

Frekvence pooperačních komplikací u současných typů hydrofobních a hydrofilních nitroočních čoček. Systematický přehled

Studený Pavel¹, Hložánek Martin², Marešová Klára³

¹Oční klinika FNKV a 3. LF UK Praha

²Oční klinika dětí a dospělých FN Motol a 2.LF UK Praha

³Oční klinika FN Olomouc a LF UP Olomouc



Prof. MUDr. Pavel Studený, Ph.D.

Korespondenční adresa:

Oční klinika FNKV

Šrobárova 50

100 34 Praha 10

Česká republika

E-mail: StudenyPavel@seznam.cz

Do redakce doručeno dne: 18. 3. 2025

Přijato k publikaci dne: 29. 4. 2025

Publikováno on-line: 20. 6. 2025

Autoři práce prohlašují, že vznik i téma odborného sdělení a jeho zveřejnění není ve střetu zájmů a není podpořeno žádnou farmaceutickou firmou. Práce nebyla zadána jinému časopisu ani jinde otištěna.

SOUHRN

Cíl: Porovnat četnost výskytu pooperačních komplikací po operaci katarakty u současných typů akrylátových nitroočních čoček (NOČ) v souvislosti s materiálem, který je použit k výrobě implantátu, publikovanou v odborné literatuře.

Metodika: Vyhledání publikací v databázi Pubmed, zveřejněných v letech 2015–2024 (včetně), bez jazykového omezení, s klíčovými slovy Hydrophobic, Hydrophilic, Intraocular lens. Projití všech abstrakt a vyloučení publikací, která neodpovídají zadanému tématu.

Výsledky: Celkem bylo v období posledních 10 let publikováno 220 prací splňující zadaná klíčová slova. Z toho 92 publikací se věnovalo porovnání obou typů nitroočních čoček. Jednalo se o 4 metaanalýzy, 10 review a 47 klinických studií, 21 laboratorních a experimentálních prací a 10 prací jiného charakteru (editorialy, úvahy, kapitoly v učebnicích).

Závěr: Současné typy měkkých akrylátových nitroočních čoček dosahují vynikajících refrakčních výsledků i vysoké subjektivní spokojenosti pacientů. To se týká čoček vyrobených jak z hydrofilního, tak hydrofobního materiálu. Hlavní nevýhodou hydrofilních implantátů je vyšší riziko opacifikace zadního pouzdra čočky, a také riziko kalení samotného implantátu. Především u pacientů, kde je předpoklad následné operace (dystrofie endotelu rohovky, sítnicové patologie), a také u pacientů s vyšším rizikem komplikací po Nd:YAG laserové kapsulotomii (myopové, pacienti s chronickými uveitidami, pacienti s glaukomem) by mělo být zvažováno přednostně použití hydrofobního materiálu.

Klíčová slova: hydrofilní, hydrofobní, nitrooční čočka, katarakta

SUMMARY

The Frequency of Postoperative Complications in Current Types of Hydrophobic and Hydrophilic Intraocular Lenses. A Systematic Review

Objective: To compare the incidence of postoperative complications after cataract surgery in current types of acrylic intraocular lenses (IOLs) in relation to the material used to manufacture the implant, published in the scientific literature.

Methodology: Search for publications in the Pubmed database, published in 2015–2024 (inclusive), without language restrictions, featuring the keywords Hydrophobic, Hydrophilic, Intraocular lens. Reviewing all abstracts and excluding publications that do not match the specified topic.

Results: A total of 220 works were published in the last 10 years that met the specified keywords. Of these, 92 publications were dedicated to the comparison of both types of IOLs. These were 4 meta-analyses, 10 reviews and 47 clinical studies, 21 laboratory and experimental studies and 10 studies of a different nature (editorials, considerations, chapters in textbooks).

Conclusion: Current types of soft acrylic intraocular lenses achieve excellent refractive results and high subjective patient satisfaction. This applies to lenses made of both hydrophilic and hydrophobic materials. The main disadvantage of hydrophilic implants is the higher risk of opacification of the posterior capsule of the lens, as well as the risk of opacification of the implant itself. Especially in patients who are expected to undergo subsequent surgery (corneal endothelial dystrophy, retinal pathology), as well as in patients with a higher risk of complications after Nd:YAG laser capsulotomy (patients with myopia, chronic uveitis or glaucoma), the use of hydrophobic material should be considered as a priority.

Key words: hydrophilic, hydrophobic, intraocular lens, cataract

Čes. a slov. Oftal., 81, 2025, No. 4, p. 171–180

ÚVOD

Operace šedého zákalu s implantací umělé nitroční čočky (NOČ) je jedním z nejčastějších a nejúspěšnějších

zákroků v humánní medicíně. V současné době může chirurg využít širokou škálu nejrůznějších typů NOČ od různých výrobců, z různých materiálů, odlišných tvarů, designů a optických vlastností. Mezi sebou se tyto

implantáty liší fyzikálními i chemickými vlastnostmi, cenou a také možnými nežádoucími vedlejšími efekty. Vzhledem k vysokým očekáváním výsledku operace ze strany jak pacienta, tak lékaře, je nutné pečlivě sledovat vývoj moderních NOČ a zvažovat jejich výhody i případná rizika. K tomu přistupuje také fakt, že výměnu čočky podstupují v současné době také pacienti mladšího věku, a to někdy i z refrakčních důvodů. Je tedy přínosné sledovat i pozdní pooperační komplikace, které se mohou objevit řadu let po operaci, někdy v souvislosti s dalšími chorobami oka.

Opacifikace zadního pouzdra čočky (PCO – posterior capsular opacification) je nejčastější pozdní komplikací po operaci katarakty. Incidence PCO se zvyšuje s délkou sledovací doby a je v literatuře udávána v průměru 11,8 % rok po operaci až po 28,4 % pět let po operaci [1]. Je charakterizována proliferací buněk čočkového epitelu (LECS – lens epithelial cells), jejich migrací po zadní ploše čočkového pouzdra a bloádou zrakové osy. To způsobuje zhoršenou zrakovou ostrost (ZO), snížení kontrastní sensitivity a potíže s oslňováním (glare). K rozvoji této komplikace přispívá řada faktorů jako je věk pacienta, oční komorbidita, chirurgická technika a také vlastnosti NOČ [2]. Bylo zjištěno, že zásadními faktory na straně NOČ, které mají vliv na vznik PCO, jsou tvar NOČ, respektive design jejího okraje a materiál, ze kterého jsou vyrobeny. Studie prokázaly, že čočky s ostrými okraji inhibují migraci buněk čočkového epitelu mezi optiku a zadní pouzdro a tím redukuje výskyt PCO [3,4]. Tento princip dnes akceptují prakticky všichni výrobci nitroočních čoček. Rovněž bylo prokázáno, že akrylátové čočky ve srovnání s jinými materiály, jako je silikon nebo hydrogel, mají nižší výskyt PCO a frekvenci Nd:YAG (neodymium-doped yttrium aluminum garnet) laserové kapsulotomie. To je způsobeno tím, že akrylát má relativně nižší sklon k vyvolání buněčné proliferace v čočkovém vaku [5,6]. Oba typy akrylátových NOČ, tedy čočky s vyšším obsahem vody mezi 18–34 %, tzv. hydrofilní, i čočky s nízkým obsahem vody okolo 1–5 %, tzv. hydrofobní, jsou v současné době výrobci nabízeny. Cílem této práce je zjistit a porovnat výskyt možných pooperačních komplikací u obou typů akrylátových NOČ, publikovaných v literatuře v posledních 10 letech.

METODIKA

Klíčová slova hydrophobic, hydrophilic a intraocular lens jsme zadali do vyhledávače databáze PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>). Vzhledem k trvalému technologickému pokroku při vývoji nitroočních čoček bylo naší snahou vyhledat především recentní práce publikované v posledních letech. Jako časové omezení bylo zadáno období posledních 10 let, tedy práce publikované mezi lety 2015 a 2024 včetně. Při vyhledávání nebyla stanovena jiná omezení, například jazyková. Prošli jsme všechna abstrakta publikovaných prací. Z hodnocení jsme vyloučili abstrakta, která neodpovídala hledanému tématu, tedy porovnání klinických výsledků použití NOČ

vyrobených z hydrofilních a hydrofobních materiálů. Rovněž jsme do přehledu nezařadili 2 práce, týkající se efektu materiálu NOČ při operaci dětské katarakty, vzhledem k tomu, že se jedná o velmi specifickou skupinou pacientů s velkou mírou variability.

Dle zásad medicíny založené na důkazu (EBM – evidence based medicine) jsme se zaměřili především na typ prací s vyšší vypovídající hodnotou a schopností přiblížit se pravdě, především metaanalýzy, systémové přehledy a klinické studie (RCTs – randomised controlled trials), případně další typy klinických studií, jako jsou prevalenční studie (cross sectional study), retrospektivní studie případů a kontrol (case control study), prospektivní kohortové studie (cohort study) a série případů (case series). Malý význam pro výsledek naší rešerše měly práce typu kazuistika, názory expertů atd.

VÝSLEDKY

Po zadání klíčových slov do vyhledávače PubMed bylo nalezeno 220 publikovaných prací. Z toho 128 prací se týkalo jiného tématu, zpravidla neporovnávaly oba typy NOČ vzájemně, případně se věnovaly jiné problematice. Celkem 92 publikací bylo použito k další analýze. U těchto prací byly získány plné texty, práce byly dále analyzovány. Z tohoto počtu se jednalo o 4 metaanalýzy, 10 review a 47 klinických studií. Z těchto studií se jednalo o 14 RCTs, 6 prevalenčních studií, 9 retrospektivních studií případů a kontrol, 12 kohortových studií a 6 případových serií. Dvě práce, týkající se efektu materiálu NOČ při operaci dětské katarakty v publikovaném přehledu neuvádíme. Důvodem je to, že se jedná o velmi specifickou skupinou pacientů s velkou mírou variability a možných dalších faktorů s vlivem na výsledek operace [7,8]. Výsledky všech ostatních prací jsou zahrnuty do hodnocení v našem přehledu. Ostatní práce, tj. 21 laboratorních a experimentálních prací a 10 prací jiného charakteru (case report, editorial, úvaha, technika, kapitola v učebnici) jsme vzhledem k nižší vědecké hodnotě do výsledného hodnocení nezahrnuli, v některých případech jsou informace z nich použity v diskuzi.

Metaanalýzy

Zhao se spoluautory v roce 2017 publikoval výsledky metaanalýzy, která se zabývala frekvencí opacifikace zadního pouzdra u hydrofobních a hydrofilních NOČ. Analyzovali práce publikované do roku 2016 a do přehledu zařadili celkem 11 RCTs. Celkem bylo do metaanalýzy zařazeno 889 očí. Bylo zjištěno, že hydrofobní NOČ měly celkově nižší PCO skóre a byly spojeny s nižší frekvencí Nd:YAG laserové kapsulotomie, poměr šancí (OR odds ratio) byl 0,38, 95% konfidenční interval CI byl 0,16–0,91, $p = 0,029$; tzn. že, laserová kapsulotomie byla u hydrofilních NOČ zhruba 2,6x častější než u NOČ hydrofobních. ZO byla v obou skupinách srovnatelná [9].

Podobnou metaanalýzu publikoval Wu v roce 2022. Autoři do hodnocení zahrnuli celkem 13 RCTs, zahrnujících

výsledky 939 pacientů (1262 očí). Rovněž v této práci autoři zjistili nižší výskyt PCO v případě použití hydrofobní NOČ ve srovnání s NOČ hydrofilními (standardizovaný střední rozdíl byl -1,80; 95% CI: -2,62 až -0,98). Pacienti s hydrofobní NOČ měli také signifikantně nižší frekvenci Nd:YAG laserové kapsulotomie a výsledek byl obdobný jako v předešlé práci [10].

Další metaanalýza, z roku 2019, kterou provedl Thom a spoluautoři, se zabývala vlivem NOČ AcrySof (Alcon Laboratories, Inc.) na incidenci Nd:YAG laserovou kapsulotomii v porovnání s jinými typy monofokálních NOČ (hydrofobními, hydrofilními, silikonovými a PMMA). Celkem autoři do hodnocení zahrnuli výsledky z 59 RCTs, publikované v 67 odborných článcích. Autoři ve svém závěru konstatují nejnižší riziko provedení Nd:YAG kapsulotomie u NOČ Acrysof. Ve srovnání s touto NOČ byl poměr rizik (HR – hazard ratio) nejvyšší u akrylátových hydrofilních NOČ (HR: 7,54; 95% CI: 4,24–4,06; $p < 0,001$), dále u NOČ PMMA (HR: 3,64, 95% CI: 1,87–6,33; $p < 0,001$), ostatních hydrofobních (HR: 2,68; 95% CI: 1,41–4,77; $p < 0,01$) a silikonových (HR: 1,13; 95% CI: 0,59–1,91; $p < 0,1$). Lze tedy říci, v této meta-analýze měla hydrofilní NOČ 7,5x vyšší riziko provedení Nd:YAG kapsulotomie ve srovnání s NOČ Acrysof [2].

Zatím poslední meta-analýza k tomuto tématu byla publikovaná v roce 2024 a zabývala se výskytem syndromu kontrakce předního pouzdra po operaci katarakty u rozdílných materiálů a designů NOČ. Celkem autoři zahrnuli 5 RCTs a tři kohortové studie, zahrnující dohromady 1221 očí. Ačkoli ke zmenšení plochy otvoru přední kapsulorexe došlo u NOČ z obou typů materiálů, kontrakce byla statisticky významně větší u hydrofilních NOČ v porovnání s NOČ hydrofobními, a to měsíc i rok po provedené operaci. Standardizovaný střední rozdíl byl -0,73, resp. -1,33. Především u pacientů s vyšším rizikem kontrakce přední kapsulorexe (vysoká myopie, pseudoexfoliativní syndrom, retinitis pigmentosa) doporučují chirurgům výběr hydrofobních NOČ [11].

Systematické review

Celkem 15 nalezených prací můžeme definovat jako review. Nicméně 5 z nich se týkalo jiného tématu. Do přehledu jsme tedy zahrnuli 10 zbylých.

Grzybowski se spoluautory shrnují výhody a nevýhody hydrofilních a hydrofobních NOČ. Hlavními výhodami hydrofilních NOČ jsou především dobrá manipulace, větší odolnost vůči poškození, vyšší uveální biokompatibilita a také snížená chromatická aberace. Naopak hydrofobní NOČ vykazují lepší prevenci PCO než hydrofilní NOČ a měly by být dle autorů preferovány u vysoce myopických očí, kde by Nd:YAG kapsulotomie mohla zvýšit riziko odchlípení sítnice. Co s týče materiálu torických NOČ, byla prokázána srovnatelná rotační stabilita u obou typů materiálů. U hydrofilních NOČ je také potřeba vzít v úvahu riziko kalcifikace. Ačkoli mechanismus je stále nejasný, rizikovým faktorem může být narušení hemato-okulární bariéry. Studie prokázaly také významný negativní vliv intraokulární injekce exogenního vzduchu nebo plynu

během lamelární transplantace endotelu nebo pars plana vitrektomie, zvyšující riziko opacifikace hydrofilní NOČ [12,13].

Rovněž práce Fizia-Orlicz a kol. potvrzuje, že hydrofobní NOČ mají menší výskyt opacifikace zadního pouzdra, na druhou stranu se u nich častěji vyskytuje glistening (vznik drobných vakuol v materiálu čočky) [14].

Özyol ve svém review rozlišuje biokompatibilitu uveální, na základě zánětlivé reakce oka proti implantátu jako cizímu tělesu, a kapsulární biokompatibilitu, určenou vztahem NOČ ke zbytkovému epitelu čočky. Nedostatečná kapsulární biokompatibilita materiálů NOČ může způsobit růst epiteliálních buněk čočky, zakalení předního a zadního pouzdra. Pro kapsulární biokompatibilitu jsou důležité ostré okraje NOČ a hydrofobní povrch, zatímco pro biokompatibilitu uvey je důležitý hydrofilní přední povrch. Protože však uveální biokompatibilita současných měkkých NOČ není větším klinickým problémem ani u očí s vyšším rizikem zánětu, zdá se dle autorů klinicky smysluplnější upřednostňovat kapsulární biokompatibilitu, tedy hydrofobní NOČ [15].

Labuz se spoluautory shrnuli výsledky 10 studií popisujících výskyt světelných dysfotopsií typu straylight (rozptyl světla) u 9 typů multifokálních NOČ. Hydrofilní NOČ vykazovaly statisticky nižší výskyt tohoto fenoménu ve srovnání s NOČ hydrofobními. Rovněž NOČ se žlutým filtrem měly nižší výskyt tohoto fenoménu, ale v tomto případě nebyl rozdíl statisticky významný [16].

Zbylých 6 přehledových prací se zabývá zkalením NOČ. Khoramnia uvádí, že u současných typů NOČ je hlavním typem zákalu kalcifikace u hydrofilních a glistening u hydrofobních materiálů. Tyto zákal mají různý vliv na průchod světla daným materiálem a obecně vedou ke zvýšenému rozptylu světla. V případě subjektivních obtíží je jedinou možností řešení výměna NOČ [17,18]. Přestože ve většině případů glistening a podpovrchový nanoglistening hydrofobních NOČ nevedou ke snížení ZO ani nevyžadují výměnu NOČ, mohou tyto fenomény indukovat rozptyl světla a tím snížit komfort a kvalitu vidění [19]. Glistening a podpovrchový nanoglisteningy se projevují jako mikrovakuoly o velikosti od 1,0 do více než 25,0 μm . Kalcifikační usazeniny u hydrofilních NOČ se nacházejí na/nebo pod povrchem NOČ a in vitro je lze barvit 1% roztokem alizarinové červeně nebo von Kossovou metodou [20].

Teztova práce prokazuje, že hlavní problém hydrofobních NOČ, tedy glistening, je u nových materiálů do značné míry eliminován. U novější typů hydrofobních NOČ s mírně vyšším obsahem vody (okolo 4–5 %) již glistening nevzniká [21].

Klinické studie

V hledaném období jsme našli celkem 47 klinických studií. Konkrétně se jednalo o 14 RCTs, 6 prevalenčních studií, 9 retrospektivních studií případů a kontrol, 12 kohortových studií a 6 sérií případů. Výsledky studií jsme pro přehlednost seřadili dle dominantního tématu, kterému se jednotlivé studie věnovaly.

1. Zraková ostrost

Prakticky všechny práce, které popisují ZO, korigovanou, či nekorigovanou udávají zcela srovnatelné výsledky u hydrofilních i hydrofobních NOČ, dále také četnost refrakčního překvapení a subjektivní spokojenost pacientů [22]. Také víceohniskové NOČ, stejného designu, ale vyrobené buď z hydrofilního nebo hydrofobního materiálu, měly ve studiích stejné výsledky. Celkem se této problematice věnovaly 4 RCT a 3 další studie. Autoři ovšem ani v jedné takové studii neporovnávali výskyt pooperačních komplikací [23–28].

2. PCO a frekvence Nd:YAG kapsulotomie

Velká část prací srovnávala výskyt PCO, respektive frekvenci Nd:YAG laserové kapsulotomie u hydrofilních a hydrofobních NOČ. Ve většině velkých souborů je tento výskyt signifikantně vyšší u hydrofilních materiálů.

Chang s Kugelbergem publikovali výsledky RCT, kdy po 9 letech od operace zhodnotili výskyt PCO na fotografiích v retroiluminaci, výsledek byl analyzován pomocí počítačového softwaru. Autoři porovnali tyto výsledky ve dvou skupinách, s hydrofilní (BL 27) a hydrofobní (AcrySof SA-60AT) NOČ, obě s ostrými okraji. Výběr NOČ byl randomizovaný a celkem bylo do studie zařazeno 120 očí, 120 pacientů. Devítiletou sledovací dobu dokončilo 78 pacientů. Pacienti s hydrofilní NOČ měli signifikantně vyšší výskyt PCO (průměrná plocha 100 % versus (v) 13,4 %). Rovněž počet pacientů s Nd:YAG laserovou kapsulotomií byl signifikantně vyšší ve skupině s hydrofilní NOČ (95% v. 47%). [29] V jiné své práci pak autoři publikovali také výskyt glisteningu v této sledované skupině. Ten byl naopak statisticky signifikantně vyšší u NOČ hydrofobních. Rozvoj glisteningu neměl vztah k dioptrické síle NOČ, ani neovlivňoval kontrastní sensitivitu nebo ZO [30].

Také Ursell publikoval podobné výsledky své multicentrické, retrospektivní analýze, ve které hodnotil výskyt PCO a četnost provedení Nd:YAG kapsulotomie ve 3 skupinách – pacienti s hydrofobní NOČ Acrysof – 13 329 očí, pacienti s jinou hydrofobní NOČ 19 025 a pacienti s hydrofilní NOČ 19 808. Incidence Nd:YAG kapsulotomie 3 roky po operaci v těchto skupinách byla 2,4 %, 4,4 % a 10,9 % [31]. Podobné výsledky zaznamenali autoři i v incidenci PCO: 4,7 %, 6,3 % a 14,8 %. Obdobné rozdíly mezi NOČ zaznamenali titíž autoři také 5 let po operaci, jen s navýšenými hodnotami frekvence kapsulotomie (5,8–19,3 %) a PCO (7,1–22,6 %) [32].

Další velký soubor pacientů popsal Iliescu, který retrospektivně zjišťoval výskyt PCO a provedené Nd:YAG kapsulotomie u 4805 očí v závislosti na použitém materiálu NOČ (2560 hydrofilních, 2245 čoček hydrofobních), průměrná sledovací doba byla $40 \pm 6,15$ měsíců (27–54 měsíců). U hydrofilních NOČ byl výskyt PCO i počet Nd:YAG statisticky významně vyšší (18 % v. 4 % resp. 14 % v. 2 %) [33].

Řada dalších autorů hodnotila vliv materiálu NOČ na četnost Nd:YAG laserové kapsulotomie.

Eggermont se spoluautory publikovali incidenci Nd:YAG laserové kapsulotomie rok po operaci katarakty na různých

pracovištích v Nizozemí v letech 2016 a 2017. Data byla získána z národní databáze. Rozdíl mezi pracovišti kolísal mezi 1,2 % a 26,0 %, respektive 0,9 % a 22,7 %. Autoři zjistili, že na pracovištích s vyšším výskytem laserové kapsulotomie chirurgové častěji neprovádí rutinní polishing zadního pouzdra, používají koaxiální irigaci/aspiraci a častěji používají hydrofilní NOČ [34].

Také Lee retrospektivně zhodnotil výsledky 2866 očí po 5-ti letech od operace katarakty. Autoři hodnotili výskyt Nd:YAG kapsulotomie u různých NOČ (celkem čtyř typů, tři hydrofobních – SN60WF, ZCB00 a MX60 a jedné hydrofilní – MI60). Četnost provedené kapsulotomie byla signifikantně vyšší u NOČ z hydrofilního materiálu, konkrétně tedy 7,9 %, 10,1 %, a 10,6 % versus 31,7 % [35].

Podobně Dvali a spol. v menším souboru 164 očí sledoval výskyt PCO v závislosti na materiálu NOČ. Oba typy NOČ měly stejný design. 3, 6, a 12 měsíců po operaci mezi skupinami nebyl statisticky signifikantní rozdíl, ale 18 měsíců po operaci byly již rozdíly ve výskytu PCO statisticky významné. Ve skupině hydrofilní NOČ byl výskyt PCO u 10,8 % očí, ve skupině hydrofobní jen 5,8 % [36].

Sharon retrospektivně zhodnotil průměrný odstup mezi prvotní operací katarakty a následně provedenou Nd:YAG kapsulotomií u 255 očí. U NOČ z hydrofilního materiálu byla tato doba signifikantně kratší (23 ± 13 měsíců) v porovnání s hydrofobní NOČ (28 ± 13 měsíců) [37].

Duman sledoval v souboru 4970 očí četnost provedení Nd:YAG laser kapsulotomie zadního pouzdra (celkem u 153 očí – 3,1 %). Střední sledovací doba byla 84 měsíců. Procento kapsulotomie u hydrofilních NOČ bylo statisticky vyšší ve srovnání s hydrofobními NOČ [38].

Kossack retrospektivně zjišťoval vliv materiálu NOČ na četnost provedené Nd:YAG kapsulotomie u celkem 3025 pacientů. Čtyři roky po operaci byla signifikantně nižší u pacientů s hydrofobní NOČ (31,6 % z 2078 pacientů) v porovnání s hydrofilní NOČ (56,6 % z 947 pacientů). Autoři také odhadli rozdíl ve finančních nákladech na pooperační zdravotní péči (v Německu) u hydrofobní versus hydrofilní NOČ, který činil 50 € v. 88 €, právě v souvislosti s nutností následné Nd:YAG kapsulotomie [39].

Tokko zjišťoval rizikové faktory provedení Nd:YAG kapsulotomie. Náhodně vybral ze souboru odoperovaných pacientů 300 očí, u nichž do 3 let po operaci byla provedena kapsulotomie a srovnal je s druhou náhodně vybranou skupinou, u nichž po 3 letech kapsulotomie provedena nebyla. Jako rizikové faktory zjistil mladší věk, mužské pohlaví a hydrofilní materiál NOČ. Průměrný věk pacientů s provedenou kapsulotomií byl $65,8 \pm 11,3$ (vs. $70,1 \pm 10,6$ let, $p < 0,001$ ve skupině bez kapsulotomie), muži byli ve skupině s kapsulotomií zastoupeni ve 42,7 % (zatímco ve skupině bez kapsulotomie pouze ve 34,7%, $p = 0,04$) a hydrofilní NOČ byla přítomna u 74,7 % očí s kapsulotomií (oproti 47,0 % ve skupině bez kapsulotomie, $p < 0,001$). Kratší doba mezi primární operací a kapsulotomií byla u pacientů s anamnézou uveitidy (95% CI, 5,10 v. 9,70 měsíců; $p = 0,02$) a u pacientů s implantovanou hydrofilní NOČ (95% CI, 18,67 v. 21,57 měsíců; $p < 0,001$) [40].

Pouze malé množství prací uvádí srovnatelný výskyt PCO a Nd:YAG kapsulotomie u obou typů NOČ. Jedna RCTs srovnávala hydrofilní NOČ Superflex (Rayner Surgical, Worthing, UK) a hydrofobní NOČ (Alcon, Fort Worth, TX, USA). Hodnotila opacifikaci zadního pouzdra měsíc a 2 roky po operaci u celkem 80 očí u 80 pacientů. V obou skupinách byla frekvence relativně nízká a v obou skupinách srovnatelná [41]. Bai porovnal výskyt PCO u dvou typů NOČ (hydrofilní v. hydrofobní materiál) u 60 očí pacientů s diabetes mellitus. 2 roky po operaci byl výskyt v obou skupinách srovnatelný. Srovnatelná byla rovněž pooperační ZO, kontrastní sensitivity a četnost provedených Nd:YAG kapsulotomií (10,3 v. 11,5 %) [42].

3. PCO v případě preexistujícího zákalu zadního pouzdra čočky

Joshi sledoval vliv materiálu čočky na chování preexistujícího periferního zákalu zadního pouzdra čočky (celkem 80 očí). Provedení Nd:YAG laserové kapsulotomie bylo nezbytné ve 22,5 % pacientů s implantovanou hydrofilní NOČ a v 7,5 % u pacientů hydrofobní NOČ [43].

4. PCO a Nd:YAG kapsulotomie u mikroincisních NOČ

Ve dvou publikovaných RCTs autoři zjistili relativně vysoké hodnoty PCO ve skupinách jak s implantovanou hydrofilní, tak hydrofobní NOČ. Frekvence Nd:YAG kapsulotomie 3 roky po operaci byla v první studii 34 % v. 49 %. ve druhé studii, 4 roky po operaci byla tato frekvence dokonce 50 % a 77 %. Nicméně ve všech případech se jednalo o čočky určené k mikroincisní operaci katarakty s velikostí řezu pod 1,8 mm. Autoři se z toho důvodu zamýšlejí nad výhodností použití těchto typů NOČ ve srovnání se standardními typy NOČ [44,45].

5. PCO a záhyby zadního pouzdra

Joshi sledoval výskyt PCO a záhyby zadního pouzdra (striae) v souboru 1247 očí. U pacientů s implantovanou hydrofilní NOČ se tento fenomén vyskytl ve 31,4 % případů a pouze u 7,6 % pacientů s NOČ hydrofobní. PCO skóre bylo v hydrofilní skupině 0,6 %, v hydrofobní 0,1 % [46].

6. PCO a buckling

Rajesh ve své observační studii sledovali kromě výskytu sekundární katarakty také stabilitu NOČ v čočkovém vaku a deformaci haptik (tzv. buckling) u celkem 444 očí 317 pacientů. Z toho ve 254 případech se jednalo o hydrofilní NOČ, ve 190 o hydrofobní NOČ. Sekundární katarakta se vyskytla v 11 % případů u NOČ hydrofilních a u 1,1 % NOČ hydrofobních. Deformace haptik byla zjištěna celkem u 8,3 % očí, přičemž u hydrofilních NOČ se tento jev vyskytl ve 13,9 % případů, u hydrofobních v 1,6 % případů. Buckling byl u hydrofilních NOČ spojen i se změnou refrakčního stavu oka. Hlavními subjektivními obtížemi u těchto pacientů bylo zamlžené a zhoršené vidění [47].

7. PCO a výskyt makrofágů u pacientů s Fuchsovou uveitidou

Özdamar zjišťoval vliv materiálu (hydrofobní, hydrofilní) na výskyt PCO a makrofágů u pacientů s Fuchsovou uveitidou. Soubor tvořilo celkem 56 očí. Autoři v této specifické skupině pacientů nezjistili statistický významný rozdíl ve velikosti PCO, době vzniku PCO, četnosti Nd:YAG kapsulotomie a výskytu makrofágů na NOČ [48].

8. Kontrakce přední kapsulorhexe

Wang zjišťoval vliv materiálu NOČ na pooperační kontrakci přední kapsulorhexe identického průměru, provedené pomocí FLACS (femtosecond laser-assisted cataract surgery) u 320 očí. Hydrofobní NOČ vyvolávaly statisticky nižší kontrakci ve srovnání s NOČ hydrofilními, měřeno měsíc, 3 měsíce a rok po operaci [49].

9. Negativní dysfotopsie

Několik prací se zabývalo možným vlivem materiálu NOČ na výskyt negativních dysfotopsií u pacientů po operaci katarakty.

Jedna práce sledovala výskyt negativních dysfotopsií a posuzovala možný vliv materiálu (hydrofobní – Acrysof SA60AT výrobce Alcon a hydrofilní – CT Asphina 603 P výrobce Carl Zeiss) a hydratace hlavního temporálního řezu. Celkem tento fenomén (negativní dysfotopsie) zaregistrovali autoři u 9,1 % pacientů, nicméně v 83 % případů se jednalo o pouze přechodné obtíže. Autoři zjistili významný vliv hydratace řezu na vznik této komplikace, ale vliv materiálu na četnost negativních dysfotopsií prokázán nebyl [50]. Bhogal-Bhamra na menším souboru 32 pacientů sledoval výskyt vedlejších zrakových fenoménů objektivně (pomocí Aston Halometru) i subjektivně, v závislosti na materiálu implantované čočky. Nebyly zjištěny žádné rozdíly ani ve ZO ani v četnosti nebo závažnosti těchto fenoménů [51].

Sezgin Asena srovnávala výsledky dvou difrakčních trifokálních čoček, hydrofilní (AT lisa tri 839 MP) a hydrofobní (Acrysof PanOptix) u celkem 238 očí 119 pacientů. Obě čočky vykazovaly dobré a srovnatelné zrakové a refrakční výsledky. Četnost a závažnost obtěžujících halo byla signifikantně vyšší ve skupině hydrofilní [52].

Naopak Serdiuk popsal statisticky vyšší výskyt dysfotopsií u pacientů s trifokální hydrofobní čočkou v porovnání s jinými dvěma trifokálními čočkami z hydrofilního materiálu. Ostatní hodnocené parametry, především ZO na různé vzdálenosti, byly srovnatelné [53].

10. Straylight (rozptýlené světlo)

Tang se spoluautory zjišťoval rozptyl světla u pseudofakických pacientů pomocí přístroje C-Quant, 3–4 týdny po provedené operaci. Zvýšený rozptyl světla autoři zaregistrovali obecně při dilataci zornice. V případě dilatace byl rozptyl větší u asferických NOČ (v porovnání s NOČ sférickými), z hlediska materiálu nebyl zaznamenán rozdíl. U normální velikosti zornice byl rozptyl větší u hydrofobních NOČ ve srovnání s NOČ hydrofilními [54]. K podobnému závěru dospěl také Lapid-Gortzak se spoluautory,

kteří stejnou metodou měřili straylight a porovnali dva typy difrakčních multifokálních NOČ, jeden z materiálu hydrofilního (84 očí), druhý z materiálu hydrofobního (79 očí) [55].

11. Aberace vyšších řádů

Jafarzadehpur se spoluautory sledovali hodnotu aberací vyšší řádů (HOA) pomocí OPD Scan III (Nidek) u dvou typů sférických monofokálních NOČ, hydrofobní a hydrofilní. ZO, total coma, total trefoil a celková hodnota HOA byly v obou skupinách srovnatelné [56].

12. Chromatická aberace

Vinas zjistil u hydrofobních NOČ vyšší longitudinální chromatickou aberaci o 0,16 D (respektive 0,15 D dle způsobu měření) ve srovnání s NOČ stejného designu ale vyrobenou z hydrofilního materiálu [57].

13. Rotační stabilita torické NOČ

Haripriya retrospektivně sledoval počet nutných dorotací u dvou typů torických nitroočních NOČ, hydrofilní Auroflex (4603 očí) a hydrofobní AcrySof (926 očí). Chirurgická repozice byla prováděna v případech rotace 15 a více stupňů. Autoři nezjistili statisticky významný rozdíl v četnosti dorotace u obou typů NOČ (2,5 % v 1,9 %). Obecně vyšší frekvence dorotace byla zjištěna u mladších pacientů, u předoperačně vyšších astigmatismů a u astigmatismu podle pravidla [58].

Draschl také zjišťoval stabilitu NOČ v závislosti na materiálu. U 40 pacientů s oboustranným rohovkovým astigmatismem pod 1,75 D (měřeno pomocí přístroje IOL Master 500) byla do jednoho oka implantována hydrofilní NOČ a do druhého oka hydrofobní NOČ, stejného designu, v obou případech se jednalo o netorické varianty. Tři měsíce po operaci byla sledována rotační stabilita pomocí retroiluminační fotografie, NOČ byla rotována v průběhu o $2,4 \pm 1,85$ stupně v hydrofilní skupině a $1,6 \pm 1,61$ stupně v hydrofobní skupině. Rozdíl byl statisticky signifikantní [59].

14. Cystoidní makulární edém (CME)

Dvali na menším souboru 48 očí sledoval pomocí vyšetření OCT (optická koherenční tomografie) vliv materiálu na centrální tloušťku sítnice (CRT) a případný výskyt CME. Autoři v souboru zjistili srovnatelný nárůst CRT o $30 \pm 0,1 \mu\text{m}$ 5–7 pooperační den v obou skupinách, ale nezachytili ani jeden případ CME [60].

15. Zkalení NOČ

Relativně vzácnou, ale velmi závažnou komplikací související s materiálem NOČ je její následná opacifikace.

Wang se spoluautory retrospektivně zhodnotili pooperační výskyt zákalu NOČ u 42545 očí po operaci katarakty. V 66 % souboru se jednalo u materiál hydrofilní, v 27,9 % hydrofobní a v 6,1 % o hydrofilní NOČ s hydrofobním povrchem. Celkem autoři zjistili výskyt opacifikace u 14 různých typů implantátů, z toho u 10 NOČ se jednalo o trvalé zkalení čočky. V 7 případech se jednalo o NOČ hydrofilní

a ve 3 případech o NOČ hydrofilně-hydrofobní. Střední interval mezi operací a diagnózou zkalené NOČ byl $34,4 \pm 8,4$ měsíce (v rozmezí 12–59 měsíců) [61].

Neuhann se spoluautory analyzovali důvody pro explantaci celkem 200 NOČ. Hlavní příčinou bylo zkalení NOČ – 153 případů (76,8 %), dalším důvodem byla subluxace NOČ – 27 případů (13,5 %). Celkem 167 explantovaných NOČ bylo z hydrofilního materiálu nebo hydrofilního s hydrofobním povrchem. Analýza zákalů prokázala povrchová a podpovrchová depozita kalcium fosfátu u většiny opacifikovaných NOČ (152 ze 153). Celkem se jednalo o výrobky 22 různých výrobců, ačkoliv jeden výrobce byl zastoupen výrazně četněji (119 čoček, 59,5 %) [62].

Lorenza Blanco se spoluautory retrospektivně zjišťovali výskyt zkalení NOČ po transplantaci endotelu rohovky v souboru 372 artefakických očí. Průměrná sledovací doba byla 856 dní. 128 implantovaných NOČ bylo hydrofobních, 120 hydrofobních a u 124 očí nebyl materiál zjištěn. Celkem došlo ke zkalení NOČ ve 12,9 % případů, u 10 očí byla nutná výměna. Významně vyšší riziko vykazovaly NOČ hydrofilní a autoři doporučují nepoužívat tyto čočky v případě rizika plánované endoteliální keratoplastiky. Naopak nebyl zjištěn vliv typů lamelární transplantace, četnosti rebubblingu nebo použité tamponády [63].

Moura-Coelho se spoluautory retrospektivně zhodnotili soubor 232 pacientů po DMEK. Analyzovali případy zkalení NOČ – celkem 21 očí (9,1 %). Hlavními rizikovými faktory byl vyšší obsah vody v čočce (odds ratio 65,5) a rebubbling (odds ratio 9,51). Rovněž analyzovali případy, kdy bylo NOČ nutno explantovat z důvodu zkalení. Jednalo se o 4 NOČ, ve dvou případech z materiálu hydrofilního, ve 2 případech hydrofilního s hydrofobním povrchem [64].

Naopak Schrittenlocher, který retrospektivně zhodnotil celkem 564 konsekutivních pacientů po operaci DMEK nezjistil vliv typu materiálu NOČ (hydrofilní v. hydrofobní) ani typu tamponády (SF6 v. vzduch). Celkem ve svém souboru zjistili zkalení NOČ ve 14 případech (2,5 %) [65].

DISKUZE

Oba typy měkkých akrylátových NOČ, tedy hydrofilní i hydrofobní, jsou v současné době v oftalmologii široce používány. Výhody hydrofilních NOČ jsou především dobrá manipulace a snadná implantace [66], větší odolnost vůči poškození [67] včetně náhodného poškození laserovým zásahem při Nd:YAG kapsulotomii [68,69], vyšší uveální biokompatibilita a také nižší chromatická disperze [70]. Hlavní nevýhodou je vyšší frekvence PCO a následná nutná Nd:YAG laserová kapsulotomie. Wang vysvětluje nižší výskyt PCO u hydrofobních čoček biologickým efektem materiálu NOČ na adhesi, migraci, morfologii a epiteliálně-mesenchymální transici (EMT) lidských buněk čočkového epitelu [71].

Samotné provedení laserové kapsulotomie má rovněž určitá rizika a může zvyšovat výskyt některých komplikací, především elevaci nitroočního tlaku, cystoidní makulární

edém a ochlínění sítnice. Výskyt těchto komplikací se udává souhrnně okolo 13 %. U některých skupin pacientů, jako jsou například pacienti s diabetes mellitus, pacienti s uveitidami, vysocí myopové atd. je riziko komplikací po YAG kapsulotomie ještě vyšší [72,73].

Někteří výrobci se pokusili upravit povrch stávajících materiálů, tak aby bylo dosaženo lepší biokompatibility NOČ. V experimentech se k tomu využívá například plazma, ionizující záření, ultrafialové záření, ozón nebo technika postupného vrstvení. Z materiálů, které se podařilo těmito postupy inkorporovat do povrchu čočky byly popsány např. PEG, polyhedrální oligomerní silsesquioxan, 2-methakryloyloxyethylfosforylcholin, heparin, F-heparin, titan, TiO_2 , nitrid titanu, vinylpyrrolidon a inhibitory cytokinů. Těmito postupy je možné dosáhnout toho, že NOČ je více hydrofobní (případně hydrofilní), nebo vznikne NOČ s hydrofilním předním a hydrofobním zadním povrchem [74]. Většina takto upravených NOČ nicméně v tuto chvíli není k dispozici ke klinickému využití a například klinické výsledky hydrofilních NOČ s hydrofobní povrchovou úpravou dosud přesvědčivě neprokazují zvýšenou odolnost vůči vzniku PCO [75].

Pravděpodobně nejzávažnější (naštěstí dosti vzácnou) pooperační komplikací je zkalení NOČ. Řada autorů uvádí případy zkalení hydrofilních nitroočních čoček, případně hydrofilních NOČ s hydrofobním povrchem. Konkrétně jeden typ nitrooční čočky Lentis LS-502-1 (Oculentis GmbH, Berlin, Germany) vykazoval velmi vysokou (9,9–53 %) frekvenci zkalení [76,77]. Laboratorní analýzou bylo zjištěno, že se jedná o podpovrchová deposita kalcium fosfátu [78]. Příčinou zkalení NOČ mohou být materiálové vlastnosti, kontaminace spojená s výrobou a individuální faktory pacientů jako je měnění se koncentrace nitroočních iontů, věk, arteriální hypertenze, hypercholesterolemie, diabetes mellitus [77,79]. Například Buhl v experimentu prokázal vyšší riziko kalcifikace NOČ v případě vyšší koncentrace fosfátů, jako je tomu v komorové tekutině diabetiků. Koncentrace (10 mM a 14 mM Na_2HPO_4) které u hydrofilních NOČ způsobovaly zkalení, u hydrofobních NOČ vliv na čírost materiálu neměly [80].

Ojediněle byly i u dalších typů a výrobců NOČ popsány zákaly. Mackert analyzoval 75 explantovaných opacifikovaných NOČ a posuzoval typ zákalu. V 68 případech se jednalo o jednokusový hydrofilní akrylát, v jednom případě o 3kusý hydrofilní akrylát a v 6 případech o 3kusý hydrofobní akrylát. V 67 případech se jednalo o jemně granulární opacity a v 8 případech o krustovité zákaly. V 62 případech se jednalo o primární typ zákalu (tedy vzniklý na podkladě výroby a balení) ve 13 případech o sekundární typ opacifikace nejasné etiologie. Přední plocha byla postižena u všech 75 čoček, zadní plocha pouze ve 23 případech [81]. Kalcifikace hydrofobních NOČ byla pozorována v porovnání s hydrofilními NOČ velmi vzácně, nicméně byly takové případy rovněž popsány [82,83].

Riziko opacifikace NOČ se pravděpodobně významně zvyšuje v souvislosti s některými dalšími nitroočními zákroky, především spojenými s insuflací plynu nebo

vzduchu do sklivcového prostoru, případně do přední oční komory [13]. Bopp popsal případ 14 explantovaných zkalených NOČ po pars plana vitrektomii (PPV). Provedená procedura byla různá, u 8 očí byl k endotamponádě použit hexafluoroethan C_2F_6 , u jednoho oka perfluoropropan C_3F_8 , ve dvou případech vzduch a 3 případech silikonový olej. Průměrný interval mezi operací a zaregistrovaným zkalením NOČ byl $20,5 \pm 18,6$ měsíců. V 6 případech se jednalo o NOČ z hydrofilního materiálu, v 7 případech o hydrofilní materiál s hydrofobním povrchem a v jednom případě se nepodařilo materiál čočky zjistit [84]. Markovich popsal 11 případů zkalené hydrofilní NOČ (celkem 6 výrobců) po provedené PPV s plynovou tamponádou. Zkalení bylo zaznamenáno 1 měsíc až 6 let po operaci. Osm čoček bylo explantováno a následně analyzováno, byla zjištěna granulární deposita obsahující vápník a fosfor [85]. Werner analyzovala 7 zkalených a následně explantovaných NOČ po DSAEK. V 6 případech se jednalo o hydrofilní materiál celkem 6 výrobců. Laboratorně bylo zjištěno, že s jedná o povrchové/podpovrchové usazeniny vápníku, centrální kruhové distribuce v oblasti ohraničené přední kapsulorexi nebo zornicí [86].

Jak již bylo řečeno (na rozdíl od hydrofilních NOČ) vzniká zkalení hydrofobních NOČ extrémně vzácně. Hlavní pozorovatelnou změnou v materiálu u hydrofobních NOČ je naopak glistening – vytváření drobných mikrovakuol vyplněných vodou, které mohou způsobit rozptýl světla. Zpravidla nezpůsobují pacientům větší obtíže, ale byly popsány i případy, kdy bylo nutno NOČ explantovat z důvodu nežádoucích vedlejších optických fenoménů. Yildirim v laboratorních podmínkách zkoumal odolnost celkem 5 hydrofobních NOČ vůči vzniku glisteningu. Jednalo se o NOČ 800C (Rayner, Worthing, UK), AcrySof SN60WF (Alcon, Fort Worth, USA), Tecnis ZCB00 (Johnson & Johnson Vision, Santa Ana, USA), Vivinex XY1 (Hoya, Tokyo, Japan) and CT Lucia 611P (Zeiss, Oberkochen, Germany). Autoři hodnotili počet mikrovakuol na mm^2 (mVs/ mm^2). Nejvyšší naměřené hodnoty měla NOČ SN60WF ($66,0 \pm 45,5$) mVs/ mm^2 a NOČ 611P ($30,7 \pm 8,4$) mVs/ mm^2 . U NOČ 800C, XY1 a ZCB00 byly naopak naměřené hodnoty velmi nízké ($2,0 \pm 3,6$, $2,7 \pm 2,4$ a $0,9 \pm 0,6$ mVs/ mm^2). Studie tak prokázala, že rezistence k formaci glisteningu závisí na složení kopolymeru příslušného akrylátu [87].

Zajímavou otázkou při volbě implantátu na jednotlivých pracovištích je také jeho cena. Ting publikoval data vycházející z národního registru katarakty Spojeného království za roky 2015–2020. Celkem bylo v registru 907 052 operací. Porovnal počet implantovaných hydrofilních a hydrofobních NOČ v zařízeních s různým úhradovým mechanismem. Na pracovištích financovaných systémem „bloc contract“ – tedy platba předem dohodnuté částky bez ohledu na konkrétní provedené výkony, byly přednostně implantovány hydrofobní NOČ (96,5 % v. 3,5 %). Na těchto pracovištích s velkou pravděpodobností hrála roli snaha o co nejnížší množství komplikací, které by následně zvyšovaly cenovou nákladnost. Naopak na pracovištích, kde operace katarakty byla hrazena systémem „payment by results“ – tedy platba za výsledek, byly

hydrofobní NOČ implantovány pouze v 65,7 % (v 34,4 % hydrofilních). Zde mohlo hrát roli, že následné řešení komplikací, jako například Nd:YAG kapsulotomie jsou opět pracovišti proplaceny. Autoři konstatují, že tedy výběr NOČ je poněkud neeticky ovlivňován typem platby a cenou, přestože průměrný cenový rozdíl mezi oběma NOČ nebyl velký [88]. V našem prostředí je tento fakt zpravidla ošetřen ze strany plátců systémem rozdílných balíčkových plateb za implantaci NOČ hydrofilní a hydrofobní. To se ovšem netýká pracovišť financovaných dle úhradové vyhlášky, případně jinými kontrakty.

ZÁVĚR

Současné typy měkkých akrylátových nitroočních čoček dosahují vynikajících refrakčních výsledků i vysoké subjektivní spokojenosti pacientů. To se týká čoček vyrobených jak z hydrofilního, tak hydrofobního materiálu. Rovněž některé další vlastnosti jako například rotační stabilita, vliv na pooperační tloušťku sítnice, frekvence refrakčních překvapení, aberace vyšších řádů jsou v obou skupinách zcela srovnatelné. Hydrofilní NOČ vykazují lehce lepší výsledky v četnosti dysfotopsií, mají nižší chromatickou dispersi, větší odolnost vůči mechanickému poškození a velmi dobře se implantují. Nevzniká u nich fenomén glisteningu, který se vyskytuje výhradně u NOČ hydrofobních.

Hlavní nevýhodou hydrofilních implantátů je ovšem jednoznačně vyšší riziko PCO a také riziko zkalení samotného implantátu. Tento jev se častěji vyskytuje v případě následných nitroočních operací, především PPV a transplantace endotelu rohovky. U pacientů, kde je riziko takovéto následné operace (dystrofie endotelu, sítnicové patologie), a také u pacientů s vyšším rizikem komplikací po Nd:YAG laserové kapsulotomii (myopie, chronické uveitidy, glaukom) by mělo být zvažováno přednostně použití hydrofobního materiálu.

Zcela optimální a univerzální typ materiálu pro výrobu NOČ stále nemáme. Obecně by optimální materiál měl mít vynikající optické vlastnosti a umožňovat tak perfektní ZO, měl by být biokompatibilní, bránit opacifikaci zadního pouzdra a případně umožňovat i změnu refrakčního indexu k vytvoření dioptrické mohutnosti specifické pro konkrétního pacienta. NOČ z takového materiálu by měla být implantovatelná malým řezem, tak aby celý zákrok byl maximálně šetrný. Určitou roli samozřejmě hraje také cena výsledného materiálu. Za velice slibné materiály jsou s v současné době považovány hybridní polymery jako je PEG-PEA/Styrene (polyethylenglykol, polyethylenadipát), 2-HEMA a EOEMA kopolymery (poly 2-hydroxyethylmethacrylate, poly 2-ethoxyethylmethacrylate), případně kombinace více různých materiálů s různými refrakčními indexy, tzv. GRIN (GRADIENT INDEX), které by anatomicky i funkčně mohly být velmi podobné naturální čočce [89].

LITERATURA

1. Schaumberg DA, Dana MR, Christen WG, Glynn RJ. A systematic overview of the incidence of posterior capsule opacification. *Ophthalmology*. 1998 Jul;105(7):1213-1221.
2. Thom H, Ender F, Samavedam S, et al. Effect of AcrySof versus other intraocular lens properties on the risk of Nd:YAG capsulotomy after cataract surgery: A systematic literature review and network meta-analysis. *PLoS One*. 2019 Aug 19;14(8):e0220498.
3. Buehl W, Findl O. Effect of intraocular lens design on posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg*. 2008 Nov;34(11):1976-1985.
4. Findl O, Buehl W, Bauer P, Sycha T. Interventions for preventing posterior capsule opacification. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007 Jul 18;(3):CD003738. Update in: *Cochrane Database Syst Rev*. 2010 Feb 17;(2):CD003738.
5. Findl O, Menapace R, Sacu S, Buehl W, Rainer G. Effect of optic material on posterior capsule opacification in intraocular lenses with sharp-edge optics: randomized clinical trial. *Ophthalmology*. 2005 Jan;112(1):67-72.
6. Hollick EJ, Spalton DJ, Ursell PG, et al. The effect of polymethylmethacrylate, silicone, and polyacrylic intraocular lenses on posterior capsular opacification 3 years after cataract surgery. *Ophthalmology*. 1999 Jan;106(1):49-54; discussion 54-55.
7. Koch CR, Santhiago MR, Jorge PA, Sena P, Kara-Júnior N. Posterior Capsule Opacification after Cataract Surgery in Children Over Five Years of Age with Square-edge Hydrophobic versus Hydrophilic Acrylic Intraocular Lenses: A Prospective Randomized Study. *Clinics (Sao Paulo)*. 2020;75:e1604.
8. Sen P, Kshetrapal M, Shah C, Mohan A, Jain E, Sen A. Posterior capsule opacification rate after phacoemulsification in pediatric cataract: Hydrophilic versus hydrophobic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2019 Oct;45(10):1380-1385.
9. Zhao Y, Yang K, Li J, Huang Y, Zhu S. Comparison of hydrophobic and hydrophilic intraocular lens in preventing posterior capsule opacification after cataract surgery: An updated meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2017 Nov;96(44).
10. Wu Q, Li Y, Wu L, Wang CY. Hydrophobic versus hydrophilic acrylic intraocular lens on posterior capsule opacification: a Meta-analysis. *Int J Ophthalmol*. 2022 Jun 18;15(6):997-1004.
11. Chen L, Zhong Y, Yao K, Fu Q. Effect of intraocular lens material and haptic design on anterior capsule contraction after cataract surgery: A systematic review and meta-analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2024 May;262(5):1421-1432.
12. Grzybowski A, Markeviciute A, Zemaitiene R. A narrative review of intraocular lens opacifications: update 2020. *Ann Transl Med*. 2020 Nov;8(22):1547.
13. Grzybowski A, Auffarth GU, LaHood BR. How do intraocular lens materials influence the outcome of cataract surgery? *Curr Opin Ophthalmol*. 2025 Jan 1;36(1):18-24.
14. Fizia-Orlicz A, Misiuk-Hojło M. Soczewki wewnątrzgałkowe w chirurgii zaćmy - wykorzystanie polimeró. *Polim Med*. 2015 Jul-Dec;45(2):95-102. Polish.
15. Özyol P, Özyol E, Karel F. Biocompatibility of Intraocular Lenses. *Turk J Ophthalmol*. 2017 Aug;47(4):221-225.
16. Łabuz G, Reus NJ, van den Berg TJ. Comparison of ocular straylight after implantation of multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2016 Apr;42(4):618-625.
17. Khoramnia R, Yildirim TM, Łabuz G, Mayer CS, Auffarth GU. Eintrübung von Intraokularlinsen: Erkenntnisse aus dem Labor und der Klinik. *Ophthalmologe*. 2021 Jul;118(7):633-642.
18. Khoramnia R. Eintrübung von Intraokularlinsen. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2021 Jul;238(7):831-842.
19. Kanclerz P, Yildirim TM, Khoramnia R. A review of late intraocular lens opacifications. *Curr Opin Ophthalmol*. 2021 Jan;32(1):31-44.
20. Kanclerz P, Yildirim TM, Khoramnia R. Microscopic Characteristics of Late Intraocular Lens Opacifications. *Arch Pathol Lab Med*. 2021 Jun 1;145(6):759-767.
21. Tetz M, Jorgensen MR. New Hydrophobic IOL Materials and Understanding the Science of Glistenings. *Curr Eye Res*. 2015;40(10):969-981.

22. Borkenstein AF, Borkenstein EM. Clinical Performance of New Enhanced Monofocal Intraocular Lenses: Comparison of Hydrophobic C-loop and Hydrophilic Plate-Haptic Platform. *Adv Ther.* 2023 Oct;40(10):4561-4573.
23. Nagy ZZ, Popper-Sachetti A, Kiss HJ. Comparison of visual and refractive outcomes between hydrophilic and hydrophobic trifocal intraocular lenses sharing the same optical design. *J Cataract Refract Surg.* 2019 May;45(5):553-561.
24. Garzón N, Poyales F, García-Montero M, Vega F, Millán MS, Albarán-Diego C. Impact of Lens Material on Objective Refraction in Eyes with Trifocal Diffractive Intraocular Lenses. *Curr Eye Res.* 2022 Jan;47(1):51-61.
25. Khoramnia R, Kretz FTA, Gerl M, Breyer D, Auffarth GU. Long-term Clinical Outcomes After Bilateral Implantation of Two Trifocal Diffractive IOLs. *J Refract Surg.* 2023 Dec;39(12):798-807.
26. Poyales F, Pérez R, López-Brea I, Zhou Y, Rico L, Garzón N. Comparison of Visual Performance and Patient Satisfaction Outcomes with Two Trifocal IOLs with Similar Optical Design but Different Materials. *Clin Ophthalmol.* 2020 Oct 13;14:3237-3247.
27. Poyales F, Pérez R, López-Brea I, Zhou Y, Garzón N. First Results after Implantation of Hydrophilic and Hydrophobic Trifocal Intraocular Lenses: Visual and Optical Performance. *J Ophthalmol.* 2021 Dec 18;2021:3514577.
28. Ang RET. Long Term Clinical Outcomes of Hydrophilic and Hydrophobic Versions of a Trifocal IOL with the Same Optical Design. *Clin Ophthalmol.* 2023 Feb 21;17:623-632.
29. Chang A, Kugelberg M. Posterior capsule opacification 9 years after phacoemulsification with a hydrophobic and a hydrophilic intraocular lens. *Eur J Ophthalmol.* 2017 Mar 10;27(2):164-168.
30. Chang A, Kugelberg M. Glistenings 9 years after phacoemulsification in hydrophobic and hydrophilic acrylic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2015 Jun;41(6):1199-1204.
31. Ursell PG, Dhariwal M, Majirska K, et al. Three-year incidence of Nd:YAG capsulotomy and posterior capsule opacification and its relationship to monofocal acrylic IOL biomaterial: a UK Real World Evidence study. *Eye (Lond).* 2018 Oct;32(10):1579-1589.
32. Ursell PG, Dhariwal M, O'Boyle D, Khan J, Venerus A. 5 year incidence of YAG capsulotomy and PCO after cataract surgery with single-piece monofocal intraocular lenses: a real-world evidence study of 20,763 eyes. *Eye (Lond).* 2020 May;34(5):960-968.
33. Iliescu IM, Constantin MA, Cozma C, Moraru OM, Moraru CM. Posterior Capsule Opacification and Nd-YAG rates evaluation in a large series of pseudophakic cases. *Rom J Ophthalmol.* 2017 Oct-Dec;61(4):267-274.
34. Eggermont RL, Witteman AM, van Erkelens JA, Vermeulen K, Vunderink L, Reus NJ. Nd:YAG laser capsulotomy rates in the Netherlands: practice variation and association with physician practice styles. *J Cataract Refract Surg.* 2023 Apr 1;49(4):373-377.
35. Lee Y, Kim JS, Kim BG, Hwang JH, Kang MJ, Lee JH. Comparison of the Incidence of Nd:YAG Laser Capsulotomy Based on the Type of Intraocular Lens. *Medicina (Kaunas).* 2023 Dec 14;59(12):2173.
36. Dvali M, Tsertsvadze O, Mekvabishvili G. Comparison of posterior capsule opacification after implantation of same design single-piece hydrophilic and hydrophobic acrylic intraocular lenses. *Georgian Med News.* 2020 Apr;(301):59-62.
37. Sharon Y, Livny E, Mimouni M, Weinberger D, Bahar I. Laser capsulotomy following cataract surgery: Comparing time to capsulotomy with implantation of two broadly used intraocular lenses. *Indian J Ophthalmol.* 2017 Feb;65(2):144-147.
38. Duman R, Karel F, Özyol P, Ateş C. Effect of four different intraocular lenses on posterior capsule opacification. *Int J Ophthalmol.* 2015 Feb 18;8(1):118-121.
39. Kossack N, Schindler C, Weinhold I, et al. German claims data analysis to assess impact of different intraocular lenses on posterior capsule opacification and related healthcare costs. *Z Gesundh Wiss.* 2018;26(1):81-90.
40. Tokko HA, Hussain F, Al-Awadi A, et al. Factors Associated with the Development of Posterior Capsule Opacification Requiring Yttrium Aluminum Garnet Capsulotomy. *Optom Vis Sci.* 2019 Jul;96(7):492-499.
41. Koshy J, Hirschschall N, Vyas AKV, et al. Comparing capsular bag performance of a hydrophilic and a hydrophobic intraocular lens: A randomised two-centre study. *Eur J Ophthalmol.* 2018 Nov;28(6):639-644.
42. Bai L, Zhang J, Chen L, Ma T, Liang HC. Comparison of posterior capsule opacification at 360-degree square edge hydrophilic and sharp edge hydrophobic acrylic intraocular lens in diabetic patients. *Int J Ophthalmol.* 2015 Aug 18;8(4):725-729.
43. Joshi RS. Incidence of primary peripheral posterior capsular opacification after cataract surgery and posterior capsular opacification in the patients implanted with foldable intraocular lenses. *Nepal J Ophthalmol.* 2017 Jul;9(18):149-155.
44. Schriebl SM, Menapace R, Stifter E, Zaruba D, Leydolt C. Posterior capsule opacification and neodymium:YAG laser capsulotomy rates with 2 microincision intraocular lenses: Four-year results. *J Cataract Refract Surg.* 2015 May;41(5):956-963.
45. Schriebl SM, Leydolt C, Stifter E, Menapace R. Posterior capsular opacification and Nd:YAG capsulotomy rates with the iMics Y-60H and Micro AY intra-ocular lenses: 3-year results of a randomized clinical trial. *Acta Ophthalmol.* 2015 Jun;93(4):342-347.
46. Joshi RS. Postoperative posterior capsular striae and the posterior capsular opacification in patients implanted with two types of intraocular lens material. *Indian J Ophthalmol.* 2017 Jun;65(6):466-471.
47. Rajesh SJ. Study on buckling of intraocular lens haptic in 2 types of intraocular lens material and its effect on vision. *Rom J Ophthalmol.* 2020 Oct-Dec;64(4):387-395.
48. Özdamar Erol Y, Özdemir Yalçınsoy K, Özdal P. The outcomes of cataract surgery in eyes with Fuchs uveitis. *J Ophthalmic Inflamm Infect.* 2023 Feb 13;13(1):4.
49. Wang Y, Wang W, Zhu Y, Xu J, Luo C, Yao K. Comparison Study of Anterior Capsule Contraction of Hydrophilic and Hydrophobic Intraocular Lenses Under the Same Size Capsulotomy. *Transl Vis Sci Technol.* 2022 Jan 3;11(1):24.
50. Sharma P, Kalra S, Chouhan JK. Incidence and causes of negative dysphotopsia after uncomplicated cataract surgery - A randomized clinical trial. *Indian J Ophthalmol.* 2021 Jul;69(7):1786-1791.
51. Bhogal-Bhamra GK, Aujla M, Kolli S, Sheppard AL, Wolffsohn JS. Glare prediction and mechanism of adaptation following implantation of hydrophilic and hydrophobic intraocular lenses. *Front Ophthalmol (Lausanne).* 2024 Apr 25;4:1310468.
52. Sezgin Asena B. Visual and refractive outcomes, spectacle independence, and visual disturbances after cataract or refractive lens exchange surgery: Comparison of 2 trifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2019 Nov;45(11):1539-1546.
53. Serdiuk V, Ustyomenko S, Fokina S, Ivantsov I. Comparison of three different presbyopia-correcting intraocular lenses. *Rom J Ophthalmol.* 2020 Oct-Dec;64(4):364-379.
54. Tang Y, Song H, Chen J, Tang X. Comparison of pseudophakic retinal straylight in spherical/aspherical and hydrophobic/hydrophilic intraocular lens. *Int J Ophthalmol.* 2015 Dec 18;8(6):1146-1150.
55. Lapid-Gortzak R, Labuz G, van der Meulen IJ, van der Linden JW, Mourits MP, van den Berg TJ. Straylight Measurements in Two Different Apodized Diffractive Multifocal Intraocular Lenses. *J Refract Surg.* 2015 Nov;31(11):746-751.
56. Jafarzadehpour E, Hashemi H, Abolghasemi T, Yekta AA, Khabazkhoob M. Comparison of Ocular Aberrations in Two Hydrophobic and Hydrophilic Intraocular Lenses. *Eye Contact Lens.* 2015 Sep;41(5):287-290.
57. Vinas M, Dorronsoro C, Garzón N, Poyales F, Marcos S. In vivo subjective and objective longitudinal chromatic aberration after bilateral implantation of the same design of hydrophobic and hydrophilic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2015 Oct;41(10):2115-2124.
58. Haripriya A, Gk S, Mani I, Chang DF. Comparison of surgical repositioning rates and outcomes for hydrophilic vs hydrophobic single-piece acrylic toric IOLs. *J Cataract Refract Surg.* 2021 Feb 1;47(2):178-183.
59. Drasch P, Hirschschall N, Luft N, et al. Rotational stability of 2 intraocular lenses with an identical design and different materials. *J Cataract Refract Surg.* 2017 Feb;43(2):234-238.
60. Dvali M, Tsertsvadze O, Skhirtladze S. Incidence of CME after hydrophilic and acrylic IOL implantation – OCT results. *Georgian Med News.* 2019 Jun;(291):42-45.
61. Wang X, Wu X, Dai Y, Huang Y. Intraoperative and Postoperative Intraocular Lens Opacifications: Analysis of 42545 Cases. *J Ophthalmol.* 2021 Dec 6;2021:1285947.
62. Neuhann T, Yildirim TM, Son HS, Merz PR, Khoramnia R, Auffarth GU. Reasons for explantation, demographics, and material analysis of 200 intraocular lens explants. *J Cataract Refract Surg.* 2020 Jan;46(1):20-26.
63. Lorenzana-Blanco N, Velarde-Rodríguez G, Corte-Alonso S, et al. Risk of Intraocular Lens Opacification After Endothelial Keratoplasty for Different Intraocular Lens Models: A Retrospective Single-Center Cohort Study. *Cornea.* 2023 Jul 1;42(7):797-804.

64. Moura-Coelho N, Papa-Vettorazzi R, Reyes A, et al. Intraocular Lens Opacification After Descemet's Membrane Endothelial Keratoplasty-Risk Factors and Outcomes After Intraocular Lens Exchange. *Cornea*. 2024 Jul 30. Epub ahead of print. doi: 10.1097/ICO.0000000000003649
65. Schrittenlocher S, Penier M, Schaub F, Bock F, Cursiefen C, Bachmann B. Intraocular Lens Calcifications After (Triple-) Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty. *Am J Ophthalmol*. 2017 Jul;179:129-136.
66. Cabeza-Gil I, Ríos-Ruiz I, Calvo B. Experimental evaluation of the injection force exerted in intraocular lens delivery with syringe-type injectors. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021 Dec;124:104793.
67. Rateb MF, Eldaly ZH, Ibrahim WSE, Eldoghaimy AH. Scanning electron microscopic characteristics of manually loaded and pre-loaded foldable acrylic intraocular lenses. *Eur J Ophthalmol*. 2019 Jan;29(1):28-32.
68. Borkenstein AF, Borkenstein EM. Analysis of YAG Laser-Induced Damage in Intraocular Lenses: Characterization of Optical and Surface Properties of YAG Shots. *Ophthalmic Res*. 2021;64(3):417-431.
69. Borkenstein AF, Mikitisin A, Schwedt A, Borkenstein EM, Mayer J. A Novel 3D High Resolution Imaging Method Using Correlative X-Ray and Electron Microscopy to Study Neodymium-Doped Yttrium Aluminum Garnet Laser-Induced Defects in Intraocular Lenses. *Ophthalmic Res*. 2024;67(1):292-300.
70. Eppig T, Rawer A, Hoffmann P, Langenbucher A, Schröder S. On the Chromatic Dispersion of Hydrophobic and Hydrophilic Intraocular Lenses. *Optom Vis Sci*. 2020 Apr;97(4):305-313.
71. Wang GQ, Dang YL, Huang Q, et al. In Vitro Evaluation of the Effects of Intraocular Lens Material on Lens Epithelial Cell Proliferation, Migration, and Transformation. *Curr Eye Res*. 2017 Jan;42(1):72-78.
72. Liu H, Liu X, Chen Y, et al. Effect of Nd:YAG laser capsulotomy on the risk for retinal detachment after cataract surgery: systematic review and meta-analysis. *J Cataract Refract Surg*. 2022 Feb 1;48(2):238-244.
73. Dot C, Schweitzer C, Labbé A, et al. Incidence of Retinal Detachment, Macular Edema, and Ocular Hypertension after Neodymium:Yttrium-Aluminum-Garnet Capsulotomy: A Population-Based Nationwide Study-The French YAG 2 Study. *Ophthalmology*. 2023 May;130(5):478-487.
74. Huang Q, Cheng GP, Chiu K, Wang GQ. Surface Modification of Intraocular Lenses. *Chin Med J (Engl)*. 2016 Jan 20;129(2):206-214.
75. Donachie PHJ, Barnes BL, Olaitan M, Sparrow JM, Buchan JC. The Royal College of Ophthalmologists' National Ophthalmology Database study of cataract surgery: Report 9, Risk factors for posterior capsule opacification. *Eye (Lond)*. 2023 Jun;37(8):1633-1639.
76. Bompastor-Ramos P, Póvoa J, Lobo C, et al. Late postoperative opacification of a hydrophilic-hydrophobic acrylic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*. 2016 Sep;42(9):1324-1331.
77. Amon T, Goldblum D, Meyer P, et al. 674 Cases of Late Postoperative Intraocular Lens Opacification of a Hydrophilic-Hydrophobic Acrylic Intraocular Lens in Switzerland and Retrospective Opacification Risk Factor Assessment of 212 Cases. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2023 Apr;240(4):440-445.
78. Gartaganis SP, Prahs P, Lazari ED, Gartaganis PS, Helbig H, Koutsoukos PG. Calcification of Hydrophilic Acrylic Intraocular Lenses With a Hydrophobic Surface: Laboratory Analysis of 6 Cases. *Am J Ophthalmol*. 2016 Aug;168:68-77.
79. Scherer NCD, Müller K, Prahs PM, Radeck V, Helbig H, Märker DA. Serial opacification of a hydrophilic-hydrophobic acrylic intraocular lens: analysis of potential risk factors. *J Cataract Refract Surg*. 2020 Dec;46(12):1624-1629.
80. Buhl R, Yildirim TM, Schickhardt SK, Britz L, Lieberwirth I, Auffarth GU, Khoramnia R. Higher phosphate concentrations as in aqueous humor of diabetic patients increase intraocular lens calcification. *BMC Ophthalmol*. 2024 Aug 23;24(1):363
81. Mackert M, Muth DR, Vounotrypidis E, et al. Analysis of opacification patterns in intraocular lenses (IOL). *BMJ Open Ophthalmol*. 2021 Feb 11;6(1):e000589.
82. Werner L, Wallace JK, Balendiran V, Shumway C, Ellis N, Mamalis N. Surface deposits mimicking calcification on a hydrophobic acrylic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*. 2019 Jul;45(7):1036-1039.
83. Otrošínová M, Novák J, Kvasnička J, Židek O. Late postoperative opacification of a hydrophobic acrylic intraocular lens AcryNovaT-MPC 610Y. *Cesk Slov Oftalmol*. 2019;75(4):172-179.
84. Bopp S, Özdemir HB, Aktaş Z, et al. Clinical Characteristics of Patients with Intraocular Lens Calcification after Pars Plana Vitrectomy. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Jun 1;13(11):1943.
85. Marcovich AL, Tandogan T, Bareket M, et al. Opacification of hydrophilic intraocular lenses associated with vitrectomy and injection of intraocular gas. *BMJ Open Ophthalmol*. 2018 Dec 15;3(1):e000157.
86. Werner L, Wilbanks G, Nieuwendaal CP, et al. Localized opacification of hydrophilic acrylic intraocular lenses after procedures using intracameral injection of air or gas. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Jan;41(1):199-207.
87. Yildirim TM, Schickhardt SK, Wang Q, Friedmann E, Khoramnia R, Auffarth GU. Quantitative evaluation of microvacuole formation in five intraocular lens models made of different hydrophobic materials. *PLoS One*. 2021 Apr 30;16(4):e0250860.
88. Ting DSJ, Tatham AJ, Donachie PHJ, Buchan JC. The Royal College of Ophthalmologists' National Ophthalmology Database study of cataract surgery: report 16, influence of remuneration model on choice of intraocular lens in the UK. *Eye (Lond)*. 2023 Dec;37(18):3854-3860.
89. Vacalebre M, Frison R, Corsaro C, et al. Current State of the Art and Next Generation of Materials for a Customized IntraOcular Lens according to a Patient-Specific Eye Power. *Polymers (Basel)*. 2023 Mar 22;15(6):1590.