

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

KONTAKTNÍ ČOČKY A JEJICH MĚŘENÍ

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Petra Tomančáková

obor 5345R008 OPTOMETRIE

studijní rok 2010/2011

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Jaroslava Wagnera, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 1. 5. 2011

Petra Tomančáková

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu **RNDr. Jaroslavu Wagnerovi, Ph.D.** za rady a připomínky při psaní své bakalářské práce. Taktéž děkuji paní **Bc. Blance Palánkové** za cenné rady při aplikaci kontaktních čoček a při jednotlivých testech a měřeních.

Obsah

Kapitola	Strana
1. Úvod	5
2. Mechanické vlastnosti materiálů kontaktních čoček	6
2.1. Modul pružnosti, houževnatost, a pevnost materiálu kontaktních čoček	6
2.2. Tvrdost materiálů kontaktních čoček	7
3. Fyzikálně-chemické vlastnosti materiálů kontaktních čoček	9
3.1. Smáčivost povrchu kontaktní čočky	9
3.1.1. Kontaktní úhel. Hydrofilní a hydrofobní materiály kontaktních čoček.	9
3.1.2. Srovnání metod stanovení smáčivosti kontaktní čočky in vitro a in vivo	13
3.1.3. Slzný film, jeho složení a jeho vyšetřování v kontaktologii. Tvorba slz.	19
3.1.4. Vliv kontaktní čočky na kvalitu slzného filmu. Osmolalita kontaktní čočky.	21
3.1.5. Syndrom suchého oka	21
3.2. Propusnost kontaktní čočky pro kyslík	24
3.2.1. Permeabilita Dk kontaktní čočky	24
3.2.2. Transmisibilita Dk/t kontaktní čočky	27
3.2.3. Přísun kyslíku k rohovce (oxygen flux)	29
4. Biokompatibilita materiálů kontaktních čoček	31
4.1. Zkoušky biokompatibility materiálů kontaktních čoček dle ČSN EN ISO	31
4.2. Biomimetické materiály kontaktních čoček	33
4.2.1. PC technologie	33
4.2.2. Stabilita obsahu vody u kontaktních čoček firmy Benz R&D	34
4.3. Stabilita optických a geometrických parametrů čočky v důsledku dehydratace	35
5. Rozměrové parametry kontaktní čočky, jejich měření a tolerance	38
5.1. Měření poloměru křivosti	38
5.2. Měření průměru kontaktní čočky	40
5.3. Měření tloušťky kontaktní čočky	40
5.4. Tolerance rozměrových a optických parametrů	41
6. Optické vlastnosti kontaktních čoček	43
6.1. Spektrální propustnost a světelná propustnost kontaktní čočky	43
6.2. Index lomu materiálu kontaktní čočky	44
6.3. Vrcholová lámavost kontaktní čočky	45
7. Normy vztahující se ke kontaktním čočkám	47
8. Praktická část	50
8.1. Měření času do roztržení slzného filmu – test BUT	50
8.2. Usazování depozit na povrchu kontaktní čočky	61
9. Závěr	63
10. Použitá literatura	64

1. Úvod

Hlavním úkolem aplikátora kontaktních čoček je vybrat pro každého konkrétního nositele takové kontaktní čočky, kterými dosáhneme

- a) nejvyšší možnou zrakovou ostrost,
- b) nejvyšší možný komfort při nošení,
- c) minimální zdravotní riziko při nošení kontaktních čoček,
- d) snadnou manipulaci při nasazování a vyndávání kontaktních čoček.

Nejvyšší možný komfort nošení je závislý na správné aplikaci, především na správně vybraných rozměrech a designu kontaktní čočky (hlavně u tvrdých kontaktních čoček) a na vlastnostech materiálu kontaktní čočky. Pro různé nositele mohou existovat rozdílné nejvhodnější kontaktní čočky a to s ohledem nejen na různé optické požadavky na korekci, ale i na materiál kontaktní čočky a na předpokládaný způsob nošení a dále na specifické vlastnosti zrakového orgánu, především složení slzného filmu.

Tato bakalářská práce se zabývá mechanickými, fyzikálně-chemickými a optickými vlastnostmi materiálů kontaktních čoček, měřením těchto vlastností a jejich vlivem na komfort nošení, dosažením biokompatibility materiálů, dále pak rozměry kontaktních čoček a jejich měřením a konečně různými vlivy na vrcholovou lámavost kontaktních čoček a na stabilitu této optické hodnoty v průběhu nošení kontaktních čoček.

Cílem práce je podat informace o vlastnostech kontaktních čoček a jejich měření a uvést především ty, které mají význam pro aplikátora kontaktních čoček a které mají vliv na komfort při nošení kontaktních čoček.

2. Mechanické vlastnosti materiálů kontaktních čoček

2.1. Modul pružnosti, houževnatost, a pevnost materiálů kontaktních čoček

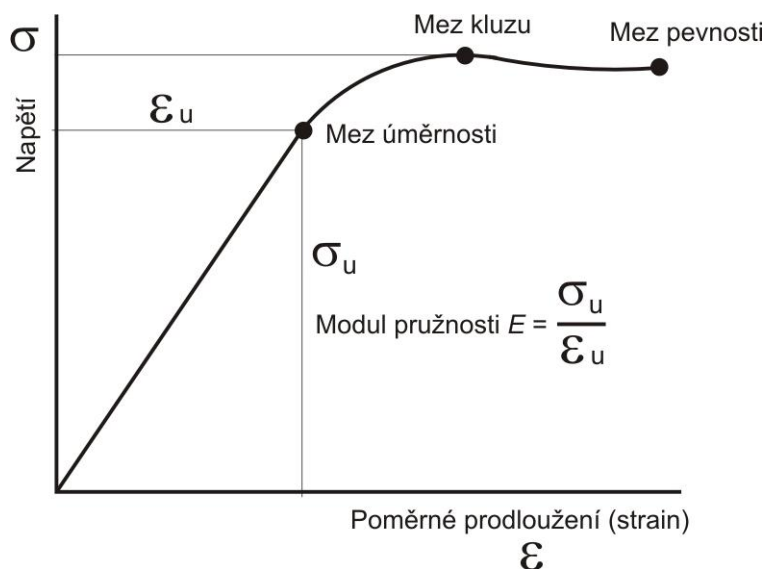
Modul pružnosti je základní mechanická vlastnost jak RGP, tak i měkkých kontaktních čoček. U RGP kontaktních čoček definuje modul pružnosti tuhost čočky neboli schopnost zachovávat svůj tvar a tím i schopnost korigovat rohovkový astigmatismus, především schopnost korigovat nepravidelný astigmatismus u keratokonu.

Dělení na tvrdé a měkké čočky (tak, jak tomu je tomu v češtině a angličtině) méně vystihuje základní rozdíl mezi dvěma základními typy materiálů kontaktních čoček než je tomu v němčině, kde obvykle dělíme kontaktní čočky na tvarově stabilní a měkké čočky. Základní vlastností tvrdých čoček je totiž jejich tvarová stabilita.

Zatímco u RGP kontaktních čoček se modul pružnosti pohybuje přibližně v rozsahu od 2250 MPa u PMMA do 1200 MPa u vyšších hodnot Dk , u měkkých kontaktních čoček je to více než o 3 řády méně, a to v rozsahu od 1,2 MPa u kontaktní čočky Night and Day do 0,4 MPa u Acuvue Advance [38].

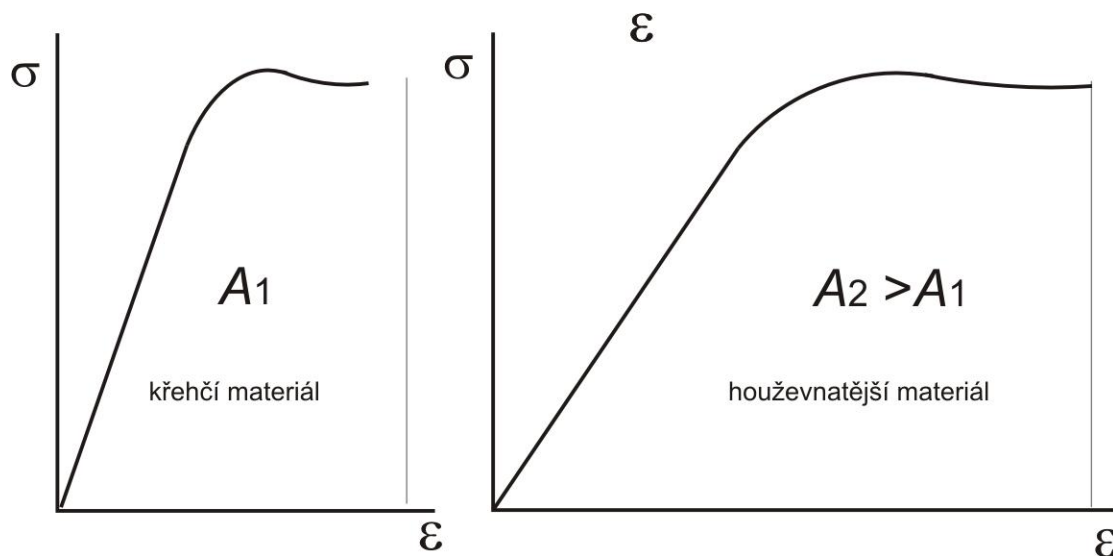
U materiálů měkkých kontaktních čoček hodnota modulu pružnosti má vliv na nasazování kontaktní čočky do oka a její vyndávání z oka a na komfort nošení. Silikon-hydrogelové kontaktní čočky první generace měly vysoký obsah silikonu a tím i vyšší modul pružnosti, někteří je hodnotí jako méně komfortní. Toto tvrzení se nám při měření nepotvrdilo. Nositel č. 2. (viz kapitola č. 8) čočku Air Optix Night & Day i čočku Biofinity hodnotil jako vysoce komfortní.

Typický průběh křivky napětí – poměrné prodloužení (strain) je znázorněn na obr. 2.1.



Obr. 2.1. Průběh křivky napětí – poměrné prodloužení

Na průběhu křivky 2.1 máme znázorněnou mez pevnosti materiálu v MPa. Více však než tato hodnota nás zajímá plocha pod křivkou do meze pevnosti. Tato plocha nám představuje energii kterou je schopen materiál pohltnout než dojde k jeho porušení a představuje nám houževnatost materiálu. Opakem houževnatosti je křehkost materiálu. Na obr. 2.2 vidíme srovnání dvou průběhů, přičemž levý obrázek představuje materiál křehký, pravý obrázek materiál houževnatý.



Obr. 2.2. Srovnání materiálu křehkého a houževnatého

Jako příklad křehkých čoček uvedme všechny čočky z biokompatibilních materiálů, proto musí být jejich nositel speciálně instruován jak čočku nasazovat a vyndávat, aby se snížilo riziko poškození.

2.2. Tvrdost materiálů kontaktních čoček

Pojmem tvrdost materiálu se rozumí odpor materiálu vůči vnikání jiného, tvrdšího materiálu. U měkkých kontaktních čoček tvrdost výrobci neudávají (přestože byla navržena metoda měření [38]) a základní mechanickou vlastností materiálu je modul pružnosti E .

U tvrdých RGP kontaktních čoček se tvrdost udává metodou Shore D. Přístroj se nazývá durometr a má stupnici od 0 do 100. Vtlačuje se ocelový váleček průměru 1,4 mm s kuželovým zakončením o vrcholovém úhlu 30° , s poloměrem zaoblení 0,1 mm, silou 44,64 N. Minimální tloušťka zkoušeného materiálu je 6 mm. Jestliže zkušební tělíčko vnikne do hloubky 2,54 mm je tvrdost 0, jestliže nepronikne vůbec je tvrdost 100 [37]. Tvrdost u RGP materiálu je asi Shore D = 80. Je to bezrozměrná hodnota a neexistuje matematický vztah mezi jednotlivými hodnotami Shore A, Shore B atd. Celkem rozeznáváme 12 stupnic Shore 0 – 100. Měření se provádí při teplotě 23°C .

U silikonových elastoměrů existuje relace mezi zkouškou tvrdosti podle Shore D a modulem pružnosti [37]:

$$S_D = 100 - \frac{20(-78.188 + \sqrt{6113.36 + 781.88E})}{E}$$

kde S_D tvrdost ve stupních Shore-D a E je modul pružnosti v MPa.

Zvolíme-li tvrdost materiálu PMMA rovnou 1, pak tvrdost materiálu HEMA je asi 0,03 [1]. U modulu pružnosti je tento poměr 1: 0,00022.

3. Fyzikálně-chemické vlastnosti materiálů kontaktních čoček

3.1. Smáčivost povrchu kontaktní čočky

Základní vlastností materiálu kontaktní čočky, která v maximální míře rozhoduje o komfortu nošení je jeho vlhkost povrchu v oku, respektive smáčivost slzným filmem.

Proto se tak často objevují již v názvu kontaktní čočky (viz obr. 3.1.), v označení technologie úpravy materiálu nebo v názvu prostředku péče o kontaktní čočky slova jako 'Moisture' (vlhkost), 'Aqua' (voda), 'Moist' (vlhký), 'Hydraclear', 'AquaComfort', 'Aquaform', 'Replenish (dolit, znovu naplnit), apod.

Je to určitá informace pro nositele, že tento problém je u příslušné kontaktní čočky nebo u roztoku buď vyřešen nebo aspoň řešen. Týká se to především u Si-Hy (silikon-hydrogelových) materiálů kontaktních čoček, které mají obecně horší smáčivost než klasické hydrogelové. Některé Si-Hy navíc potřebují speciální úpravu povrchu zaručující jeho smáčivost.



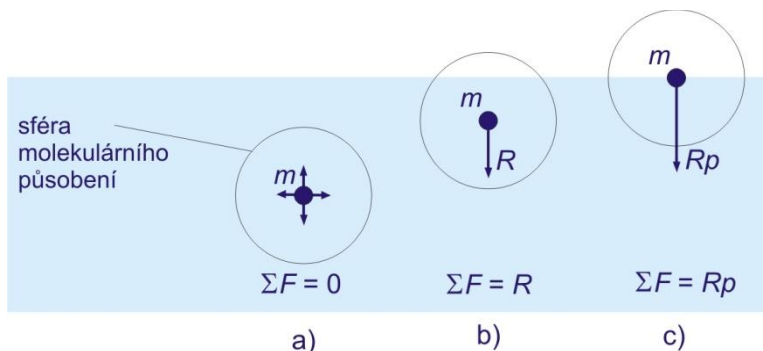
Obr. 3.1. Převzato z letáku na kontaktní čočky 1- DAY ACUVUE MOIST od firmy Johnson & Johnson. Obrázek dokumentuje význam vlhkosti povrchu kontaktní čočky (upraveno).

Přestože *metody měření in vitro* nám dávají velmi malou informaci o tom jak bude čočka smáčitelná slzným filmem v oku konkrétního nositele [1, 4], jsou důležitou informací o principech hydrofility, eventuálně hydrofobicity materiálů.

3.1.1. Kontaktní úhel. Hydrofilní a hydrofobní materiály kontaktních čoček.

Jevy, které budeme v této kapitole popisovat, jsou důsledkem vzájemného působení přitažlivých sil, které působí mezi molekulami. Jsou to jednak kohezní (soudržné) síly mezi molekulami téže látky a jednak adhezní síly, které působí mezi molekulami dvou různých látek, které jsou ve styku. Podstatu kohezních a adhezních sil si vysvětlujeme elektrostatickým přitahováním a odpuzováním molekul, avšak plný výklad podává až kvantová fyzika.

Na každou molekulu m kapaliny (viz obr. 3.2.) působí sousední částice přitažlivými silami. Působení těchto přitažlivých kohezních sil je pouze krátkého dosahu a vzájemné působení klesá se sedmou mocninou vzdálenosti. Přitažlivé působení každé částice je tak možné omezit na velmi malý kulový prostor, v jehož středu se nachází uvažovaná molekula. Tento prostor se nazývá sféra molekulárního působení [9].



Obr. 3.2. Působení sil na molekulu m uvnitř kapaliny [9]

V případě *a*) je součet všech kohezních sil nulový. V případě *b*), kdy jsme se k povrchu přiblížili na vzdálenost menší než je sféra molekulárního působení, již tomu tak není a výslednice sil R působících na molekulu m směřuje dovnitř kapaliny. Se zmenšující se vzdáleností od povrchu tato síla roste a maximální hodnoty dosáhne pro molekuly, které se nachází právě na povrchu kapaliny (viz obr. *c*). Na povrchu kapaliny působí povrchové napětí. Kapaliny se chovají tak, jako by jejich povrch byl pokryt pružnou blanou (viz obr. 3.3.), která se snaží vytvořit povrch s co nejmenším plošným obsahem.



Obr. 3.3: Vodoměrka nebo bruslařka se po hladině pohybuje díky povrchovému napětí vody a nepropadne se pod hladinu [11].

Povrchová vrstva je velmi tenká (asi 10^{-11} m) a její fyzikální a chemické vlastnosti jsou jiné, než má kapalina uvnitř. Koule má ze všech těles daného objemu nejmenší povrch a proto má volná kapalina v beztížném stavu, dále je-li tíha vykompenzována například vztlakovou silou nebo i v případě, kdy jsou vnější síly oproti povrchovým silám velmi malé, tvar koule. Příklady volného povrchu kapaliny kulového tvaru vidíme na obr. 3.4. a 3.5.



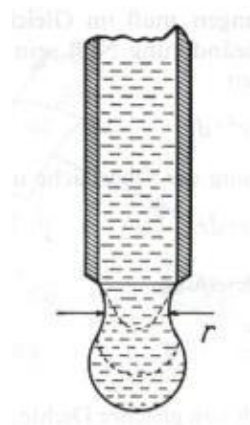
Obr. 3.4. Po dopadu kapičky na povrch kapaliny vznikne v jistém krátkém časovém intervalu kulový tvar kapky, který je dán pouze povrchovým napětím [12].



Obr. 3.5. Kapka vody kapající z vodovodního kohoutku má přibližně kulový tvar ([11], upraveno z animovaného souboru).

Povrchové napětí nevzniká pouze na rozhraní kapaliny a (plynu) vzduchu, ale vzniká i například mezi kapalinou a stěnou nádoby ve které se kapalina nachází. Zde hrají roli - na rozdíl od kohezivních sil, které vznikají mezi molekulami téže kapaliny – síly mezi molekulami kapaliny a molekulami tuhého povrchu. Tyto síly nazýváme adhesivními silami. [8]

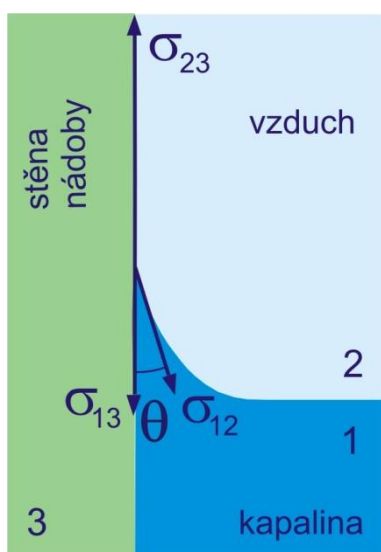
Obr. 3.6. nám demonstruje povrchové napětí mezi kapalinou a materiálem se kterým je kapalina ve styku.



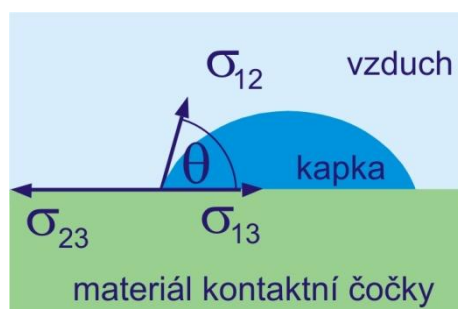
Obr. 3.6. Povrchové napětí na obvodu kapiláry: Kapička odkápne tehdy, když je síla tíhová rovna síle povrchového napětí, působící na obvodu kapiláry [12].

Fyzikální jevy spojené s existencí povrchového napětí kapaliny jsou též kapilární jevy. Mezi tyto jevy patří i kapilární elevace a deprese a rovněž existence kontaktního úhlu. Kontaktní úhel je nazýván též jako krajový úhel nebo i jako úhel smáčivosti. V souvislosti s materiály kontaktních čoček se používá především termínu kontaktní úhel.

Pozorujeme-li stykové místo povrchu kapaliny s materiálem stěny nádoby (obr 3.7a) nebo stykové místo kapaliny (například fyziologického roztoku) s materiálem kontaktní čochky (obr. 3.7b) předpokládáme, že v tomto trojném rozhraní působí 3 povrchová napětí: Povrchové napětí σ_{12} mezi kapalinou a vzduchem, povrchové napětí σ_{13} mezi kapalinou a materiálem a konečně povrchové napětí σ_{23} mezi vzduchem a materiálem. Jednotkou povrchového napětí je $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, povrchové napětí se udává též jako plošná hustota energie, tedy v $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Například povrchové napětí vody při 20°C je $0,073 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$.



Obr. 3.7a. Kontaktní úhel u stěny nádoby



Obr. 3.7b. Kontaktní úhel na kontaktní čochce

Z obrázků 3.7 a 3.8 plyne, že

$$\sigma_{23} = \sigma_{13} + \sigma_{12} \cdot \cos \theta, \quad (3.1)$$

kde úhel θ nazýváme kontaktním úhlem. Ze vztahu (3.1), který nazýváme též Youngova rovnice, pak kontaktní úhel

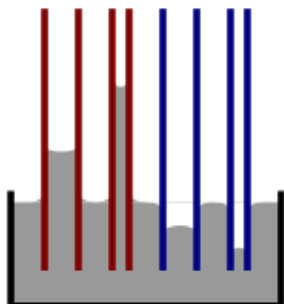
$$\theta = \arccos \frac{\sigma_{23} - \sigma_{13}}{\sigma_{12}}. \quad (3.2)$$

Rozdíl $\sigma_{23} - \sigma_{13}$ se nazývá též adhezní konstanta a pokud je > 0 , je kontaktní úhel ostrý a kapalina stěnu smáčí. Kontaktní úhel nás tedy informuje o smáčivosti povrchu, absolutní smáčivost je při $\theta = 0^\circ$ stupni, totálně nesmáčivá materiál má hodnotu $\theta = 180^\circ$. Materiál kontaktní čochky s kontaktním úhlem do $\theta \leq 30^\circ$ považujeme za dobře smáčivý, hovoříme o hydrofilitě materiálu. Pokud je povrch kontaktní čochky nesmáčivý, musí se upravit. Nesmáčivost povrchu materiálu nazýváme hydrofobicitou. Jak již bylo řečeno, změřený kontaktní úhel má však pro aplikátora jen malou vypovídací hodnotu o tom, jak bude čochka smáčitelná slzným filmem v oku konkrétního nositele. O metodách měření smáčivosti kontaktní čochky přímo na oku bude pojednáno dále.

Pro úplnost se zmiňme i o dalším kapilárním jevu, a to o kapilární elevaci a kapilární depresi (obr. 3.8). Tohoto jevu využíváme též při měření povrchového napětí. Výška sloupce h v kapiláře [10]

$$h = \frac{2\sigma_{12} \cos \theta}{\rho g r}, \quad (3.3)$$

kde ρ je hustota kapaliny, g gravitační zrychlení a r poloměr kapiláry. Je-li kontaktní úhel $\theta < 90^\circ$ dochází ke kapilární elevaci, při $\theta > 90^\circ$ ke kapilární depresi.



Obr. 3.8. Kapilární elevace a deprese v kapiláře závisí na povrchovém napětí mezi kapalinou a vzduchem, na kontaktním úhlu, na hustotě kapaliny a na poloměru kapiláry [10].

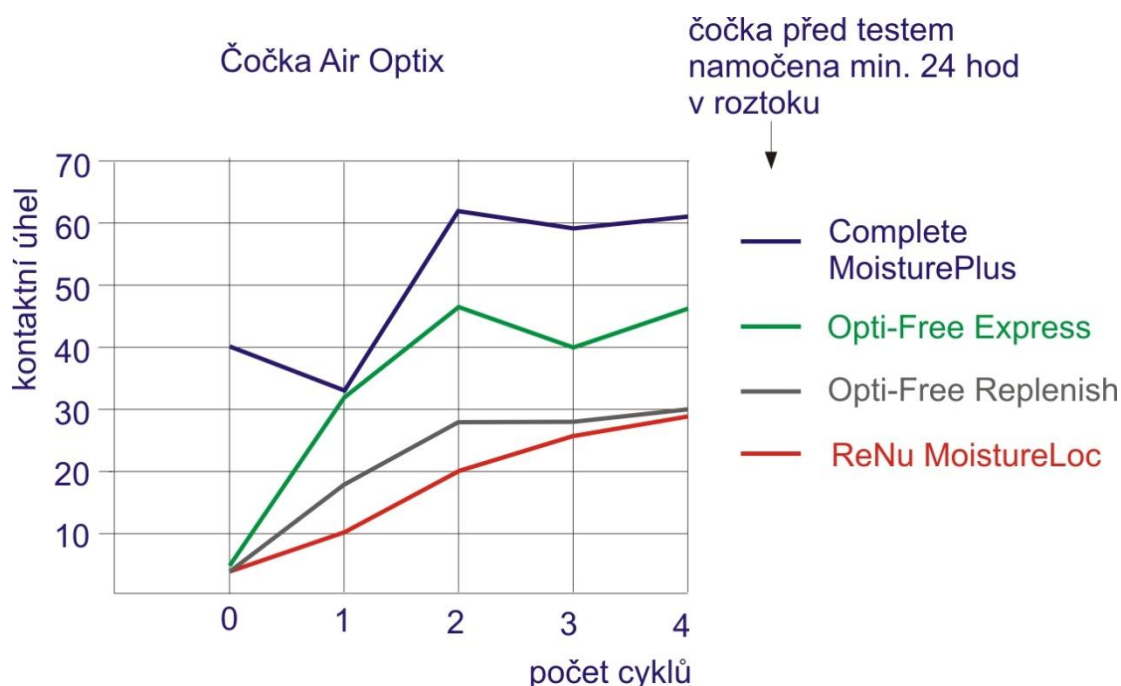
3.1.2. Srovnání metod stanovení smáčivosti kontaktní čočky in vitro a in vivo

Výrobci kontaktních čoček věnují značnou pozornost informaci o tom, jaký je kontaktní úhel u jednotlivých materiálů kontaktních čoček. Některé studie však ukázaly [4,5], že tyto hodnoty nejsou klinicky signifikantní. Je to způsobeno proměnlivými faktory, které určují smáčivost čočky na oku. Mimo jiné složením slzného filmu, především mucinovou a lipidovou vrstvou, a dynamikou mrkání a dalšími biologickými proměnnými faktory.

Zvláště u Si-Hy materiálů stanovené hodnoty in vitro ne vždy dobře korelují se smáčivostí stanovenou in vivo. U hydrogelových (Hy) materiálů měkkých kontaktních čoček a u tvrdých čoček (RGP materiálů) je korelace lepší.

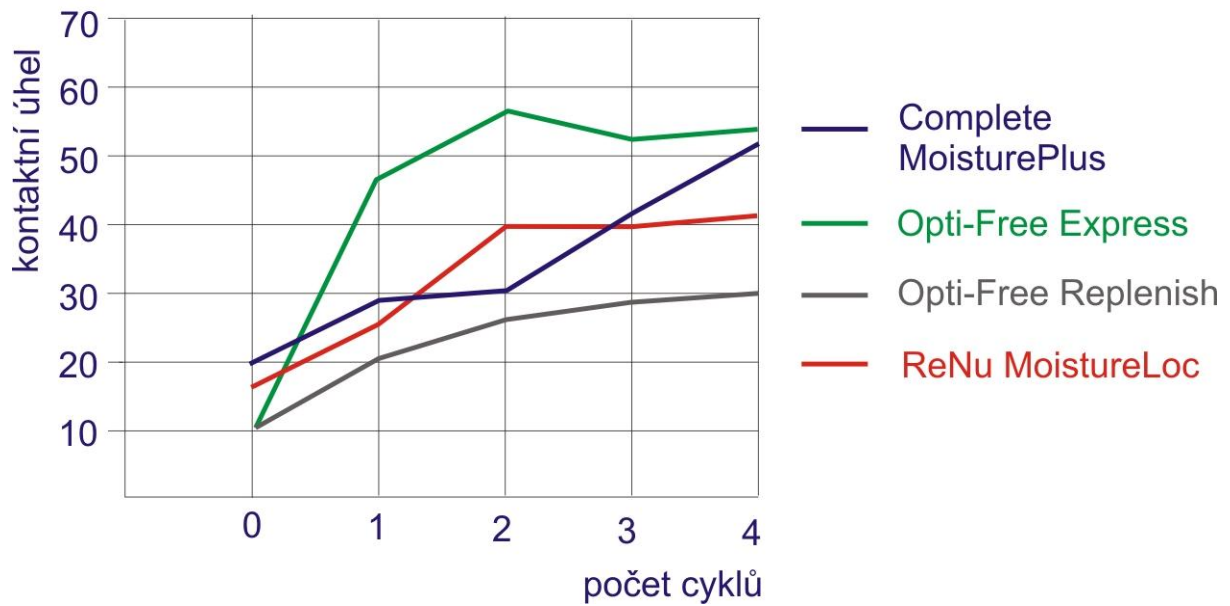
Je řada faktorů, které mají vliv na dobrou smáčivost povrchu kontaktní čočky, a tím i vliv na komfort nošení. Jsou to především materiál čočky, způsob čištění a desinfekce, doba nošení a frekvence výměny, ale i množství a kvalita slzného filmu nositele. Vliv slzného filmu nositele můžeme zjistit především Schirmerovým testem a testem BUT.

Na obrázcích 3.9a,b,c vidíme výsledek studie in vitro, kterou provedl Zhi-Jiam Yu at al [4]. Kontaktní čočky Air Optix, Air Optix Night & Day a Acuvue Advance byly minimálně 24 hodin umístěny v příslušném víceúčelovém roztoku (celkem bylo testováno po 8 číčkách v každém roztoku). Následně byly čočky vysoušeny na vzduchu po dobu 30 sec, umístěny na speciální držák, jemně byla setřena přebytečná vlhkost a pak byly čočky vysoušeny 60 sec. Pak byl kapkovou metodou (Sessile Drop Method [14, 15]) zjištěn kontaktní úhel. Proces byl zopakován a naměřené údaje byly zprůměrovány. Hodnoty odpovídají cyklu 0. Byl navržen následující postup, který by měl napodobit proces mrkání. Čočky byly vloženy na 5 minut do fyziologického roztoku a postup měření byl opakován. Hodnoty kontaktního úhlu odpovídají cyklu 1. Čočky byly následně znovu vloženy na 5 minut do fyziologického roztoku atd. Hodnoty kontaktních úhlů odpovídají cyklu 2, 3 a 4.



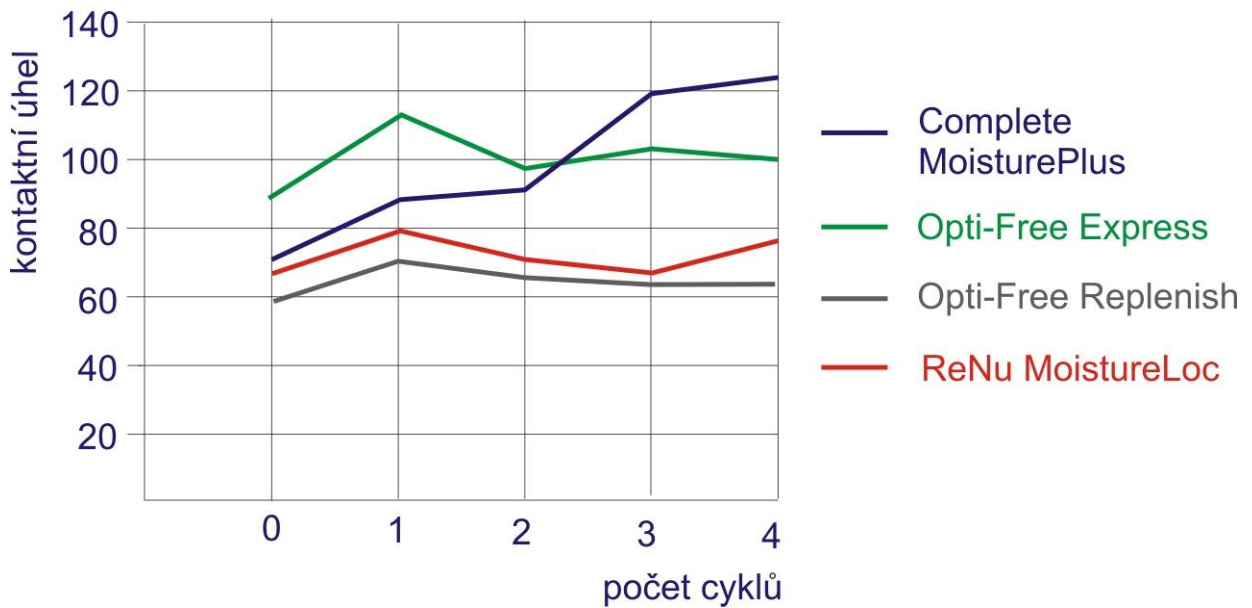
Obr. 3.9a. Kapkovou metodou stanovené kontaktní úhly u čočky Air Optix [4]

Čočka Air Optix Night & Day



Obr. 3.9b. Kontaktní úhly u čočky Air Optix Night & Day [4]

Čočka Acuvue Advance



Obr. 3.9c. Kontaktní úhly u čočky Acuvue Advance [4]

Naměřené výsledky nekorelují se závěry měření, které provedli in vivo Nichols a kol. [5, 16]. Autoři ve svých studiích navrhli randomizovanou a maskovanou metodu, založenou mimo jiné na interferometrickém měření tloušťky slzného filmu. Výsledky těchto studií naopak dobře korelují s měřením doby do přetržení souvislého slzného filmu (test BUT) a odpovídají rovněž subjektivnímu hodnocení nositelů těchto čoček.

V praktické části této práce měříme vliv roztoků, které používáme k péči o kontaktní čočky na čas od mrknutí k roztržení slzného filmu (BUT test). Výrobci roztoků tvrdí, že složení roztoků, které používáme k péči o kontaktní čočky má vliv na komfort při nošení, především na pocit vlhkosti v oku. Některé kontaktní čočky obsahují zvlhčující složku přímo v blistru (složka Aqua u Air Optix od firmy Ciba Vision). Pro posouzení tohoto vlivu uveďme, které komponenty obsahují roztoky obecně a uveďme taktéž jednotlivé roztoky na trhu.

Nejrozšířenější typ roztoku pro péči o měkké kontaktní čočky jsou víceúčelové roztoky MPS (Multi Purpose Solution). MPS roztoky jsou schopny zajistit adekvátní péči prostřednictvím komplexního složení, tzn. obsahují desinfekční složky, surfaktanty, lubrikanty, pufrů a ionické složky. Každá komponenta je integrální část roztoku zajišťující bezpečné nošení kontaktních čoček. Je důležité rozlišovat MPS roztoky, které mají atest čištění bez nutnosti ručního mnutí čočky (No RUB) a ty které vyžadují toto čištění.

Základní složky roztoků

Konzervační a desinfekční složky odstraňují bakterie, houby a plísně na kontaktní čočce již během nošení. Jsou to vysokomolekulární složky, které nepronikají do matrice čočky. Běžné desinfekční složky jsou polyaminopropyl biguanide (Dymed), polyhexamethylene biguanide (Tris-Chem), polyhexanide hydrochloride (PHMB), polyquaternium-1 (Polyquad), polyhexanide a myristamidopropyl dimethylamine (Aldox), benzalkonium chlorid, cetrimid...

Tyto složky jsou efektivní jestliže čočka je umístěna v pouzdru po minimální doporučenou dobu. Působí po dobu uložení čočky v roztoku až do 30 dnů (podle typu roztoku).

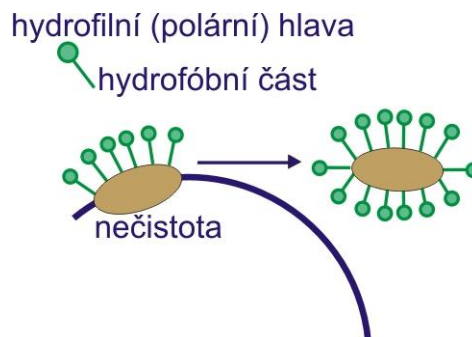
Pro nositele kontaktních čoček v prostředí, kde je zvýšené riziko kontaminace acantamoebou je nejvýhodnější roztok obsahující dezinfekční složku (Aldox) neboli myristamidopropyl dimethylamine (použito například u Opti-Free Replenish).

Desinfekční složky mohou způsobit taktéž alergickou a toxickou reakci oka, zvláště ty, které se používaly dříve a které pronikaly i do matrice čočky. Dnešní vysokomolekulární desinfekční složky tyto projevy redukovaly na minimum, může se však stát, že zvláště citliví nositelé mají tyto reakce i nyní a proto vyžadují péči o kontaktní čočky bez těchto desinfekčních složek.



Obr. 3. 10. Alergická reakce

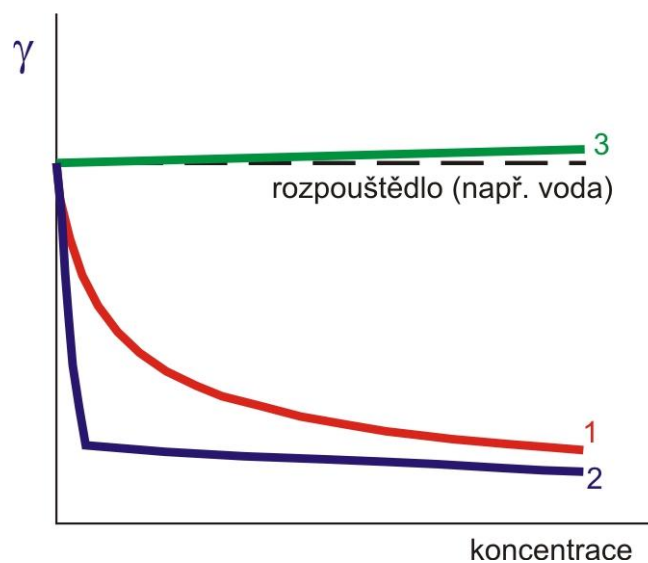
Surfaktanty jsou chemikálie, které redukuje povrchové napětí roztoků a tím usnadňují odstranění depositů z povrchu čočky při ručním čištění čočky. Charakteristické pro surfaktanty je hydrofilní hlava a hydrofobní ocas (obr. 3.11.) a využívají ionický náboj k odstranění depositů z povrchu čočky, především lipidů a taktéž různých nečistot. Běžné surfaktanty jsou poloxamine, poloxamer, pluronic, tetronic, hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) a ethylenediamine tetraacetid acid (EDTA)...



Obr. 3.11. Působení surfaktantu

Přestože surfaktanty jsou přítomné v roztoku v nízké koncentraci, mohou zvláště citliví pacienti pociťovat pálení nebo pocit suché čočky v oku.

Nositelé s vysokým obsahem depozit nebo nositelé konvenčních kontaktních čoček by měli používat oddělené denní čištění pomocí surfaktantů.



Obr. 3.12. Koncentrační závislost povrchového napětí roztoků

Obr 3.12 znázorňuje vliv rozpuštěné látky na povrchové napětí roztoku podle povahy rozpuštěné látky ve vodě [29]. Surfaktanty již v malých koncentracích vyvolávají znatelné snížení povrchového napětí (křivky 1 a 2). Jsou to látky povrchově aktivní. Křivka 1 je typická pro vodné roztoky většiny povrchově aktivních ve vodě rozpustných organických sloučenin. Křivka 2 ukazuje chování vysoce povrchově aktivních látek, které nejprve výrazně snižují povrchové napětí a při kritické koncentraci se pokles zastaví. U vodných roztoků anorganických sloučenin je pozorováno naopak zvýšení povrchového napětí (křivka 3). Tento efekt není velký a je pozorovatelný až při vyšších koncentracích. Tyto látky jsou označovány jako povrchově neaktivní. Například u roztoku NaCl povrchové napětí mírně stoupne. U čistého fyziologického roztoku bez dalších látek stoupne povrchové napětí oproti vodě asi o $3 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ na hodnotu asi $76 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Naproti tomu hodnota povrchového napětí vodné složky slzného filmu je asi poloviční.

Zvlhčovací přísady a lubrikanty.

Komfort při nošení kontaktních čoček vyžaduje, aby čočka byla stále vlhká. Slabé zvlhčení povrchu čočky způsobuje tření mezi čočkou a rohovkou a čočkou a víčkem a může vést k podráždění a nežádoucím reakcím. Mnoho roztoků a zvláště zvlhčovací kapky obsahují zvlhčovací složky nebo lubrikanty, které zvyšují vlhkost čočky. Běžnými zvlhčovacími složkami a lubrikanty jsou povidone, hydroxypropyl methylcellulose (HPMC), polyethylene glycol a dextran.

System odstraňování proteinů z povrchu kontaktní čočky.

Denaturovaný protein může být problémem pro nositele kontaktních čoček, zvláště pro ty, kteří nosí konvenční čočky. Dochází k hromadění proteinů a od určité úrovně dochází k výraznému snížení komfortu nošení. Aplikátor čočky si může všimnout změn na oku, jako jsou skvrny na rohovce nebo papilární hypertrofie na horním víčku. Enzymatické čističe jako papain, pancreatin a subtilisin jsou k dispozici jak v tekuté formě, tak jako tablety. Pravidelné čištění zabraňuje nadměrnému hromadění proteinů na čočce.

Současné víceúčelové roztoky odstraňují proteiny neenzymatickým procesem, protože enzymy dráždí oko a nemohou být do roztoku přidány. Příkladem neenzymatických složek k odstraňování proteinů ve víceúčelových roztocích jsou hydroxyalkyl fosfonate (Hydranate), sodium citrate a EDTA.

Nositelé, kteří používají víceúčelový roztok nebo peroxidový systém mohou taktéž využívat enzymatické čištění v průběhu nočního uschování čočky v pouzdru.

Poslední typy roztoků obsahují i složky, které jsou běžně přítomné v oku (jako je hyaluronová kyselina a její soli), čímž zvyšují biokompatibilitu roztoků.

Přes vysokou popularitu víceúčelových roztoků zůstalo peroxidové čištění rozšířené u nositelů kontaktních čoček, kteří mají velmi citlivé oči. Hlavní výhodou je to, že neobsahují konzervační složku. Je to proto velmi vhodná volba pro všechny alergiky a rovněž pro ty, kteří z různých důvodů nosí konvenční čočky.

Přehled roztoků pro měkké kontaktní čočky na našem trhu:

Název roztoku	Výrobce	Typ
Opti-Free Express	Alcon	MPS
Opti-Free Replenish	Alcon	MPS
SOLOCARE AQUA	Ciba Vision	MPS
ReNu Multi Plus	Bausch & Lomb	MPS
Biotrue	Bausch & Lomb	MPS
COMPLETE Easy Rub	Advanced Medical Optics	MPS
Options MULTI	Cooper Vision	MPS
SAUFLON All in One	Sauflon Pharmaceutical	MPS
ULTRASILK All-In-One	Lapis Lazuli International	MPS
OPTOSOAK	Wilens	MPS
LAIM-CARE	Schalcon (Italie)	MPS
Vidi OxyClen	Veni Vidi (UK)	MPS
AOSEPT PLUS	Ciba Vision	Peroxidový systém
Oxysept Comfort	Advanced Medical Optics	Peroxidový systém

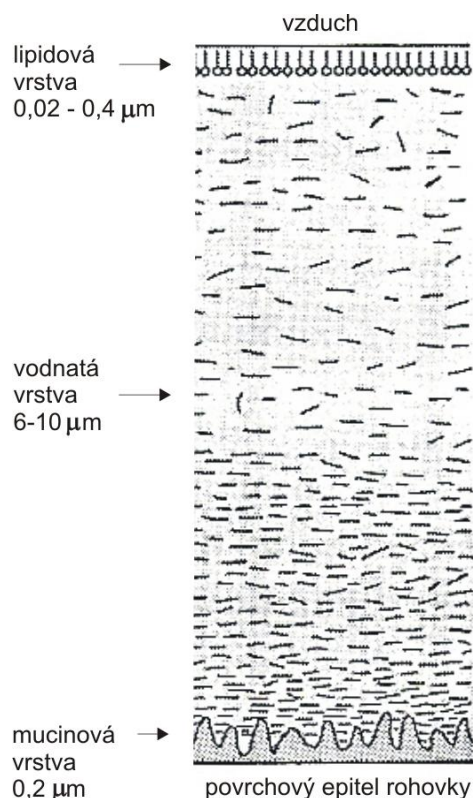
Jak ukázalo naše měření, na BUT test nemají roztoky zásadní význam, značný vliv na BUT test mají zvhčovací kapky, které nabízejí optometristé k odstranění pocitu suchého oka.

Zvlhčovací kapky a umělé slzy na našem trhu:

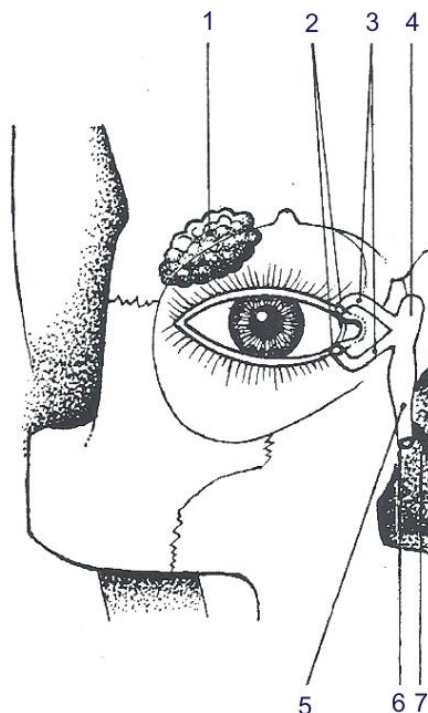
Název	Výrobce	Typ	Účinná látka (surfactant)	Konzervační látka	Přímo na KČ	Poznámka
LACRISYN	Galena	kapky	hypromelósa	benzalkonium chlorid	ne	
TEARS NATURALE II	Alcon	kapky	hypromelósa	polyquard	ne	
SYSTANE	Alcon	kapky	polyethyl glycol propylen glycol	polyquard	ne	
SYSTANE Ultra	Alcon	kapky	polyethyl glycol propylen glycol sorbitol	polyquard	ne	
REFRESH	Allergan	kapky	carboxylmethyl celuloza (CMC)	purite	ano	
CELLUFLUID	Allergan	kapky	CMC camellosum	bez (jednorázový)	ano	
OPTIVE	Allergan	kapky	CMC, glycerin carnitin	bez	ano	osmoprotekce
OFTAGEL	Santen	gel	carbomer	benzalkonium chlorid	ne	
OXYAL	Santen	kapky	kyselina hyaluronová	bez oxid rozloží se	ano	
HYPO-TEARS PLUS	Novartis	kapky	povidon	benzalkonium chlorid	ne	
HYPO-TEARS PLUS SDU	Novartis	kapky	povidon	bez (jednorázový)	ano	
HYPO-TEARS GEL	Novartis	gel	carbomer retinol, vit. A, E	cetrimid	ne	
SICCAPROTECT	Ursapharm	kapky	dexpanthenol	benzalkonium chlorid	ne	
HYLO-GEL	Ursapharm	gel	hyaluronát Na sorbitol	bez	ne	
HYLO-CARE	Ursapharm	kapky	hyaluronát Na sorbitol	bez	ano	
HYLO-LASOP	Ursapharm	kapky	hyaluronát Na	bez	ano	
HYLO-COMOD	Ursapharm	kapky	kyselina hyaluronová	bez	ano	
ARTELAC CL	Dr. Gerhard Mann Pharna	kapky	hypromelosa	cetrimid	ano	
VIDISIC gel	Dr. Gerhard Mann Pharna	gel	carbomer	cetrimid	ne	
RECUGEL	B&L	gel	dexpanthenol	cetrimid	ne	
HYAL-DROP	B&L	kapky	kyselina hyaluronová	bez	ano	
ARUFIL	Chauvin Ankerpharm	kapky	povidon	benzalkonium chlorid	ne	
BLEPHAGEL	Glim Care	gel			ne	na čištění víček
VISIAL	Glim Care	kapky	hyaluronát Na aloe vera	bez	ne	
OMISAN BABY	Glim Care	kapky	heřmánek světlík	bez	ne	pro novorozence a děti
TEARS AGAIN	Optima Pharma	spray	sojový lecithin etanol, vit. A, E	bez	ne	
HYPROMELÓZA-P	Unimed Pharma	kapky	CMC panthenol		ne	
SENSIVIT	Unimed Pharma	kapky	CMC vit. A, E		ne	

3.1.3. Slzný film, jeho složení a jeho vyšetřování v kontaktologii. Tvorba slz.

Funkce slzného filmu je jednak optická (hlavně u tvrdých kontaktních čoček), dále ochranná (odvádí prachové částice a má baktericidní a bakteriologické vlastnosti) a konečně má funkci lubrikační. Nedostatečnost produkce slz nebo snížená kvalita slzného filmu má za následek problémy při nošení kontaktních čoček.



Obr. 3.10. Složení slzného filmu [2]



3.11. Slzotvorný aparát a odvodné cesty.
1 – slzná žláza, 2 – horní a dolní slzný bod,
3 – horní a dolní slzný kanálek, 4 – slzný vak,
5 – vývodní cesta ze slzného vaku,
6 – ústí slzovodu, 7 – nosní průchod [17]

Složení slzného filmu je znázorněno na obr. 3.10. Vnitřní vrstva ležící na rohovce je mucinová vrstva a skládá se z hydrofobní části orientované směrem k rohovce a hydrofilní části směrem od ní.

Střední vodná vrstva tvoří 90 % množství slz. Je tvořena z 98 % vodou, která zajišťuje zvlhčující funkci slz. V ní jsou rozpuštěné různé látky. Především se jedná o glukózu, vitamíny a kyslík vyživující povrchovou vrstvu rohovky. Důležitou součástí jsou také enzymy a protilátky, které působí baktericidně, tj. způsobují rozklad bakterií a bakteriostaticky, tj. zamezují růstu bakterií [19]. Obsahuje i bílkoviny (albumíny a globulíny) a minerální soli [17].

Zevní lipidová vrstva je velmi tenká, ale důležitá. V slzném filmu brání přetékání přes okraj víček, zvyšuje jeho povrchové napětí a snižuje jeho odpařování. Obsahuje volné mastné kyseliny, volný cholesterol, triglyceridy, sterolové estery a lipidy.

Slzný film je z oka odváděn ze 75 % slznými cestami a z 25 % se vypařuje [19].

Slzotvorný aparát je znázorněn na obr. 3.11. Slzy jsou produkovány především v slzné žláze, která se nachází pod horním vnějším okrajem očníce, dále se na jejich tvorbě podílí přídatné slzné žlázy spojivky (Krauseho a Wolfringovy) a víček (Meibomské žlázy a Mollovy a Zeissovy žlázy) [18]. Slzy mají pH v rozmezí od 7 do 7,4 [17].



3.12. Schirmerův test [17]

Produkcí slz a jejich množství v kontaktologické praxi zjistíme pomocí Schirmerova testu (viz obr. 3.12). Hodnotíme navlhčení filtračního papírku, který je 5 mm široký a obvykle 35 mm dlouhý.

Vložíme ho zahnutým koncem na 5 minut do spojivkového vaku. Za fyziologických podmínek tvorby slz je papírek navlhčen minimálně v délce 15 mm za 5 minut. Tento test nás informuje pouze o množství vyprodukovaných slz, nikoliv o kvalitě slz. Je-li produkce slz nedostatečná dochází obvykle k syndromu suchého oka, a to z nedostatku vodnaté složky.

Může však být i produkce dostatečná, přesto dochází k syndromu suchého oka, slzný film se rychle odpařuje, dochází k tzv. evaporativnímu syndromu suchého oka. Kvalitu slzného filmu zjistíme jen profesionální diagnostikou, například systémem TearLab [23].

Schirmerův test může být prováděn s použitím anestetika (pouze očním lékařem) nebo bez použití anestetika. Zde popsany test se nazývá Schirmerův test I. K určení reflexní sekrece se provádí někdy Schirmerův test II, kde po zavedení proužku podráždíme anestetizovanou zevní sliznici vatovou tyčinkou [24]. Výsledek odečítáme za 2 minuty. Hodnoty nižší než 15 mm svědčí o nedostatečné reflexní sekreci.

Při vyšetření slzného filmu na štěrbinové lampě si všimneme nejdříve výšky slzného menisku při okraji dolního víčka. Je ovlivněna šířkou oční štěrbinou a vzdáleností vývodů Meibomských žláz od povrchu oka. Ve vlastním slzném filmu zjišťujeme přítomnost cizích tělísek a buněčných částic, jejichž výskyt je u suchého oka větší. V zrcadlovém reflexu vznikajícím na slzném filmu můžeme pozorovat interferenční obrazce vznikající na lipidové vrstvě. U tlusté vrstvy převládají červené tóny, u tenké vrstvy převládají modré tóny nebo není interference patrna.

Následkem dysfunkce slzného filmu vznikají na rohovce a spojivce oschlá místa, na kterých dochází k degeneraci až odloučení epitelii. Tyto změny je možné zobrazit pomocí fluoresceinu, popřípadě pomocí jiných barviv. Aplikace barviv však může působit nižší komfort, který je většinou úměrný rozsahu barvicích se oblastí.

Test BreakUp Time (BUT) se nejčastěji používá s použitím fluoresceinu, který označujeme též FBUT. Po obarvení fluoresceinem je pacient vyzván aby třikrát mrknul a dále se zpříma díval bez mrkání. Rohovka je potažena stejnoměrným slzným filmem fluoresceinu, který vidíme zvláště dobře na štěrbinové lampě s modrým kobaltovým filtrem. Po určité době – kterou měříme – se tato vrstva roztrhne. Čas pod 10 vteřin signalizuje, že se může jednat o syndrom suchého oka. Vyšetření provádíme buď za použití anestetik nebo bez použití. Vyšetření v místní anestezii může zkreslit hodnoty. Abychom zabránili vlivu fluoresceinu na slzný film

můžeme provádět měření bez jeho použití, test pak označujeme obvykle jako neinvazivní (NIBUT). Nevýhodou však je, že roztržení slzného filmu pozorujeme u neinvazivního testu jen obtížně a někdy nejsme schopni okamžik roztržení určit vůbec.

3.1.4. Vliv kontaktní čočky na kvalitu slzného filmu. Osmolalita kontaktní čočky.

Kontaktní čočka na oku má vliv na cirkulaci slz i na látkovou výměnu rohovky. Může se měnit složení, kvalitativní i kvantitativní parametry slzného filmu [3]. Především první dny nošení kontaktních čoček se zvyšuje hodnota pH slz a dostává se až k hodnotě krevního séra. Mění se i tonicity a osmolalita, první dny klesá podíl jednotlivých látek (glukózy, proteinů, Na^+ , Cl^-) ve vodní složce slzného filmu. Po ukončení adaptace na kontaktní čočky se hodnoty vrací k normálu. Adaptační proces však trvá různou dobu a je mnohem delší u RGP kontaktních čoček.

Nošení kontaktních čoček může změnit i frekvenci mrkání. Dráždění víček kontaktní čočkou může mít vliv i na zvýšenou sekreci Meibomských, Mollových a Zeissových žláz a tím může i zvýšit podíl lipidů a jejich zvýšené ukládání na povrchu kontaktní čočky.

Kontaktní čočka na oku je z přední a zadní části pokryta slzným filmem a obsahuje určité množství vody, které je vyměňováno se slzným filmem při nošení. Stahl a jeho kolektiv navrhli definovat osmolalitu kontaktní čočky pomocí osmolality obou těchto roztoků. [25]

Jejich výzkum nepotvrdil přímou korelaci mezi osmolalitou slzného filmu a komfortem nošení kontaktní čočky po 6 hodinách nošení. Potvrdil však spojení mezi komfortem nošení a osmolalitou kontaktní čočky. Ukazuje se, že jimi definovaná osmolalita kontaktní čočky by mohla být jedním ze základních ukazatelů komfortu při nošení kontaktních čoček. Změna osmolality o 50 mmol.kg^{-1} odpovídala snížení subjektivního hodnocení komfortu o 5 jednotek na 100 jednotkové stupnici. Navíc jimi definovaná osmolalita kontaktní čočky velmi dobře korelovala i s BUT testem.

Postup při měření osmolality kontaktní čočky: [25]

- Po určité době nošení kontaktní čočku vyjmeme z oka a zjistíme její přesnou hmotnost.
- Čočku vložíme do roztoku, jehož osmolalitu 1 a objem 1 známe.
- Po 2 hodinách změříme změněnou (působením kontaktní čočky) osmolalitu 3 roztoku.
- Kontaktní čočku dehydratujeme a přesně zvážíme.
- Rozdíl zvážených hmotností nám dává objem 2 vody kontaktní čočky.
- Osmolalitu 2 kontaktní čočky vypočteme ze vzorce:

$$\text{osmolalita 1} \times \text{objem 1} + \text{osmolalita 2} \times \text{objem 2} = \text{osmolalita 3} \times (\text{objem 1} + \text{objem 2}) \quad (3.4)$$

3.1.5. Syndrom suchého oka [20, 27]

Pojem "suché oko" bylo zavedeno před více jak 50 lety pro všechny druhy kvantitativního deficitu slz, ke kterému se postupně přidal nedostatek tvorby lipidů a mucinu a zvýšené odpařování slz. Přestože se nejedná o odborný název, je dnes všeobecně přijímán jak lékařskou, tak laickou veřejností.

Tento pojem má však čtyři významy podle toho, zdá máme na mysli symptom, znak, syndrom nebo onemocnění. Symptom označuje pouze pocit suchosti, přestože se nemusí o skutečnou suchost jednat. Znak je lékaři označován jako objektivní pokles tvorby slz. Syndrom suchého oka je podle nové definice charakterizován očními symptomy (pocit sucha, pocit písku nebo

cizího tělíska v oku, únava očí, fotofobie, slzení oka, zarudnutí, snížený komfort při nošení kontaktních čoček, zhoršené vidění měnící se v průběhu dne) a změnou očního povrchu, které jsou vyvolány nestabilitou slzného filmu nebo jeho zvýšenou osmolalitou. Onemocnění označujeme jako etiologické obrazy (jejichž příčina je známa), jako je autoimunitní onemocnění, nedostatek vitamínu A apod., jejichž projevem je právě syndrom suchého oka spolu s dalšími konkrétními projevy příslušné etiologie.

Madridská konference v roce 2003 stanovila těchto 10 příčin suchého oka:

- Příčiny související s věkem

Vylučování slz se začíná snižovat kolem 30. roku věku, snižování produkce slz však dosáhne kolem 45. roku věku takové úrovně, kdy začínají lidé za určitých okolností zaznamenávat symptomy suchého oka. Většina lidí však pocítí jistý stupeň tohoto problému až kolem 60. roku věku, a to především při nošení kontaktních čoček, během pobytu v prostoru s klimatizací nebo v noci, kdy dosahuje tvorba slz nejnižší hodnoty.

Tato suchost je součástí širších projevů a zahrnuje suchá ústa, suché hrdlo, suchý nos apod. Tyto problémy postihnou prakticky všechny při dosažení příslušného věku.

Problém suchých očí související s věkem má obvykle slabý nebo mírný průběh.

- Hormonální příčiny

Žlázy endokrinní, jejichž produkt je vylučován na povrch přímo nebo prostřednictvím vývodu jsou ve vzájemném vztahu s některými druhy endokrinního vylučování, zejména s tvorbou androgenů, estrogenů a prolaktinu.

Problém suchých očí se může objevit například během kojení, při užívání antikoncepce na bázi estrogenu a během klimakteria a v období po menopauze. Po menopauze (mezi 48.–52. rokem věku) se určitý stupeň suchosti projevuje u všech žen. Suché oči v důsledku hormonálních příčin se s přibývajícím věkem stupňují a postihují téměř všechny osoby, zejména ženy.

Problém v případě hormonálních příčin má většinou slabý nebo mírný průběh.

- Farmakologické příčiny

Některé léky v důsledku svých vedlejších účinků snižují sekreci žláz, mimo jiné i sekreci slz. Jsou to především anxiolytika (léky proti úzkosti), antidepressiva, antiparkinsonika, antihistaminika (léky které se používají k léčbě všech projevů alergie – ekzémů, kopřivky, alergické rýmy, zánětu spojivek a celkových alergických reakcí), některá hypertensiva, diuretika, betablokátory, cytostatika některé deriváty vitamínu A, orální kontrareceptiva (prostředky proti otěhotnění), uspávací prostředky a hypnotika, některá anestetika.

Mezi farmakologické příčiny suchého oka můžeme zařadit i roztoky pro péči o kontaktní čočky a oční kapky které obsahují některé konzervační látky (benzalkonium chlorid, EDTA, thiomersal, chlorobutanol). Kontaktolog by měl v případě projevů suchého oka doporučit používat roztoky a zvlhčovací kapky bez konzervačních prostředků.

Suché oči způsobené farmakologickými příčinami mají většinou slabý průběh a po vysazení léku vymizí.

- Imunopatické příčiny

Autoimunní příčiny suchých očí souvisejí s jiným autoimunologickým napadením orgánů.

V případě, že si nositel kontaktních čoček ztěžuje na pocit suchých očí, měl by kontaktolog vyloučit poruchu autoimunity a v případě poruchy autoimunity odeslat k očnímu lékaři k posouzení zda nošení kontaktních čoček není kontraindikováno. Některé poruchy autoimunity patří mezi nejzávažnější případy suchých očí a mohly by způsobit i nevratné poškození zraku.

- Příčiny související se špatnou výživou

Nejběžnějším případem suchého oka v důsledku špatné výživy je avitaminóza A. V dávných dobách se jednalo o nejčastější příčinu suchého oka. Typickými očními projevy avitaminózy A jsou skvrny ve spojivkovém vaku, změknutí rohovky a šeroslepost. Je stále velice běžná v zemích třetího světa.

V rozvinutých zemích je vzácná a je spojena s nedostatečným střevním vstřebáváním (alkoholismus, resekce střeva) a stravou neobsahující tuky. Pokud je nedostatek vitamínu A objeven včas, může být vyléčen, aniž by došlo k následnému poškození očního povrchu. Pokud se však onemocnění rozvinulo, může způsobit problém suchých očí s vážným průběhem a nevratným oslepnutím rohovky.

Další možné, dosud ne zcela popsané příčiny suchých očí způsobené nedostatečnou výživou jsou avitaminóza B2 a B12.

- Vývojové příčiny

Porucha vývoje může postihnout jedno oko nebo obě oči a může se týkat všech typů nebo jediného typu žláz produkujících oční mok, žláz produkujících lipidy nebo žláz produkujících mucin.

- Zánětlivé příčiny

Zanícení dakryogenních žláz, které je většinou infekční, může poškodit nebo zničit jednak žlázy produkující oční mok (lacrimoadenitida), jednak žlázy produkující lipidy (blefaritida, která je běžnější v druhé polovině života) nebo žlázy produkující mucin (jizevnatý zánět spojivek).

- Traumatické příčiny

Podobně může ovlivnit produkci jednotlivých žláz úraz, chirurgický zákrok nebo ozařování.

- Neurologické příčiny

Existují tři typy suchého oka způsobené neurologickými příčinami:

- Eferentní denervace (eferentní vlákna = odstředivá vlákna vedoucí vzruch od centra na periferii) způsobené zablokováním neuronových spojů mezi slzotvornými parasympatickými jádry a slznými žlázami.

- Aferentní reflexní denervace (aferentní vlákna = nervová vlákna vedoucí vzruch od periferie do centrálního nervového systému) způsobené herpetickou nebo jinou anestetickou keratitidou, transplantací rohovky, PRK, LASIK, kontaktními čočkami, předávkováním topické anestézie a poškozením trojklaného nervu.
 - Noční biologické rytmy snižují po západu slunce bazální sekreci slz a tento pokles pokračuje ve spánku. Omezení spánkové části REM může již tak slabou tvorbu slz dále snížit. Bylo dokázáno, že bazální slzení se snižuje také při ospalosti, únavě a neklidu.
- Tantalické příčiny

Tantalické oči jsou takové, které produkují dostatek slz, ale oční povrch přesto zůstává suchý. Název vznikl podle Tantara, Diova syna, který byl odsouzený k tomu, aby stál až po bradu ve vodě. Když se však chtěl napít, voda ustoupila. A tak přestože byla všude kolem něj voda, byl Tantalus neustále žíznivý.

Existují tyto typy tantalických očí:

- Porucha epitelu - povrch oka nemůže vytvořit a udržet slzný film.
- Nesoulad mezi očními víčky a oční bulvou, který způsobí, že oční víčka nemohou rozprostít slzný film po povrchu oka (například kolobom víčka, ochrnutí víčka, převislé víčko, štěrbina víčka, spánek s částečně otevřenými víčky apod.
- Zvýšené odpařování způsobené vlivy prostředí jako je vítr, klimatizace, velmi suchý vzduch, pokles frekvence mrkání v důsledku řízení auta nebo při práci na počítači. Z normálního oka se odpaří asi 8–15 % vyprodukovaných slz, ale určit hranici mezi normálním a nenormálním odpařováním je velice obtížné. Neexistuje ani žádný dostupný evaporimetr pro klinické použití. Nadměrné odpařování lze proto pouze vyvozovat na základě příznaků.

V některých případech má suché oko pouze jednu etiologii, ale ve většině případů se jedná o kombinaci několika příčin, z nichž nejčastější jsou příčiny související s věkem, hormonální, farmakologické a záněty očního víčka.

Většina případů suchého oka bude pacienta provázet do konce života. Pouze některé případy jsou vratné (farmakologické příčiny, podvýživa). Výzkum se v současné době zaměřuje na hledání nových lékařských, ekologických, chirurgických a psychologických způsobů léčby, které by byly vhodné pro jednotlivé etiologie.

Existuje řada prostředků k potlačení syndromu suchého oka. Jsou to zvlhčovací kapky a umělé slzy, běžně dostupné buď u kontaktologa nebo v lékárně.

3.2. Propusnost kontaktní čočky pro kyslík

3.2.1. Permeabilita Dk kontaktní čočky

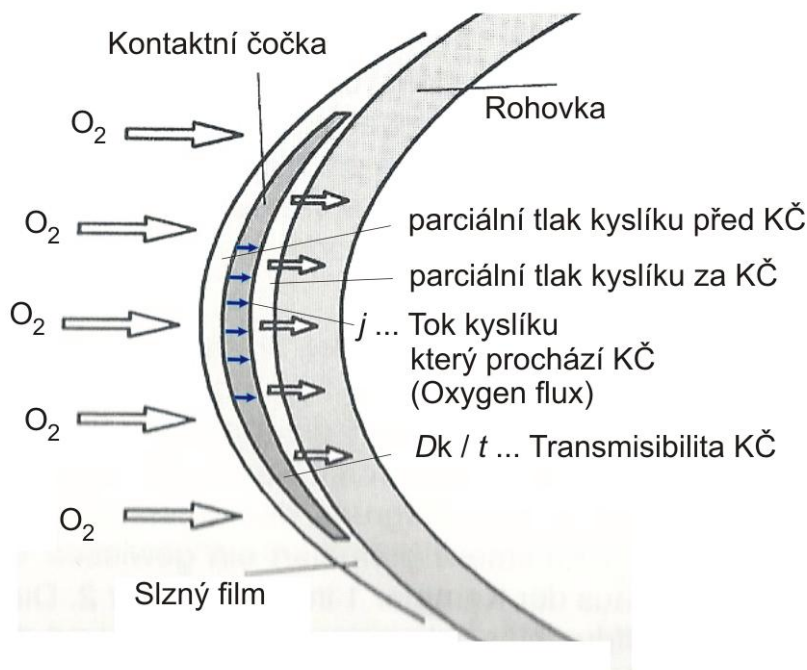
V kapitole 3.1.4. jsme se zabývali vlivem kontaktní čočky na kvalitu slzného filmu. Kontaktní čočka působí jako cizí těleso v oku a má vliv na jeho metabolismus, může se měnit složení, kvalitativní i kvantitativní parametry slzného filmu. Všeobecně se předpokládá korelace mezi komfortem nošení kontaktní čočky a osmolalitou slzného filmu. Nový výzkum [25] však

nepotvrdil přímou korelaci mezi osmolalitou slzného filmu a komfortem nošení kontaktní čočky. Zavedl však nový pojem osmolalita kontaktní čočky, který dle této práce velmi dobře koreluje se subjektivním pocitem komfortu nošení. Tato hodnota dobře koreluje i s BUT testem. Teprve čas však ukáže zda jeho výsledky budou potvrzeny a zda se pojem osmolalita kontaktní čočky dostane do povědomí odborníků a aplikátorů kontaktních čoček.

Nezpochybnitelný pojem, všeobecně přijímaný jako údaj nesoucí informaci o materiálu kontaktní čočky je jeho permeabilita. [3]

U měkkých kontaktních čoček je pro přísun kyslíku k rohovce rozhodující transport čočkou. Odhaduje se, že při mrknutí se u měkkých kontaktních čoček vymění jen 5 % slzného filmu, zatímco u tvrdých kontaktních čoček je to až 20 %. Kyslík z cév má význam pouze pro periferní část rohovky.

Kontaktní čočka na oku působí (z fyzikálního a chemického hlediska) jako membrána obklopená slzným filmem, která je pro jeho složky (především pro kyslík) více nebo méně propustná (obr. 3.13).



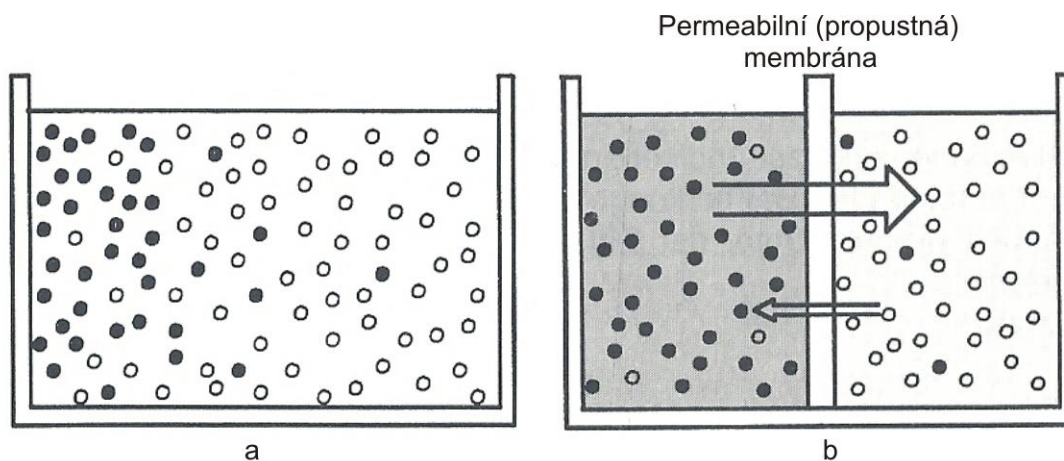
3.13. Kontaktní čočka jako propustná membrána pro kyslík

Propustnost kontaktní čočky pro plyny (pro kyslík) nazýváme její permeabilitou. Přírozenou vlastností látek je, že se její částice pohybují (důkazem jejich pohybu je Brownův pohyb), a tak se rozptylují do celého prostoru, kterého mohou dosáhnout, a postupně ve všech jeho částech vyrovnají svou koncentraci. Říkáme, že látky difundují. Rozdíl mezi volnou difuzí a difuzí přes propustnou membránu je na obrázku 3.14. Látky přecházejí z prostředí s vyšší koncentrací směrem kde je koncentrace nižší. Difúze vody podle koncentračního gradientu se nazývá osmóza. Tonicita je osmolalita vzhledem k buňce.

V izotonickém prostředí dochází k difúzi molekul vody z buňky i do buňky ve stejném rozsahu, takže nedojde ke změně objemu vnitřku buňky ani ke změně koncentrace roztoku uvnitř buňky. V prostředí hypotonickém a hypertonickém dochází k osmotickým jevům:

V hypotonickém prostředí vniká dovnitř buňky víc molekul vody, než jich za stejnou dobu difunduje z buňky ven. Obsah buňky se tedy rozředí a roste jeho objem.

V hypertonickém prostředí uniká z buňky víc molekul vody, než jich za stejnou dobu difunduje z vnějšího prostředí dovnitř. Buňka v důsledku toho zmenšuje objem, scvrkává se.



3.14. Volná difuze a difuze přes propustnou membránu [3]

Na permeabilitu kontaktní čočky mají vliv dva mechanismy:

- Rozpustnost atmosférického kyslíku v slzném filmu
- Difuze rozpuštěného kyslíku kontaktní čočkou

Permeabilita Hy (hydrogelových) čoček je dána převážně rozpustností kyslíku, zatímco u RGP čoček je dána difuzí. U Si-Hy (silikon-hydrogelových) kontaktních čoček je to pak kombinace rozpustnosti a difuze, přičemž podíl obou složek závisí na obsahu vody.

Rozpustnost kyslíku v tekutině popisuje Henryho zákon a konstanta rozpustnosti se v kontaktologii označuje písmenem k a udává se v ml O₂ na ml roztoku a na rozdíl tlaku 1 mm Hg.

Druhý mechanismus je popsán 1. Fickovým zákonem. Konstanta úměrnosti se nazývá difuzní koeficient, který se v kontaktologii označuje D a udává se v cm² za s.

Součin difuzního koeficientu D a koeficientu rozpustnosti k popisuje permeabilitu kontaktní čočky a označuje se $D \cdot k$ nebo častěji zkráceně Dk . Její rozměr je

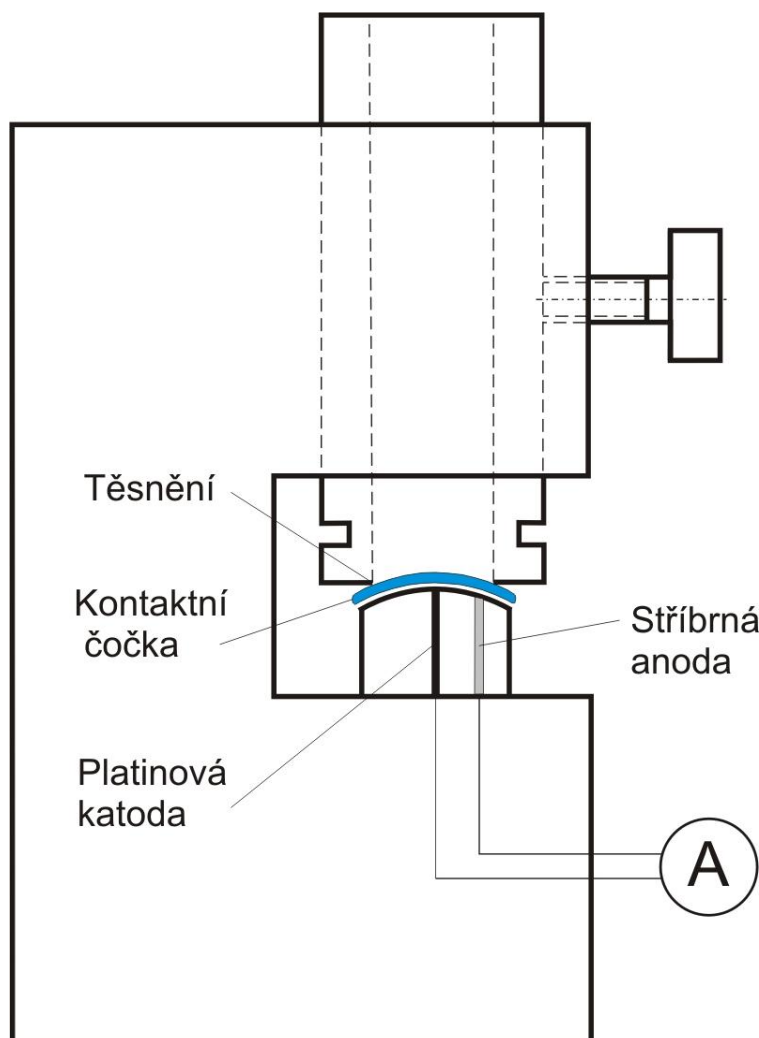
$$(\text{cm}^2 / \text{s}) \cdot (\text{ml O}_2 / (\text{ml} \cdot \text{mmHg}))$$

Je to jednotka, která nepatří do soustavy SI. Velmi často se udává jako číslo násobené hodnotou 10¹¹. Tato jednotka se pak v zahraniční literatuře nazývá též Barrer nebo Fatt. Dk je vlastnost materiálu, ze kterého je kontaktní čočka vyrobena. Nejrozšířenější metoda měření permeability je polarografická metoda (Fattova metoda), která je zařazena i do norem [30].

Polarografie je elektrochemická metoda, sloužící k určování výskytu a koncentrace látek v roztoku - tedy k chemické analýze. Princip spočívá ve vyhodnocování závislosti

elektrického proudu na napětí přivedeném na dvojici elektrod, ponořených do elektrolyzovaného roztoku (v našem případě do fyziologického roztoku ve kterém je rozpuštěn kyslík, který prošel kontaktní čočkou).

Schéma měření je na obr. 3.15. Přístroj se nazývá permeometr. Měkká kontaktní čočka z fyziologického roztoku upraveného dle normy [29] na $pH\ 7,4 \pm 0,1$ s osmolalitou $310\ \text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ je vložena do měřicího přístroje. Na stříbrné anodě se tvoří volné elektrony, které tečou přes ampérmetr k platinové katodě. Elektrický proud je úměrný množství kyslíku na zadní straně kontaktní čočky, tedy na katodě. Permeabilita čočky je závislá na teplotě, proto se měření provádí za stálé teploty $35^{\circ}\ \text{C}$.

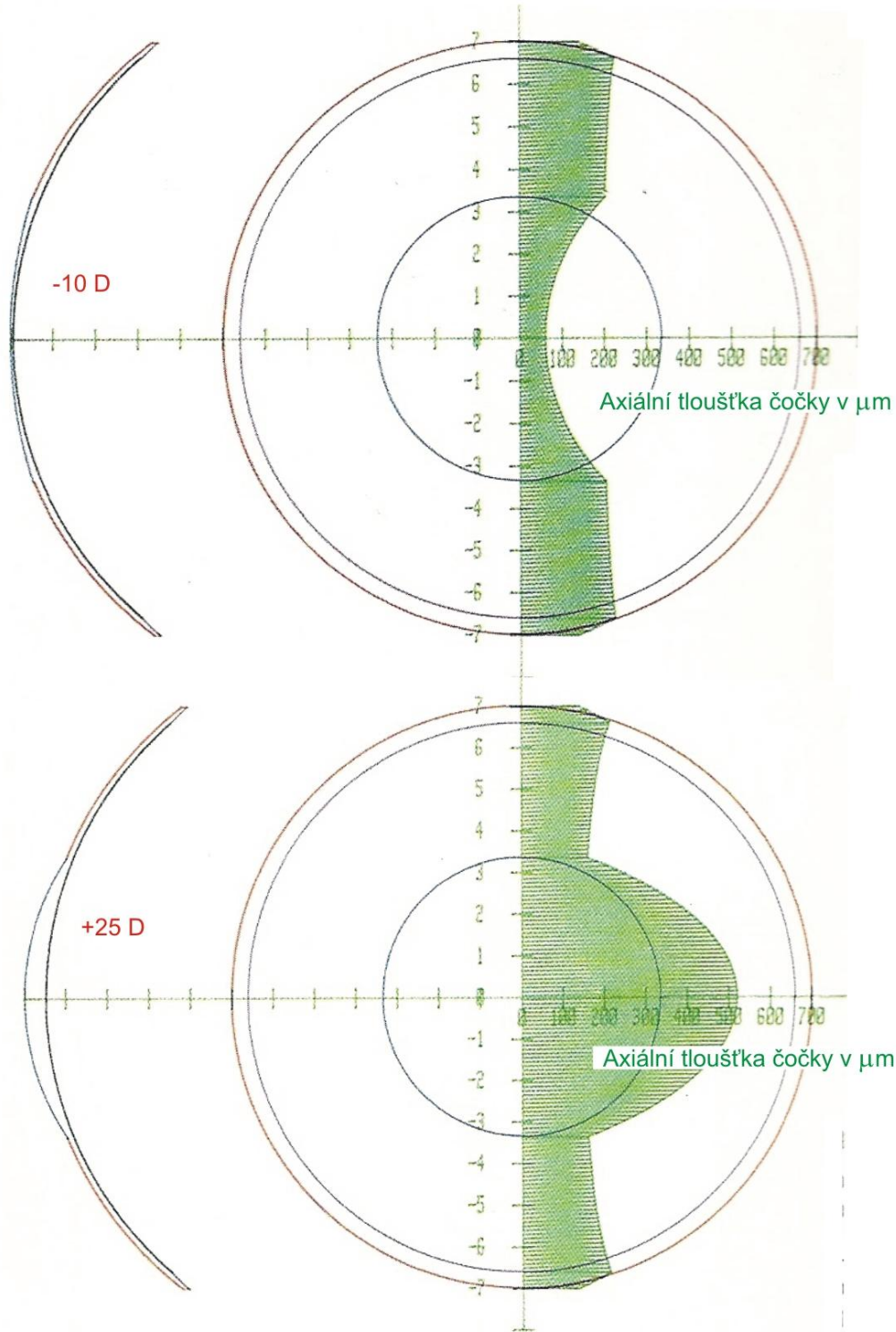


3.15 Měření permeability

3.2.2. Transmisibilita Dk/t kontaktní čočky

Hodnota Dk udává vlastnost materiálu kontaktní čočky. Pro kontaktologa je však důležitější hodnota permeability podělená tloušťkou kontaktní čočky (v cm) neboli hodnota Dk/t , kterou nazýváme transmisibilita a která nám charakterizuje čočku jako takovou. Její jednotka je Barrer/cm. Poněkud zavádějící pro kontaktology je to, že tato hodnota je výrobci obvykle uváděna pouze pro kontaktní čočku $-3,00\ \text{D}$ a za hodnotu t je uváděna středová tloušťka, tedy nejtenší místo kontaktní čočky. Porovnání profilu kontaktních čoček různých dioptrických

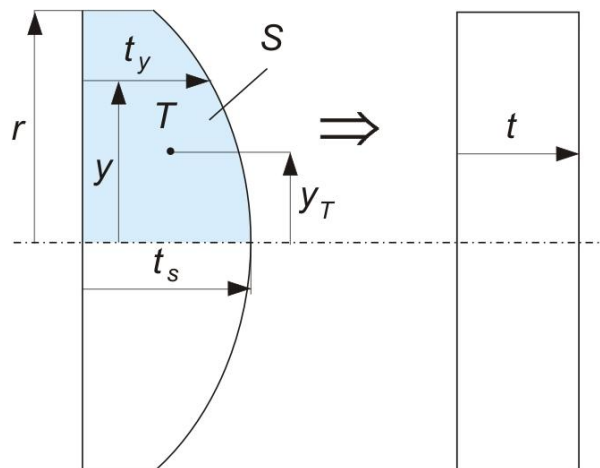
hodnot a konstrukcí jasně ukazuje na značné rozdíly. Na obrázku 3.16 je znázorněn průběh axiální tloušťky kontaktní čočky -10D a +25D. Jsou-li čočky vyrobeny z materiálu o stejné hodnotě Dk a vypočteme-li průměrnou (harmonickou) tloušťku pak čočka +25D má hodnotu Dk/t v optické zóně jen 26% hodnoty kontaktní čočky -10D. Vypočteme-li průměrnou hodnotu pro celou čočku je u čočky +25D transmisibilita 55% transmisibility kontaktní čočky -10D. [1]



3.16 Příklad průběhu axiální tloušťky u kontaktní čočky -10D a +25D [1]

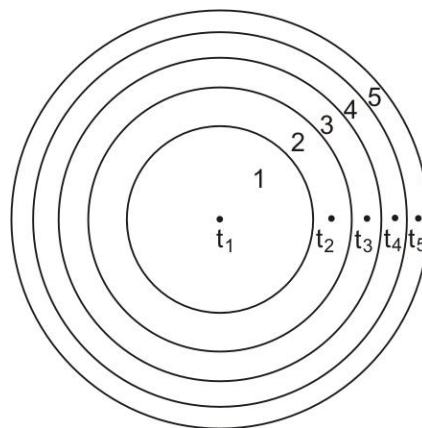
Přesnou průměrnou tloušťku t kontaktní čočky vypočteme z průběhu t_y axiální tloušťky (viz obr. 3.17) i například s využitím Guldinovy věty. Nejdříve určíme souřadnici y_T těžiště plochy S , která svou rotací vytváří rotační těleso (vybarveno). Tloušťku pak vypočteme ze vztahu

$$t = \frac{2\pi y_T S}{\pi r^2} = \frac{2 y_T S}{r^2} \quad (3.5)$$



3.17 K výpočtu průměrné tloušťky rotačního tělesa

V kontaktologii se často počítá průměrná harmonická tloušťka kontaktní čočky tak, že se kontaktní čočka rozdělí na zóny stejné plochy, v každé této zóně se vezme tloušťka a z nich se vypočítá aritmetický průměr. Přesnost výpočtu závisí na počtu zón. Čím větší počet zón zvolíme, tím více se přiblížíme přesnému výsledku.



3.18. Výpočet harmonického průměru tloušťky kontaktní čočky (5 měřicích bodů)

3.2.3. Přísun kyslíku k rohovce (oxygen flux)

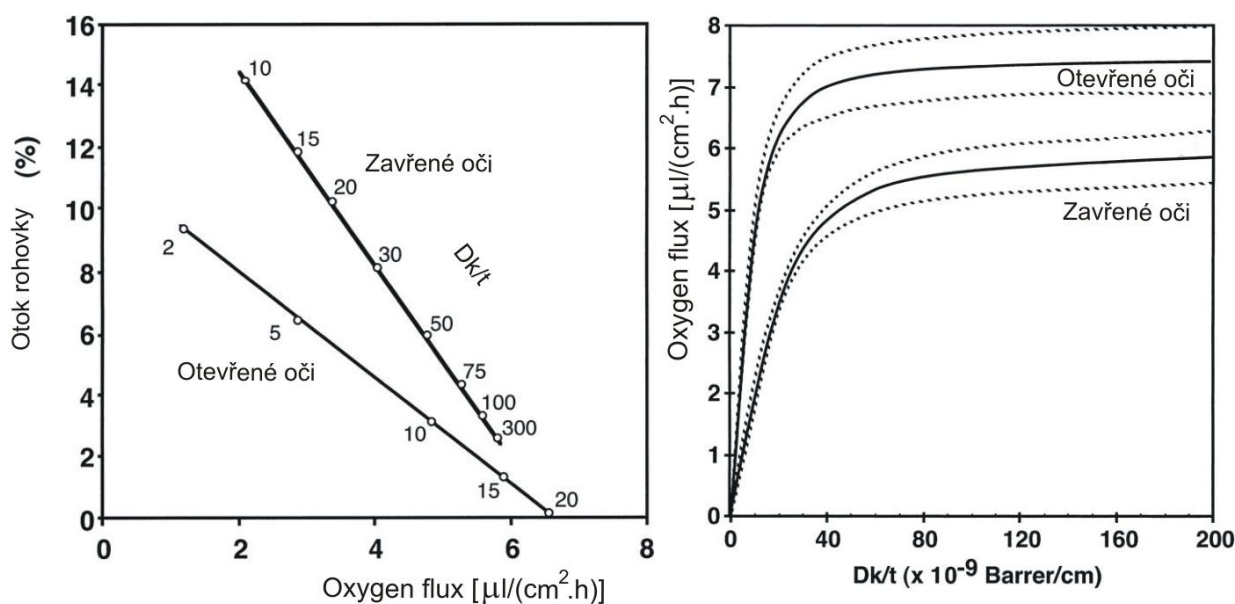
V poslední době se stále častěji používá nový parametr pro hodnocení propustnosti kontaktní čočky pro kyslík, a to tok kyslíku k rohovce. Tento termín se často nepřekládá a používá se anglický termín oxygen flux. Tak jako permeabilita popisuje vlastnost materiálu kontaktní čočky a transmisibilita vlastnost kontaktní čočky, oxygen flux popisuje množství kyslíku, které se dostává k jednotkovému povrchu rohovky za jednotku času.

Hodnota oxygen flux j plyne přímo z 1. Fickova zákona

$$j = \frac{Dk}{t}(p_1 - p_2), \quad (3.6)$$

kde p_1 je parciální tlak kyslíku před kontaktní čočkou a p_2 je parciální tlak kyslíku za kontaktní čočkou. Dosadíme-li Dk/t v Barrerech $\cdot \text{cm}^{-1}$ a tlak před a za čočkou v mm Hg, dostaneme oxygen flux v $\text{ml O}_2 / (\text{cm}^2 \text{ sec})$. Udává se též v $\mu\text{l O}_2 / \text{cm}^2 \text{ h}$.

Na obrázcích 3.18 vidíme závislost oxygen flux na hodnotách Dk/t a závislost otoku rohovky na hodnotách oxygen flux a to jak při zavřených, tak i při otevřených očích. [31]



3.18 Hodnoty oxygen flux a vliv těchto hodnot na otok rohovky [31]

4. Biokompatibilita materiálů kontaktních čoček

Kontaktní čočka jako zdravotnický prostředek (třídy 2b, kontaktní čočky určené pro kontinuální nošení jsou třídy 2a) musí u nás splňovat podmínky dané Směrnicí o zdravotnických prostředcích 93/42EEC. Zkouška biokompatibility se provádí dle ČSN EN ISO 9394 [34].

Biokompatibilitu můžeme definovat jako snášenlivost materiálů v biologickém prostředí. Biokompatibilní materiál se posuzuje podle interakce s prostředím, zejména podle cytotoxického působení, podle toxikologických a alergických reakcí, podle karcinogenních, teratogenních či mutagenních reakcí, podle vlivu na infekční procesy, podle rozsahu a kvality biodegradace. Důležité je, aby materiál neovlivňoval např. koagulace, nevyvolával zánětlivou reakci, neuvolňoval potenciálně toxické látky [32].

Materiál kontaktní čočky musí být i biostabilní, přičemž biostabilita je vlastnost syntetického materiálu spočívající v zachování původních vlastností i po zavedení do organismu. Biostabilní materiály musí být odolné při působení tkáně.

Biokompatibilitu u kontaktní čočky však můžeme vnímat i komplexněji, a to i s ohledem na to, nakolik vnímá tkáň oka kontaktní čočku jako cizí těleso. Především nakolik reaguje na její přítomnost epitel rohovky. Tato reakce je spojena se snížením komfortu nošení tím, že způsobuje změnu osmolality kontaktní čočky [25]. Proto například výrobce zvlhčovacích kapek hovoří u svého prostředku OPTIVE o osmoprotekci epitelových buněk rohovky. pomocí lubrikantů carboxylmetyl celulosy, glycerinu a carnitinu.

4.1. Zkoušky biokompatibility materiálů kontaktních čoček dle ČSN EN ISO 9394

K testování materiálů kontaktních čoček se využívá testování na oku králíčím, které svými vlastnostmi se ze všech zvířat nejvíce blíží oku lidskému. V samotné normě se však hovoří o tom, že tato zkouška se pokládá za nešťastnou a považuje se za užitečnou jen pro zkoušení nových materiálů.

Odpůrci testování na zvířatech argumentují i tím, že králíci produkují méně slz jako člověk a nemají mrkací reflex. Je otázkou, zda tato zkouška nebude od roku 2013 zrušena nebo upravena, protože se připravuje od tohoto roku zákaz (nebo aspoň omezení) zkoušek na zvířatech pro kosmetický průmysl.

Test se dle této normy provádí na bílých králících z Nového Zélandu (*Oryctolagus cuniculus*), kteří mají odpovídající zdravotní stav a fyzickou konstituci. Kontaktní čočky se musí správně čistit, dezinfikovat, skladovat a oplachovat podle doporučení výrobce. Kontaktní čočka se zkouší na 3 až 6 králících. Aplikuje se u každého králíka do jednoho oka, druhé oko slouží jako srovnávací. Kontaktní čočka se nosí 22 dnů, každý den se po 7 až 8 hodinách z oka odstraní. Vizually se obě oči kontrolují denně před vyjmutím čočky z oka. Provede se hodnocení předepsaným způsobem (podle tzv. Draizeho stupnice) [34]. Kontroluje se překrvení spojivky, její otok a výtok z oční spojivky, duhovka, zákal rohovky a další.

8., 15., a 22. den se obě oči po vyjmutí čočky z oka zkontrolují pomocí šterbinové lampy a fluoresceinu. Stav očí se zaznamenává předepsaným způsobem (systémem McDonald Shadduck [34]). Opět se provádí kontrola průhlednosti rohovky, kontrola duhovky a kontrola cév a otoku oční spojivky.

Záznam o provedené zkoušce biokompatibility dle normy je v tabulce 4.1.

Toxikon Corporation
 Primary Ocular Irritation - ISO
 Project Number: 00-4585-G3

TABLE II-A (ANIMAL #: 01278)
 OCULAR LESION SCORES AND FLUORESCEIN EXAMINATION:
 NaCl Extract

Test Article: Benz-G 5XHBUV

Lot/Batch #: 736080G5XHBUV

CORNEA						
OPACITY	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
AREA INVOLVED	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
SUBTOTAL SCORE (Opacity x Area Involved x 5)	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
IRIS						
VALUES	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
SUBTOTAL SCORE - (Values x 5)	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
CONJUNCTIVA						
REDNESS	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
CHEMOSIS	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
DISCHARGE	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
SUBTOTAL SCORE ((Redness + Chemosis + Discharge) x 2)	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
TOTAL SCORE FOR TEST	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
FLUORESCEIN EXAM						
INTENSITY OF STAINING	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
AREA INVOLVED	L/R	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0

Test Eye = Left
 Control Eye = Right (untreated)

L/R: Left eye score/ Right eye score

Tab. 4.1. Protokol o zkoušce biokompatibility u materiálu Benz-G 5X (pro čočku Ultrawave firmy Ultravision)

22. den po vyjmutí kontaktní čočky z oka a po provedení kompletní klinické zkoušky se králíci zabijí a provede se předepsaným způsobem histologická zkouška rohovky, duhovky a nitrooční čočky.

4.2. Biomimetické materiály kontaktních čoček

Výrobci kontaktních čoček se snaží vyrobit kontaktní čočky z materiálu, na který lidské oko co nejméně reaguje jako na cizí těleso. Využívají co nejvíce poznatků z biomimetiky, kterou můžeme definovat jako obor, který se zabývá napodobováním přírodních materiálů a struktur. Vychází z bioniky, tj. ze zkoumání principů živé přírody, a tyto poznatky využívá při řešení technických problémů. Biomimetika vznikla teprve v osmdesátých letech 20. století.

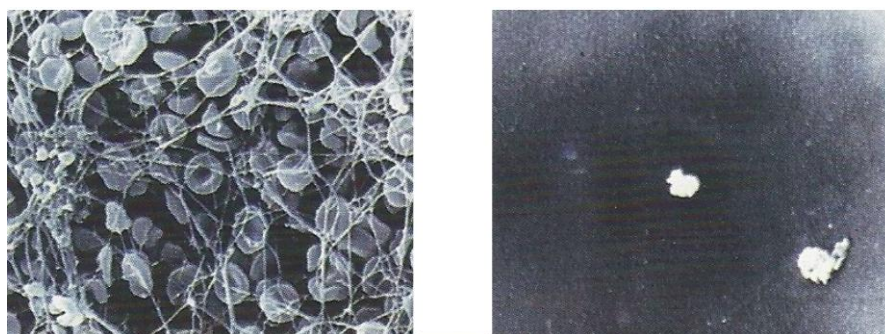
Nejpokročilejší biomimetický materiál pro výrobu kontaktních čoček vyrobila firma Compatibles s využitím PC technologie. Kontaktní čočky vyrobené z tohoto materiálu dostaly název Proclear a nyní je vyrábí firma Cooper Vision.

Druhým materiálem, který nese znaky biomimetického materiálu jsou G-materiály na bázi glycerol methacrylatu, které se vyznačují extrémně vysokou stabilitou obsahu vody. Materiály vyrábí firma Benz Research and Development. Tento materiál je použit například u čočky Ultrawave od firmy Ultravision.

Za biomimetické složky můžeme považovat i hyaluronovou kyselinu a hyaluronát sodný, které se přidávají do roztoků pro péči o kontaktní čočky a do zvlčovací kapek (roztoky Laim-Care a Biotrue Hylo-Gel, Hylo-Care, Hylo-Lasop, Hylo-Comod, Hyal-Drop a další). Tyto složky se vyskytují v oku i jiných tkáních těla.

4.2.1. PC technologie

Phosphorylcholin (PC) je polymer, který je součástí buněčných membrán lidského organismu, který jako syntetickou látku používá firma Biocompatibles při výrobě například koronárních stentů. Na obrázku 4.1. je fotografie pořízená elektronovým mikroskopem a ukazuje rozdíl u materiálu PVC, který byl vystaven působení krve. Na levém obrázku je materiál PVC, který nebyl upraven a na pravém obrázku je materiál potažený vrstvou PC. Na levém obrázku vidíme usazení krevních destiček.



Obr. 4.1. Usazení krevních destiček na PVC. Vlevo nebyl materiál upraven, vpravo byl potažen vrstvou PC. Snímek je z elektronového mikroskopu [33].

V případě materiálů pro všechny typy kontaktních čoček Proclear je phosphorylcholin začleněn přímo do matrice materiálu. Výsledkem je biokompatibilní čočka, která je především odolnější proti usazování bílkovinných depozit. Dehydratace vody je taktéž velmi nízká a je kolem 1% a

s časem se téměř nemění. U některých hydrogelových čoček dosahuje dehydratace ke konci dne až 10%. Čočky Proclear jsou ideálním řešením při potížích při syndromu suchého oka.

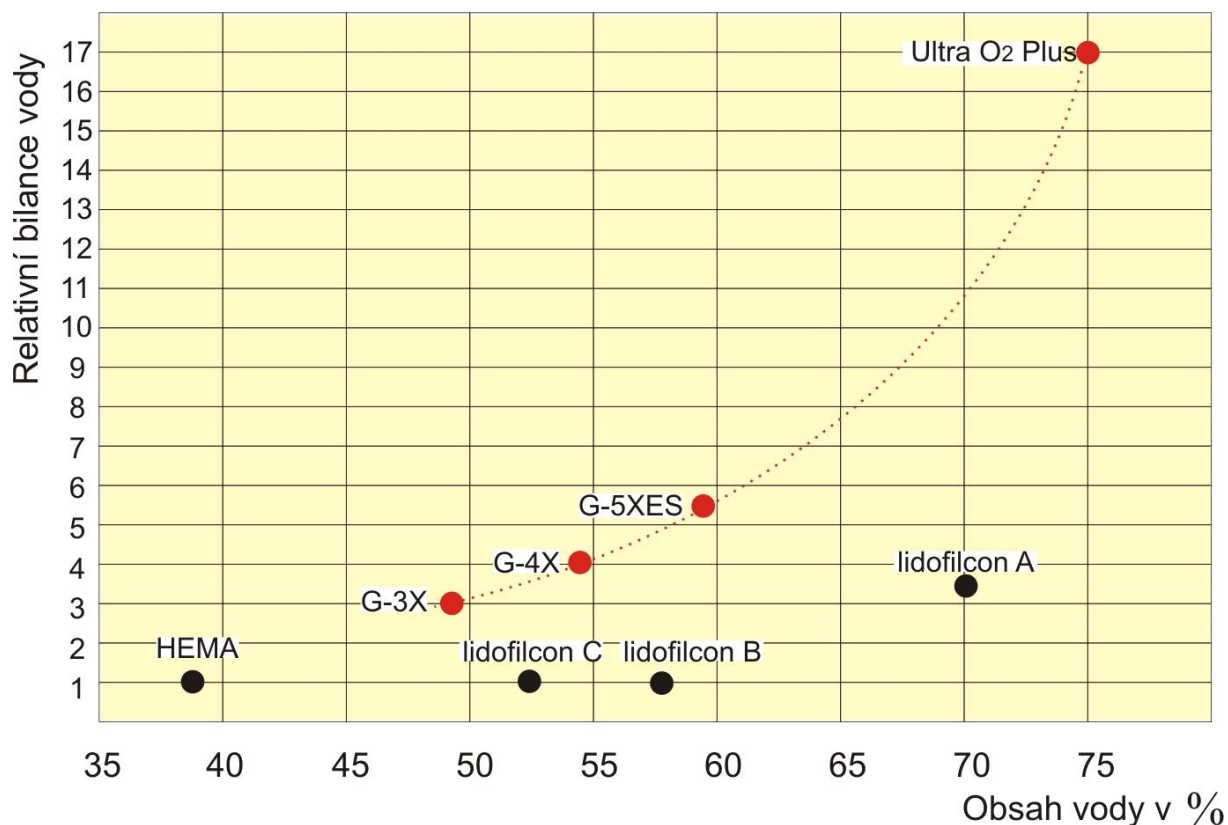
Jako u všech čoček z biokompatibilních materiálů, dochází i u čoček Proclear k tomu, že jsou křehčí a vyžadují jemné zacházení při nasazování a vyndávání. Na uvedenou skutečnost musí být každý nositel upozorněn.

4.2.2. Stabilita obsahu vody u kontaktních čoček firmy Benz Research and Development

Firma Benz R&D zavedla nový pojem, a to bilance vody (Water Balance). Tento termín, definuje poměrem času potřebného k 10% dehydrataci čočky k času, který potřebuje tatáž čočka k zpětné 10% hydrataci. Je zřejmé, že čím je toto číslo vyšší, tím čočka lépe udržuje ve své matici vodu a tím je vhodnější z hlediska komfortu nošení, tím méně pociťuje oko čočku jako cizí těleso, tím ji můžeme považovat za více biokompatibilní.

Čočky z materiálů od firmy Benz R&D ztrácejí při nošení na oku méně než 1% vody, zatímco běžné čočky až kolem 10%. Tuto vlastnost způsobuje přítomnost látky zvané glycerol metakrylát (GMA) v materiálu čočky.

Často se vodní bilance převádí na relativní bilanci vody podělením vodní bilance čočky vyrobené z čistého HEMA polymeru. Tímto způsobem můžeme lépe jednotlivé čočky srovnávat. Toto srovnání je na obr. 4.2.



Obr. 4.2. Srovnání relativní bilance vody materiálů Benz s jinými materiály kontaktních čoček [35]

4.3. Stabilita optických a geometrických parametrů čočky v důsledku dehydratace

a) Srovnání čoček s obsahem vody 70 % a různou procentovou ztrátou vody (10 % vs. 1 %)

Srovnáme optickou a geometrickou stabilitu u dvou čoček $A' = -5,00$ [D], které mají 70 % vody (při plné hydrataci) a první z nich ztratí 10 % obsahu vody, druhá jen 1 % (materiály Benz).

Pro srovnání uvažujme indexy lomu u obou čoček stejné ($n_h = 1,35$ pro plně hydratovanou čočku, $n_s = 1,5$ pro suchou čočku)

Geometrické parametry obou čoček při plné hydrataci:

$$A' = -5,00 \text{ [D]}.$$

$$\text{Poloměr zadní optické zóny: } r_2 = 8,7 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Středová tloušťka: } t_c = 0,13 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Optická mohutnost } D_1 = \frac{n-1}{r_1}, \quad D_2 = \frac{1-n}{r_2} = \frac{1-1,35}{0,0087} = -40,230 \text{ [D]}$$

$$\text{a vrcholová lámavost } A' = \frac{D_1 + D_2 - D_1 \times D_2 \times \frac{t_c}{n}}{1 - D_1 \times \frac{t_c}{n}}.$$

$$\text{A z toho poloměr přední optické zóny } r_1 = 9,97 \text{ [mm]}.$$

Uvažujme součinitel lineární (radiální) expanze $k = 1,6$ (u obou čoček stejný).

Geometrické a optické parametry první čočky s dehydratací 10 % původního obsahu:

$$\text{Poloměr zadní optické zóny: } r_{21} = 8,7 \times \left(\frac{63}{70} - \frac{63}{70 \times 1,6} + \frac{1}{1,6} \right) = 8,37 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Poloměr přední optické zóny: } r_{11} = 9,97 \times \left(\frac{63}{70} - \frac{63}{70 \times 1,6} + \frac{1}{1,6} \right) = 9,60 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Středová tloušťka: } t_{c1} = 0,13 \times \left(\frac{63}{70} - \frac{63}{70 \times 1,6} + \frac{1}{1,6} \right) = 0,125 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Index lomu: } n_1 = 1,35 + \frac{7 \times 0,15}{70} = 1,365.$$

(Index lomu s poklesem obsahu vody u hydrogelů lineárně roste. Neplatí to však pro silikon-hydrogelové čočky.)

$$\text{Z toho dostaneme pro 1. čočku zadní vrcholovou lámavost } A'_1 = -5,45 \text{ [D]}.$$

Geometrické a optické parametry druhé čočky s dehydratací 1 %:

$$\text{Poloměr zadní optické zóny: } r_{22} = 8,7 \times \left(\frac{69,3}{70} - \frac{69,3}{70 \times 1,6} + \frac{1}{1,6} \right) = 8,67 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Poloměr přední optické zóny: } r_{12} = 9,97 \times \left(\frac{69,3}{70} - \frac{69,3}{70 \times 1,6} + \frac{1}{1,6} \right) = 9,93 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Středová tloušťka: } t_{c2} = 0,13 \times \left(\frac{69,3}{70} - \frac{69,3}{70 \times 1,6} + \frac{1}{1,6} \right) = 0,1295 \text{ [mm]}.$$

$$\text{Index lomu: } n_2 = 1,35 + \frac{0,7 \times 0,15}{70} = 1,3515.$$

Z toho dostaneme pro druhou čočku zadní vrcholovou lámavost $A'_2 = -5,02$ [D].

Z uvedených výsledků příkladu vyplývá, že 10% ztráta vody má nezanedbatelný vliv na

- komfort nošení;
- na kvalitu aplikace (poloměr 8,7 mm se sníží na 8,37);
- na změnu vrcholové lámavosti kontaktní čočky.

Vodní bilance materiálů firmy Benz R&D odstraňuje všechny tyto nevýhody a především díky zvýšenému komfortu nošení je oprávněně řadíme mezi biokompatibilní materiály což se projevuje především u těch nositelů kontaktních čoček, kteří mají problémy se syndromem suchého oka.

b) Srovnání čoček s obsahem vody 70 % a 40 % a stejnou procentovou ztrátou vody (10 %)

Srovnáme optickou a geometrickou stabilitu u dvou čoček $A' = -5,00$ [D], z nichž jedna má 70 % vody (při plné hydrataci) a druhá 40 % vody a obě ztratí 10 % obsahu vody.

Geometrické parametry čočky se 70 % při plné hydrataci (viz předcházející příklad):

$$A' = -5,00 \text{ [D]},$$

$$n_h = 1,35,$$

$$n_s = 1,5.$$

Poloměr zadní optické zóny: $r_2 = 8,7$ [mm].

Poloměr přední optické zóny $r_1 = 9,97$ [mm].

Středová tloušťka: $t_c = 0,13$ [mm].

Součinitel lineární (radiální) expanze $k = 1,6$.

Geometrické parametry čočky se 40 % při plné hydrataci:

$$A' = -5,00 \text{ [D]},$$

$$n_h = 1,43,$$

$$n_s = 1,5.$$

Poloměr zadní optické zóny: $r_2 = 8,7$ [mm].

Středová tloušťka: $t_c = 0,13$ [mm].

Součinitel lineární (radiální) expanze v tomto případě $k = 1,21$.

Poloměr přední optické zóny určíme stejným postupem jako v předešlém příkladě.

$$r_1 = 9,71826 \text{ [mm]}.$$

Geometrické a optické parametry čočky se 70 % vody s dehydratací 10 %:

Poloměr zadní optické zóny: $r_{21} = 8,37$ [mm].

Poloměr přední optické zóny: $r_{11} = 9,60$ [mm].

Středová tloušťka: $t_{c1} = 0,125$ [mm].

Index lomu: $n_1 = 1,365$.

$A'_1 = -5,45$ [D].

Geometrické a optické parametry čočky se 40 % vody s 10 % dehydratací:

Poloměr zadní optické zóny: $r_{22} = 8,7 \times \left(\frac{36}{40} - \frac{36}{40 \times 1,21} + \frac{1}{1,21} \right) = 8,549$ [mm].

Poloměr přední optické zóny: $r_{12} = 9,72 \times \left(\frac{36}{40} - \frac{36}{40 \times 1,21} + \frac{1}{1,21} \right) = 9,5513$ [mm].

Středová tloušťka: $t_{c2} = 0,13 \times \left(\frac{36}{40} - \frac{36}{40 \times 1,21} + \frac{1}{1,21} \right) = 0,128$ [mm].

Index lomu: $n_2 = 1,43 + \frac{4 \times (n_s - n_h)}{40} = 1,437$.

Z toho vrcholová lámavost $A'_2 = -5,18$ [D].

Z druhého příkladu vyplývá, že při stejné procentuální ztrátě vody je vyšší optická i geometrická stabilita u čočky s nižším obsahem vody.

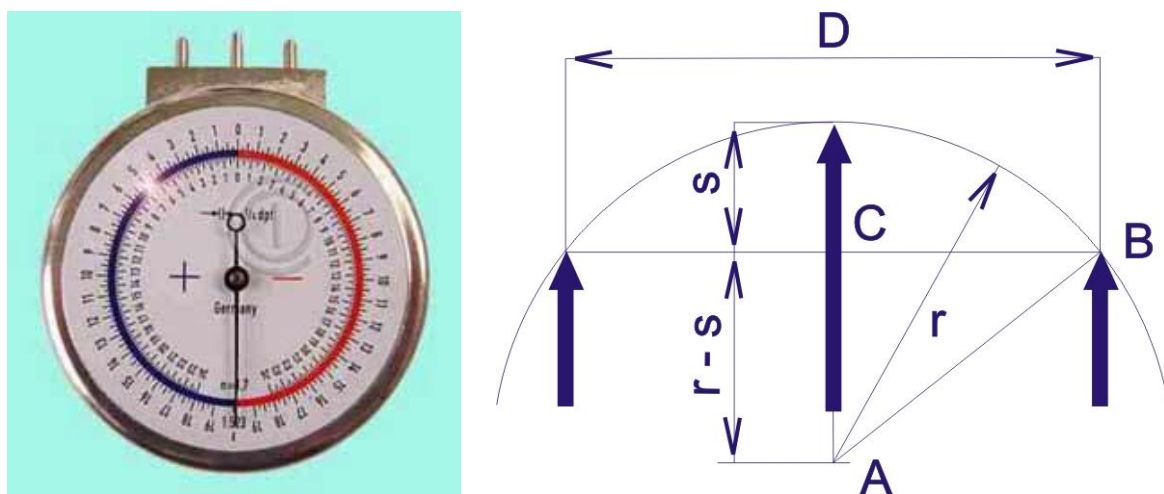
5. Rozměrové parametry kontaktní čočky, jejich měření a tolerance

Z rozměrových parametrů kontaktní čočky jsou nejdůležitější poloměr křivosti zadní a přední optické zóny, průměr a její tloušťka. Oba poloměry křivosti a tloušťka čočky mají vliv na vrcholovou lámavost, Poloměr křivosti zadní optické zóny a průměr čočky mají vliv na strmost aplikace. S průměrem kontaktní čočky roste její sagitální hloubka a tím roste strmost aplikace.

Pochopitelně na aplikaci má vliv i celý design kontaktní čočky, především poloměry křivosti periferie kontaktní čočky, dále již diskutovaný povrch kontaktní čočky a řešení okraje čočky.

5.1. Měření poloměru křivosti

Poloměr křivosti můžeme měřit sférometrem. Jeho schéma vidíme na obr. 5.1.



Obr. 5.1. Mechanický sférometr a jeho schéma

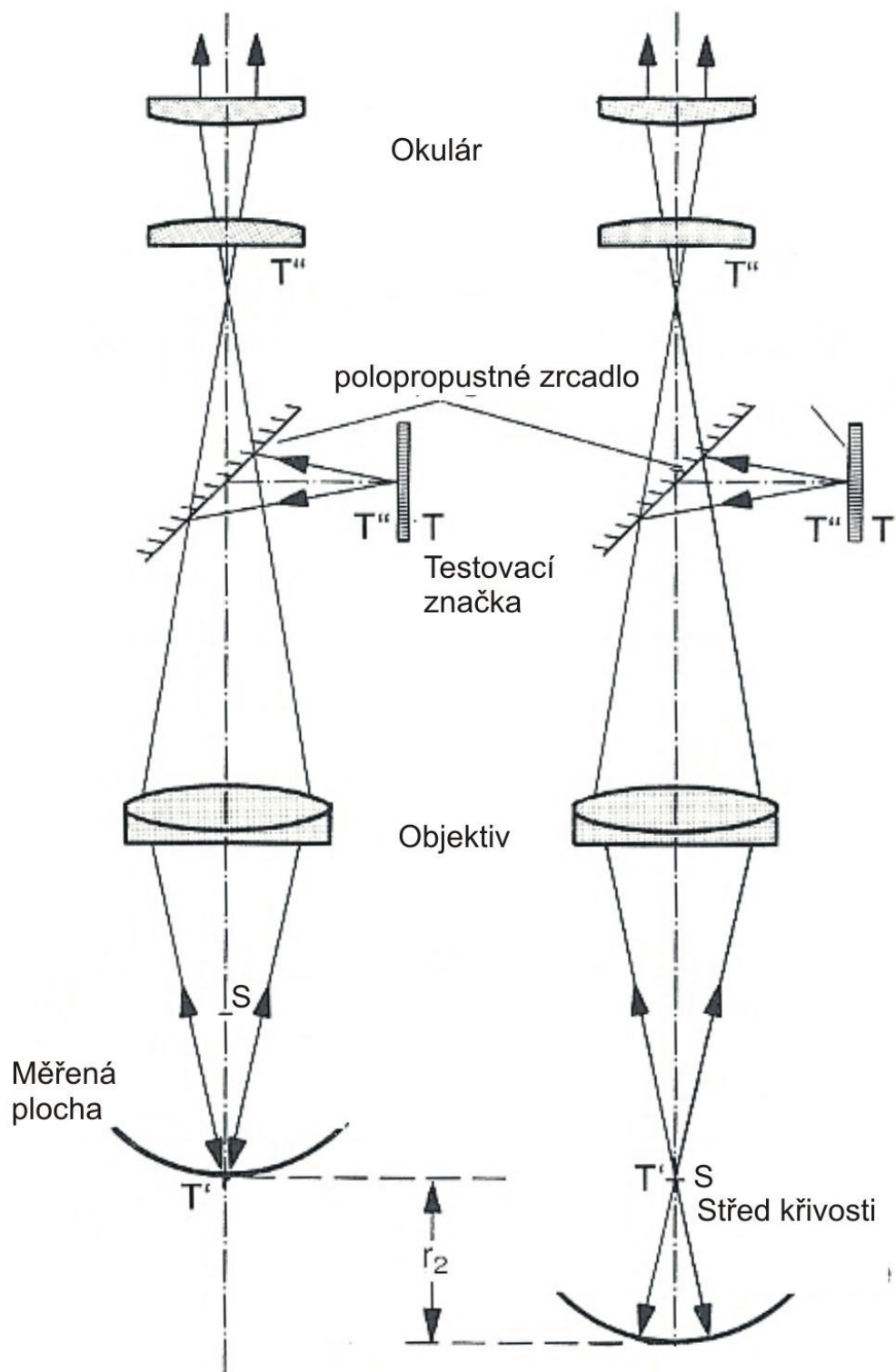
Z pravoúhlého trojúhelníku ABC

$$(r - s)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 = r^2 \quad (5.1)$$

dostáváme poloměr křivosti měřeného povrchu

$$r = \frac{D^2 + 4s^2}{8s} \quad (5.2)$$

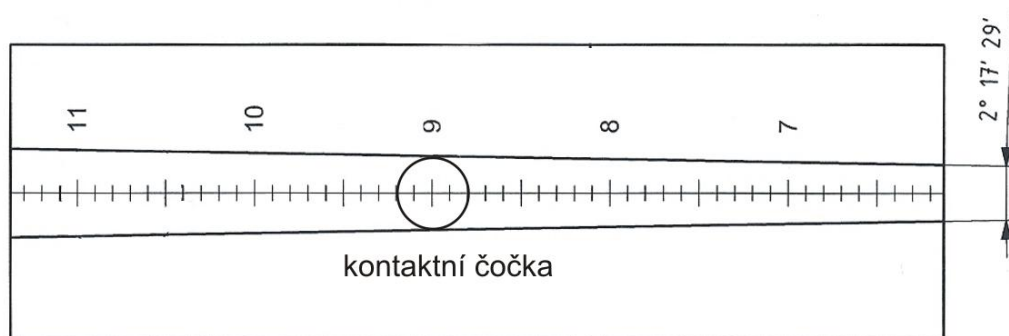
Dle normy ČSN EN ISO 18369-3 se provádí měření poloměru křivosti kontaktní čočky mikrosférometrem, který je znázorněn na obr. 5.2. Testovací značka T se promítá přes polopropustné zrcadlo objektivem a vytváří se obraz T' . Jestliže ohnisko mikroskopu se shoduje s povrchem čočky, světlo se odráží zpátky a bod T'' souhlasí s bodem T' a v okuláru pozorujeme ostře testovací značku (viz obr. 5.2. vlevo). Měřený povrch kontaktní čočky vzdálíme tak, aby se ohnisko mikroskopu se shodovalo se středem křivosti měřené plochy (viz obr. 5.2. vpravo). Uvidíme opět ostře testovací značku. Posunutí plochy odpovídá měřenému poloměru křivosti plochy.



Obr. 5.2. Měření poloměru zakřivení kontaktní čočky optickým mikrosférometrem [28]

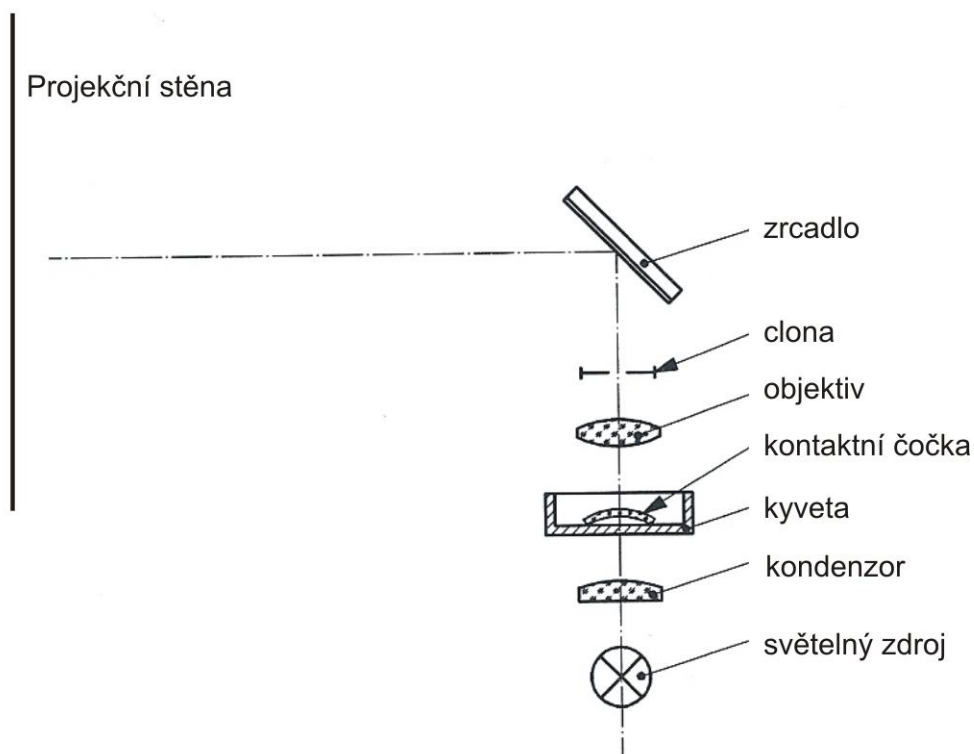
5.2. Měření průměru kontaktní čočky

Průměr tvrdé kontaktní čočky můžeme měřit v klínové drážce s vrcholovým úhlem klínu $2^{\circ}17'29''$ (viz obr. 5.3) [28].



Obr. 5.3. Měření průměru tvrdé kontaktní čočky pomocí klínové drážky [28]

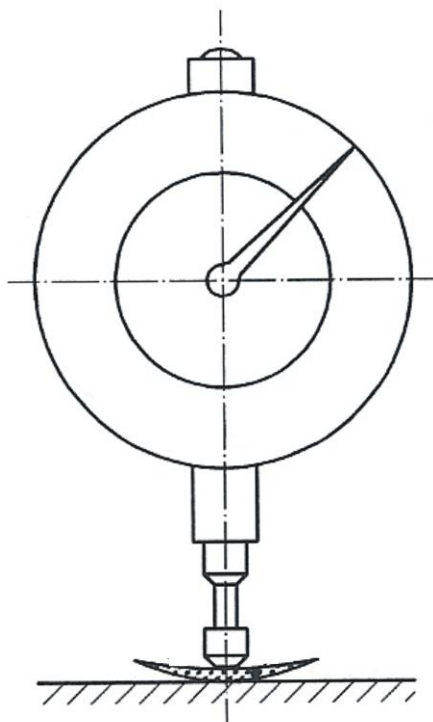
Průměr měkké kontaktní čočky měříme projekcí [28] s lineárním zvětšením minimálně 15 krát a s přesností 0,05 mm. Schéma takového měření vidíme na obr. 5.4.



Obr. 5.4. Měření průměru kontaktní čočky projekčním způsobem [28]

5.3. Měření tloušťky kontaktní čočky

Norma ČSN EN ISO 18369-3 předepisuje měření tloušťky kontaktní čočky indikátorovým dotykovým měřidlem, které je znázorněno na obr. 5.5. Dotyková síla u tvrdých kontaktních čoček nesmí převyšovat 1,4 N, u měkkých kontaktních čoček 0,015 N.



Obr. 5.5. Měření průměru tloušťky kontaktní čočky [28]

5.4. Tolerance rozměrových a optických parametrů

Tolerance jsou dány normou ČSN EN ISO 18369-2 [43]. Přehled nejdůležitějších rozměrových i optických parametrů měkkých kontaktních čoček je v tabulce 5.1., tolerance RGP kontaktních čoček v tabulce 5.2.

Parametr	Tolerance
Poloměr křivosti zadní optické zóny	$\pm 0,20$ mm
Průměr kontaktní čočky	$\pm 0,05$ mm
Průměr optické zóny	$\pm 0,20$ mm
Středová tloušťka $t_c \leq 0,1$ mm $> 0,1$ mm	$\pm [0,010\text{mm} + 0,1 t_c]$ $\pm [0,015\text{mm} + 0,05 t_c]$
Zadní vrcholová lámavost $ A' \leq 10$ D $10 \text{ D} < A' \leq 20$ D $ A' > 20$ D	$\pm 0,25$ D $\pm 0,50$ D $\pm 1,00$ D
Cylindr $\text{cyl} \leq 2$ D $2 \text{ D} < \text{cyl} \leq 4$ D $\text{cyl} > 4$ D	$\pm 0,25$ D $\pm 0,37$ D $\pm 0,50$ D
Osa cylindru	$\pm 5^\circ$

Tab. 5.1. Tolerance měkkých kontaktních čoček

Parametr	Tolerance
Poloměr křivosti zadní optické zóny	$\pm 0,05$ mm
Průměr kontaktní čočky	$\pm 0,10$ mm
Průměr přední i zadní optické zóny	$\pm 0,20$ mm
Středová tloušťka	$\pm 0,20$ mm
Přední i zadní periferní poloměry křivosti	$\pm 0,10$ mm
Průměry periferních zón	$\pm 0,10$ mm
Zadní vrcholová lámavost $ A' \leq 5$ D	$\pm 0,12$ D
5 D $< A' \leq 10$ D	$\pm 0,18$ D
10 D $< A' \leq 15$ D	$\pm 0,25$ D
15 D $< A' \leq 20$ D	$\pm 0,37$ D
$ A' > 20$ D	$\pm 0,50$ D
Cylindr $\text{cyl} \leq 2$ D	$\pm 0,25$ D
2 D $< \text{cyl} \leq 4$ D	$\pm 0,37$ D
$\text{cyl} > 4$ D	$\pm 0,50$ D
Osa cylindru	$\pm 5^{\circ}$

Tab. 5.2. Tolerance RGP kontaktních čoček

6. Optické vlastnosti kontaktních čoček

6.1. Spektrální propustnost a světelná propustnost kontaktní čočky

Měření obou optických veličin je dán normou ČSN EN ISO 18369-3 (viz obr. 6.1.) [28].

Spektrální propustnost $\tau(\lambda)$ je definována jako poměr spektrálního zářivého toku prošlého kontaktní čočkou $\phi_{e\lambda\text{vyst}}(\lambda)$ k spektrálnímu zářivému toku dopadající na kontaktní čočku $\phi_{e\lambda\text{vst}}(\lambda)$

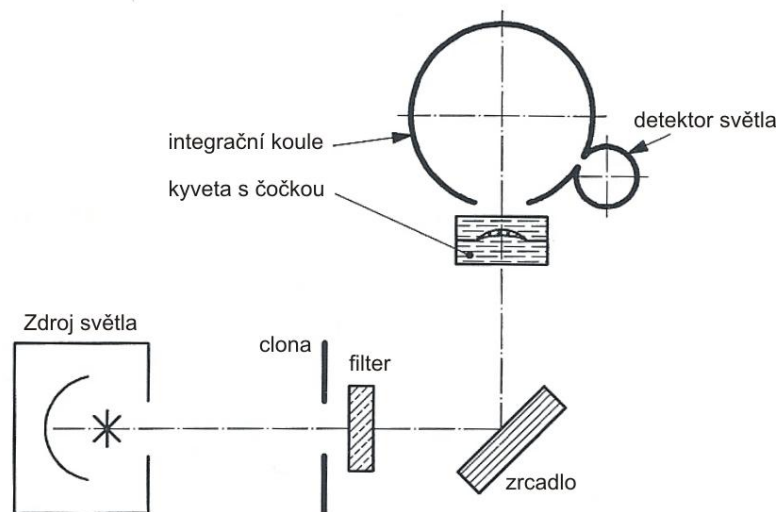
$$\tau(\lambda) = \frac{\phi_{e\lambda\text{vyst}}(\lambda)}{\phi_{e\lambda\text{vst}}(\lambda)} .$$

Světelná propustnost kontaktní čočky τ_v je definována jako poměr světelného toku prošlého kontaktní čočkou $\phi_{v\text{vyst}}$ k světelnému toku dopadající na kontaktní čočku $\phi_{v\text{vst}}$

$$\tau_v = \frac{\phi_{v\text{vyst}}}{\phi_{v\text{vst}}} .$$

Světelný tok je zářivý tok vážený spektrálně pomocí funkce spektrální citlivosti oka $V(\lambda)$. Prakticky světelnou propustnost kontaktní čočky vypočteme sumací (asi po 10 nm) od nejkratší vlnové délky po nejdelší, kterou lidské oko vnímá, tedy

$$\tau_v = \frac{\sum_{380nm}^{780nm} \phi_{e\lambda}(\lambda) \times \tau(\lambda) \times V(\lambda) \times \Delta\lambda}{\sum_{380nm}^{780nm} \phi_{e\lambda}(\lambda) \times V(\lambda) \times \Delta\lambda} .$$



Obr. 6.1. Schéma zařízení na měření světelné propustnosti dle ČSN EN ISO 18369-3 [28]

Spektrální propustnost určíme měřením zářivého toku s čočkou v kyvetě a v kyvetě bez čočky. Pokud měříme s čočkou na vzduchu, přepočítáme spektrální propustnost na propustnost měřenou ve fyziologickém roztoku dle normy ČSN EN ISO 18369-3 podle vzorce:

$$\tau_v = \left[\frac{n_{fyz} (1 + n_{\check{c}})^2}{(n_{fyz} + n_{\check{c}})^2} \right]^2 \times \tau_{v\,vzd} ,$$

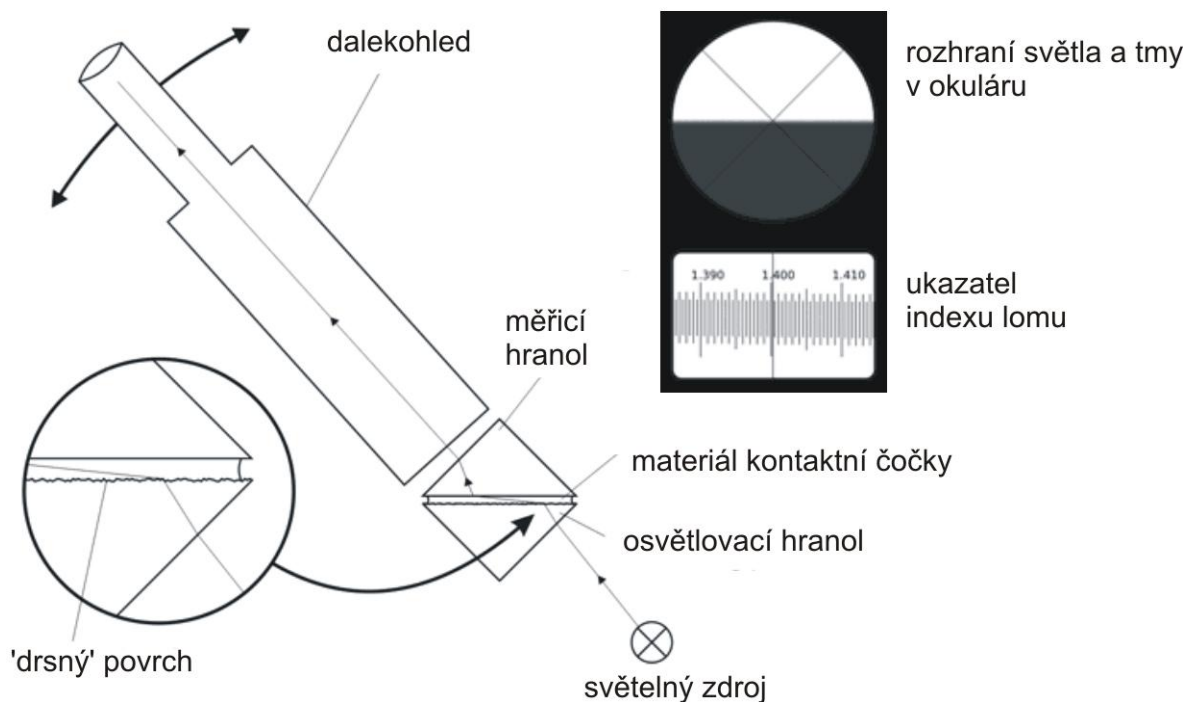
kde $\tau_v, \tau_{v\,vzd}$ jsou propustnosti ve fyziologickém roztoku a na vzduchu,

$n_{\check{c}}, n_{fyz}$ jsou indexy lomu čočky a fyziologického roztoku.

6.2. Index lomu materiálu kontaktní čočky [39]

Měření indexu lomu popisuje ČSN EN ISO 18369-4, která se zabývá fyzikálně chemickými vlastnostmi materiálu kontaktních čoček. K měření indexu lomu se používá Abbeho refraktometr, který vidíme na obr. 6.2.

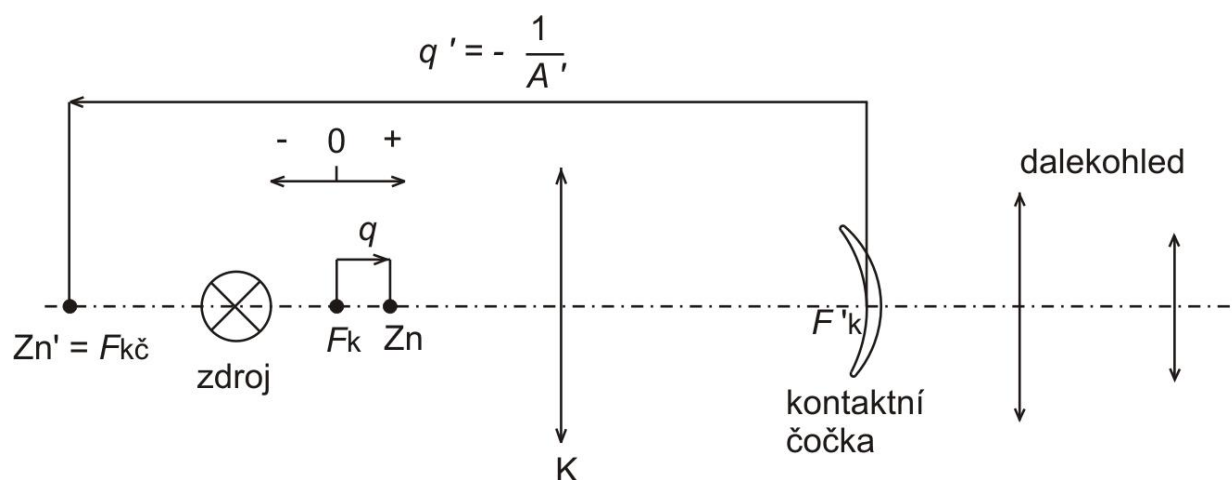
Princip měření je zjišťování mezního úhlu lomu světla (v našem případě pro vlnovou délku $\lambda = 589,3$ nm, tj. pro D čáru Na), jenž je dán polohou rozhraní mezi osvětlenou a temnou částí zorného pole, odečítanou na stupnici přístroje. Měřicí hranol je z materiálu o vyšším indexu lomu než je index lomu materiálu kontaktní čočky. Mezi materiálem kontaktní čočky a měřicím hranolem je nutná kontaktní kapalina, která má index lomu větší než materiál kontaktní čočky. U hydrogelové kontaktní čočky není kontaktní kapalina nutná, pokud však není dostatečný tlak mezi materiálem kontaktní čočky a měřicím hranolem objeví se nám slabá čára odpovídající indexu lomu 1,336 fyziologického roztoku.



6.2. Schéma měření indexu lomu kontaktní čočky [39]

6.3 Vrcholová lámavost kontaktní čočky

Vrcholovou lámavost zařadíme do optických vlastností kontaktních čoček. Měření tohoto parametru je dáno ČSN EN ISO 18369-3. Měření tvrdých kontaktních čoček můžeme provádět na vzduchu pomocí fokometru. Používáme k tomu speciální držák na kontaktní čočky.



Obr. 6.3. Schéma měření zadní vrcholové lámavosti kontaktní čočky pomocí fokometru [42]

Na obr. 6.3. vidíme schéma fokometru. Skládá se z kolimátoru a dalekohledu [42]. Měřená kontaktní čočka se opírá svou konkávní stranou o tubus kolimátoru a bod dotyku splývá s obrazovým ohniskem kolimátoru. q je vzdálenost testovací značky Zn od předmětového ohniska kolimátoru F_k , q' vzdálenost obrazu testovací značky Zn' od jeho obrazového ohniska F'_k . Podle Newtonovy zobrazovací rovnice platí

$$q q' = -f'^2, \quad (6.1)$$

kde f' je ohnisková vzdálenost objektivu kolimátoru. Zřetelně uvidíme testovací značku pouze tehdy, jestliže její obraz Zn' vytvořený objektivem kolimátoru bude ležet v předmětovém ohnisku kontaktní čočky, tj platí-li

$$q' = -\frac{1}{A'}. \quad (6.2)$$

Dosadíme-li zpětně do rovnice (6.1), můžeme psát

$$A' = \frac{q}{f'^2} = konst. q. \quad (6.3)$$

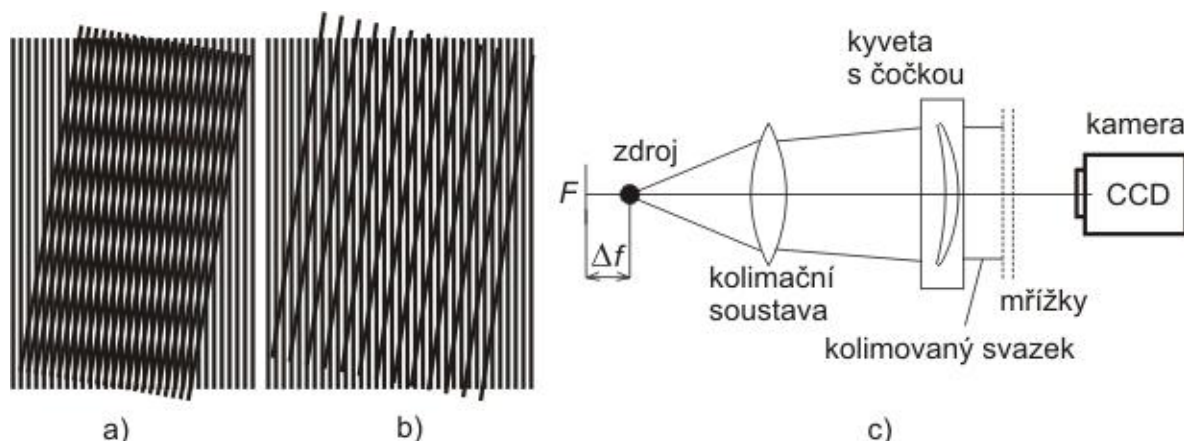
Tím jsme převedli měření vrcholové lámavosti čočky na měření vzdálenosti q . Moderní fokometry měří vrcholovou lámavost automaticky.

Zadní vrcholovou lámavost měkkých kontaktních čoček můžeme opět orientačně měřit na vzduchu pomocí fokometru, přesnější výsledky dostaneme měřením optické mohutnosti ve fyziologickém roztoku v kyvetě a to buď pomocí moiré deflektometru a nebo nejpřesněji

pomocí Hartmanovy metody. Hodnotu naměřenou v roztoku přepočítáme na hodnotu na vzduchu. Taktéž optickou mohutnost přepočteme na zadní vrcholovou lámavost.

Schéma měření optické mohutnosti kontaktní čočky v kyvetě pomocí moiré deflektometru je znázorněno na obr. 6.4. Moiré jev vzniká přeložíme-li dvě průsvitné mřížky na sebe. Na obr. 6.4a) jsou znázorněny mřížky natočené vzájemně pod určitým úhlem, přičemž vzdálenost přímých čar obou mřížek je stejná. Superpozicí dostaneme moiré čáry skloněné pod určitým úhlem. Na obr. 6.4b) jsou znázorněny mřížky natočené pod stejným úhlem, jedna z mřížek má větší vzájemnou vzdálenost přímých čar. Vidíme, že moiré čáry jsou skloněny pod jiným úhlem.

Princip měření spočívá v tom, že obě mřížky jsou od sebe vzdáleny o určitou hodnotu, tím se natočení mění v závislosti na tom, zda jsou osvětlovány konvergentním nebo divergentním světelným svazkem. Posuneme-li světelný zdroj o hodnotu Δf tak, abychom dostali za měřenou čočkou (která je v našem případě v optické zóně sférická) opět kolimovaný svazek, pak hodnota Δf je funkcí optické mohutnosti čočky. Moiré čáry snímáme CCD kamerou. Je zřejmé, že tato metoda je zvláště vhodná pro proměňování multifokálních a asférických kontaktních a brýlových čoček, kdy dostáváme spojitou informaci o měřeném optickém parametru.

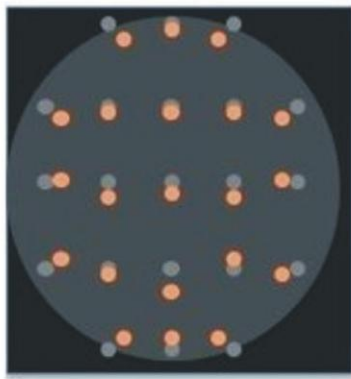


6.4 Princip měření optické mohutnosti čočky moiré deflektometrem [40]

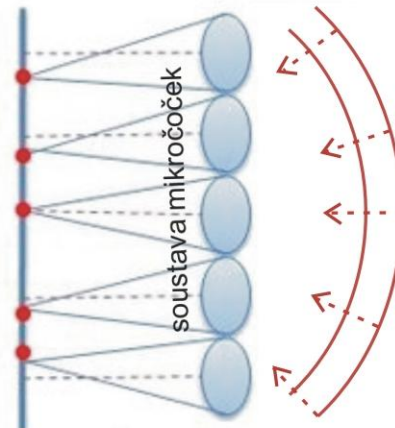
Měření optické mohutnosti kontaktní čočky můžeme provádět i pomocí Shackova - Hartmannova snímače, který měří vlnové vlastnosti (aberace nižšího i vyššího řádu) vlnové plochy a který se běžně používá u refrakčních laserových operací.

Na obr. 6.5. je znázorněn princip tohoto snímače. Měřená vlnoplocha je opticky zpracována soustavou mikročoček. Posunutí naměřených bodů odpovídající měřené vlnoploše je matematicky zpracováno v Zernikeho polynom, který představuje jednotlivé aberace. Z aberací 2. řádu můžeme vypočíst i hledanou optickou mohutnost měřené kontaktní čočky.

diagram
naměřených bodů



měřená
vlnoplocha



Shackův - Hartmannův sensor

6.5. Shackův - Hartmannův snímač [41]

7. Normy vztahující se ke kontaktním čočkám [26]

České technické normy nejsou – stejně jako jinde ve světě – závazné, a to v tom smyslu, že nejsou považovány za právní předpisy. Lze však doporučit, aby všechny podniky ve vlastním zájmu dodržovaly zejména ta ustanovení ČSN, která mají například za úkol chránit zdraví (jak je tomu u zdravotnických prostředků, tedy i kontaktních čoček). Povinnost dodržovat požadavky uvedené v českých technických normách mohou navíc vyplývat z jiného právního aktu (například uzavřenou smlouvou).

V dnešní společnosti lze technické normy chápat jako kvalifikovaná doporučení, nikoli jako příkazy. Jejich používání je dobrovolné, avšak všestranně výhodné.

Každá původní česká technická norma se může vytvářet pouze v oblastech, ve kterých neexistují normy evropské nebo mezinárodní a je označována značkou ČSN.

Každá evropská či mezinárodní norma, která je přejata do soustavy českých norem se stává normou českou je označena ČSN EN, ČSN ISO, ČSN EN ISO, ČSN IEC, ČSN ETS.

Toto označení znamená:

- ČSN - Česká technická norma,
- ČSN EN - Česká verze evropské normy,
- ČSN EN ISO - Česká verze mezinárodní normy převzaté evropskou komisí pro normalizaci (ISO = International Organisation for Standardisation),
- ČSN IEC - Česká verze mezinárodní elektrotechnické normy (IEC = International Electrotechnical Commission) a
- ČSN ETS – Česká verze evropské telekomunikační normy (ETS = European Telecommunication Standard).

Kromě našich národních technických norem existují mimo jiné i tyto národní normy:

- DIN (německé normy)
 - BS (britské normy)
 - ANS (normy USA)
 - STN (slovenské normy)
 - NF (francouzské normy)
- normy vydané International Electrotechnical Commission - IEC)

Technické normy jsou přejímány do soustavy ČSN:

- překladem - tzn. že za národní titulní stranou (stranami) s potřebnými informačními údaji v českém jazyce následuje text v českém jazyce doplněný v případě potřeby o národní přílohu,
- převzetím originálu - tzn. že za národní titulní stranou (stranami) s potřebnými informačními údaji v českém jazyce následuje text anglického (případně i francouzského) originálu doplněný v případě potřeby o národní přílohu.

Technické normy, které se vztahují ke kontaktním čočkám:

- 1) ČSN EN ISO 9342-2 (195016). Optika a optické přístroje - Zkušební čočky pro kalibraci fokometrů - Část 2: Zkušební čočky pro fokometry používané pro měření kontaktních čoček. (V anglickém jazyce)
- 3) ČSN EN ISO 18369-1:2007/A1 (195202). Oční optika - Kontaktní čočky - Část 1: Slovník, třídění a doporučení pro označení vlastností. (V anglickém jazyce)
- 4) ČSN EN ISO 18369-2 (195202). Oční optika - Kontaktní čočky - Část 2: Tolerance. (V anglickém jazyce)
- 5) ČSN EN ISO 18369-3 (195229). Oční optika - Kontaktní čočky - Část 3: Metody měření. (V anglickém jazyce)
- 6) ČSN EN ISO 18369-4 (195229). Oční optika - Kontaktní čočky - Část 4: Fyzikálně chemické vlastnosti materiálů kontaktních čoček. (V anglickém jazyce)
- 7) ČSN EN ISO 11981 (195208). Oční optika - Kontaktní čočky a prostředky pro ošetřování kontaktních čoček - Stanovení fyzikální kompatibility prostředků pro ošetřování kontaktních čoček s kontaktními čočkami. (V anglickém jazyce)
- 8) ČSN EN ISO 11987 (195210). Oční optika - Kontaktní čočky - Stanovení skladovací trvanlivosti.
- 9) ČSN EN ISO 11980 (195211). Oční optika - Kontaktní čočky a prostředky pro ošetřování kontaktních čoček - Pokyny pro klinické zkoušky. (V anglickém jazyce)
- 10) ČSN EN ISO 12864 (195212). Oční optika - Kontaktní čočky - Stanovení rozptylu světla.
- 11) ČSN EN ISO 14534 (195213). Oční optika - Kontaktní čočky a prostředky pro ošetřování kontaktních čoček. (V anglickém jazyce)
- 12) ČSN EN ISO 11985 (195214). Oční optika - Kontaktní čočky - Stárnutí působením UV a viditelného záření (metoda in vitro).

- 13) ČSN EN ISO 11978 (195216). Oční optika - Kontaktní čočky a prostředky pro ošetřování kontaktních čoček - Informace dodávané výrobcem.
(V anglickém jazyce)
- 14) ČSN EN ISO 9394 (195221). Oční optika - Kontaktní čočky a prostředky pro ošetřování kontaktních čoček - Stanovení biologické kompatibility pozorováním účinku na oči králíka.
(V anglickém jazyce)
- 15) ČSN EN ISO 11986 (195226). Oční optika - Kontaktní čočky a prostředky pro ošetřování kontaktních čoček - Směrnice pro stanovení pohlcování a uvolňování konzervačních prostředků.
(V anglickém jazyce)
- 16) BS EN ISO 9913-1:1998. Optics and optical instruments. Contact lenses. Determination of oxygen permeability and transmissibility by the FATT method.

8. Praktická část

8.1. Měření času do roztržení slzného filmu – test BUT

Bylo provedeno měření času do roztržení slzného filmu na rohovce a na povrchu u různých kontaktních čoček (test BUT s použitím fluoresceinového barviva). Testy jsem prováděla sama pod dohledem optometristky, která má značné zkušenosti s aplikací kontaktních čoček.

Cílem tohoto měření je určit nejvhodnější kontaktní čočku pro konkrétního nositele (především s marginálním syndromem suchého oka). Za tím účelem byli vybráni 3 nositelé z nichž dva byli s nízkou hodnotou Schirmerova testu. Testování bylo provedeno vždy po 4 hodinách nošení nové kontaktní čočky a pak po ošetření v roztoku eventuálně po kápnutí zvlhčovacích kapek na kontaktní čočky.

Byly testovány tyto kontaktní čočky:

- 1) Ultrasilk AC 55 jako zástupce Hy (hydrogelových) kontaktních čoček s obsahem vody 55%.
- 2) Night & Day jako zástupce Si-Hy (silikon-hydrogelových) kontaktních čoček 1. generace s nízkým obsahem vody a plazmaticky upraveným povrchem.
- 3) Air Optix a Acuvue Oasys jako zástupce Si-Hy kontaktních čoček další generace.
- 4) Biofinity a VIDI OXY jako zástupci Si-Hy kontaktních čoček poslední generace s vysokým obsahem vody.

Testování bylo provedeno u těchto nositelů kontaktních čoček:

Nositel KČ č. 1:

Věk: 68 let.

Pohlaví: muž.

Kontaktní čočky nosí asi 16 let (monovision korekce P: +2,25 D, L: +3,75 D).

Schirmerův test: 8 mm.

Nositel KČ č. 2:

Věk: 38 let.

Pohlaví: žena.

Kontaktní čočky nosí příležitostně (korekce P: -0,50 D, L: -0,50 D).

Schirmerův test: Nebylo měřeno.

Nositel KČ. 3:

Věk: 40 let.

Pohlaví: muž.

Kontaktní čočky nosí 2 roky (korekce P: -1,25 D, L: 1,50 D).

Schirmerův test nízká hodnota (měřeno na Oční klinice FN Olomouc).

1. Test BUT - měření času do roztržení slzného filmu na rohovce (bez kontaktní čočky)

Nositel č. 1 (měřeno: 14.1.2011)

1.	Oko	
	P	L
čas [s]	8,38	8,44
	8,48	6,46
	7,82	9,01
průměr [s]	8,23	7,97
	8,10	

2. Test BUT - rohovka + zvlhčovací kapky Refresh (měřeno 10 min po aplikaci kapek)
Nositel č. 1 (měřeno: 14.1.2011)

2.	Oko	
	P	L
čas [s]	8,43	7,53
	6,42	7,66
	8,59	8,45
průměr [s]	7,81	7,88
	7,85	

Komentář k testům 1 a 2. Hodnota BUT nízká (souvisí pravděpodobně s vyšším věkem), nositel kontaktních čoček si však na problém se suchým okem nestěžuje. Použití zvlhčovacích kapek na hodnotu BUT testu nemělo vliv.

3. Test BUT – kontaktní čočka: Ultrasilk 55 AC (fyziologický roztok z blistru)
Nositel č. 1 (měřeno: 7.1.2011)

3.	Oko	
	P	L
čas [s]	11,00	7,00
	7,88	6,61
	7,28	6,83
průměr [s]	8,72	6,81
	7,77	

4. Test BUT – KČ Ultrasilk 55 AC (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
Nositel č. 1 (měřeno: 10.1.2011)

4.	Oko	
	P	L
čas [s]	9,38	7,62
	7,98	9,32
	9,00	8,28
průměr [s]	8,79	8,41
	8,6	

5. Test BUT – KČ Ultrasilk 55 AC (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
Nositel č. 1 (měřeno: 11.1.2011)

5.	Oko	
	P	L
čas [s]	6,82	7,75
	7,78	8,95
	7,18	6,62
průměr [s]	7,26	7,77
	7,52	

**6. Test BUT – KČ Ultrasilk 55 AC (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
Nositel č. 1 (měřeno: 13.1.2011)**

6.	Okno	
	P	L
čas [s]	9,77	7,81
	8,72	7,64
	7,89	9,54
průměr [s]	8,79	8,33
	8.56	

**7. Test BUT – KČ Ultrasilk 55 AC
KČ ošetřeny v roztoku Opti-Free Replenish + zvlhčovací kapky Refresh
(měřeno 10 min po aplikaci kapek)
Nositel č. 1 (měřeno: 13.1.2011)**

7.	Okno	
	P	L
čas [s]	11,49	8,86
	10,09	9,95
	8,33	9,37
průměr [s]	9,97	9,39
	9,68	

**8. Test BUT – KČ Ultrasilk 55 AC (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
KČ ošetřeny v roztoku Opti Free Replenish + zvlhčovací kapky Refresh
(měřeno 60 min po aplikaci kapek)
Nositel č. 1 (měřeno: 13.1.2011)**

8.	Okno	
	P	L
čas [s]	8,20	10,20
	11,22	9,94
	8,67	11,05
průměr [s]	9,36	10,40
	9,88	

Komentář k testům 3 až 8. Oproti fyziologickému roztoku z blistru vedlo ošetření v roztoku Opti-Free Refresh k zvýšení hodnoty BUT asi o 1 s. U testu č. 5 si nositel stěžoval na pocit unavených očí, což korespondovalo s poklesem času potřebného na roztržení filmu. Další pozitivní vliv na test mělo použití zvlhčovacích kapek, a to jak 15 min, tak 60 min po kápnutí. Celkově nositel hydrogelové kontaktní čočky Ultrasilk 55 AC (s obsahem vody 55 %) hodnotí velmi pozitivně.

9. Test BUT – KČ Biofinity (fyziologický roztok z blistru)
Nositel č. 1 (měřeno: 17.1.2011)

9.	Okó	
	P	L
čas [s]	10,91	10,99
	9,28	10,07
	11,05	12,22
průměr [s]	10,41	11,09
	10,75	

10. Test BUT – KČ Biofinity (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
Nositel č. 1 (měřeno: 18.1.2011)

10.	Okó	
	P	L
čas [s]	9,48	13,37
	10,94	10,55
	12,18	11,98
průměr [s]	10,86	11,97
	11,42	

11. Test BUT – KČ Biofinity (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
měřeno po vyspání (nepoužity zvlhčovací kapky)
Nositel č. 1 (měřeno: 19.1.2011)

11.	Okó	
	P	L
čas [s]	10,98	11,61
	11,60	10,60
	11,23	11,35
průměr [s]	11,27	11,19
	11,23	

12. Test BUT – KČ Biofinity (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
měřeno po vyspání (test prováděn 10 min po použití zvlhčovacích kapek)
Nositel č. 1 (měřeno: 19.1.2011)

12.	Okó	
	P	L
čas [s]	17,28	19,18
	15,87	18,01
	11,97	12,78
průměr [s]	15,04	16,66
	15,85	

Komentář k testům 9 až 12. Kontaktní čočky Biofinity byly subjektivně hodnoceny jako vysoce komfortní, což se potvrdilo i objektivním měřením. Roztok Opti-Free Replenish nepřinesl oproti fyziologickému roztoku výrazné zlepšení. Negativně se neprojevovalo ani nošení

kontaktních čoček přes noc. Velmi výrazně se zvýšila hodnota BUT testu po použití zvlhčovacích kapek. Proč se výrazně nezvýšila hodnota BUT po použití zvlhčovacích kapek na rohovce (test 1 a 2) si lze vysvětlit tak, že tyto kapky nepůsobí na rohovku osmoprotektivně.

13. Test BUT – KČ Air Optix Night & Day (fyziologický roztok z blistru)
Nositel č. 1 (měřeno: 25.1.2011)

13.	Okó	
	P	L
čas [s]	9,73	7,54
	11,19	9,88
	8,98	10,43
průměr [s]	9,97	9,28
		9,63

14. Test BUT – KČ Air Optix Night & Day
(fyziologický roztok z blistru + zvlhčovací kapky Refresh)
Nositel č. 1 (měřeno: 25.1.2011)

14.	Okó	
	P	L
čas [s]	7,62	10,48
	9,03	10,32
	10,25	9,28
průměr [s]	8,97	10,03
		9,5

15. Test BUT – KČ Air Optix Night & Day (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
Nositel č. 1 (měřeno: 26.1.2011)

15.	Okó	
	P	L
čas [s]	9,78	8,17
	11,08	11,07
	8,40	9,35
průměr [s]	9,75	9,53
		9,64

16. Test BUT – KČ Air Optix Night & Day (ošetřeno v roztoku Solo-Care)
Nositel č. 1 (měřeno: 26.1.2011)

16.	Okó	
	P	L
čas [s]	9,27	9,30
	10,09	8,30
	9,07	10,91
průměr [s]	9,47	9,50
		9,49

- 17. Test BUT – KČ Acuvue Oasys (fyziologický roztok z blistru)**
 Nositel č. 1 (měřeno: 1.2.2011)

17.	Okno	
	P	L
čas [s]	10,10	9,49
	11,02	10,02
	10,18	10,25
průměr [s]	10,43	9,92
	10,18	

- 18. Test BUT – KČ Acuvue Oasys (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)**
 Nositel č. 1 (měřeno: 3.2.2011)

18.	Okno	
	P	L
čas [s]	8,66	8,04
	6,18	7,22
	5,81	8,43
průměr [s]	6,88	7,90
	7,39	

- 19. Test BUT – KČ Acuvue Oasys**
 KČ ošetřeny v roztoku Opti-Free Replenish + zvlhčovací kapky Refresh
 (měřeno 10 min po aplikaci kapek)
 Nositel č. 1 (měřeno: 3.2.2011)

19.	Okno	
	P	L
čas [s]	9,43	8,29
	8,28	8,20
	7,98	8,13
průměr [s]	8,56	8,21
	8,39	

- 20. Test BUT – KČ VIDI OXY (fyziologický roztok z blistru)**
 Nositel č. 1 (měřeno: 4.2.2011)

20.	Okno	
	P	L
čas [s]	9,63	10,27
	9,62	10,74
	10,24	11,36
průměr [s]	9,93	10,79
	10,36	

- 21. Test BUT - měřen čas do roztržení slzného filmu na rohovce (bez kontaktní čočky)**
Nositel č. 2 (měřeno: 14.1.2011)

21.	Oko	
	P	L
čas [s]	11,20	11,25
	11,08	12,10
	11,38	11,40
průměr [s]	11,22	11,58
	11,40	

- 22. Test BUT - rohovka + zvlhčovací kapky Refresh (měřeno 10 min po aplikaci kapek)**
Nositel č. 2 (měřeno: 14.1.2011)

22.	Oko	
	P	L
čas [s]	11,95	12,26
	12,35	12,09
	12,58	12,41
průměr [s]	12,29	12,25
	12,27	

- 23. Test BUT – kontaktní čočka: Ultrasilk 55 AC (fyziologický roztok z blistru)**
Nositel č. 2 (měřeno: 14.1.2011)

23.	Oko	
	P	L
čas [s]	10,32	10,14
	9,74	9,18
	10,38	11,16
průměr [s]	10,14	10,16
	10,15	

Komentář k testům 21 až 23. Středně vysoká hodnota BUT na rohovce (nositelka č. 1 si však nestěžuje na potíže se suchým okem). Použití zvlhčovacích kapek na hodnotu BUT (měřeno na rohovce) na rozdíl od nositele č. 1 zvýšilo hodnotu BUT téměř o 1 s. Kontaktní čočky Ultrasilk 55 AC nositelka dobře snáší. Hodnota BUT na hydrogelové čočce nižší než na rohovce o více než 1 s (rozdíl oproti nositeli č.1).

- 24. Test BUT – KČ Acuvue Oasys (fyziologický roztok z blistru)**
Nositel č. 2 (měřeno: 21.1.2011)

24.	Oko	
	P	L
čas [s]	8,70	11,45
	10,20	11,19
	10,96	12,93
průměr [s]	9,95	11,86
	10,9	

25. Test BUT – KČ Acuvue Oasys (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
 Nositel č. 2 (měřeno: 25.1.2011)

25.	Okno	
	P	L
čas [s]	10,90	11,20
	10,98	11,38
	11,03	12,50
průměr [s]	10,97	11,69
	11,33	

26. Test BUT – KČ Acuvue Oasys
 KČ ošetřeny v roztoku Opti-Free Replenish + zvlhčovací kapky Refresh
 (měřeno 10 min po aplikaci kapek)
 Nositel č. 2 (měřeno: 25.1.2011)

26.	Okno	
	P	L
čas [s]	12,93	14,12
	13,50	13,58
	13,88	13,98
průměr [s]	13,10	13,89
	13,50	

27. Test BUT – KČ Acuvue Oasys (ošetřeno v roztoku SOLO-Care Aqua)
 Nositel č. 2 (měřeno: 27.1.2011)

27.	Okno	
	P	L
čas [s]	10,02	10,50
	11,52	12,05
	12,03	12,00
průměr [s]	11,19	11,52
	11,36	

28. Test BUT – KČ Acuvue Oasys
 KČ ošetřeny v roztoku SOLO-Care Aqua + zvlhčovací kapky Refresh
 (měřeno 10 min po aplikaci kapek)
 Nositel č. 2 (měřeno: 27.1.2011)

28.	Okno	
	P	L
čas [s]	13,11	12,89
	12,98	13,12
	13,08	13,25
průměr [s]	13,06	13,09
	13,08	

Komentář k testům 24 až 28. Vliv typu roztoku na hodnotu BUT můžeme považovat za nevýznamný, významně se hodnota BUT (v souladu s nositelem č. 1) zvýšila po použití

zvlhčovacích kapek. Subjektivně se vyskytovalo více lipidových usazenin po ošetření roztokem Opti-Free Replenish než u roztoku Solo-Care Aqua. Hodnocení bylo prováděno pomocí štěrbinové lampy a obr. 8.1.

29. Test BUT – KČ Air Optix (fyziologický roztok z blistru)

Nositel č. 2 (měřeno: 1.2.2011)

29.	Okno	
	P	L
čas [s]	10,20	9,02
	10,88	10,50
	11,19	10,88
průměr [s]	10,76	10,13
	10,45	

30. Test BUT – KČ Air Optix (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)

Nositel č. 2 (měřeno: 2.2.2011)

30.	Okno	
	P	L
čas [s]	10,09	9,00
	9,89	9,92
	10,12	10,03
průměr [s]	10,03	9,65
	9,84	

31. Test BUT – KČ Air Optix Night & Day (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)

Nositel č. 2 (měřeno: 3.2.2011)

31.	Okno	
	P	L
čas [s]	11,09	10,89
	11,89	12,30
	12,01	12,11
průměr [s]	11,66	11,77
	11,72	

32. Test BUT – KČ Air Optix Night & Day

KČ ošetřeny v roztoku Opti-Free Replenish + zvlhčovací kapky Refresh (měřeno 10 min po aplikaci kapek)

Nositel č. 2 (měřeno: 3.2.2011)

32.	Okno	
	P	L
čas [s]	12,13	12,33
	13,01	12,98
	13,10	13,12
průměr [s]	12,75	12,81
	12,78	

- 33. Test BUT – KČ VIDI OXY (fyziologický roztok z blistru)**
 Nositel č. 2 (měřeno: 4.2.2011)

33.	Okno	
	P	L
čas [s]	10,98	9,90
	11,00	10,80
	10,38	10,89
průměr [s]	10,79	10,53
	10,66	

- 34. Test BUT – KČ VIDI OXY (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)**
 Nositel č. 2 (měřeno: 9.2.2011)

34.	Okno	
	P	L
čas [s]	9,69	9,40
	10,38	12,30
	11,38	11,41
průměr [s]	10,48	11,04
	10,76	

- 35. Test BUT – KČ VIDI OXY (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)**
 Nositel č. 2 (měřeno: 10.2.2011)

35.	Okno	
	P	L
čas [s]	12,02	12,06
	11,66	11,98
	12,38	12,41
průměr [s]	12,02	12,15
	12,09	

- 36. Test BUT – KČ Biofinity (fyziologický roztok z blistru)**
 Nositel č. 2 (měřeno: 11.2.2011)

36.	Okno	
	P	L
čas [s]	11,98	13,48
	12,19	12,13
	13,02	13,20
průměr [s]	12,40	12,94
	12,67	

37. Test BUT – KČ Biofinity (ošetřeno v roztoku Opti-Free Replenish)
Nositel č. 2 (měřeno: 15.2.2011)

37.	Okno	
	P	L
čas [s]	12,14	12,88
	12,68	13,40
	13,11	13,31
průměr [s]	12,64	13,20
	12,92	

Komentář k testům 29 až 37. Vliv typu roztoku na hodnotu BUT můžeme opět považovat za nevýznamný, významně se hodnota BUT zvýšila po použití zvlhčovacích kapek. Byl zjištěn vliv dodržování pitného režimu na hodnotu testu BUT (viz srovnání testu 34 a 35) což se projevilo i ve zvýšeném komfortu. Nejlépe byly u této nositelky hodnoceny čočky Air Optix Night & Day a Biofinity.

38. Test BUT – KČ Ultrawave (fyziologický roztok z blistru)
Nositel č. 3 (měřeno: 17.2.2011)

37.	Okno	
	P	L
čas [s]	7,48	8,20
	8,18	8,89
	7,81	9,81
průměr [s]	7,82	8,97
	8,40	

Komentář k testu 38. Nositel č. 3 úspěšně nosil hydrogelové čočky Ultrasilk 55 AC. Musel však toto nošení přerušit. Při vyšetření na oční klinice byla zjištěna nízká hodnota BUT, příčina této nízké hodnoty mu sdělena nebyla. Při následné návštěvě aplikačního střediska mu bylo nabídnuto vyzkoušet biokompatibilní kontaktní čočky Ultrawave firmy Ultravision. Tyto čočky dobře snášel i při nízké hodnotě BUT testu.

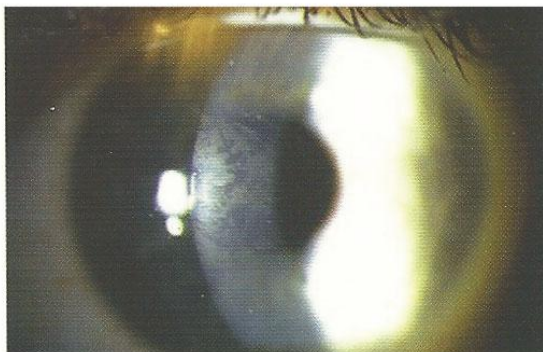
8.2. Usazování depozit na povrchu kontaktní čočky

Mezi nejčastější typy nežádoucích usazenin na povrchu kontaktních čoček patří proteinová a lipidová depozita. Jejich hlavním zdrojem jsou oční sekrece a nečistoty z vnějšího okolí. Zda dojde k usazení depozit záleží na kvalitě povrchu kontaktní čočky a na úrovni následné péče.

Proteinová depozita vznikají denaturací bílkovin obsažených v slzném filmu. Bílkoviny se během nošení volně váží k povrchu čočky. Tyto vazby bývají silnější především u ionogenních materiálů (obsahují elektricky nabitě částice). Při nedokonalém čištění dochází k jejich denaturaci, neboli rozkladu a z volné vazby se stává vazba nevratná. Neionogenní a hladký charakter povrchu čoček je základním předpokladem zamezení vzniku proteinových usazenin (jak je tomu například u kontaktních čoček Biofinity).

Silikon-hydrogelové kontaktní čočky jsou náchylnější k usazování lipidových depozit. Je to dáno hydrofobním charakterem silikonu. Pokud vznikají na povrchu čoček nesmáčivé ostrůvky, lipidová depozita se na ně velmi snadno navážou. Dle našeho subjektivního zjištění

byla velmi dobře odstraněna depozita usazená na povrchu kontaktní čočky roztokem Solo-Care Aqua (viz komentář k testům 24 až 28). Usazeniny byly posuzovány subjektivně pod štěrbinovou lampou pomocí obrázku 8.1.



Bílkoviny



Lipidy

Obr. 8.1 Proteinová a lipidová depozita na povrchu kontaktních čoček [36]

9. Závěr

Bakalářská práce se zabývá měřením kontaktních čoček a především vlastnostmi materiálů kontaktních čoček, které rozhodují o optimálním výběru čočky pro konkrétního nositele.

Kvalitu materiálů kontaktních čoček můžeme posuzovat minimálně podle dvou hledisek. První hledisko je zdravotní, dané schopností kontaktní čočky dostatečně zásobovat rohovku kyslíkem.

Tuto schopnost můžeme kvantitativně hodnotit permeabilitou materiálu, eventuálně transmisibilitou kontaktní čočky.

Druhým hlediskem – taktéž důležitým – je komfort nošení. Přestože se jedná o subjektivní hodnocení, odborníci se snaží najít kvantitativní údaj, který by vystihoval toto hledisko. Všeobecně se ví, že kontaktní čočka mění kvalitativní i kvantitativní parametry slzného filmu, především jeho osmolalitu. Nový výzkum však nepotvrdil jednoznačnou korelaci mezi osmolalitou slzného filmu a komfortem nošení. V roce 2009 však Stahl se svými spolupracovníky zavedl pojem osmolalita kontaktní čočky, který dle jeho výzkumu dobře koreluje se subjektivním pocitem komfortu nošení. Zavedená hodnota dle této práce zohledňuje stav slzného filmu před i za kontaktní čočkou a dobře koreluje i s testem BUT. V literatuře nebyla nalezena zatím ani jedinou reakci na tuto práci. Teprve čas ukáže, zda tato hodnota může objektivně doplnit subjektivní hodnocení komfortu nošení. Protože vyhodnocení osmolality kontaktní čočky vyžaduje chemickou laboratoř, je v praktické části bakalářská práce zaměřena na hodnocení kontaktních čoček pomocí BUT testu.

Vedle popisu a měření fyzikálně chemických vlastností materiálů kontaktních čoček, je práce zaměřena i na popis stability rozměrových a optických parametrů kontaktní čočky při ztrátě obsahu vody. Tato stabilita úzce souvisí s problémem komfortu nošení a biokompatibilitou materiálu kontaktní čočky. Jsou popsány i způsoby řešení biokompatibility u kontaktních čoček a taktéž způsob měření.

V další části se bakalářská práce zabývá popisem a měřením mechanických, optických a rozměrových hodnot kontaktních čoček. Je uveden i přehled norem vztahujících se ke kontaktním čočkám.

10. Použitá literatura

- [1] Ruben, M.: A Colour Atlas of Contact Lenses & Prosthetics. Wolfe Medical Publications Ltd., Smeets-Weert 1989.
- [2] Gisler, T.: Praxis der Kontaktlinsenanpassung. Gisler-Verlag CH-8555, Mühlheim 1993.
- [3] Baron, H.: Kontaktlinsen. Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH, Heidelberg 1991.
- [4] Zhi-Jian, Ju et al.: Wettability of Contact Lenses. Review of Cornea & Contact Lenses. June 2006, pp. 42-47.
- [5] Nichols J.J. et al.: The impact of contact lens care solution on the film thickness and contact lens. Cornea 2005; 24(7), pp. 825-832.
- [6] Andersen, J. S. et al.: Kontaktní čočky a jejich vliv na oko. Studijní materiály firem Synoptik a Vistakon J&J, obr. 59.
- [7] Navarová, M.: Srovnání hydrogelových a silikonhydrogelových materiálů kontaktních čoček. Diplomová práce. MU Brno 2008.
- [8] www.en.wikipedia.org/wiki/Capillary_action.
- [9] Horák Z., Krupka F.: Fyzika. Příručka pro vysoké školy technického směru. SNTL, Praha 1976.
- [10] www.en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension.
- [11] www.cs.wikipedia.org/wiki/Povrchové_napětí.
- [12] www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet2.htm.
- [13] Synek, S.: Kontaktní čočky (Učební texty pro studium optometrie). LF MU, Brno.
- [14] www.en.wikipedia.org/wiki/Sessile_drop_technique.
- [15] kruss.de/en/products/contact-angle/contact-angle-measuring-instrument-gh11-mobiledrop.html.
- [16] Nichols, J.J. et al.: Thinning rate of the precorneal and prelens tear films. Invest Ophthalmol Vis Sci 2005; 46(7), pp. 2353-2361.
- [17] Zoltán, O. a kol.: Očné lékařstvo. Osveta, Martin 1998.
- [18] Ondřejčíková, M.: Bakteriální biofilm u nositelů kontaktních čoček. Diplomová práce. LFMU Brno 2009.
- [19] www.cs.wikipedia.org/wiki/Slzný_film.
- [20] www.anamneza.cz/moduly/clanek.php3?id=855&sekce=27 (Syndrom suchého oka).
- [21] www.agingeye.net/dryeyes/dryeyeseyexam.php (Breakup time test).
- [22] www.sucheoko.cz/profes.htm.
- [23] www.tearlab.com/.
- [24] Navrátilová, D.: Fyziologie a patologie předního segmentu oka v kontaktologii. Bakalářská práce. LFMU Brno 2006.
- [25] Stahl, U. et al.: Influence of Tear Film and Contact Lens Osmolality on Ocular Comfort in Contact Lens Wear. Optometry & Vision Science, July 2009.
- [26] <http://eshop.normservis.cz/normy/>.
- [27] www.sucheoko.cz/profes.htm.
- [28] ČSN EN ISO 18369-3 Oční optika – Kontaktní čočky – Část 3: Metody měření. ČNI 2007.
- [29] www.vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/povrchove_napeti_roztoku.html.
- [30] BS EN ISO 9913-1:1998. Optics and optical instruments. Contact lenses. Determination of oxygen permeability and transmissibility by the FATT method.
- [31] Brennan, N. A.: A Model of Oxygen Flux Through Contact Lenses. Cornea, January 2001, Volume 20.
- [32] Vokurka, M., Hugo, J.: Praktický slovník medicíny. Maxdorf, Praha 2004.
- [33] Young, G. et al.: Performance review of biomimetic contact lens. Optician, June 1995, Volume 210.
- [34] STN EN ISO 9394 Očná optika – Kontaktné šošovky a výrobky určené na ošetrovanie kontaktných šošoviek. Určenie biokompatibility skúškou na očiach kráľika. Máj 2001.
- [35] www.gclab.com (Hydrogel Custom Lens Materials).
- [36] A Handbook of Contact Lenses Management. J&J Vision Care & Synoptic, 2006.

- [37] www.wikipedia.org/wiki/Shore_durometer (Shore durometer).
- [38] Edward, S et al.: Clinical contact lens practice. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2005.
- [39] ČSN EN ISO 18369-4 Oční optika – Kontaktní čočky – Část 4: Fyzikálně chemické vlastnosti materiálů kontaktních čoček.
- [40] Bavli, R.: Wavefront Sensing and Processing Using Moiré Deflectometry. Global Contact no. 3/2009 [53].
- [41] Neal, D. R., Copland, J.: Measurement of Contact Lenses Using Wavefront Aberrometry. www.wavefrontsciences.com.
- [42] Kepřt, E.: Teorie optických přístrojů III. Oko a jeho korekce. SPNP, Praha 1966.
- [43] ČSN EN ISO 18369-2 Oční optika – Kontaktní čočky – Část 3: Tolerance, ČNI 2007.