

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY



CHYTRÉ KONTAKTNÍ ČOČKY

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Alena Vodičková

Obor: 5345R008 OPTOMETRIE

Studijní rok: 2020/2021

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

Mgr. Lenka Musilová, DiS., Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Lenky Musilové, DiS., Ph.D., za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 8. 5. 2021

.....

Alena Vodičková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Mgr. Lence Musilové, DiS., Ph.D., za cenné rady a připomínky, které mi při psaní mé bakalářské práce poskytla. Děkuji také mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali nejen při psaní této bakalářské práce, ale i po celou dobu mého studia.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci s názvem “Optometrie a její aplikace“, č. IGA_PrF_2020_008 a IGA_PrF_2021_012.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	5
ÚVOD	6
1 VÝVOJ KONTAKTNÍCH ČOČEK	7
1.1 Historie	7
1.2 Materiály	10
1.2.1 Tvrdé kontaktní čočky	10
1.2.2 Měkké kontaktní čočky	11
2 CHYTRÉ KONTAKTNÍ ČOČKY	12
3 MĚŘENÍ TEPLoty ROHOVKY POMOCÍ KONTAKTNÍ ČOČKY	14
4 MĚŘENÍ NITROOČNÍHO TLAKU POMOCÍ KONTAKTNÍ ČOČKY	17
4.1 SENSIMED Triggersfish	18
4.1.1 Snášlivost	20
4.1.2 Komplikace spojené s nošením	21
5 MĚŘENÍ HLADINY GLUKÓZY POMOCÍ KONTAKTNÍ ČOČKY	22
5.1 Google kontaktní čočky	23
6 KONTAKTNÍ ČOČKY SE SVĚTELNOU INTELIGENCÍ	25
6.1 ACUVUE OASYS with Transitions	25
7 KONTAKTNÍ ČOČKY BLÍZKÉ BUDOUCNOSTI	29
7.1 Digitální kontaktní čočky MOJO Vision	29
7.2 Kontaktní čočky s funkcí ZOOM	30
7.3 Sony kontaktní čočky	31
ZÁVĚR	32
ZDROJE	33

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AR	augmented reality, rozšířená realita
BC	base curve, poloměr zakřivení
CAB	butyrát acetát celulózy
cm	centimetr
D	dioptrie
DE	dielektrický elastomer
Dk	permeabilita
DM	diabetes mellitus
DR	diabetická retinopatie
EOG	elektrookulografie
FDA	Food and Drug Administration, Úřad pro kontrolu potravin a léčiv
GAT	Goldmannův aplanační tonometr
GP	gas permeable, propustné pro plyn
HEMA	polyhydroxyethylmethakrylát
KČ	kontaktní čočka
m	metr
mm	milimetr
mmHg	milimetr rtuťového sloupce
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Národní úřad pro letectví a vesmír
NOT	nitrooční tlak
NTG	normotenzní glaukom
PMMA	polymethylmetakrylát
RGB	red, green, blue
RGP	rigid gas permeable
SSO	syndrom suchého oka
USB	universal serial bus
UV	ultraviolet, ultrafialové
VAS	vizuální analogová stupnice
WHO	World Health Organization, Světová zdravotnická organizace

ÚVOD

Od chvíle, kdy byla vyrobena první kontaktní čočka, uběhlo již více než sto třicet let. V průběhu této doby se postupně měnil design i materiály používané k výrobě. V současnosti existuje celá škála čoček, které umožňují různé režimy nošení a minimalizují pravděpodobnost hypoxického či mechanického stresu. Zároveň jsou opticky velmi kvalitní, při správném používání bezpečné a poskytují nositelům komfort.

Vývoj moderních technologií přispěl k inovativním změnám, které se týkají i oblasti kontaktních čoček. Díky tomu vznikly tzv. chytré kontaktní čočky, které zejména pomocí vložených senzorů dokáží snímat některé biomedicínské parametry. Využití nacházejí především v oblastech diagnostiky a léčby mnoha onemocnění.

Tato bakalářská práce se zabývá tematikou chytrých kontaktních čoček. Cílem je popsat jejich inovativní designy a možnosti užití. Úvodní kapitola poskytuje historický přehled a popis jednotlivých materiálů, které se k výrobě kontaktních čoček používají. Ve druhé kapitole jsou představeny chytré kontaktní čočky a jejich první implementace v průběhu 20. století. Třetí kapitola pojednává o kontaktních čočkách, které jsou uzpůsobeny k měření teploty rohovky. Pozornost je věnována tekutým krystalům, které jsou obsaženy v senzorech těchto čoček. Následující, čtvrtá kapitola se zabývá měřením nitroočního tlaku pomocí kontaktních čoček. Je zaměřena na design a vlastnosti zařízení SENSIMED Triggersfish. V páté kapitole se pojednává o kontaktních čočkách, které jsou určeny pro diabetické pacienty, tedy slouží k měření hladiny glukózy ze slzného filmu. Šestá kapitola představuje kontaktní čočky se světelnou inteligencí, které na základě intenzity světla dopadajícího do oka dokáží měnit své zbarvení. V závěrečné, sedmé kapitole jsou zmíněny kontaktní čočky blízké budoucnosti. Jedná se o nové technologie, které jsou v současné době vyvíjeny, a předpokládá se, že zanedlouho budou moci být plně užívané.

1 VÝVOJ KONTAKTNÍCH ČOČEK

Než se kontaktní čočky (KČ) dostaly do podoby, v jaké je známe dnes, prošly si rozsáhlým historickým vývojem. Postupem času se měnily materiály používané k výrobě, design i samotné výrobní postupy. Přestože první KČ byla zhotovena v roce 1887, myšlenky korekce zraku pomocí objektů příkládajících se na oko vznikly o mnoho dříve. Jednalo se však pouze o teoretické poznatky nebo nerealizovatelné ideje. [1,4]

1.1 Historie

První zmínky o korekci očních vad sahají na počátek 16. století, kdy Leonardo da Vinci vytvořil náčrt optického systému oka, který je doplněn o skleněnou čočku. Mezera mezi okem a čočkou je zde vyplněna tekutinou – „fluid lens“. Z těchto poznatků vyšel i René Descartes, který v roce 1636 přišel s myšlenkou korekce zraku pomocí skleněné tuby naplněné tekutinou, která by se přikládala přímo na rohovku. Principem bylo zvětšení sítnicového obrazu. Tento nápad však nebyl realizovatelný, neboť by nebylo umožněno mrkání oka. Roku 1801 představil Angličan Thomas Young nový nástroj – hydrodiaskop. K oku se přikládala čočka umístěna na 6 mm dlouhé tubě naplněné vodou. V dioptrickém systému oka tím nahradil nepravidelnou rohovku za pravidelnou základní čočku. Mrkání by již bylo umožněno, ale popsáný vynález nebyl ke korekci nikdy využit. Během 19. století došlo k progresu a Sir John Herschel představil skleněnou sférickou kapsuli (čočku) vyplněnou rosolovitou hmotou s přesným zakřivením vnější plochy. Index lomu čočky by měl být stejný, popřípadě velmi blízký indexu lomu rohovky. Toto by vedlo k vyrovnání nepravidelného astigmatismu rohovky a zpřesnění vidění. [1,4,5]

Skleněné sklerální kontaktní čočky

Ke konci 80. let 19. století se vývojem kontaktních čoček zabývalo více vědců nezávisle na sobě, takže zásluhy nemůžeme připsat pouze jednomu z nich. První KČ byla vyrobena v roce 1887 firmou Müller & Müller, která vyráběla oční protézy. Ve stejném roce byla výroba a následně i aplikace KČ popsána německým oftalmologem Adolfem Eugenem Fickem, jenž z odlitků rohovky králíčích očí vyrobil sklerální kontaktní čočky. Byly zhotoveny z hnědého foukaného skla závodem Zeiss Optical Works v Jeně a měly 18–21 mm v průměru. Francouz Eugène Kalt využil KČ pro

terapeutické účely. Svým dvěma pacientům s keratokonem aplikoval afokální sklerální KČ a přišel na to, že pomocí tlaku čočky na vrchol rohovky dochází k výraznému zlepšení vidění pacienta. První korekce refrakční vady pomocí KČ je připisována Augustu Müllerovi, který pomocí skleněných broušených KČ korigoval svoji vysokou myopii. Podle něj začala skleněné broušené čočky vyrábět firma optického inženýra Karla Otty Himmlera, která se specializovala na mikroskopy a jejich příslušenství. Firma Carl Zeiss vytvořila v roce 1928 první zkušební sadu KČ s různými poloměry křivosti. Další inovativní krok vpřed přinesl maďarský lékař Josef Dallos, který dbal na důležitost tvaru čočky z důvodu umožnění proudění slzného filmu pod nasazenou čočkou. Zavedl metodu snímání otisků očí a tím bylo umožněno zhotovovat KČ individuálně a s větší přesností. [1,4,5]

Plastové sklerální kontaktní čočky

Dlouho dobu bylo jediným materiálem pro výrobu KČ pouze sklo. To se ale změnilo ve 20. letech 20. století, kdy na scénu nastoupil materiál celuloid. Tento materiál začala používat německá firma Carl Zeiss, v Československu Dr. Teissler se synem. V roce 1936 byl v USA vynalezen průhledný plastový materiál polymethylmetakrylát (PMMA) neboli plexisklo. Nový materiál přinášel plasy jako biologická inertnost, odolnost vůči prasknutí nebo lehkost a pružnost čočky. Pro KČ této doby byl typický PMMA okraj a čirý skleněný střed. Později se začaly vyrábět i KČ čistě jen z PMMA. Jejich výroba probíhala metodou třískového obrábění, soustružení a následného leštění. [3,5]

Plastové korneální kontaktní čočky

Za jejich vznik patří díky výzkumu optického technika Kevina Touhy. Ten při výrobě čočky z PMMA omylem oddělil korneální a podpůrnou část a byl zvědavý, jak by se taková čočka chovala v oku. Zaleštil okraje a vzniklou čočku odzkoušel. V roce 1948 si nechal svůj vynález patentovat. Takovéto sférické čočky ale svou silnou hranou působily otoky a rohovková poškození. Tyto problémy se později podařilo odstranit změnou periferního zakřivení zadní plochy čočky a tím započal vývoj asférického designu KČ. Přestože měl PMMA řadu výhod, hlavním problémem byla nepropustnost pro plyny a látky rozpustné ve vodě, tedy nedostatečné okysličování bezcévné rohovky. [4,5]

RGP čočky

Řešení výše uvedených problémů přineslo zavedení siloxanových struktur do PMMA řetězců, což umožnilo vzniknout RGP materiálům, které byly sice tuhé, ale plynopropustné. Vyrábějí se soustružením s individuálními parametry, tedy na míru pro každého pacienta. Nejčastějšími nositeli jsou pacienti s vysokým astigmatismem nebo keratokonem. [5]

Měkké kontaktní čočky

Zásadní revoluce ve vývoji nastala v roce 1953, kdy čeští vědci Dr. Drahoslav Lim a Prof. Otto Wichterle přišli s první měkkou hydrofilní KČ z materiálu s názvem polyhydroxyethylmethakrylát (HEMA). Velkou výhodou nového materiálu byla především flexibilita, chemická i biologická inertnost, stabilní tvar a také velmi důležitá propustnost pro plyny, živiny a metabolity. Čočky se vyráběly metodou odstředivého odlévání. Zajímavostí je, že první kusy byly vyrobeny v domácích podmínkách použitím dětské stavebnice Merkur. O pár let později přidal Wichterle patent na soustružení čoček z vysušeného xerogelového bloku. Následně byla práva na výrobu prodána americké firmě Bausch and Lomb, která je začala v 70. letech 20. století prodávat celosvětově. [4,5]

Postupem času se materiály pro výrobu KČ dále vyvíjely a vznikaly kopolymery původního HEMA. Cílem bylo především navyšování obsahu vody v gelu a zvyšování propustnosti pro kyslík. Takové čočky byly bohužel náchylné k proteinovým depositům. Díky výsledkům celé řady medicínských studií došlo k úpravě režimu nošení KČ a jejich designu. V roce 1988 představila firma Johnson & Johnson první KČ s plánovanou výměnou. Ani jednodenní KČ na sebe nenechaly dlouho čekat. Firma Bausch & Lomb je trhu nabídla v roce 1994. V 90. letech se trh obohatil i o čočky silikon-hydrogelové. [4,5]

V dnešní době existuje mnoho typů KČ. Pro lepší přehlednost je můžeme rozdělit do skupin podle tvaru (torické, multifokální, atd.), velikosti (korneální, sklero-korneální, sklerální), účelu (korekční, terapeutické, diagnostické, kosmetické, protetické), režimu nošení (denní, flexibilní, prodloužené, kontinuální), doby použitelnosti (jednorázové, KČ s plánovanou výměnou, konvenční) a v neposlední řadě také podle materiálu. [3]

1.2 Materiály

Materiály používané k výrobě KČ zaznamenaly během let velký vývoj. Dle použitého materiálu rozlišujeme pro běžnou praxi KČ tvrdé (pevné, pro plyny propustné, RGP) a měkké (hydrogely a silikon-hydrogely). Mezi měkké hydrogelové čočky patří čočky s nízkým obsahem vody (35–45 %), se středním obsahem vody (45–60 %) a s vysokým obsahem vody (65–90 %). [3]

1.2.1 Tvrdé kontaktní čočky

Mezinárodní Asociace výrobců kontaktních čoček označuje tyto čočky slovem „focon“. Jejich nositeli jsou převážně pacienti s vysokými dioptrickými vadami či keratokonem. [3]

Materiál polymethylmetakrylát (PMMA) primárně vznikl jakožto náhrada skla u válečných stíhaček během druhé světové války, využití v kontaktologii našel až později. Jedná se o materiál velmi tvrdý, odolný vůči poškrábání, ve kterém se usazuje minimální množství depozit a snadno se sterilizuje. Jeho index lomu je roven hodnotě 1,490. Velkou nevýhodou je téměř nulová propustnost pro kyslík ($Dk = 0,1-0,3$), tedy látková výměna probíhá pouze ze slz cirkulujících pod KČ, což bylo hlavním důvodem ústupu používání tohoto materiálu ve srovnání s novými, vysoce plynopropustnými materiály. V případě, že by byla rohovka nedostatečně okysličena, nastal by stav zvaný hypoxie. Proto jsou tyto KČ konstruovány jako korneální, kdy až 50 % povrchu rohovky může spontánně dýchat. [2,3]

Acetátcelulóza neboli butyrát acetát celulózy (CAB) je první plynopropustný materiál pro výrobu KČ. Slouží k výrobě pevných, tvarově stálých KČ, které jsou známé také jako GP (gas permeable) či RGP (rigid gas permeable). Obsah vody je v rozmezí 1,5–2 %. Tvrdost je nižší než u PMMA, naopak hodnota propustnosti Dk je vyšší, přesněji v rozmezí 4–8. Postupem času bylo CAB nahrazeno kopolymery, u kterých se Dk vyšplhalo až na hodnotu 70, což omezuje přísun kyslíku pouze minimálně. Na druhou stranu, tyto materiály mají horší mechanické i optické vlastnosti. [2,3]

1.2.2 Měkké kontaktní čočky

Hydroxyethylmetakrylát (HEMA) je základním materiálem pro výrobu měkkých KČ. Mezinárodní Asociace výrobců kontaktních čoček je označuje slovem „filcon“. Příměsi kopolymerů umožňují zvýšit obsah vody v čočce a tím i propustnost až na 75–80 %. Velmi specifickou skupinou jsou elastomery (silikonové pryže). U nichž hodnoty D_k přesahují 200, ale překážkou pro aplikaci může být hydrofobní vlastnost materiálu. Velmi oblíbené jsou v dnešní době silikonové hydrogely. Hovoříme tady o hybridních materiálech, které se skládají z více vrstev a částice z jednoho materiálu jsou disperzovány v matici druhého. Takovéto KČ jsou vhodné i pro kontinuální nošení. [2,3]

2 CHYTRÉ KONTAKTNÍ ČOČKY

Kontaktní čočky se staly velmi oblíbeným způsobem korekce refrakčních vad. Často se také využívají pro terapeutické či kosmetické účely. Přidáním některých nových funkcí vzniká nová kategorie, tzv. chytré kontaktní čočky, které poskytují více než jen pasivní korekci zraku. Můžeme sem zařadit KČ určené k biomedicínskému snímání dat a také KČ poskytující náhled do rozšířené reality (AR, augmented reality). To, že jsou KČ v přímém fyzickém kontaktu s lidskou tkání, nám umožňuje je využít jako ideální nosič pro snímač. Mrkání a sekrece slz poskytují neustálý přísun vzorků pro spolehlivou analýzu dat během dne. Materiály používané na výrobu KČ představují dobrou platformu pro dlouhodobé monitorování stavu oka. KČ jsou považovány za minimálně invazivní zdravotnické prostředky se schopností integrovat různé snímací techniky prostřednictvím povrchových nebo strukturálních úprav. Naproti tomu konvenční metody odběru vzorků vyžadují invazivní odběr krve nebo séra, což může být nepohodlné, bolestivé a doprovázené rizikem infekce. Před aplikací čoček je třeba brát v úvahu základní fyzikální parametry. Poloměr zakřivení (BC) v rozmezí 8–10 mm musí být zvolen tak, aby docházelo ke správné výměně slz a tím byl umožněn dostatečný přenos kyslíku a živin. Středová tloušťka, tedy rozdíl mezi zakřivením přední a zadní plochy čočky, bývá většinou 0,1 mm a spolu s permeabilitou materiálu udává přísun kyslíku k rohovce. Optická mohutnost, jež je dána lomivou silou čočky, je stěžejním parametrem pro zvolení správné korekční pomůcky. [6,7,22]

Nejstarší použití KČ nad rámec korekce zraku bylo zaznamenáno v roce 1950, kdy Ratliff & Riggs integrovali malé zrcadlo do sklerální čočky, které se poté používalo k detekci pohybu očí. Tato čočka byla ve skutečnosti jen malou částí propracovaného optického systému, ale ukázala se jako významné zlepšení proti tehdejšími metodám. V roce 1963 byla vyrobena první KČ s elektrickou součástí. Robinson integroval indukční cívku do KČ, aby takto zaznamenal pohyby oka. O deset let později byla vyvinuta KČ, ve které byla zakomponovaná buňka tekutého krystalu, což umožnilo měření rohovkové teploty. Díky barevně závislému odrazu vloženého tekutého krystalu lze odvodit teplotu rohovky. Následoval vývoj KČ detekující nitrooční tlak (NOT). Bohužel tehdejší technologické postupy bránily praktické implementaci (obr. 1). Dalším zajímavým biomedicínským parametrem, který bylo třeba zkoumat, byla hladina glukózy. Patent z března 1976 navrhuje použití KČ pro monitorování hladiny glukózy

v přední oční komoře. Obsah glukózy lze odvodit z měření změny polarizace laserového paprsku, který prochází přední komorou. Navazující výzkumná práce z roku 1982 potvrdila některé principy, ale celá implementace se opět zdála být nemožná. Velmi pozoruhodné bylo použití KČ připojené ke svazku vláken, která na sítnici posílala červené a infračervené světlo. Pečlivým sledováním odraženého signálu přes svazek byla zkoumána možnost provedení pulzní oxymetrie. [6]



Obr. 1 – Kompletní zařízení používané v roce 1983 k měření NOT [6]

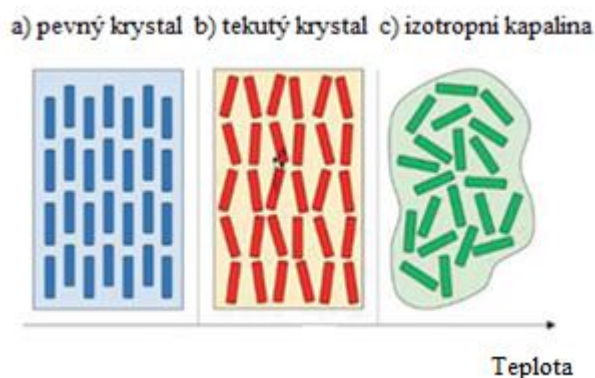
Můžeme tedy říci, že konec 20. století nám umožnil využít KČ pro měření biomedicínských parametrů. Z důvodu nedostatku adekvátních technologií pro konstrukci mikroelektronických komponent, zůstala většina vynálezů pouze na teoretické bázi. Nicméně nové tisíciletí dohnalo návrhy a myšlenky výzkumníků a nastal výrazný posun vpřed. [6]

Aktuálně dostupnými a v oblasti biomedicíny i aktivně používanými novinkami se zabývají následující tři kapitoly této práce. Popisují KČ k měření rohovkové teploty, nitroočního tlaku a glukózy ze slzného filmu pacienta.

3 MĚŘENÍ TEPLoty ROHOVKY POMOCÍ KONTAKTNÍ ČOČKY

Ke změnám teploty dochází v průběhu času na všech částech našeho těla. A není tomu jinak ani v lidském oku, přesněji na povrchu rohovky. Díky těmto teplotním změnám můžeme sledovat stavy oka, jako například syndrom suchého oka, glaukom, diabetickou retinopatii nebo vaskulární neuritidu. Pro tyto účely byly vyvinuty neinvazivní snímače pro kontinuální sledování rohovkové teploty. [8]

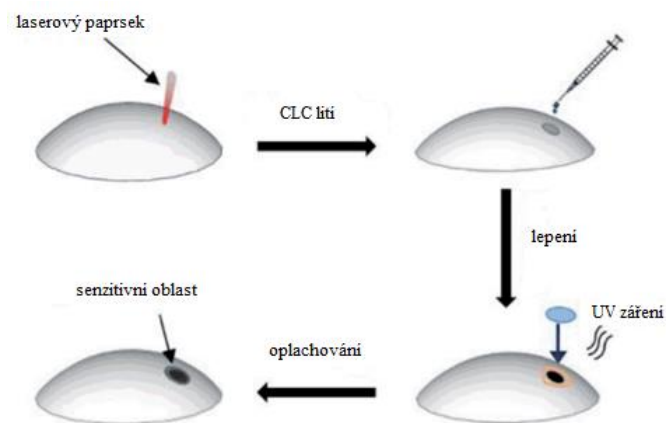
Hlavním prvkem je kontaktní čočka, která slouží jako nosič pro teplotní snímač. Teplotní senzory obsahují velmi citlivé tekuté krystaly (Cholesteric Liquid Crystals – CLC), které vykazují změnu barvy v závislosti na změně teploty. Tekuté krystaly patří mezi organické látky, které se nacházejí někde mezi pevnou látkou a kapalinou. Jejich mechanické vlastnosti se velmi podobají kapalinám, ale jejich anizotropní optické vlastnosti jsou velmi blízké krystalickým pevným látkám. Jejich reverzibilita, rychlá doba odezvy, schopnost barevných změn a vysoká teplotní přesnost z nich činí slibnou alternativu k elektronickým sensorům, které se využívají pro přesné tepelné mapování v biomedicínských oblastech. [8,9]



Obr. 2 – Porovnání struktury pevného krystalu, tekutého krystalu a izotropní kapaliny, upraveno [8]

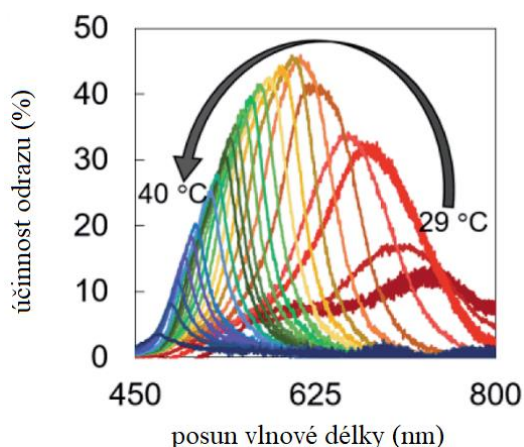
Teplotní senzory jsou vyráběny leptáním mikrostruktur uvnitř čočky a následným zalitím směsí tekutých krystalů. Mikrostruktury se získávají laserovou ablací za použití „CO₂ Rayjet laseru“ při vlnové délce 11,6 μm. Směs tekutých krystalů obsahuje cholesteryl oleyl karbonát, cholesterol pelargonát a cholesterol benzoát (hmotnostní poměr 0,35 : 0,55 : 0,10). Aby se zabránilo jakémukoli úniku, tekuté

krystaly jsou ke KČ přichyceny pomocí UV vytvrzujícího lepidla, na ně se umístí 50 µm tenká skleněná kulatá destička a celý produkt je vytvrzován v UV peci po dobu 30 minut, aby došlo k úplnému spojení. Následně je kontaktní čočka s již zabudovaným senzorem opláchnuta deionizovanou vodou a poté schne při běžné pokojové teplotě. [8]



Obr. 3 – Proces přichycení snímače na kontaktní čočku, upraveno [8]

Teplotu rohovky mapujeme ve čtyřech klíčových oblastech, ve vzdálenosti 0, 1, 3 a 5 mm od okraje zornice. Na čočce jsou tedy rozmístěny celkem čtyři senzory. Při postupném zvýšení teploty z 29 °C na 40 °C vykazují kapalné krystaly posun vlnové délky od 738 nm do 474 nm. Tedy dochází ke změnám barvy od červené až po modrou. Pro odečty se využívají speciální aplikace, které výstupní trojice RGB spojí s hodnotami teploty. Barvy jsou následně velmi přesně identifikovány dle CIE 1931 chromatického diagramu. [8,9]



Obr. 4 – Posun vlnové délky tekutého krystalu ze 738 nm na 474 nm, při rostoucí teplotě z 29 °C na 40 °C, upraveno [8]

Tato levná, přesná a neinvazivní metoda pro kontinuální měření povrchové teploty rohovky nachází uplatnění v oblastech biomedicínského výzkumu, jako je například detekce očních onemocnění. Změny teploty byly zaznamenány v případech, kdy se jednalo o zánět, syndrom suchého oka (SSO), glaukom, diabetickou retinopatii (DR) nebo vaskulární neuritidu. Mezi faktory, které teplotu ovlivňují, patří teplota okolního prostředí, vlhkost, věk pacienta, používání očních kapek, nošení KČ a také stabilita slzného filmu. Za fyziologicky normální je považováno rozmezí teplot 32,9 °C až 36,6 °C. Hodnoty mezi pravým a levým okem se zpravidla neliší, taktéž nezáleží na pohlaví pacienta. Byla zjištěna vysoká korelace mezi změnami teploty a parametry syndromu suchého oka, včetně výšky slzného menisku a výsledků Schirmerova testu. U pacientů, u kterých dochází k nadměrnému odpařování slz kvůli nedostatečné či nekvalitní lipidové vrstvě, byla zjištěna vyšší počáteční teplota než u těch, kteří mají méně slz v důsledku snížené funkce slzných žláz. Díky teplotnímu monitorování bychom mohli snadno rozlišit různé etiologie SSO. U pacientů s poruchou funkce Meibomské žlázy byla teplota zvýšena průměrně o 0,8 °C. Zjistilo se, že teplota narůstá v důsledku periferní vazokonstrikce – periferního zúžení cév. Teplotní nárůst o 1,18 °C se projevil u pacientů se zánětem rohovky, který nastal po její transplantaci. Těžké záněty mohou vést až k odmítnutí implantátu. Blízká budoucnost by mohla nabídnout ještě lepší rozlišení senzorů a také aplikace pro mobilní telefony, kde by si uživatelé mohli zobrazit aktuální hodnoty teploty. Aplikace by mohly poskytnout včasné zaznamenání očních chorob a také usnadnit monitorování léčebných postupů. [8]

4 MĚŘENÍ NITROOČNÍHO TLAKU POMOCÍ KONTAKTNÍ ČOČKY

Nitrooční tlak (NOT) je velmi důležitým parametrem pro určování patologických stavů, jako je například glaukomové onemocnění, při kterém dochází k neuropatii zřakového nervu a ireverzibilnímu poškození zraku. Funkcí NOT je zachování stálého tvaru oka. Hodnotu NOT udává poměr rychlosti tvorby a odtoku nitrooční tekutiny. Dojde-li k porušení odtokových cest, nastává hromadění nitrooční tekutiny v komorách a tím se NOT zvyšuje. Fyziologické rozmezí hodnot NOT zdravého oka je 10–21 mmHg. V noci a ráno bývají hodnoty zpravidla mírně vyšší a během dne mají sestupnou tendenci. Hodnoty vyšší než 21 mmHg jsou považovány za rizikové a mělo by následovat vyšetření zorného pole, duhovko-rohovkového úhlu a terče zřakového nervu. Vyšší NOT však nemusí vždy být příznakem glaukomu, může být pouze známkou oční hypertenze. Nitrooční tlak se měří pomocí různých kontaktních či nekontaktních tonometrů v očních ordinacích a vyšetřovnách optometristů, ale žádný z nich neumožňuje kontinuální měření. Jelikož se tato měření provádí pouze v době ordinačních hodin, mohou být maximální hodnoty zmeškány nebo podhodnoceny. [11,22]

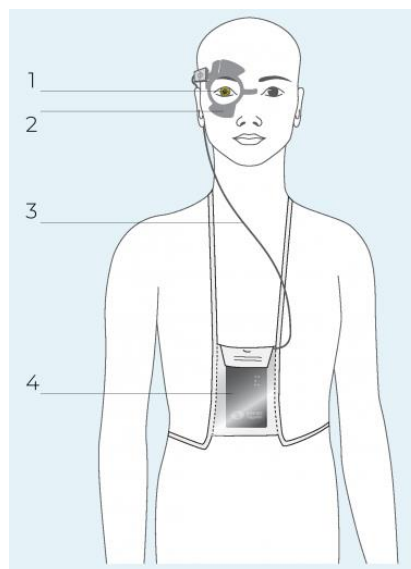
V druhé polovině 20. století byly prováděny pokusy změřit NOT pomocí integrované KČ, ale praktické provedení nebylo v této době ještě možné. To se ale změnilo, když M. Leonardi představil chytrou kontaktní čočku, která nesla snímač skládající se z odporového tenzometru, telemetrického mikroprocesoru a antény. [6]



Obr. 5 – Triggersfish od společnosti SENSIMED, kontaktní čočka s odporovými tenzometry, telemetrickým mikroprocesorem a anténou [30]

4.1 SENSIMED Triggersfish

Zařízení SENSIMED Triggersfish je indikováno pro nepřetržité zaznamenávání NOT po dobu až 24 hodin u lidí s glaukomem, rizikem glaukomu nebo s oční hypertenzí. Jedná se o měkkou silikonovou KČ se senzorem (viz obr. č. 6 - 1), který je navržený tak, aby poskytoval nepřetržitý 24hodinový záznam změn tvaru oka souvisejících s kolísáním nitroočního tlaku. Průměr čočky je ~ 14,1 mm, centrální tloušťka je 585 μm a periferní 260 μm . Kontaktní čočka je vyráběna v poloměrech zakřivení 8,4 a 8,7 i 9 mm. Propustnost čočky pro kyslík odpovídá hodnotě 119. Uvnitř čočky jsou zabudovány dva tenzometry, mikroprocesor a anténa. Tenzometry detekují změny tvaru rohovky, čočka přijímá a následně přenáší informace z tenzometru na orbitální anténu (2), která přes datový kabel (3) odesílá informace do přenosného záznamníku (4), který nosí pacient u sebe. Každých 5 minut je provedeno 300 měření trvajících 30 sekund, celkem je tedy možno získat 86 400 hodnot za 24 hodin. Následně jsou data přes Bluetooth odesílána do počítače k analýze. Poté může lékař či optometrista s odpovídajícím školením prohlížet data pomocí počítačového softwaru, který sám filtruje „šum“ způsobený mrkáním očí. Hodnoty jsou měřeny v milivoltech a jsou relativní k prvnímu měření, které je výchozí hodnotou. Z tohoto důvodu nelze data z KČ Triggersfish přímo srovnávat s výsledky aktuálně používaných zařízení k měření NOT, jako je například Goldmannův aplanační tonometr (GAT), který měří tlak v milimetrech rtuti (mmHg). [10,18]



Obr. 6 – Kompletní zařízení SENSIMED Triggersfish [30]

Některé komponenty zařízení SENSIMED Triggerfish jsou určeny pouze k jednorázovému použití. Mezi ně patří KČ obsahující senzor, samolepící pružná anténa a pouzdro na záznamník. Pro opakované použití je určen záznamník, datový kabel propojující anténu se záznamníkem, Bluetooth USB adaptér, nabíječka baterií pro záznamník a software pro lékaře. [18]

Podle pokynů výrobce k použití by SENSIMED Triggerfish neměly používat osoby s akutním očním onemocněním, poraněním oka nebo očními abnormalitami, zánětem či infekcí oka, vaskularizací rohovky, alergií na silikon, nesnášenlivostí KČ nebo nedostatečnou sekrecí slz. Dále je uvedeno, že léky snižující NOT mohou pacienti aplikovat bez omezení. V případě potřeby je doporučeno použít sterilní umělé slzy. Déle také výrobce upozorňuje, že se lidé při nošení zařízení nesmějí koupat, sprchovat nebo plavat, aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem. Také je doporučeno omezit používání mobilních telefonů a rádií, aby se minimalizovalo rušení záznamového signálu. Odhadovaná cena za 24hodinové používání tohoto zařízení se pohybuje mezi 526–682 dolary za jedno použití. Abychom zjistili celkové náklady, musíme tuto částku přičíst k počáteční ceně 7310 dolarů, což je cena za software, datový kabel a opakovaně využitelný záznamník. [10,18]

Normotenzní glaukom

Několik klinických výzkumů se zaměřilo na využití Triggerfish KČ u pacientů s normotenzním glaukomem (NTG). Tojo et al. [17] ve své studii porovnávali změny NOT u 12 zdravých jedinců a 14 pacientů s NTG. Všem 26 subjektům byl pomocí KČ měřen NOT nepřetržitě po dobu 24 hodin. Zvlášť se hodnotily změny NOT získané v průběhu dne a zvlášť hodnoty z nočních hodin. Výsledkem této studie je, že průměrný NOT v očích pacienta s NTG byl $11,5 \pm 2,4$ mmHg a průměrný NOT neglaukomatických jedinců $12,7 \pm 2,0$ mmHg. Rozsah naměřených hodnot NOT byl u skupiny s NTG významně vyšší než u skupiny zdravých subjektů. U 91,7 % zdravých jedinců a 57,1 % pacientů s NTG byla maximální hodnota NOT zaznamenána v nočních hodinách. Závěrem tedy lze konstatovat, že kontinuální měření NOT může být užitečné i pro diagnostiku NTG. [17]

4.1.1 Snášelnivost

Bezpečnost a snášelnivost zařízení byla hodnocena u dospělých ve věku nad 18 let. Dle studie Lorenz et al. [12] byla prokázána uspokojivá snášelnivost u zdravých i glaukomatických pacientů. Bylo zkoumáno 20 zdravých jedinců a 20 pacientů s glaukomem, snášelnivost byla hodnocena pomocí vizuální analogové stupnice (VAS), kde 0 odpovídá stavu, kdy není pociťováno žádné nepohodlí, a 100 odpovídá velmi těžkému diskomfortu. Po 24hodinové době nošení byla průměrná snášelnivost u zdravých jedinců 21,82 a u glaukomatických pacientů 26,8. V průběhu studie se u jednoho pacienta s glaukomem vyskytl silný pocit cizího tělesa. Později se však zjistilo, že došlo k nesprávnému zapouzdření mikroelektronických komponent v senzoru, zřejmě se jednalo o výrobní vadu. Devadesát pět procent pacientů s glaukomem uvedlo, že by byli ochotni přístroj použít znovu. Studie Mansouri et al. [16] se zúčastnilo 21 pacientů s podezřením na glaukom a 19 již glaukomatických pacientů, kteří byli monitorováni dvakrát po dobu 24 hodin s odstupem 7 dnů. Tolerance se opět hodnotila pomocí VAS. Průměrná tolerance během prvního a druhého sezení byla 27,2 a 23,8. Průměrná hodnota tolerance u jedinců s podezřením na glaukom byla 23,1 a u již glaukomatických jedinců odpovídala hodnotě 28,1. Během průběhu studie nebyla pozorována žádná statisticky významná korelace mezi skóre VAS a stavem glaukomu, ani mezi skóre VAS a použitím očních kapek na léčbu glaukomu. Celkově 4 pacienti hlásili špatnou snášelnivost (VAS 0,54) během prvního monitorování a 3 pacienti během druhého sledování. [10,12,16]

Gravesova choroba

Kontaktní čočky Triggerfish se také mohou využívat jako monitorovací zařízení NOT i pro pacienty s Gravesovou nemocí, což je autoimunitní onemocnění štítné žlázy (Thyroid eye disease, TED). Deset pacientů s touto nemocí se účastnilo studie Parekh et al. [13], která hodnotila snášelnivost a bezpečnost během 24hodinového monitorování. Je uvedeno, že u všech pacientů byla tolerance zařízení velmi dobrá ($1,5 \pm 0,7$). Hlavními nežádoucími jevy bylo rozmazané vidění (50 %), začervenání spojivek (100 %) a povrchová tečkovaná keratitida (20 %), ale nebyly zaznamenány žádné závažné nežádoucí jevy. U 50 % pacientů se objevila významná spánková akrofáze s vrcholem okolo 6:30. [13]

4.1.2 Komplikace spojené s nošením

Mezi nejčastější komplikace spojené s nošením kontaktní čočky Triggerfish patří přechodné rozmazané vidění, jelikož čočka nemá dioptrickou korekci, hyperémie spojivek a povrchová tečkovitá keratitida. Lorenz et al. [12] ve své studii porovnává 20 zdravých a 20 glaukomatických subjektů a uvádí, že se u 75 % zdravých a 85 % glaukomatických projevily mírné nepříznivé jevy. Pouze u 5 % zdravých a 20 % glaukomatických jedinců byly tyto jevy klasifikovány jako závažné. Jednalo se například o defekty epitelu rohovky, erytému spojivky či ostré bolesti očí. Skupině probandů byla před nošením čočky a také po něm měřena topografie rohovky, objektivní i subjektivní refrakce a zraková ostrost. Po vyjmutí čočky z oka byly zaznamenány změny horizontálních poloměrů rohovky, objektivní i subjektivní refrakce. Zraková ostrost po odstranění čočky byla horší zhruba o 1,5 Snellenova řádku, v porovnání se zrakovou ostroší před aplikací čočky. Mírné nežádoucí účinky jsou běžné, ale nebyly prokázány dlouhodobé vizuální následky. Veškeré tyto nežádoucí jevy do 48 hodin odezněly. V případě pocitu podrážděného oka jsou nositelům doporučovány umělé slzy. [10,12]

5 MĚŘENÍ HLADINY GLUKÓZY POMOCÍ KONTAKTNÍ ČOČKY

Hladina glukózy v krvi je důležitým parametrem pro monitorování diabetu. Nejvíce používanou metodou pro toto měření je glukometr, kdy je z prstu pacienta odebrána kapka krve, ze které se následně zjistí množství glukózy v krvi. Jsou známy i alternativní způsoby, kdy je glukóza měřena ze vzorků slin, moči nebo slz. Právě slzy nám mohou poskytnout velmi přesné hodnoty. [22]

Krev je od slz oddělena hematoencefalickou bariérou, která je tvořena acinárními a duktálními buňkami slzné žlázy, spojivkovým epitelem a epitelem rohovky. Díky únikům plazmy, existuje velmi blízký vztah mezi metabolity obou výše zmíněných tekutin. Jelikož mezi nimi existuje jistá korelace, je možné k analýze využít slznou tekutinu namísto krve. Běžná koncentrace glukózy v krvi je 3,3–6,5 mM, zatímco v slzné tekutině se pohybuje v rozmezí 0,013–0,051 mM (viz tab. č. 1). Na složení slz mohou mít velký vliv léky, které pacient užívá. Důležité je zmínit, že i samotné nošení KČ může způsobovat podráždění oka a to může ovlivnit profil bílkovin v slzách. Taktéž roztoky používané k sterilizaci KČ mohou modifikovat složení slzného filmu. [22]

Tab. 1 – Koncentrace analytů v bazálním slzném filmu a v krvi, upraveno [22]

analyt	koncentrace v slzné tekutině (mM)	koncentrace v krvi (mM)	diagnostika
glukóza	0,013–0,051	3,3–6,5	diabetes mellitus
laktát	2,0–5,0	0,36–0,75	sepsa, ischemie
Na⁺	120–165	130–145	hyper/hyponatremie
K⁺	20–42	3,5–5	hyper/hypokalemie
močovina	3,0–6,0	3,3–6,5	funkce ledvin
askorbát	0,22–1,31	0,04–0,06	diabetes mellitus
protein	7g/L	70g/L	zánět, syndrom suchého oka

Diabetes mellitus

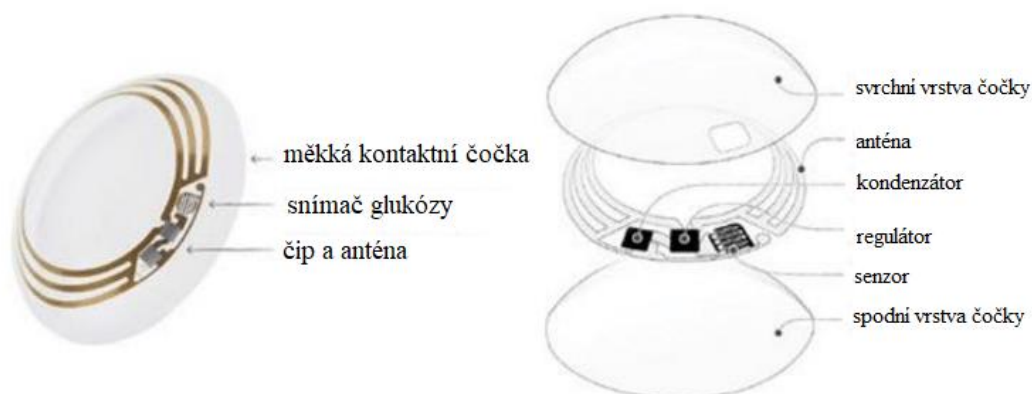
Diabetes mellitus (DM) je chronické onemocnění, ke kterému dochází tehdy, když slinivka břišní neprodukuje dostatek inzulínu, nebo když tělo nedokáže produkováný inzulín efektivně využít. Inzulín je hormon, který reguluje hladinu cukru v krvi. Hyperglykémie neboli zvýšená hladina cukru v krvi je běžným projevem nekontrolované cukrovky a v průběhu času může vést k vážnému poškození zejména nervů a cév. Může být příčinou slepoty, selhání ledvin, infarktu myokardu, mozkové mrtvice nebo také jedním z důvodů amputace končetin. Podle WHO [19] mají pacienti s diabetem dvakrát až třikrát větší riziko infarktu a mrtvice. V důsledku dlouhodobě akumulovaného poškození krevních cév v sítnici oka se objevuje diabetická retinopatie, která může vést k oslepnutí. Dále také WHO uvádí [20], že diabetes je příčinou 2,6 % celosvětové slepoty. Celosvětově postihuje cukrovka více než 420 milionů lidí. V roce 2014 mělo diabetes 8,5 % dospělé populace (18 let a více). [14,19,20]

Diabetes rozdělujeme na dva typy. Diabetes I. typu (inzulin-dependentní) se vyznačuje nedostatečnou produkcí inzulínu, a proto vyžaduje každodenní podávání dávky tohoto hormonu. Projevuje se velmi náhle, většinou u mladších lidí. Příčina vzniku cukrovky prvního typu ani prostředky k její prevenci nejsou známy. Mezi příznaky patří polyurie, polydipsie, úbytek hmotnosti, pocit hladu, únava a změny vidění. Diabetes II. typu (inzulin-rezistentní) je chronické onemocnění, které se projevuje především ve středním a vyšším věku. Na projev onemocnění má vliv genetická predispozice, vliv vnějších faktorů, snížená fyzická aktivita, nadměrný příjem kalorií, stres, kouření. [14]

5.1 Google kontaktní čočky

Společnost Google se spojila s vědci z Washingtonské university a Novartis a v roce 2014 představili chytrou kontaktní čočku se zabudovaným senzorem, která umožňuje měření hladiny glukózy z lidských slz. Díky této inovativní technologii je možné i kontrolovaně podávat léky určené pro léčbu diabetické retinopatie. Čočka se skládá ze tří vrstev. Spodní vrstva je v přímém kontaktu s rohovkou. V prostřední vrstvě je umístěn senzor, čip a velmi tenká anténa, která informace shromažďuje, analyzuje a následně je odesílá do bezdrátového zařízení – mobilního telefonu pacienta. Nositel dostává notifikaci v případě, že hladina glukózy klesne nebo naopak stoupne nad danou hodnotu. Vrchní vrstva kryje veškeré komponenty a je v ní obsažena malá dírka, která

zajišťuje neustálý přísun slz přímo k senzoru. Veškeré komponenty leží vně zornice i duhovky, takže by zařízení nemělo zasahovat do zorného pole, ani nijak poškodit oko. [15,21]



Obr. 7 – Popis kontaktní čočky společnosti Google, upraveno [22]

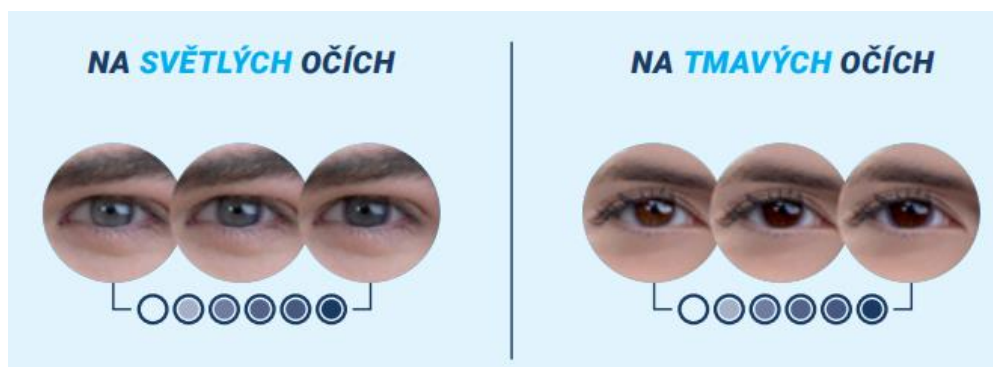
V porovnání s tradičními postupy pro měření glukózy představuje Google čočka jednoduchou a bezbolestnou metodu, díky které získáme potřebné vzorky, a není potřeba opakovaně provádět invazivní vpichy do kůže. Velkou výhodou také je kontinuální monitorování a následná analýza dat. Nasazená čočka nijak neomezuje pacienta v každodenních činnostech a zároveň umožňuje kontrolu glukózy kdekoli a kdykoli. Na druhou stranu mezi nevýhody patří fakt, že kontaktní čočky by pacient neměl používat v době spánku, přičemž v noci je riziko hypoglykémie u pacientů s DM I. největší. Mohou být nevhodné pro pacienty, kteří jsou zároveň alergiky. Nemohou být používány současně s jinou KČ, například s čočkou pro zlepšení zrakové ostrosti. V případě potřeby je lepší volit brýlovou korekci. [21]

6 KONTAKTNÍ ČOČKY SE SVĚTELNOU INTELIGENCÍ

Přestože je světlo pro naše vidění nezbytné, navozuje podmínky, které jsou pro náš zrakový systém zátěží. Existuje několik kompenzačních mechanismů, jak nepříjemnému světlu čelit. Můžeme snížit jas digitálních zařízení, odvracet oči od zdroje světla nebo oči jednoduše přimhouřit, to je ale z dlouhodobého hlediska nepohodlné a může způsobovat zrakovou únavu. [23,24]

6.1 ACUVUE OASYS with Transitions

V roce 2018 uvedla společnost Johnson & Johnson na trh kontaktní čočky *ACUVUE OASYS with Transition Light Intelligent Technology*. Snadno se dokáží přizpůsobit měnící se intenzitě světla dopadajícího do oka, kdy současně filtrují modrou složku světla a blokují UV záření. Díky těmto vlastnostem poskytují vyrovnanou kvalitu vidění během celého dne. Vznikly kombinací ověřeného materiálu senofilcon A s fotochromatickou sloučeninou. V neaktivním stavu (vnitřní prostředí) blokují 15 % světla, včetně vysoce energetického záření, a až 70 % světla, jsou-li v aktivovaném stavu (vnější prostředí). To znamená, že i když se čočka zdá být zcela čirá, jsou aktivovány některé fotochromatické molekuly a plynule filtrují viditelné světlo. Tmavnout začnou ihned po vystavení slunečnímu světlu, obvykle za 45 sekund. Návrat do původního čirého stavu trvá 90 sekund. Jelikož jsou KČ nošeny na různě barevných duhovkách, je velmi důležitý i jejich kosmetický vzhled. Množství fotochromatických sloučenin bylo zvoleno s přihlédnutím k názoru konečných nositelů. Po dobu dvou týdnů byly KČ testovány u 121 amerických nositelů. Pouze 12 % z nich uvedlo, že je vzhled KČ obtěžuje a pouze pro 7 % to byl důvod si takovéto KČ nekoupit. [24,25]



Obr. 8 – Ukázka, jak vypadají ACUVUE OASYS with Transitions na světlých a tmavých očích

[24]

Funkčnost těchto KČ byla posuzována jak ve stavu plné aktivace, tak v neaktivním stavu. Studie společnosti Johnson & Johnson zkoumala celkem 123 nositelů, kteří na jednom oku nosili ACUVUE OASYS with Transitions a na druhém oku čirý typ ACUVUE OASYS. Následně byly měřeny zrakové funkce, jako je kvalita vnímání barevného kontrastu, fotostres (zotavení po nadměrném oslnění), odezva na jasné světlo, rozptyl, starburst (oslňující reflex ve tvaru hvězdy) a halo (světelné kruhy). Výzkumem navozené podmínky byly srovnatelné se situacemi v reálném životě. Je-li zrakový systém vystaven jasnému světlu po krátký časový úsek, dochází k navození stresu fotoreceptoru a znemožnění vidět centrální část testu. Čas potřebný k zotavení zrakového systému do chvíle, kdy je opět schopný pozorovat daný cíl, je určen dobou zotavení po navozeném fotostresu. To je například velmi podobné situaci, kdy je řidič oslněn světly protijedoucího automobilu. Jasné světlo působí pro naše oči nepohodlí a v důsledku toho mžouráme, snažíme se omezit množství světla vcházejícího do oka. Výzkum stanovuje nepohodlí na základě změny vertikální velikosti štěrbin mezi víčky. Výsledky provedené studie byly porovnávány s ACUVUE OASYS with HYDRACLEAR PLUS, která je považovaná za přední KČ s režimem opakované výměny a nositelům nabízí nejvyšší komfort. Výsledky z obou fází studie jsou shrnuty v tabulce č. 2. Fotochromatické čočky poskytly zlepšení ve všech výše zmíněných aspektech a představují cestu ke snížení vlivu světelného stresu. Zotavení zraku po oslnění je s těmito KČ až o 5 sekund rychlejší a mžourání je sníženo o 38 %. [24]

Tab. 2 - Průměrné zlepšení kvality vidění v % oproti ACUVUE OASYS, upraveno [24]

	Částečně aktivované (venkovní prostředí)	Neaktivované (vnitřní prostředí)
Dočasné zhoršení vidění v důsledku jasného světla	26,6	16,9
Úroveň barevného kontrastu	32,3	17,1
Čas zotavení po fotostresu	43,1	45,4
Reakce mžourání	38,4	25,7
Rozptyl	37,0	18,4
Halo (světelný kruh)	48,2	17,9
Starburst (hvězdicové oslnění)	41,8	21,7

Zlepšení zrakových funkcí nastává i při nošení KČ v neaktivovaném stavu, tedy ve vnitřních prostorech. Fotochromatické KČ pohlcují určité procento světla a poskytují tak určité benefity bez ohledu na to, zda jsme venku, nebo uvnitř. [24,25]

Řízení automobilu s ACUVUE OASYS with Transitions

Studie Buch et al. [26] posuzovala parametry hodnotící kvalitu vidění a vnímavost řidiče při řízení automobilu, a to jak v denních, tak i v nočních podmínkách. Čočka ACUVUE OASYS with Transitions byla srovnávána s čírou kontaktní čočkou a také s fotochromatickými brýlemi. Během dvou návštěv každý subjekt absolvoval dráhu, která byla sestavena z každodenních situací a běžných rizik, které umožňovaly vyhodnotit přínos KČ při řízení. Hodnotila se průměrná vzdálenost rozpoznání značek a chodců (v metrech), správně identifikované značky (v procentech), detekce nebezpečí a celkový čas jízdy. Také se měřila zraková ostrost za zvýšených a snížených podmínek kontrastu a jasů. Této studii se účastnilo celkem 24 subjektů. Výsledky pro fotochromatické KČ byly stejné nebo dokonce lepší než pro čírou KČ nebo fotochromatické brýle. Jednoznačné zlepšení prokázaly ACUVUE OASYS with Transitions při rozpoznávání značek. Za denních podmínek umožnily rozpoznat značky o 7 m dříve a v případě noční jízdy až o 17 m. [26]

Preference nositelů

Avšak nejdůležitějším testem pro každý nový produkt je umožnit lidem, aby jej vyzkoušeli ve svém každodenním životě. Klinická studie společnosti Johnson & Johnson prokazuje subjektivní preference nositelů pro fotochromatické ACUVUE OASYS ve srovnání s čírymi ACUVUE OASYS. Celkem 230 nositelů z USA testovalo jak čirý, tak fotochromatický typ čočky po dobu dvou týdnů. Hodnotili především zrakovou ostrost, usazení, fyziologickou odpověď, subjektivní pohodlí a snadnost manipulace. V žádném z výše uvedených aspektů nebyl pozorován rozdíl. Fotochromatické KČ byly však upřednostněny v interiéru (4:1), exteriéru (6:1), při řízení během dne (5:1) i při řízení během noci (4:1). To potvrzuje, že tyto inovativní KČ poskytují nositelům výbornou kvalitu vidění a pohodlí. Výrobce upozorňuje, že přestože KČ absorbují UV záření, nejsou náhradou za dioptrické brýle nebo sluneční brýle s UV filtrem, jelikož nezakrývají celé oko. [24,25]

Tab. 3 – Parametry ACUVUE OASYS with Transitions, upraveno [25]

Materiál	Senofilcon A (silikon-hydrogel)
Poloměr zakřivení (mm)	8,4
Průměr (mm)	14,0
Obsah vody	38 %
UV filtr	Třída 1
Středová tloušťka pro -3,00 D (mm)	0,085
Indikátor rub-líc	123
Roztok v blistru	optimalizován s cílem napodobit koncentraci elektrolytů v lidských slzách pro snazší nasazení

7 KONTAKTNÍ ČOČKY BLÍZKÉ BUDOUCNOSTI

Chytré KČ nenacházejí uplatnění pouze v oblasti biomedicíny. Mohou být také platformou poskytující náhled do rozšířené reality (AR, augmented reality). S takovou technologií je nositeli umožněno vidět virtuální objekty, jako například text, obraz nebo jakékoli z internetu dostupné informace, díky kterým dojde k propojení reálného světa s tím virtuálním. V minulosti se již s tímto nápadem pracovalo, ale platformou pro projekci virtuálních obrazů byly používány brýle. Nicméně KČ by klientům mohly nabídnout větší komfort, méně rušivých elementů a ještě lepší kvalitu vidění. [6]

7.1 Digitální kontaktní čočky MOJO Vision

Společnost Mojo Vision vznikla v roce 2015 a jejím záměrem je dostat na trh kontaktní čočky, které budou zároveň digitálním asistentem pro svého nositele, uživatele. Firma sídlící v americkém Silicon Valley již představila simulaci toho, jak bude výsledný produkt vypadat a jak by měl fungovat, ale převedení do reality ještě pár let potrvá. Displej, který promítá obraz přímo na sítnici má velikost 0,5 mm a rozlišení 14 000 pixelů na palec. Přestože se displej nachází přímo před okem, je stěží viditelný, neboť není větší než zrnko písku. Monitorování očních pohybů je zajištěno jednoduchým akcelerometrem a gyroskopem, podobně jako v mobilních telefonech. Spotřeba energie tohoto zařízení je odhadována na 1,5 miliwattu. Baterie by měla vydržet 24 hodin a její dobíjení by mělo být na podobném principu jako dobíjení bezdrátových sluchátek. Uvažuje se i o bezdrátovém nabíjení pomocí kompaktního zařízení, které by klient nosil na krku podobně jako náhrdelník. Některé funkce, jako je odesílání a přijímání dat, budou vyžadovat připojení k internetu, což by poskytoval mobilní telefon nebo jiné chytré zařízení. Rozšířená realita, kterou čočka Mojo poskytuje, by mohla najít využití například u složek záchranného systému, armády, ale také u osob se zrakovým postižením. Prototyp těchto KČ byl představen na začátku roku 2020. Hlavními investory se stala firma Google, společnost HP Tech Ventures, Motorola Solutions Ventures Capital a Dolby Family Ventures. Nejdříve však Mojo kontaktní čočky musí splnit podmínky pro udělení certifikace Úřadu pro kontrolu potravin a léčiv (FDA), neboť je nezbytné prokázat jejich bezpečnost a zdravotní nezávadnost. [28,29]



Obr. 9 – Simulace pohledu na svět s nasazenou čočkou MOJO [27]

V říjnu roku 2020 byla společnost Mojo Vision jmenována vítězem NASA iTech pro rok 2020. Vědci z celého světa představovali technologické novinky z oblastí, jako je umělá inteligence, biotechnologie a autonomizace systému. Mojo představila své kontaktní čočky s virtuální realitou hlavním vědcům a technologům centra NASA a byla vybrána jako jeden ze tří vítězů. Mezi ně patří také společnost Amalgamated Vision z Tennessee, která představila laserový virtuální sítnicový displej, a Otolith Labs z Washington, D. C. se speciálním biotechnologickým zařízením, které slouží k zmírnění závratí jak na Zemi, tak ve vesmíru. Všichni tři vítězové tak získali mentorství od odborníků NASA a přístup k důležitým informacím, které by v budoucnu mohly zlepšit průzkumné mise ve vesmíru. Také obdrželi podporu od finančních a strategických investorů, kteří financují technologie průzkumu vesmíru. [31]

7.2 Kontaktní čočky s funkcí ZOOM

Vědci z Kalifornské univerzity v San Diegu vytvořili KČ, která dokáže měnit svoji ohniskovou vzdálenost a tím zvětšit obraz pozorovaného předmětu. Změna ohniskové vzdálenosti čočky a její pohyb jsou velmi podobné změnám probíhajícím v lidském oku. Toho je dosaženo pomocí dielektrických elastomerů (DE), které dokáží elektrickou energii přeměňovat na mechanickou práci. Jsou velmi lehké a mají vysokou hustotu elastické energie. Jsou složeny z měkké dielektrické vrstvy vložené mezi dvě elektrody. Je-li mezi elektrodami elektrický potenciál, měkká vrstva může zvětšit svoji plochu a zmenšit svoji tloušťku. Vytvořená KČ obsahuje několik oddělených DE a zapouzdřenou kapsli vyplněnou slanou vodou. Slaná voda je použita jako průhledné médium připomínající oční čočku a také je jednou z elektrod pro DE. Aktivace DE je řízená pomocí elektrookulografických signálů (EOG). Elektrookulografie je technika

pro měření corneo-retinálního potenciálu, který existuje mezi přední a zadní částí oka. Při této technice měření očních pohybů jsou páry elektrod umístěny nad a pod okem, nebo vlevo a vpravo od oka. Pohybuje-li se oko ze střední polohy směrem k jedné ze dvou elektrod, tato elektroda „vidí“ kladnou stranu sítnice a opačná elektroda „vidí“ zápornou stranu sítnice. V důsledku toho dochází k rozdílu potenciálů mezi elektrodami. Za předpokladu, že je klidový potenciál konstantní, je zaznamenaný potenciál měřítkem polohy oka. Elektrookulografie se také používá k hodnocení funkce pigmentového epitelu nebo hodnocení abnormalit vnějších vrstev sítnice, což umožňuje včasnou diagnostiku některých makulárních onemocnění, jako je Bestova choroba. Díky velmi rychlým reakcím DE mohou být pohyby a deformace měkké čočky synchronní s pohyby očí. Aby nastala změna ohniskové vzdálenosti, je nutné, aby oko dvakrát mrklo. Opětovným zamrkním se ohnisková vzdálenost vrátí zpět. Systém, který tato studie vyvíjí, by mohl nalézt využití při výrobě vizuálních protéz nebo dálkově ovládaných robotických systémů. [32,33]

7.3 Sony kontaktní čočky

V roce 2016 získala japonská společnost Sony patent na KČ, které dokáží pořizovat fotografie či dokonce nahrávat video záznam. Zařízení se skládá z kontaktní čočky, zaznamenávací jednotky, zobrazovací jednotky a paměťového média. Klíčovou součástí nové technologie jsou zabudované senzory, které zaznamenávají pohyby očí a dokáží rozpoznat přirozené mrknutí víček od toho úmyslného, vědomého. Právě tímto úmyslným mrknutím je aktivováno nahrávání videa. Je známo, že doba přirozeného mrknutí trvá obvykle 0,2–0,4 sekundy, a proto můžeme říci, že pokud doba mrknutí přesáhne 0,5 sekund, jedná se o vědomé mrknutí. Dle návrhu by čočka měla umět přibližovat, oddalovat a v případě rozmazaného obrazu i ostřit pomocí autofokusu. Jelikož se zatím jedná pouze o teoretické návrhy, nebylo doposud uvedeno, kdy by se čočky mohly dostat na trh a jaká by byla jejich pořizovací cena. [34,35]

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je přehledem aktuálně dostupných informací o chytrých kontaktních čočkách. Úvodní kapitola poskytuje nástin historického vývoje kontaktních čoček a popisuje materiály, které se k jejich výrobě používají. Hlavní část práce tvoří kapitoly popisující jednotlivé typy chytrých kontaktních čoček. Pozornost je zaměřena především na jejich design, vlastnosti a možnosti využití.

Ve třetí kapitole jsou popsány kontaktní čočky, které umožňují kontinuální měření rohovkové teploty, díky kterým mohou být některé oční choroby diagnostikovány již v brzkých stádiích, a může se tak předejít vážným komplikacím. Čtvrtá kapitola je zaměřena na 24hodinové monitorování nitroočního tlaku, který je velmi důležitým parametrem pro určování patologických stavů, jako je například glaukomové onemocnění. Pátá kapitola představuje inovativní možnosti neinvazivního měření hladiny glukózy ze slz. Nejprve popisuje onemocnění diabetes mellitus a následně kontaktní čočky společnosti Google, které mohou pacientům s touto nemocí výrazně ulehčit život. V šesté kapitole jsou obsaženy informace o kontaktních čočkách, které dokáží měnit své zbarvení na základě intenzity světla dopadajícího do oka. Čočky s takovými vlastnostmi zvyšují zrakový komfort a minimalizují zrakovou únavu. Poslední kapitola je věnována kontaktním čočkám blízké budoucnosti, které využívají inovativní technologie.

Jelikož výzkum i vývoj neustále postupují kupředu, je jen otázkou času, kdy budou výše zmiňované novinky dostupné pro běžné používání. Nejen pro oblast oftalmologie a optometrie budou chytré kontaktní čočky velmi užitečné, zaručeně najdou uplatnění i v jiných oborech mimo zdravotnickou sféru a budou usnadňovat každodenní život mnoha lidem. Nabízí se ale otázka, zda nemohou představovat potenciální hrozbu v podobě zneužití citlivých informací, především v podobě úniku nasnímaných vizuálních dat. Nyní můžeme jen doufat, že pokud budou chytré kontaktní čočky používány bezpečně, takovéto scénáře nenastanou, a vyčkávat na to, co ještě nám budoucnost přinese.

ZDROJE

- [1] EFRON, N. *Contact Lens Practice*. Oxford: Butterworth-Heinemann Elsevier, 2nd edition, 2010. ISBN 978-0-7506-8869-7.
- [2] SYNEK, S., SKORKOVSKÁ, Š. *Kontaktní čočky*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2003. ISBN 80-7013-387-2.
- [3] PETROVÁ, S., MAŠKOVÁ, Z., JUREČKA, T. *Základy aplikace kontaktních čoček*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2. vydání, 2008. ISBN 978-80-7013-470-2.
- [4] SIVIGLIA, N. *A History of Contact Lenses* [online]. Lancaster, 2010. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z:
<https://edwardhandmedicalmuseum.org/wp-content/uploads/2018/10/A-History-of-Contact-Lenses-by-Nick-Siviglia-Ph.D.-Sc.D..pdf>
- [5] MICHÁLEK, J. *Historický vývoj kontaktních čoček a materiálů pro ně*. Trendy v oční optice, ročník 7, 2009; 1(14–15). ISBN 978-80-904231-0-7. Dostupné z:
http://www.s-presspublishing.cz/archiv/9Trendy_2009.pdf
- [6] DE SMET, J. *The Smart Contact Lens: from an Artificial Iris to a Contact Lens Display* [online]. 2014 [cit. 2020-10-16]. ISBN 978-90-8578-663-4. Dostupné z:
<https://biblio.ugent.be/publication/4305978/file/4305993.pdf>
- [7] TSENG, R., CHEN, CH., et al. *Contact-Lens Biosensors*. Sensors [online]. 2018 [cit. 2020-11-28]. ISSN 1424-8220. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/327004280_Contact-Lens_Biosensors
- [8] MOREDDU, R., ELSHERIF, M., BUTT, K., et al. *Contact lenses for continuous corneal temperature monitoring*. RSC Advances [online]. 2019; 9(20) [cit. 2021-01-28]. ISSN 2046-2069. Dostupné z:
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/RA/c9ra00601j#!divAbstract>

- [9] KINN, J. B., TELL, R. A. *A Liquid-Crystal Contact-Lens Device for Measurement of Corneal Temperature*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering [online]. 1973; 5(387–388) [cit. 2021-01-28]. ISSN 0018-9294. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4120679>
- [10] DUNBAR, G. E., SHEN, B., AREF, A. *The Sensimed Triggerfish contact lens sensor: efficacy, safety, and patient perspectives*. Clinical Ophthalmology [online]. 2017; 11(875–882) [cit. 2021-01-28]. ISSN 1177-5483. Dostupné z: <https://www.dovepress.com/the-sensimed-triggerfish-contact-lens-sensor-efficacy-safety-and-patie-peer-reviewed-fulltext-article-OPHTH>
- [11] SÁNCHEZ, I., LAUKHIN, V., MOYA, A., et al. *Prototype of a Nanostructured Sensing Contact Lens for Noninvasive Intraocular Pressure Monitoring*. Investigative Ophthalmology & Visual Science [online]. 2011; 52(11) [cit. 2021-01-28]. ISSN 1552-5783. Dostupné z: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2187175>
- [12] LORENZ, K., KORB, CH., HERZOG, N., et al. *Tolerability of 24-Hour Intraocular Pressure Monitoring of a Pressure-sensitive Contact Lens*. Journal of Glaucoma [online]. 2013; 4(311–316) [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: [doi:10.1097/IJG.0b013e318241b874](https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e318241b874)
- [13] PAREKH, A. S., MANSOURI, K., WEINREB, R. M., et al. *Twenty-four-hour intraocular pressure patterns in patients with thyroid eye disease*. Clinical & Experimental Ophthalmology [online]. 2014; 2(108–114) [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: [doi:10.1111/ceo.12400](https://doi.org/10.1111/ceo.12400)
- [14] World Health Organization. *Diabetes*. [online]. 2020 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- [15] AZHAGURAMYAA, V. R., SRINIVASAN, K., et al. *A novel approach for diabetespatient treatment usingsmart google contact lens*. International Journal of Pure and Applied Mathematics [online]. 2018; 12(727–733) [cit. 2021-03-12]. ISSN 1314-3395. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325881892_A_novel_approach_for_diabetespatient_treatment_usingsmart_google_contact_lens

- [16] MANSOURI, K., MEDERIOS, F. A., TAFRESHI, A., et al. *Continuous 24-hour monitoring of intraocular pressure patterns with a contact lens sensor: safety, tolerability, and reproducibility in patients with glaucoma*. Archives Of Ophthalmology [online]. 2012; 12(1534–1539) [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: doi:10.1001/archophthalmol.2012.2280
- [17] TOJO, N., ABE, S., ISHIDA, M., et al. *The Fluctuation of Intraocular Pressure Measured by a Contact Lens Sensor in Normal-Tension Glaucoma Patients and Nonglaucoma Subjects*. Journal of Glaucoma [online]. 2017; 3(195–200) [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: doi:10.1097/IJG.0000000000000517
- [18] National Institute for Health and Care Excellence. *The SENSIMED Triggerfish contact lens sensor for continuous 24-hour recording of ocular dimensional changes in people with or at risk of developing glaucoma*. [online]. 2014 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z:

<https://www.nice.org.uk/advice/mib14/chapter/technology-overview>
- [19] SARWAR, N., GAO, P., GOBIN, R., et al. *Diabetes mellitus, fasting blood glucose concentration, and risk of vascular disease: a collaborative meta-analysis of 102 prospective studies*. The Lancet Global Health [online]. 2010; 375(2215–2220) [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-6736(10)60484-9
- [20] BOURNE, R. R., STEVENS, G. A., WHITE, R. A., et al. *Causes of vision loss worldwide, 1990-2010: a systematic analysis*. The Lancet Global Health [online]. 2013; 6(339–349) [cit. 2021-03-12]. Dostupné z:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25104599/>
- [21] ALI, Z. T., BIJWE, R. P. *Google Smart Contact Lens Monitoring Diabetes from Tears*. International Journal of Engineering Science and Computing [online]. 2016; 3(2715–2719) [cit. 2021-03-12]. ISSN 2321 3361. Dostupné z: doi:10.4010/2016.636

- [22] FARANDOS, N. M., YETISEN, A. K., MONTEIRO, M. J., et al. *Contact Lens Sensors in Ocular Diagnostics*. *Advanced Healthcare Materials* [online]. 2015; 6(792–810) [cit. 2021-04-05]. ISSN 21922640. Dostupné z: doi:10.1002/adhm.201400504
- [23] HAMMOND, B. R., BUCH, J., et al. *How to Help Patients Manage the Dark Side of Light*. Johnson & Johnson Vision [online]. 2019 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.jnjvisionpro.com/improving-visual-experiences-to-bright-light>
- [24] FALHAR, M. *Kontaktní čočky, které rozumí světlu*. *Česká oční optika*. 2019; 3(58–64). ISSN 1211-233X.
- [25] Johnson & Johnson Vision. *ACUVUE® OASYS with Transitions™ Light Intelligent Technology™* [online]. 2018 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.jnjvisioncare.cz/acuvue-oasys-transitions>
- [26] BUCH, J., CANNON, J., et al. *The Impact of Photochromic Contact Lenses on Daytime and Nighttime Driving Performance*. *American Academy of optometry* [online]. San Antonio, Texas, 2018 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.aaopt.org/detail/knowledge-base-article/the-impact-of-photochromic-contact-lenses-on-daytime-and-nighttime-driving-performance>
- [27] Mojo Vision [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.mojo.vision/>
- [28] SULLIVAN, M. *The making of Mojo, AR contact lenses that give your eyes superpowers*. *Fastcompany* [online]. 2020 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.fastcompany.com/90441928/the-making-of-mojo-ar-contact-lenses-that-give-your-eyes-superpowers>
- [29] TAKAHASHI, D. *Mojo Vision teams up with optics leader Menicon to develop AR contact lenses*. *Venturebeat* [online]. 2020 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://venturebeat.com/2020/12/08/mojo-vision-teams-up-with-optics-leader-menicon-to-develop-ar-contact-lenses/>
- [30] Sensimed. *About SENSIMED Triggerfish®* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.sensimed.ch/sensimed-triggerfish/>

- [31] Mojo vision. *Mojo Vision Named Winner in NASA iTech 2020 Cycle I* [online]. 2020 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.mojo.vision/news/mojo-vision-named-winner-in-nasa-itech-2020-cycle-i>
- [32] LI, J., WANG, Y., LIU, W., et al. *A Biomimetic Soft Lens Controlled by Electrooculographic Signal*. *Advanced Functional Materials* [online]. 2019; 29(36) [cit. 2021-04-05]. ISSN 1616-301X. Dostupné z: doi:10.1002/adfm.201903762
- [33] Macula and Retina Institute. *Electro-Oculogram* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.maculaandretinainstitute.com/tests-treatments/electro-oculogram-eog/>
- [34] SAKO, Y., et al. *CONTACT LENS AND STORAGE MEDIUM*. United States. 20160097940. Uděleno 2016. Dostupné z: [http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=/netahtml/PTO/search-adv.html&r=20&p=1&f=G&l=50&d=PG01&S1=\(20160407.PD.+AND+\(Sony.AS.+OR+Sony.AANM.\)\)&OS=PD/4/7/2016+and+\(AN/Sony+or+AANM/Sony\)&RS=\(PD/20160407+AND+\(AN/Sony+OR+AANM/Sony\)\)](http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=/netahtml/PTO/search-adv.html&r=20&p=1&f=G&l=50&d=PG01&S1=(20160407.PD.+AND+(Sony.AS.+OR+Sony.AANM.))&OS=PD/4/7/2016+and+(AN/Sony+or+AANM/Sony)&RS=(PD/20160407+AND+(AN/Sony+OR+AANM/Sony)))
- [35] JAQUITH, T. *Sony's Smart Contact Lenses Can Record What You See*. *Futurism* [online]. 2016 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://futurism.com/sonys-new-contact-lenses-let-record-store-everything-see>