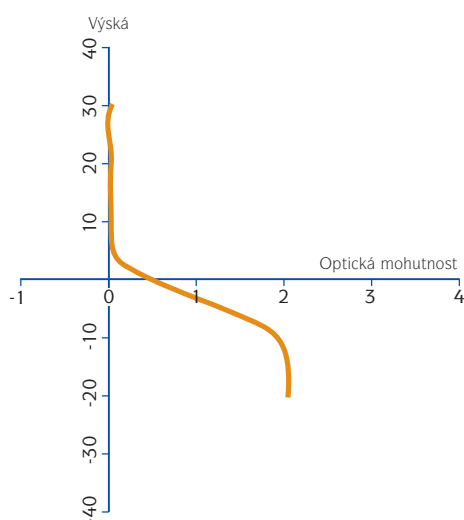
Progresivních čoček

A Grafické zobrazení progresivních čoček

Konstruktéři čoček často využívají grafické metody zobrazení optických vlastností progresivních čoček. Nejčastěji se používá zobrazení „optických“ vlastností čoček, těch vlastností, které se vztahují k optickému systému skládajícímu se z čočky a oka, na rozdíl od těch vlastností, které popisují „geometrické“ vlastnosti samotné progresivní plochy. Nejčastěji popisovanými vlastnostmi jsou:

1) Profil optické mohutnosti

Křivka vyznačující průběh optické mohutnosti čočky z podél středové linie z oblasti pro vidění do dálky do oblasti pro vidění na blízko. Výsledná křivka popisuje spojitě změny povrchu čočky směrem shora dolů. Profil optické mohutnosti popisuje změny optické mohutnosti čočky a umožňuje stanovit délku postupných změn (progrese).

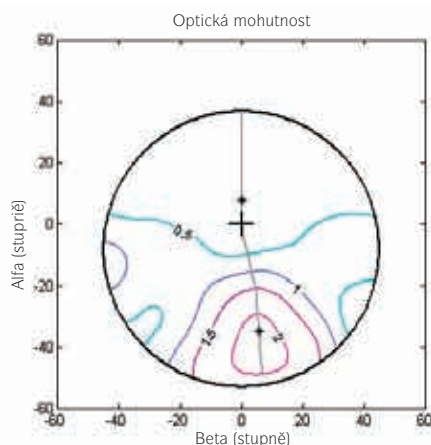


Obr. 17: Profil optické mohutnosti progresivní čočky.

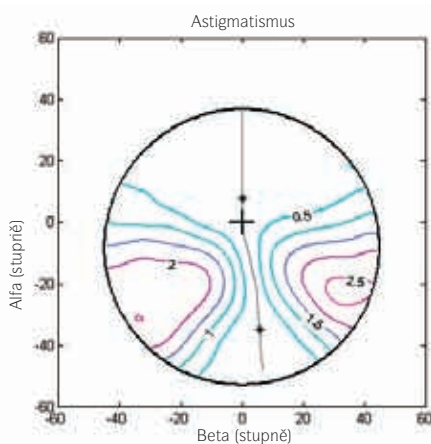
2) Vrstevnicové diagramy

Jedná se o dvourozměrnou mapu čočky, která zobrazuje buď rozložení optické mohutnosti nebo astigmatismu. Mapa rovněž zobrazuje spojnice se stejnou optickou mohutností vyjádřenou v dioptriích (iso-optická mohutnost nebo iso-astigmatismus). Na uvedených příkladech je mezi dvěma sousedními liniemi konstantní rozdíl 0,50 D. Protože tyto dva diagramy spolu vzájemně souvisí, neměly by nikdy být uváděny samostatně.

Obr. 18: Vrstevnicový diagram popisující vlastnosti progresivní čočky



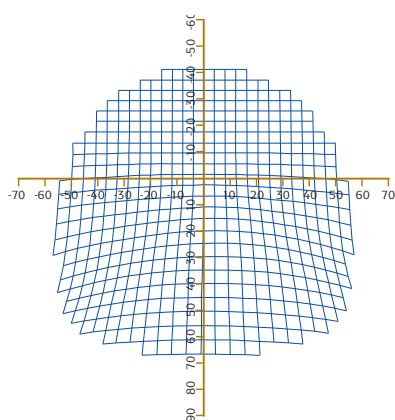
a) Optická mohutnost



b) Astigmatismus

3) Síťové diagramy:

Tento typ diagramu zvýrazňuje rozložení prizmatických efektů čočky tím, že ukazuje jejich vliv na tvar pravidelné pravoúhlé mřížky.



Obr. 19: Síťový diagram progresivní čočky.

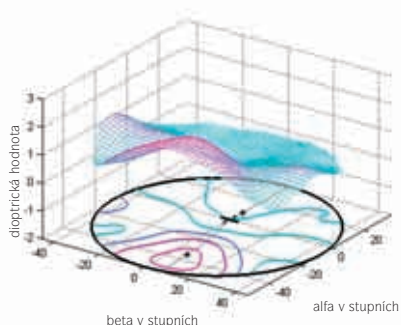
4) Trojrozměrné diagramy:

V diagramu je vertikálně zanesena hodnota dané optické vlastnosti v každém bodě čočky, vztažená na referenční plochu. Může se použít pro zobrazení rozložení hodnot střední optické mohutnosti, astigmatismu, prizmatických jevů nebo gradientu změn kterékoliv z těchto vlastností. Tyto trojrozměrné diagramy zobrazují vlastnosti čočky názorněji než vrstevnicové diagramy.

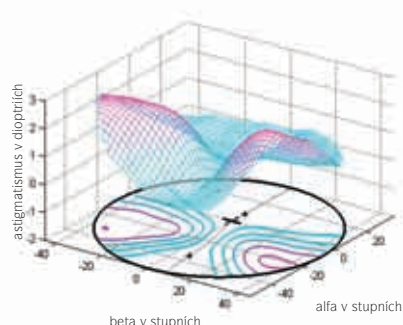
Interpretace diagramů:

Přestože všechny tyto diagramy jsou užitečnou pomůckou při návrhu čočky, jsou pouhým grafickým znázorněním vlastností progresivních čoček a nevypovídají nic o tom, jak je přijímají pacienti. Proto tyto diagramy nelze použít pro relevantní srovnání konstrukce progresivních čoček nebo pomocí nich předvídat zrakové pohodlí pacienta. Jediným spolehlivým způsobem pro stanovení vlastností čoček a jejich srovnání je dobře zmapovaný klinický test, provedený v reprezentativní skupině presbyopů.

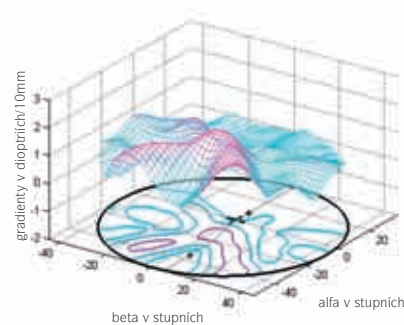
Obr. 20: Trojrozměrný graf vlastností progresivní čočky.



a) Střední optická mohutnost.



b) Astigmatismus.

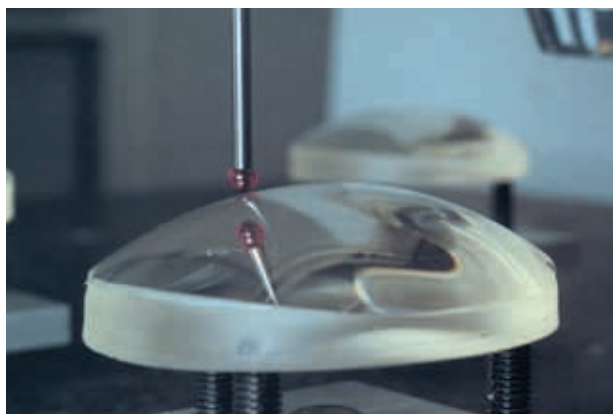


c) Gradienty stř. optické mohutnosti.

B Měření a kontrola progresivních ploch:

Pro návrháře i výrobce progresivních čoček je velmi důležité, aby mohl zkontrolovat, zda rozložení progresivních ploch odpovídá požadovaným vlastnostem. Tato kontrola se provádí trojrozměrným měřením nebo metodou deflektometrie (měření průhybů = analýza vychýlení světelných paprsků na povrchu). Přesnost povrchu čočky lze ověřit porovnáním naměřených hodnot s výsledky, které jsou vypočteny z rovnic pro jednotlivé části povrchu čočky. Může se použít i nepřímá metoda, při které se simulují optické vlastnosti čočky pro praktické použití, kdy se pacient dívá skrz čočku.

Při hromadné výrobě se může ověřovat, zda čočka skutečně odpovídá požadovaným technickým parametrům, rovněž pomocí tradičního fokometru a měřit optickou mohutnost, astigmatismus a prizma vybraného bodu čočky.



Obr. 21: Měření a kontrola progresivní plochy.

Popis progresivní plochy pomocí matematického modelu

A Lokální matematický popis plochy:

Libovolný povrch, který je definován rovnicí $z = f(x, y)$, může být matematicky vyjádřen v trojrozměrném systému Oxyz - kde Oxyz je tangenciální rovina k povrchu v bodě O - pomocí kvadratické rovnice a vzájemnými vztahy vyššího stupně. Vypočtená kvadratická plocha se protíná s povrchem v bodě O (tj. její zakřivení je shodné, jako zakřivení reálné plochy) a je definována rovnicí:

$$z = rx^2 + 2sxy + ty^2$$

Kde r, s, t jsou lokální deriváty plochy.

$$r = d^2z/dx^2, \quad s = d^2z/dxdy, \quad t = d^2z/dy^2$$

Tato kvadratická plocha definuje lokální osu a hlavní zakřivení plochy v bodě O. Libovolná plocha může být lokálně asimilována na torickou plochu, pro niž jsou charakteristická hlavní zakřivení C1 a C2 a její osa, odvozené z těchto rovnic:

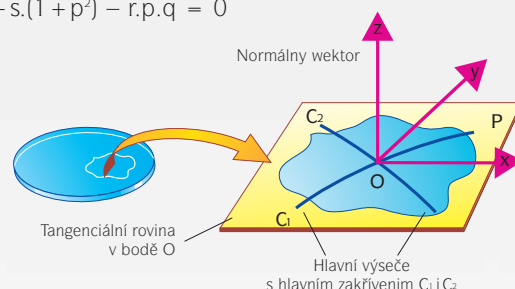
$$C_1 \cdot C_2 = \frac{r \cdot t - s^2}{(1 + p^2 + q^2)^2} \quad (\text{celkové zakřivení})$$

$$\frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{t \cdot (1 + p^2) + r \cdot (1 + q^2) - 2 \cdot p \cdot q \cdot s}{2 \cdot (1 + p^2 + q^2)^{3/2}} \quad (\text{průměrné zakřivení})$$

$$\text{kde } p = dx/dz \text{ a } q = dz/dy$$

Osa = Arctg (m), kde m je řešení kvadratické rovnice:

$$[t \cdot p \cdot q - s(1 + q^2)] \cdot m^2 + [t \cdot (1 + p^2) - r \cdot (1 + q^2)] \cdot m + s \cdot (1 + p^2) - r \cdot p \cdot q = 0$$



Obr. A: Lokální popis plochy.

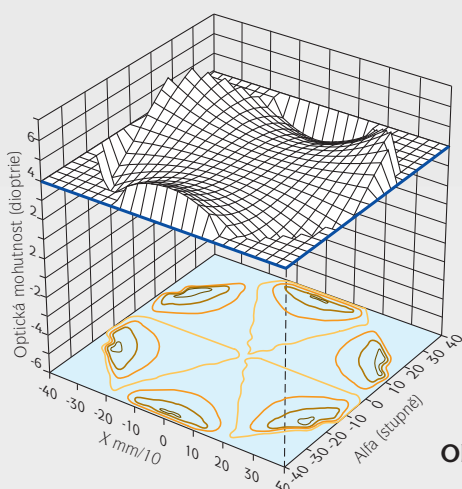
B Matematický popis ploch v kruhové oblasti:

Libovolná část složité plochy může být definována pomocí referenčního systému, označovanému jako Zernikeho polynomy (mnohočleny). Tento systém se používá pro matematické vyjádření plochy jako souhrnu jednotlivých specifických polynomů. Prvních deset Zernikeho polynomů je základem významných matematických a fyzikálních aplikací: pátý polynom popisuje hlavní zakřivení, čtvrtý a šestý popisují cylindr a osu, sedmý a desátý sklon variabilního zakřivení. Zernikeho polynomy se rovněž používají pro stanovení lokální optické mohutnosti, astigmatismu, koma a sférické aberace čočky pomocí analýzy vlnoploch. Plochu čočky lze matematicky vyjádřit:

$$f(y, z) = \sum_{i=0}^{i=9} Z_i \cdot P_i \quad \begin{array}{l} P_i : \text{Zernikeho polynomy} \\ Z_i : \text{Koeficienty} \\ y, z : \text{Zmenšené proměnné} \end{array}$$

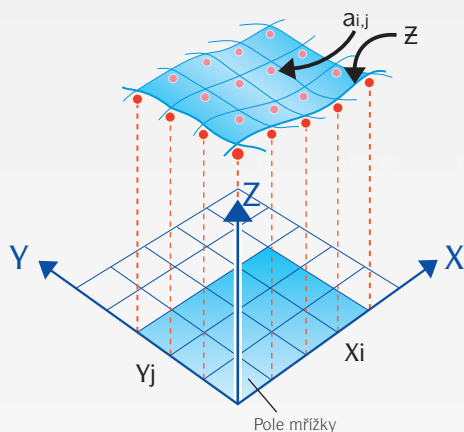
Piston	1	Z ₀
Sklon y	y	Z ₁
Sklon z	z	Z ₂
Asti + -45°	2y.z	Z ₃
Defokus	-1 + 2y ² + 2.z ²	Z ₄
Asti 0,90°	z ² - y ²	Z ₅
Koma tr y	3y.z ² - y ³	Z ₆
Koma y	-2y + 3y.z ² + 3y ³	Z ₇
Koma z	-2z + 3z.y ² + 3.z ³	Z ₈
Koma tr z	z ³ - 3zy ²	Z ₉

Rozložení plochy do prvních deseti Zernikeho polynomů.



Obr. B: Grafické znázornění osmého Zernikeho polynomu.

C Matematický model ploch s B. kubickými interpolacemi polynomických funkcí:



Obr. C: Modelování plochy pomocí funkcí B. kubických interpolací.

Libovolná nepravidelná plocha může být znázorněna pomocí soustavy souřadnic, rovnoměrně rozložených na ploše podle pravidelné referenční mřížky. Lokální vlastnosti plochy v bodě daném souřadnicemi $x, y, z = f(x, y)$, p, q, r, s, t se odvozují od hodnot diskrétních souřadnic v těsné blízkosti tohoto bodu pomocí jejich lineární kombinace ve čtvercové matici. Tyto vlastnosti se vypočítají podle tohoto vzorce:

$$z = \sum_{i,j} \lambda_{i,j} \cdot a_{i,j}$$

$$p = \frac{df}{dx} = \sum_{i,j} w_{i,j}^x (a_{i+1,j} - a_{i,j})$$

$$q = \frac{df}{dy} = \sum_{i,j} w_{i,j}^y (a_{i,j+1} - a_{i,j})$$

$$r = \frac{d^2f}{dx^2} = \sum_{i,j} w_{i,j}^{xx} (a_{i+2,j} - 2a_{i+1,j} + a_{i,j})$$

$$s = \frac{d^2f}{dx dy} = \sum_{i,j} w_{i,j}^{xy} (a_{i+1,j+1} - a_{i+1,j} + a_{i,j} - a_{i,j+1})$$

$$t = \frac{d^2f}{dy^2} = \sum_{i,j} w_{i,j}^{yy} (a_{i,j+2} - 2a_{i,j+1} + a_{i,j})$$

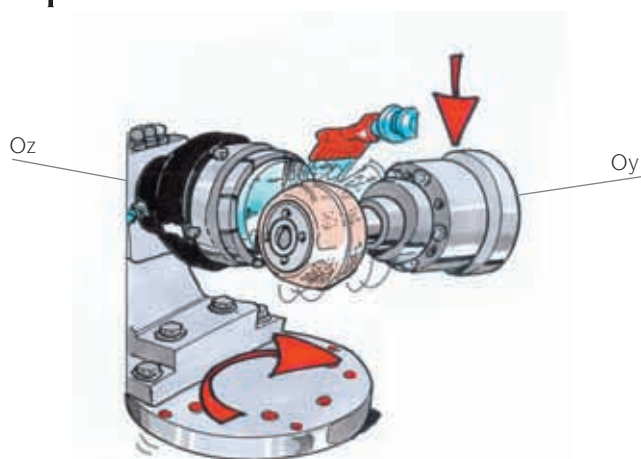
Kde: $\lambda_{i,j}, w_{i,j}^x, w_{i,j}^y, w_{i,j}^{xx}, w_{i,j}^{xy}, w_{i,j}^{yy}$.

jsou tabulkové koeficienty

5. Výroba

Progresivních čoček

A Výroba čoček s progresivní (proměnlivou) optickou mohutností



Obr. 22: Princip výroby progresivní čočky.

Při výrobě progresivních čoček se musí dosáhnout velmi přesné rotační symetrie progresivních dioptrických povrchů. První čočky s progresivní plochou byly broušeny pomocí křivkového kotouče a následně jemně dobroušeny a vyleštěny tak, že při těchto finálních úpravách se pouze kopíroval tvar vybroušeného povrchu. V současnosti mohou být tyto plochy vyrobeny pomocí počítačem řízeného (CNC) obrábění povrchu čočky nebo formy, která se pak použije na odlití čočky.

Důležitá stadia výrobního procesu čočky s progresivní plochou jsou:

1) Návrh konstrukce plochy a numerický popis

Konstrukce plochy a výpočet topografie plochy je převeden na numerické údaje v souřadnicovém systému (x, y, z), který lze přímo zadat do CNC generátoru. Na jednu plochu může být zapotřebí zadat numerické údaje o několika tisících bodech a tyto údaje musí být uloženy pro všechny možné kombinace zakřivení báze, adice na blízko a pro pravou a levou čočku. Základem je progresivní plocha, která má obvykle sférický (kulovitý) tvar a jejíž zakřivení je podobné zakřivení výsledné báze.

2) Výroba progresivní plochy:

Princip generování CNC je ilustrován na obrázku 22. Uchycená čočka je připevněna k hřídeli, která se pomalu otáčí okolo osy z plochy a obrobek se může pohybovat okolo ve směru poledníků x, y a z podle pokynů z brousícího programu CNC. Diamantový brusný kotouč rotuje okolo osy y a během broušení je v kontaktu s broušenou plochou pouze v jednom bodě. Frézka se spirálovitě pohybuje po ploše obrobku.

3) Leštění progresivní plochy:

Výsledná plocha po broušení je většinou natolik jemně obroušená, že je připravena pro leštění bez nutnosti dalšího vyhlazování jemným broušením. Při leštění se používá jemná pěna s plovoucími přísadami, leštící polštářek nebo přímo leštění plochy pomocí CNC.

4) Značkování plochy laserem:

Po vyleštění je progresivní plocha označena tak, aby se umožnila přesná lokalizace progresivní oblasti a jsou přidány i další identifikační informace. Běžně se na horizontální linii (v oblasti s optickou mohutností 0 D) vyznačují dva kroužky 34 mm od sebe, adice na blízko je vyznačena pod vnějším kroužkem na spánkové straně a logo s dalšími informacemi o designu čočky a materiálu jsou vyznačeny pod vnitřním kroužkem na nazální straně. Tyto značky mohou být buď přímo na čočce nebo na formě, ve které se čočka odlévá, a v tomto případě se objeví jako reliéf na lité čočce.

5) Kontrola:

V každém stádiu výrobního procesu je čočka kontrolována pomocí jedné z výše popsaných metod a tak je zajištěno, že finální leštěná plocha odpovídá navrženým konstrukčním vlastnostem.

B Vylepšení vlastností hotových progresivních čoček

1) Progresivní čočky equithin („stejnotenkové“)

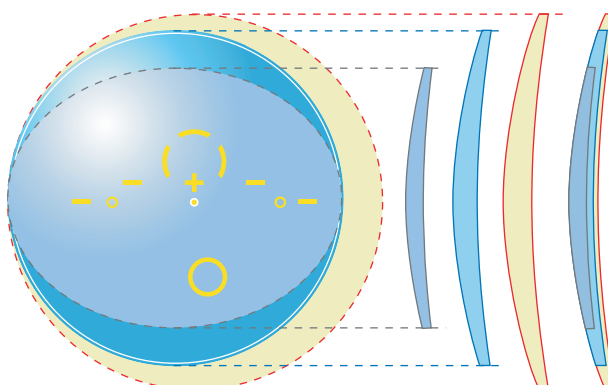
V důsledku vyššího zakřivení progresivní plochy v oblasti pro vidění na blízko je progresivní čočka u dolního okraje tenčí než u horního okraje (Obrázek 23). Pro vyrovnání tloušťky u horního a spodního okraje čočky se běžně používá technika zvaná „equithin“ (ztenčení prizmatu), která umožňuje celkové ztenčení čočky. Tento postup způsobuje snižování prizmatu; jeho hodnota v prizmatických dioptriích (cm/m) je obecně 2/3 hodnoty adice a lze ji měřit v geometrickém středu čočky. Například progresivní čočka s adicí 3,00 D má na bázi ztenčené prizma 2 a jestliže není žádné další prizma předepsáno, tato hodnota se naměří v referenčním bodě čočky. Aby se vyloučil výskyt vertikálního rozdílu prizmatu, musí mít ztenčující prizma stejné hodnoty pro pravou i levou čočku. Equithin prizma způsobuje mírný posun celého zorného pole směrem nahoru. Bylo klinicky prokázáno, že tento jev nemá žádný vliv na zrakové pohodlí pacienta. Protože umožňuje výrobu výrazně tenčích, lehčích a pohodlnějších čoček, je použití techniky equithin prizmatu doporučováno pro progresivní čočky s různou optickou mohutností a adicí.



Obr. 23: Ztenčování prizma u progresivní čočky.

2) Decentrované nebroušené progresivní čočky

Na trzích, kde se distribuuji kruhové nebroušené čočky (například v Evropě), výrobci používají pro ztenčení plusových čoček metodu decentrace a změny tvaru. Průměr čočky se zmenší, ale aby zůstala zachována temporální (na vnější straně) optická mohutnost, je progresivní plocha decentrována nazálně (směrem dovnitř). Decentrované čočky se vyrábějí například v průměru 60/75 mm, což znamená, že čočka má geometrický průměr 65 mm a efektivní průměr 70 mm - plocha je posunuta o 2,5 mm nazálně. Ztenčení čočky se rovněž dosahuje tak, že se místo kruhového tvaru použije eliptický tvar – zmenšení vertikálního průměru umožňuje výrobu tenčí čočky. Decentrace se používá i při výrobě obráběných čoček – zvyšuje se efektivní průměr čočky.



Obr. 24: Decentrovaná progresivní čočka.

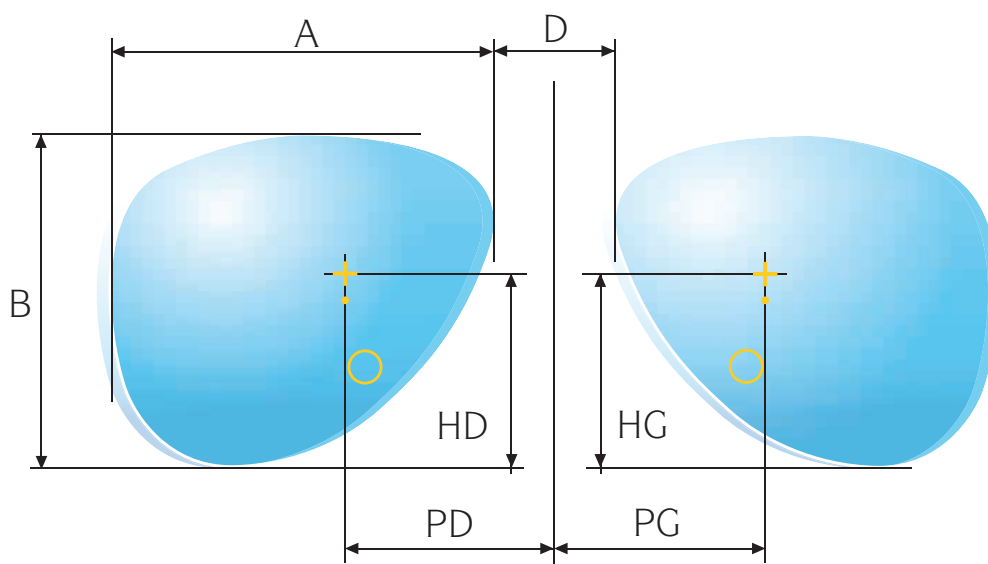
B Vylepšení vlastností hotových progresivních čoček

3) Předběžná kalibrace - PRECAL

Nejefektivnější způsob, jak zmenšit tloušťku středu plusových čoček, je jejich výroba v předem kalibrované formě. Nejdříve je třeba vypočítat umístění okraje tvarované čočky při minimální tloušťce a potom ji obrobít na minimální tloušťku středu podle předpisu a dosáhnout tak minimální tloušťky v odpovídajícím místě okraje. Pro dosažení co nejtenčí a nejlehčí čočky se při výpočtu bere

v úvahu monokulární PD, výška osazení a tvar a velikost obruby (Obrázek 25).

Přestože dosažené výsledky předběžné kalibrace nejsou specifické pouze pro progresivní čočky, jsou pro tento typ čoček nejvýraznější a dále umocňují techniku ztenčování čoček equithin. Tento postup se standardně používá v laboratořích, kde se obrábějí a brousí čočky.



Obr. 25: Princip předběžné kalibrace.

6. Vývoj

Progresivních čoček

1. generace: „první“ progresivní čočka

Po několika neúspěšných pokusech v první polovině 20. století se první použitelné progresivní čočky objevily v roce 1959 ve Francii.

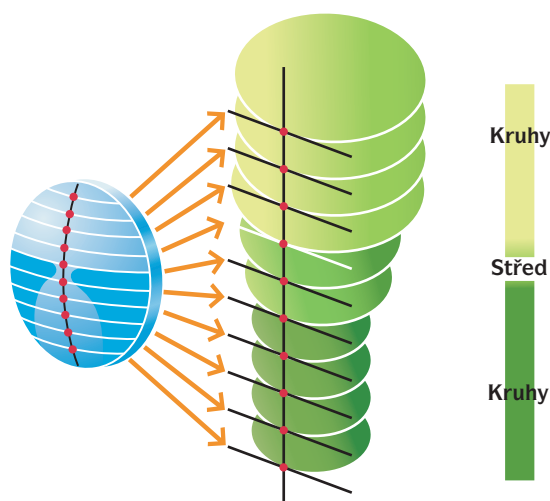
Po několika letech práce vyvinul pan Bernard Maitenaz první čočku ve společnosti Societé de Lunetiers (také S.L., která se později přejmenovala na Essel a v roce 1973 se sloučila se společností Silor a tak vznikla společnost Essilor).

Optická mohutnost progresivních čoček se mění podél typické středové linie, nazývané „poledníková linie“, na které - v každém bodě podél poledníkové linie - jsou hlavní poloměry zakřivení stejné. U prvních progresivních čoček probíhala poledníková linie shora dolů a nutno podotknout, že optická mohutnost se plynule měnila od horního okraje čočky ke spodnímu. Později byly upraveny zásady pro změnu optické mohutnosti tak, aby byla dosažena stabilní optická mohutnost v horních a spodních částech čočky a zvětšila se tak oblast pro vidění do dálky a zároveň se umožnilo měření optické mohutnosti čočky pro vidění na blízko fokometrem.

První komerčně vyráběné progresivní čočky, uvedené na trh pod značkou Varilux v roce 1959, měly zcela sférickou oblast pro vidění do dálky a oblast pro vidění na blízko byla dostatečně stabilizována, takže měly strukturu připomínající bifokální čočky, které měly nahradit (Obrázek 26). Spodní laterální (postranní) oblast čočky obsahovala i přes to, že byla kontrolována, významné laterální aberace (vady), které kladly zvýšené nároky na přizpůsobení ze strany pacienta.

Z pohledu binokulárního vidění byl významný rok 1964, kdy byly uvedeny první asymetrické progresivní čočky (s odlišnou konstrukcí pravé a levé čočky) poskytující lepší laterální vidění díky specificky vypočítaným oblastem čočky. Před tímto datem byly progresivní čočky konstruovány jako symetrické a rozlišení na pravou a levou čočku se dosahovalo tak, že každá z čoček byla pootočená o 10° nazálně (směrem dovnitř).

Ačkoliv optická hlediska stála na prvním místě, stejně důležité úkoly byly kladeny na strojní inženýrství: jak zkonstruovat strojní vybavení, které by poprvé nerotačním způsobem bylo schopné vyrobit symetrické optické plochy. V této době se většina čoček vyráběla ze skla, které bylo náročné na opracování a leštění. Výpočet jednotlivých bodů a využití techniky umožňující opakovanou výrobu požadované plochy podle modelu a jejího následného jemného leštění fakticky umožnilo výrobu čoček Varilux. Uvedení čoček s takovými laterálními aberacemi představovalo ve své době pokus o překonání nemožného. Vedle technických problémů bylo nutné překonávat skepticismus odborné optické veřejnosti. Vytrvalost konstruktérů však prokázala, že je možné vyrobit progresivní čočky, a zároveň naznačili cestu pro pozdější vylepšení: lepší pochopení periferního vidění přes korekční čočky a jak ho zohlednit při konstrukci progresivních ploch. Přestože byl Varilux 1 prvním výrobkem, přinesl všechny základní principy progresivních čoček. Stál na začátku významné revoluce, ke které později došlo v oblasti oční optiky.



a) Konstrukce povrchu čočky Varilux® 1



b) Bernard Maitenaz: vynálezce progresivní čočky.

Obr. 26: První generace progresivních čoček (Varilux® 1).



2. generace: progresivní čočka s „optickou modulací“

Poté, co odborná veřejnost uznala koncepci progresivní plochy, mohli Bernard Maitenaz a jeho tým opustit „sférickou“ koncepci čoček Varilux 1 a přejít ke konstrukci progresivní plochy s vylepšenými periferními oblastmi. Úspěch se dostavil v roce 1972, kdy pod označením Varilux 2 uvedli na trh druhou generaci progresivních čoček.

Cílem nebylo pouhé omezení periferních aberací, ale rovněž kontrola zkreslení obrazu, které v jejich důsledku vznikalo.

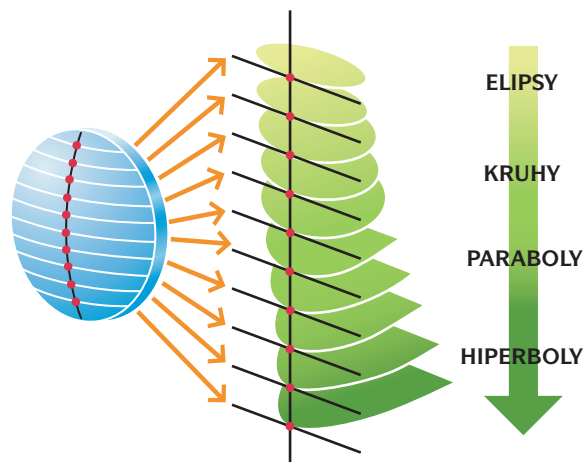
- Pro omezení výskytu aberací se použila horizontální „optická modulace“, které bylo dosaženo mírným zvýšením optické mohutnosti v laterálních oblastech pro vidění do dálky a mírným snížením optické mohutnosti v laterálních oblastech pro vidění na blízko. Výsledkem malého rozdílu v poloměru zakřivení, který se vyskytoval v periferních oblastech pro vidění do dálky a na blízko, bylo výrazné omezení výskytu aberací. Takový povrch může být znázorněn jako řada kónických výsečí jako na obrázku 27.

Pro omezení výrazného plovoucího efektu, který se vyskytoval u čoček Varilux 1, byla zavedena koncepce „ortoskopie“, která má zajistit, že přímé linie, zejména vertikální a horizontální, jsou při pohledu přes periferní oblasti čočky vnímány jako přímé. Proto bylo nutné vypočítat plochu, která má jednak velmi rozdílné horizontální prizmatické efekty podél dvou vertikálních linií (na nazální a temporální straně čočky) a zároveň velmi rozdílné vertikální prizmatické efekty podél dvou horizontálních linií v horní a spodní části čočky. Právě tyto vlastnosti byly u čoček Varilux 2 patentovány a jejich konstrukce tak byla řadu let chráněna. Přestože původně byly popsány uvedeným způsobem, principy ortoskopie zůstaly nezměněny u všech následujících generací čoček Varilux.

Pro binokulární vidění měly čočky Varilux 2 od počátku odlišnou geometrii plochy pro pravou a levou čočku a zvláštní pozornost byla věnována oblastem čočky, které využívaly obě oči současně.

U druhé generace progresivních čoček bylo dosaženo faktické progresivní optické mohutnosti a byl to počátek doby, kdy progresivní čočky začaly být uznávány a přijímány jako standardní metoda korekce presbyopie. V desetiletí následujícím po uvedení čoček Varilux 2 bylo od nich odvozeno několik variant dalších výrobců, kteří se soustředili na některé specifické optické vlastnosti. Někteří kladli důraz na velikost oblastí pro vidění do dálky a na blízko a soustředili nevyhnutelný astigmatismus na okraj čočky (American Optical

Ultravue, Rodenstock Progressiv R, Visa z BBCR, Sola VIP/Graduate). Jiní se vydali opačným směrem a snižovali úroveň nežádoucího astigmatismu na periferii tak, že ji více rozložili po ploše čočky (American Optical Truvision Omni). Další kladli důraz na asymetrii čočky a pohodlné binokulární vidění (Zeiss Gradal HS). Společné úsilí očních lékařů a výrobců přineslo rychlý rozvoj korekce presbyopie pomocí progresivních čoček.



Obr. 27: Konstrukce progresivních čoček 2. generace: plocha Varilux® 2.

3. generace: progresivní čočka s „multi-designem“

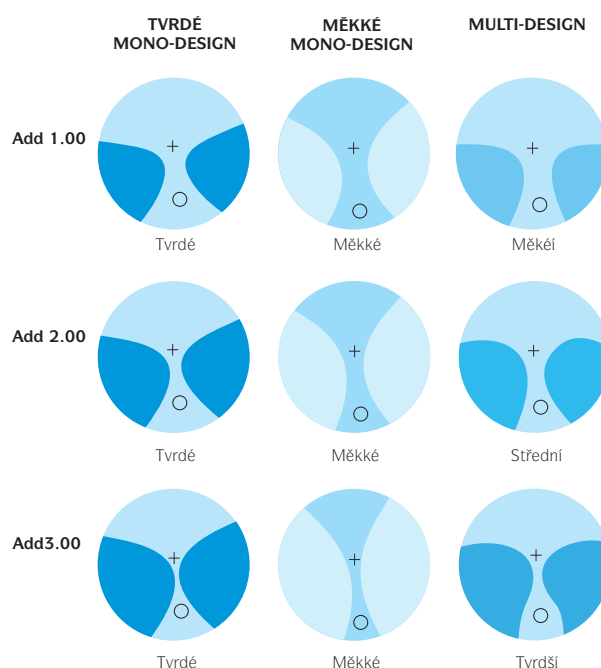
Třetí generace progresivních čoček je ve znamení multikonstrukční koncepce a přinesla další zlepšení jejich užitných vlastností. Vývojáři si uvědomili, že výsledkem použití stejných zákonitostí optické mohutnosti pro všechny oblasti s různou adicí na blízko není optimální progresivní plocha pro všechny stádia presbyopie. Po odstranění tohoto omezení bylo možné zkonstruovat optimální plochu pro potřeby pacientů ve všech stádiích presbyopie. Rané stádium presbyopie vyžaduje progresivní plochu „měkkými“ přechody, která pacientům umožní, aby se rychle přizpůsobili progresivním čočkám, zatímco pacienti s rozvinutou presbyopií dávají přednost „tvrdší“ konstrukci, která jim poskytuje větší zorné pole.

U jednoduché konstrukce progresivních čoček měli konstruktéři na výběr pouze jednu možnost:

- použít „měkký“ progresivní povrch s velkou délkou progresu a nízkou úrovní aberací rovnoměrně rozložených po celé ploše čočky, který více vyhovuje pacientům v raném stádiu presbyopie, ale který poskytuje pouze malé zorné pole pacientům v pozdějším stádiu presbyopie,

- použít „tvrdý“ progresivní povrch s malou délkou progresu a rychle stoupající úrovní aberace, která je soustředěna v malých oblastech čočky, který více vyhovuje pacientům v pozdějším stádiu presbyopie, na který se ale hůře adaptují pacienti v raném stádiu presbyopie. Řešením byly čočky s měkkými plochami pro nízké adice a tvrdšími plochami pro vysoké adice, které by zachovaly zorné pole na blízko i při zvýšení adice na blízko (Obrázek 28).

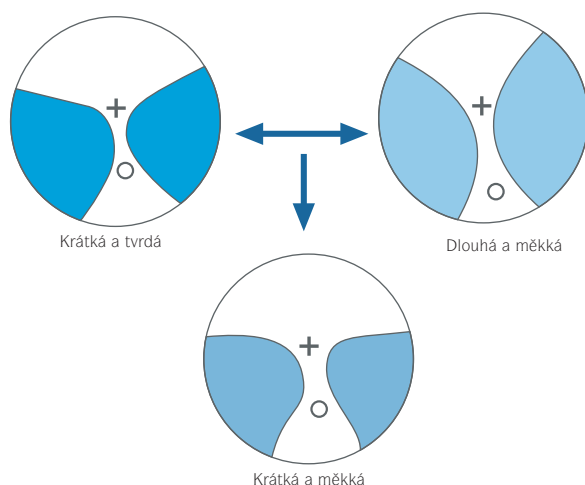
Essilor uvedl na trh v roce 1988 čočky Varilux Multi-Design a všech 12 adicí (+0,75 D až +3,5 D v krocích po 0,25 D) mělo odlišnou konstrukci specificky navrženou pro jednotlivé hodnoty adice. Obdobný konstrukční přístup zavedly společnosti American Optical (Omni Pro), BBGR Visa 5S, Hoya's Hoyalux atd. Přestože se čočky Varilux Multi-Design již nevyrábějí, protože byly nahrazeny novou generací progresivních čoček, staly se na současném světovém trhu předchůdcem valné většiny progresivních čoček, které většinou využívají koncepci „multi-design“.



Obr. 28: Srovnání konstrukce progresivní čočky „multi-design“ a mono-design.

4. generace: progresivní čočka pro „přirozené vidění“

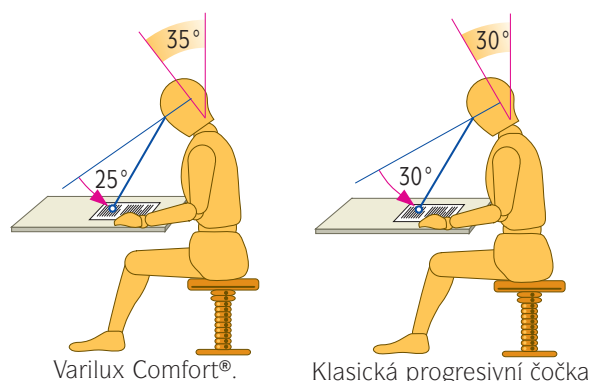
Čtvrtá generace progresivních čoček byla uvedena na trh v roce 1993 pod názvem Varilux Comfort. Jejich konstrukce vychází z pozorování návyků pacientů při nošení progresivních čoček a jejich výrobu umožnil vývoj postupů a technologií při výrobě progresivních čoček. Základní koncepce spočívá ve zkrácení délky progresivní oblasti čočky, což umožňuje pacientům zaujmout pohodlnější pozici při vidění na blízko, a zároveň v omezení deformací v periferních oblastech čočky. Zjednodušeně se dá říci, že před nástupem čtvrté generace měl konstruktér dvě možnosti, jak navrhnout progresivní čočku – s „krátkou“ progresí a „tvrdou“ periferní oblastí nebo s „měkkou“ periferií ale „dlouhou“ progresí. První varianta znamenala pro pacienty pohodlnou pozici při čtení, ale snížené pohodlí při periferním vidění. Druhá možnost umožňovala pohodlné dynamické vidění, ale nepohodlnou pozici při čtení. Konstruktéři stáli před úkolem zkonstruovat čočku, která by spojovala „krátkou“ progresi a „měkkou periferii“ a umožnit tak pacientům využívat obou výhod – pohodlné pozice při vidění na blízko a zároveň mít plné zrakové pohodlí při periferním vidění (Obrázek 29). Tohoto cíle bylo dosaženo u čoček Varilux Comfort.



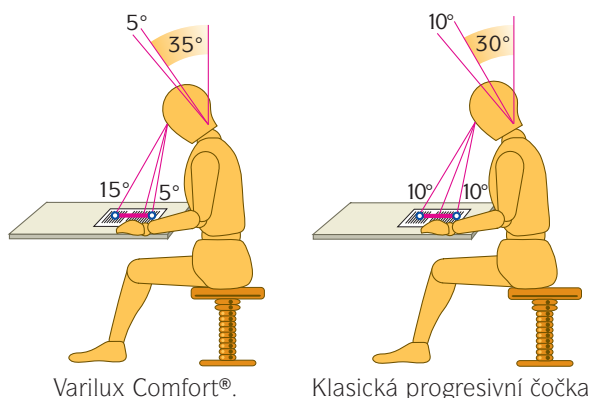
Obr. 29: Princip konstrukce čoček Varilux Comfort®

Vlastnosti čočky:

Aby byly umožněna pohodlná pozice při vidění na blízko, oblast pro vidění na blízko je na čočce umístěna vysoko, takže pacient ji pohodlně vidí při přirozeném sklopení pohledu v úhlu 25° - o 5° méně, než u předchozí generace progresivních čoček. Proto pacient může sklonit hlavu o 35° (místo 30°) – tato pozice je blíží obvyklé přirozené pozici, kterou člověk zaujímá při pohledu na blízko ještě před rozvojem presbyopie (Obrázek 30). Navíc se pacient může dívat na blízko v celém rozsahu mnohem pohodlněji, protože čočky umožňují menší rozsah pohybů hlavy a očí (Obrázek 31).

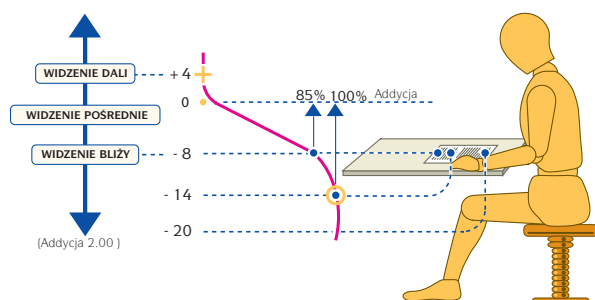


Obr. 30: Srovnání polohy hlavy a očí u čoček Varilux Comfort® a klasických progresivních čoček.



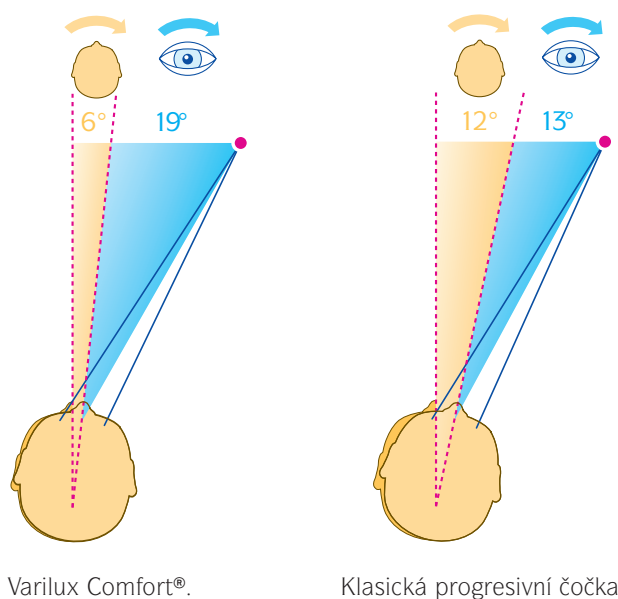
Obr. 31: Srovnání pohybů hlavy u čoček Varilux Comfort® a klasických progresivních čoček.

Uvedené výhody jsou výsledkem profilu optické mohutnosti pro vidění do dálky a na blízko, který je používán u čoček Varilux Comfort. Pro adici 2,00 D je 85% celkové adice (uvažované jako začátek oblasti pro vidění na blízko) dosaženo 12 mm pod záměrným křížem, ve srovnání s 14 nebo 15 mm u předchozí generace progresivních čoček (Obrázek 32).



Obr. 32: Profil optické mohutnosti čoček Varilux Comfort® s adicí 2,00 D.

Aby bylo dosaženo pohodlného periferního vidění, musí se progresivní plocha změkčit pečlivou kontrolou optických vlastností periferní oblasti. Bylo zjištěno, že pacienti při periferním vidění více vnímají rychlé změny optické mohutnosti a astigmatismu - vlastně změny prizmatických efektů, které jsou způsobeny rozdíly v optické mohutnosti – spíše než jejich absolutní hodnoty. Proto jsou použity časté přechody optické mohutnosti progresivní plochy čoček Varilux Comfort pouze tam, kde je to nezbytné, podél poledníkové linie progresu, a tak je zajištěna malá délka progresu a co nejplynulejší přechody na zbývající ploše čočky. Tato charakteristika je chráněna jedním z patentů na čočky Varilux Comfort. Měkké periferní oblasti nabízejí pacientům širší zorné pole se zřetelným viděním a proto došlo ke značné redukci horizontálních pohybů hlavy, nezbytných pro pozorování celé šíře zorného pole (Obrázek 33).

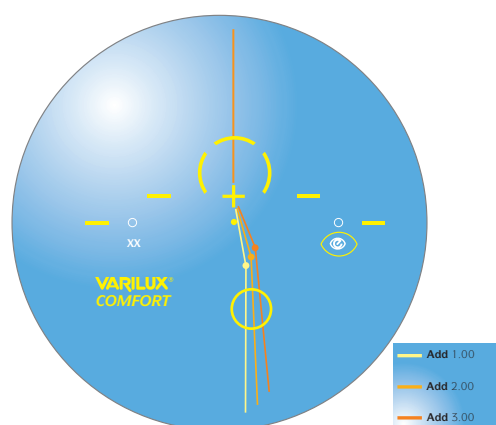


Obr. 33: Srovnání horizontálních pohybů hlavy a očí pro čočky Varilux Comfort® a klasické progresivní čočky.

Aby bylo dosaženo dokonale vyváženého vnímání oběma očima současně, byla změněna konstrukce asymetrie čoček pro binokulární vidění. Pro geometrický profil progresu – jeho rozložení na čočce – bylo vzato v úvahu chování pacienta; profil se už neřídil rovnými liniemi čočky, ale byl určován dráhou, kterou opisovaly oči při sklopení zraku při pohledu na blízko. Toto pojetí bylo funkční i pro současný vertikální pohyb hlavy při přechodu z vidění do dálky, přes vidění na střední vzdálenost a na vidění na blízko i pro vidění na blízko po delší dobu. Tyto dva požadavky vedly k různým úrovním konvergence a bylo nutné použít dvou různých úrovní progresu optické mohutnosti (Obrázek 34).

Koncepce multi-design pomocí adice našla u čoček Varilux Comfort nové využití – vložení různé adice do oblasti pro vidění na blízko vychází z poznatku, že presbyopové drží čtené materiály čím blíže u očí, čím větší je adice. To jim umožňuje určité zvětšení, které kompenzuje snížení zrakové ostrosti v důsledku ztráty průhlednosti optického média oka s přibývajícím věkem. Rozdíl vložené oblasti pro vidění na blízko je asi 1,6 mm od nejnížší až k nejvyšší adici (od 2,2 až 3,8 mm). To má za následek zkrácení délky progresu, protože adice se zvětšuje přesněji a posouvá výše umístění oblasti pro vidění na blízko, kde je dosaženo 85% celkové adice na čtení (Obrázek 34).

Čočky Varilux Comfort získaly velký úspěch a přispěly k uznání progresivních čoček jako metody korekce presbyopie. Později následovalo uvedení mnoha dalších konstrukcí progresivních čoček. V několika málo letech po uvedení čoček Varilux Comfort bylo na trhy po celém světě dodáváno 50 různých typů progresivních čoček.



Obr. 34: Nepravidelné rozložení oblasti pro vidění na blízko s adicí na blízko (Varilux Comfort®).

5. generace: progresivní čočka s „rozšířeným zorným polem“

Aby ještě více zdokonalili užité vlastnosti čočky, zaměřili se konstruktéři na požadavky pacientů, kteří nosí progresivní čočky. Pacienti vyjádřili dva hlavní požadavky: noví presbyopičtí pacienti chtěli hlavně „rychlou a snadnou adaptaci na první pár progresivních čoček“, zatímco pacienti, kteří progresivní čočky již nějakou dobu nosili, požadovali „větší zorné pole“. Pátá generace progresivních čoček společnosti Essilor, Varilux Panamic, která byla uvedena na trh v roce 2000, byla konstruována tak, aby vyšla vstříc těmto požadavkům. Pro splnění těchto požadavků byly vylepšeny užité vlastnosti čočky pro periferní vidění jak pro binokulární vidění tak pro foveolární vidění – obě zlepšení byla provedena na základě specifického výzkumu.

Aby se noví presbyopičtí pacienti „rychleji a snáze adaptovali“, byla provedena tato zlepšení (Obrázek 35):

- v periferním vidění bylo redukováno zkreslení úpravou rozložení prizmatických efektů na ploše čočky;

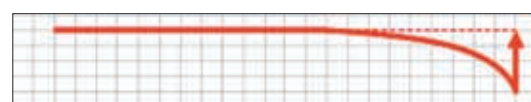
- u binokulárního vidění byly redukovány plovoucí efekty snížením rozdílu zdánlivé rychlosti pohybu předmětů vnímané pravým a levým okem. Bylo zjištěno, že příčinou plovoucích efektů, které jsou někdy pacienty vnímány, je hlavně binokulární vidění;

- foveolární vidění, výrazné zvětšení oblastí ve kterých se dosáhlo plné ostrosti vidění na střední vzdálenost a na blízko oproti čočkám Varilux Comfort.

Obr. 35: Zlepšení, které přinesly čočky Varilux Panamic novým presbyopickým pacientům.

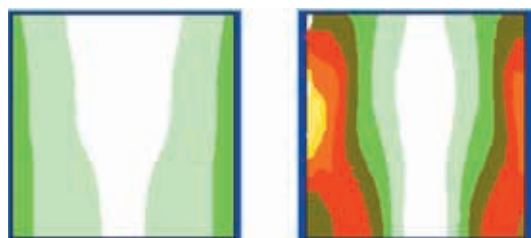


Varilux Panamic®



Klasická progresivní čočka

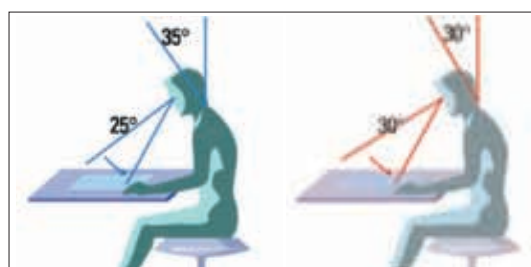
a) Periferní vidění



Varilux Panamic®

Klasická progresivní čočka

b) Binokulární vidění



Varilux Panamic®

Klasická progresivní čočka

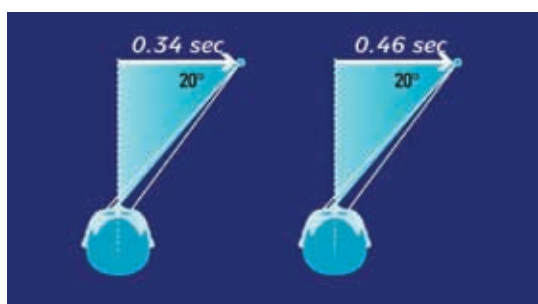
Varilux Comfort®

c) Foveolární vidění

Aby se presbyopičtí pacienti, kteří již progresivní čočky nosili, „rychleji a snáze adaptovali“, byla provedena tato zlepšení (Obrázek 36):

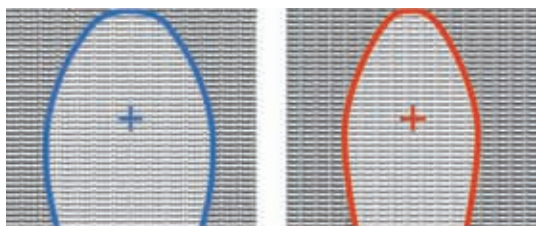
- v oblasti pro periferní vidění byla změkčena progresivní plocha a tím se snížila doba potřebná pro rozeznání sledovaného objektu.
- u binokulárního vidění byl rozšířen horopter (hranice vidění)
- oblast, kde body pozorované oběma očima jsou vnímány jako jeden bod – pro všechny pozice očí; tohoto zlepšení bylo dosaženo pozvolným přechodem prizmatických efektů čočky.
- u foveolárního vidění došlo k podstatnému rozšíření oblastí čočky pro maximální zrakovou ostrost pro vidění na střední vzdálenost a na blízko.

Obr. 36: Zlepšení, které přinesly čočky Varilux Panamic presbyopickým pacientům, kteří již nosili progresivní čočky.



Varilux Panamic® Klasická progresivní čočka

a) Periferní vidění



Varilux Panamic® Klasická progresivní čočka

b) Binokulární vidění

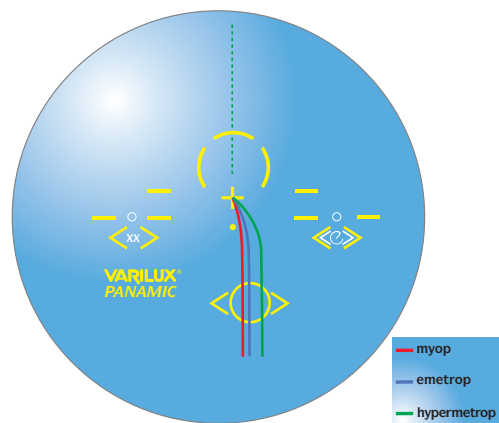


Varilux Panamic® Varilux Comfort®

c) Foveolární vidění

Varilux Panamic jsou progresivní čočky s měkčí konstrukcí než předchozí generace a byly vyvinuty na základě zlepšení optických vlastností čoček jiným uspořádáním absolutních hodnot podle připomínek pacientům kteří nosili progresivní čočky.

Koncepce multi-design získala u čoček Varilux Panamic nový rozměr nerovnoměrným vložení oblastí pro vidění na blízko jako funkce předpisu pro vidění do dálky, nejen hodnoty adice na blízko. Hodnoty pro vidění do dálky způsobují horizontální prizmatické efekty v oblasti pro vidění na blízko a mění tak skutečné umístění obrazového bodu, které oko na čočce používá. Proto musí být vsazení sníženo pro myopické pacienty a zvýšeno pro hypermetropické pacienty. Vsazení čočky je nutné upravit podle předpisu pro vidění do dálky a ještě přesněji podle báze. Proto se vsazení může u jednotlivých čoček pro pacienty se silnou myopií a nízkou adicí a pacienty se silnou hypermetropií a vysokou adicí lišit až o 3,2 mm (2,0 mm – 5,2 mm). To nezbytně nemusí mít vliv na způsob, jakým jsou čočky centrovány, protože korekce pro vidění do dálky a obvyklá vzdálenost, na kterou pacient čte, se neberou při měření monokulárních PD na dálku v úvahu (Obrázek 37).



Obr. 37: Vložení oblastí pro vidění na blízko pomocí adice a stupeň ametropie s čočkami Varilux Panamic®.

Po uvedení čoček Varilux Comfort přišli i další výrobci s různou konstrukcí progresivních čoček, například BBGR Evolis, Seiko P-1SY s progresí na konkávní ploše čočky, Johnson & Johnson s čočkami Definity, které mají progresi rozdělenou mezi přední plochu a Hoya s čočkami Hoyalux ID, které rovněž mají oboustrannou progresi. Ať už svou konstrukcí nebo výrobním postupem, všechny tyto progresivní čočky, společně s čočkami Varilux Panamic, usilují o změkčení progresivní plochy, aby poskytly presbyopickým pacientům pohodlnější vidění.

Progresivní čočky pro „úzké obruby“

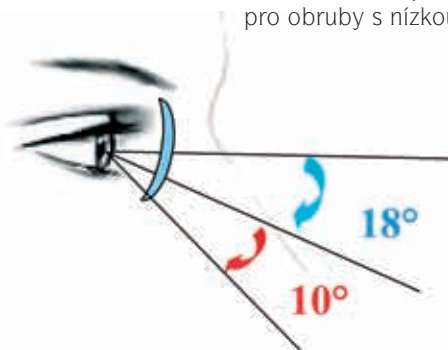
Zároveň s vývojem módních trendů se pacienti nosící brýle zaměřili na menší brýlové obruby a tak vznikl specifický problém, jak tyto obruby osadit progresivními čočkami. Pro zajištění odpovídajících oblastí pro pohodlné vidění je pro rozložení progresie s dostatečně velkými oblastmi pro vidění do dálky a na blízko nutná dostatečná výška (hloubka) čočky.

Navíc si pacienti, kteří nosí malé obruby, vyvinou vlastní specifické návyky nošení a chování – pro maximalizaci rozsahu zorného pole mají tendenci více sklánět hlavu a méně sklápět oči než pacienti, kteří nosí obruby běžných velikostí. Pacienti, kteří nosí malé obruby, omezují rozsah vertikálního rotace očí na méně než 20%, zatímco u pacientů, kteří nosí klasické obruby, činí rozsah vertikálního pohybu očí přes 25 %. Při vidění do dálky využívají tito pacienti větší zorné pole. Z hlediska konstrukce plochy progresivních čoček je nutné zkonstruovat čočku s krátkou progresí a širokým zorným polem pro vidění do dálky.

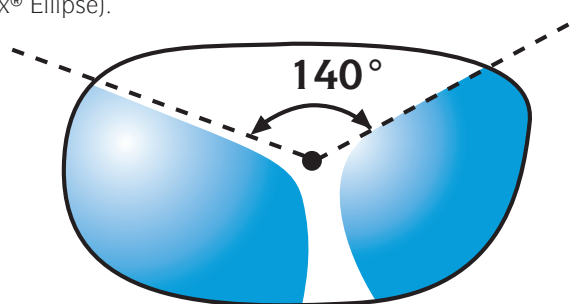
adice) je pouze 9,5 mm pod záměrným křížem (v porovnání s 12 mm u jiných konstrukcí čoček Varilux). Při takovémto uspořádání stačí pro vidění na blízko sklopit oči o necelých 18°. Je tak možné zvolit obruby, které mají hloubku pouze 14 mm pod záměrným křížem (Obrázek 38a). Tato čočka rovněž umožňuje zorný úhel pro vidění do dálky 140°, více než o 20° víc, než u čoček s klasickou konstrukcí (Obrázek 38b).

Aby bylo možné zajistit odpovídající oblast pro pohodlné vidění do dálky, vzdálenost spodní hrany horní části obruby od záměrného kříže by měla být minimálně 10 mm. Celková výška (hloubka) obruby by proto měla být alespoň 24 mm. Není třeba zdůrazňovat, že uvedené hodnoty jsou absolutní minimální hodnoty těchto rozměrů.

Obr. 38: Princip konstrukce progresivních čoček pro obruby s nízkou očnicí (Varilux® Ellipse).



a) Krátká progresie.



b) Rozšířené zorné pole pro vidění do dálky.

Tyto požadavky splňuje čočka Essiloru Varilux Ellipse, která má krátkou oblast progresie – začátek oblastí pro vidění na blízko (oblast, ve které je dosaženo 85% celé

7. generace: progresivní čočka s „vysokým rozlišením“

Aby se ještě více zdokonalila kvalita vidění, 6. generace progresivních čoček se snaží v maximální míře zvýšit kvalitu vidění pacientů. Při konstrukci progresivních čoček jsou brány v úvahu pouze ty světelné paprsky, které se po průchodu čočkou dostávají do oka. U nové generace progresivních čoček se konstruktéři zabývali povahou svazků světelných paprsků, které vstupují do pupily. Podstata spočívá v optimalizaci kvality vidění ve všech směrech pomocí kontroly vlastností svazků světelných paprsků, které vstupují do pupily.

Čočky Varilux Physio, které Essilor uvedl na trh v roce 2006, jsou první progresivní čočky, při jejichž konstrukci jsou zohledněny tyto principy a které zejména:

- maximalizují zrakovou ostrost při vidění do dálky tím, že upravují aberace koma
- optimalizují akomodační funkce při vidění na střední vzdálenost tím, že usnadňují zřetelné vertikální vidění
- zvětšují rozsah pohybu očí při vidění na blízko tím, že zvětšují oblast ostrého vidění.

Tuto optimalizaci umožnila nová metoda výpočtu, založená na světelných vlnoplochách.

1) Maximalizace zrakové ostrosti pro vidění do dálky

Bez ohledu na použitou metodu korekce, jakýkoli systém skládající se z čočky a oka postihují optické aberace. Stejně jako obvyklé aberace – chyby optické mohutnosti a astigmatismus šikmých paprsků – nejvíce ovlivňují zrakovou ostrost a citlivost na kontrast aberace koma vyššího řádu, které se vyskytují u progresivních čoček. Vznikají v důsledku proměnlivé optické mohutnosti čočky – uvnitř i jako projekce oční pupily na čočce – a ovlivňují kvalitu vidění pacienta, zejména v oblasti pro vidění do dálky, kde je pupila největší.

Díky technice kontroly tvaru vlnoploch mohou být tyto aberace měřeny a jejich výskyt ve velké oblasti okolo středu oblasti pro vidění do dálky kontrolován. Ve srovnání se standardními progresivními čočkami pacienti u čoček Varilux Physio udávají podstatně menší výskyt aberací. Pro pacienty to znamená přesnější vidění a lepší zrakovou ostrost a vyšší kontrast.

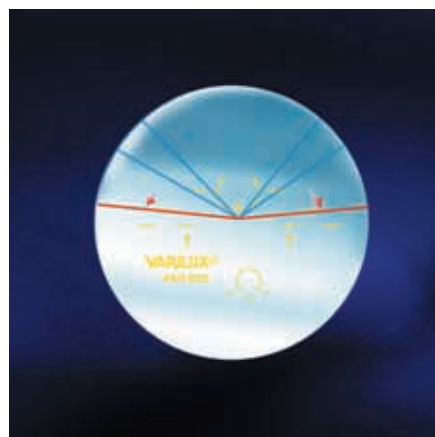
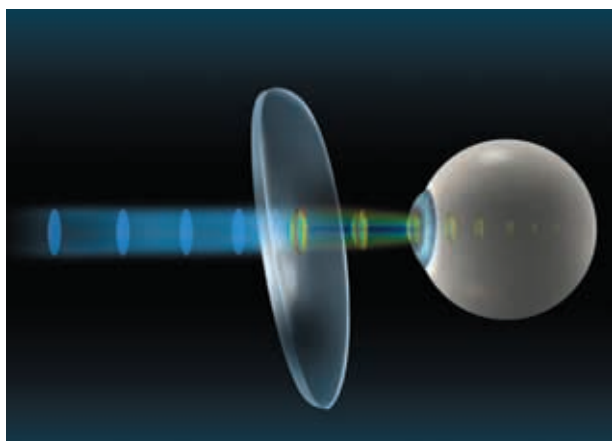
2) Optimalizace akomodačních funkcí oka pro vidění na střední vzdálenost

Při výskytu astigmatismu, například v laterálních (postranních) oblastech pro vidění na střední vzdálenost, oku více vyhovuje vertikální osa. To u progresivních

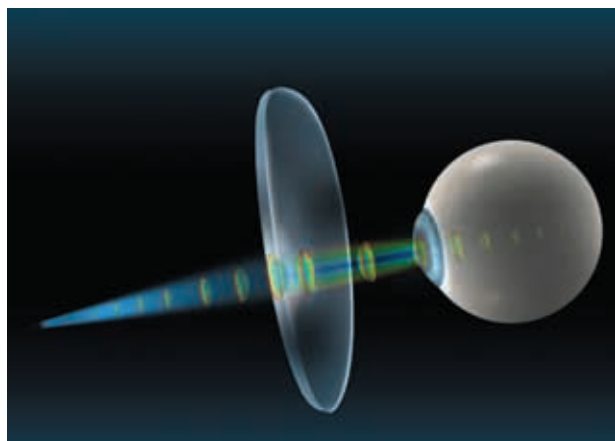
čoček způsobuje výskyt jistého nevyhnutelného množství zbytkových cylindrů v oblasti pro vidění na střední vzdálenost na obou stranách poledníkové linie progresu. U čoček Varilux Physio byl poprvé použit nový princip, který zajišťuje to, že největší zaostření je orientováno vertikálně a tak je dosaženo vyšší zřetelnosti vnímaného obrazu a snižuje se potřebná míra akomodace. Technika kontroly vlnoploch umožňuje správu výskytu výsledného astigmatismu napříč celou pupilou a tak se minimalizuje jeho intenzita a je zajištěna jeho vertikální orientace. Pacienti vnímají své okolí přirozeně jasně a zřetelně a ve srovnání s klasikou konstrukcí progresivních čoček vnímají při vidění na střední vzdálenost o 30% větší zrakové pole.

3) Zvýšení rozsahu pohybu očí při vidění na blízko

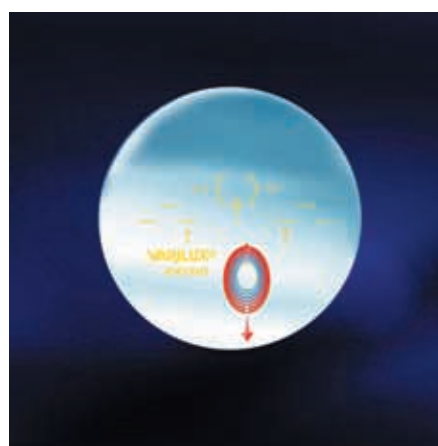
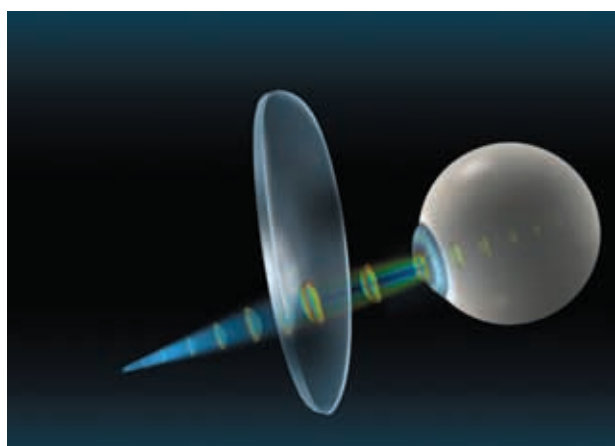
Při vidění na blízko oči přirozeně pozorují oblast pohybem ve vertikálním směru. U progresivních čoček je rozsah pohybu očí určen oblastí čočky, která umožňuje stabilní vidění na blízko. Jestliže je tato oblast omezena, musí pacient často přizpůsobovat polohu hlavy ve vertikálním směru a často zároveň přizpůsobovat i celkové držení těla. Při konstrukci čoček Varilux Physio byla výška této stabilní zóny zvětšena. Pacient tak může ve vertikálním směru využívat větší oblast zorného pole pro vidění na blízko s ostřejším viděním při zachování přirozeného držení hlavy a těla.



Obr. 39: Kontrola aberací koma při vidění do dálky (čočky Varilux Physio®).



Obr. 40: Kontrola zbytkové cylindrické osy při vidění na střední vzdálenost (Varilux Physio®).



Obr. 41: Zvětšení stabilní oblasti pro vidění na blízko (Varilux Physio®).

Nová technologie: „Twin Rx Technology™“

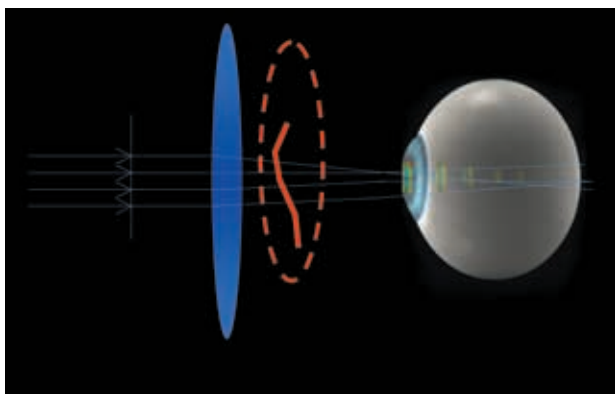
Vývoj čoček Varilux Physio umožnily dvě nové technologické inovace: výpočet pomocí „Wavefront Management System“ (Systém správy vlnoploch) a postup, označovaný jako „Point by Point Twinning“ (metoda souvstažnosti jednotlivých bodů). Kombinace těchto dvou inovací tvoří podstatu „Twin Rx Technology“.

Wavefront Management System™:

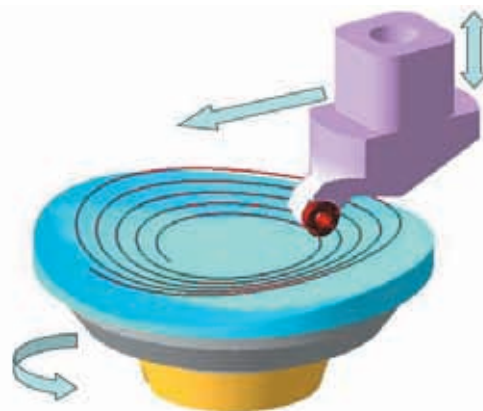
Všechny progresivní čočky v důsledku své proměnlivé optické mohutnosti deformují svazky světelných paprsků a tím i jejich vlnoplochy. Výsledkem jsou optické aberace, které snižují zrakovou ostrost pacienta. Aby se dosáhlo vysoké ostrosti obrazu, který dopadá na sítnici, je nutné provést analýzu svazku světelných paprsků, které procházejí čočkou a vstupují do oka, ze všech úhlů pohledu a v co největší možné míře omezit deformace vlnoploch při jejich vstupu do pupily oka. Úpravu tohoto svazku světelných paprsků nelze provést tradičními metodami sledování paprsků světla, při kterých se sleduje pouze jeden světelný paprsek procházející středem oka. Pouze technika úpravy vlnoploch umožňuje optimalizaci celého světelného spektra, které vstupuje do oka. Na základě výpočtu pro určité místo plochy čočky konstruktér získá údaje o vystupující vlnoploše, která je v maximální možné míře pravidelná a sférická. Poprvé byla tato technika výpočtu progresivní čočky použita u čoček Varilux Physio.

Point by point Twinning™: (metoda souvstažnosti jednotlivých bodů)

Při konstrukci progresivní plochy se používají složité výpočty všech optických funkcí, které pomocí techniky správy vlnoploch popisují každý bod čočky a každý směr pohledu. Součástí složité optické konstrukce jsou velmi přesné výpočty zadní plochy čočky, která upravuje přední progresivní plochu pro všechny směry pohledu. Software pro výpočty provádí postupné párování jednotlivých bodů přední a zadní plochy čočky s cílem stanovit vlastnosti doplňující plochy tak, aby se dosáhlo požadovaných optických funkcí. Technologie výpočtu plochy po jednotlivých bodech, která se označuje jako „Pokročilá digitalizace plochy“, je předpokladem výroby zadní plochy. Inovace spočívá v individuální optimalizaci čoček pro každý předpis. Při použití klasických metod byla přesně optimalizována pouze jedna hodnota optické mohutnosti pro každé zakřivení báze. Současný numerický výpočet plochy umožňuje výrobu zadní plochy po jednotlivých bodech a tak přesně optimalizovat požadované optické vlastnosti pro libovolný předpis.



Obr. A: Wavefront Management System™.



Obr. B: Advanced Digital Surfacing™ P (pokročilá digitalizace plochy).

Nový rozměr: progresivní čočky „na míru“

Nástup nové technologie přímého opracování povrchu umožnil výrobu progresivních čoček s přesnou konstrukcí podle potřeb pacienta. Tato technologie stála na počátku nové éry „přizpůsobených“ progresivních čoček, vyráběných podle individuálních potřeb každého pacienta.

Jako první přišly s výrobou čoček podle individuálních potřeb pacientů společnosti Rodenstock s čočkami Impression ILT (Individual Lens Technology) a Zeiss s čočkami Individual, které při konstrukci a výrobě čoček zohledňovaly hodnoty předpisu i vybrané obruby, například monokulární PD, vzdálenost vrcholu, pantoskopický a klínový úhel. Základní myšlenkou bylo poskytnout všem presbyopickým pacientům stejnou kvalitu vidění jako emetropickým pacientům s presbyopií se stejnou adicí.

Essilor se svými čočkami Varilux Ipseo zvolil jiný přístup. Konstrukce a výroba těchto čoček vychází ze zrakových návyků pacienta. Tato konstrukce je přizpůsobena tak, aby zohledňovala skutečný rozsah rotace hlavy a oka, který pacient používá při prohlížení svého zorného pole. Bylo zjištěno, že každý jedinec má specifické návyky pohybu hlavy a očí. Můžeme odlišit pacienty se dvěma protichůdnými typy návyků:

- subjekty s tendencí k častému pohybu očí a stabilní poloze hlavy (tzv. „okohýbači“)
- subjekty s tendencí k častému pohybu hlavy, kteří omezují pohyb očí na minimum (tzv. „hlavohýbači“)

Tyto zrakové strategie, které si osvojili v dětství, jsou pro každého jedince charakteristické. Tyto návyky jsou trvalé, opakující se a nezávislé na stupni ametropie, stádiu presbyopie nebo věku subjektu. Vyskytují se všechny typy chování – od jedinců, kteří spadají do kategorie „pohybují očima“, kteří téměř nikdy nepřizpůsobují polohu hlavy, až po jedince z kategorie „pohybují hlavou“, kteří téměř nikdy nepřizpůsobují polohu očí. Pro progresivní čočky je toto chování velmi důležité, protože určuje způsob, jakým oko využívá různé oblasti čočky. Zejména:

- skupina „okohýbačů“ využívá čočky staticky: většinu pohybů provádí oči a jedná se tak do značné míry o foveolární vidění, subjekt je citlivější na nezkreslené vidění a je třeba mu zajistit velké zorné pole s ostrým viděním.
- skupina „hlavohýbačů“ využívá čočky dynamicky: většina pohybů je prováděna hlavou, proto je důležité periferní vidění, subjekt je citlivější na plovoucí efekty a je třeba mu poskytnout čočku s měkkými periferními oblastmi.

Na základě chování jednotlivých pacientů lze zvolit nejvhodnější progresivní plochu čočky, která jim poskytne maximální zrakové pohodlí.

V praxi je nutné vyhodnotit pohybové návyky hlavy a očí každého pacienta a proto byl zkonstruován nový přístroj „Vision Print Systém“, který toto chování zjišťuje (Obrázek 42). Vyšetřovaný subjekt s nasazenými brýlemi vybavenými ultrazvukovým čidlem se posadí k přístroji a zaznamenávají se pohyby hlavy. Subjekt má za úkol sledovat lampy (světelné diody), které jsou umístěny v úhlu 40° na každé straně zorného pole a které se nahodile rozsvěcují a potom se opět pohledem vrátit na lampu, umístěnou uprostřed. Měření ze vzdálenosti 40 cm se opakuje přibližně 20x. Výsledkem měření jsou dva údaje: - koeficient pohybu hlavy a očí (hodnota mezi 0 a 1), která udává poměr pohybu hlavy zjištěný během testu. Subjekt je považován za „pohybující očima“, jestliže je koeficient menší než 0,5 a za „pohybující hlavou“, jestliže hodnota koeficientu leží mezi 0,5 a 1. - koeficient stability, který udává standardní odchylku měření.



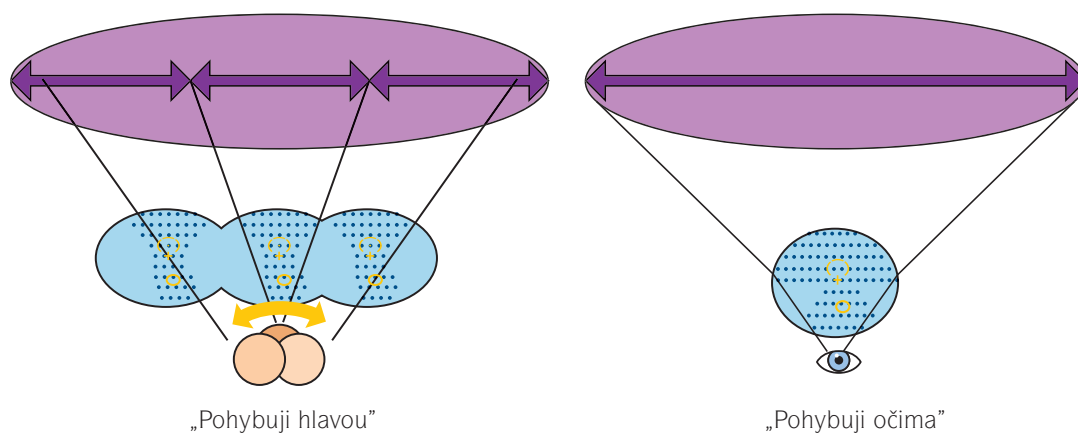
Obr. 42: Vision Print System™.

Tyto dva koeficienty se používají pro nastavení parametrů plochy progresivních čoček podle těchto údajů:

- koeficient poměru pohybu hlavy a očí určuje velikost oblasti čočky, která je nutná pro zajištění maximální zrakové ostrosti a tím jak by oblast, která je nutná pro foveolární vidění, měla být při konstrukci čočky sdílena s laterálními oblastmi, ve kterých je požadováno pouze periferní vidění: centrální oblast dostatečné zrakové ostrosti se zvětší pro skupinu „pohybují očima“ a periferní zóny se změkčí pro skupinu „pohybují hlavou“.
- stabilita koeficientu udává opakující se chování při pohybu očima a hlavou a jakým způsobem by měla být upravena oblast mezi oblastí maximální zrakové ostrosti a periferní oblastí čočky: přechod z centrální do periferní oblasti bude zřetelnější při častém opakování a mnohem měkčí při občasném opakování chování.

Proto vedle hodnot z předpisu byla přidána nová položka, která určuje dynamické použití čočky, která umožňuje přizpůsobení progresivní plochy podle individuálního chování pacienta. Účelem je poskytnout pacientovi kvalitnější vidění na základě přesného měření jeho návyků. V neposlední řadě využívá konstrukce všech výhod, které nabízí nejmodernější technologický pokrok: proměnlivá délka progresu, Twin Rx Technology, atd...

Vyhodnocení koordinace pohybu hlavy a očí je pouze jedním z kritérií přizpůsobení, které jsou využity při výrobě čoček Varilux Ipseo. V budoucnu budou využívány i další, nové přístupy. V současnosti stojíme na počátku éry přizpůsobených progresivních čoček.



Obr. 43: Princip přizpůsobení čoček Varilux® Ipseo™.

Závěr

Od prvního uvedení progresivních čoček před 50 lety docházelo k nepřetržitému vývoji technologií, používaných při jejich konstrukci a výrobě: od progresivních ploch vyráběných původní, téměř ruční řemeslnou metodou, byl učiněn výrazný pokrok až po současné digitální, počítačem řízené metody přímého opracování.

Zároveň se výrazně zlepšilo zrakové pohodlí presbyopických pacientů. Jestliže první progresivní čočky vyžadovaly ze strany pacientů skutečně usilovnou adaptaci, moderní progresivní plochy umožňují téměř okamžitou adaptaci.

Dnes již není nutné zdůrazňovat výhody progresivních čoček a jejich vynikajících vlastností ve srovnání s bifo-kálními a jednoohniskovými čočkami. Vývoj bude pokračovat a zrychlovat se: protože již přes 500 miliónů presbyopických pacientů poznalo výhody a zrakové pohodlí, které nabízejí tyto čočky, v příštím desetiletí se cílovou skupinou stane 1 miliarda pacientů.

Bude pokračovat celosvětový příběh korekce presbyopie pomocí progresivních čoček. Stále rostoucí počet presbyopických pacientů si bude pořizovat progresivní čočky, protože bude chtít i nadále „lépe vidět“ a žít „plnohodnotný život“.

Author
Dominique Meslin
Essilor Academy Europe





www.essiloracademy.eu



essilor