proLékaře.cz | 30.9.2026

VYUŽITÍ TRIBOLOGICKÝCH METOD PRO PREDIKCI OPOTŘEBENÍ DENTÁLNÍCH VÝPLŇOVÝCH MATERIÁLŮ

Původní práce – analytická studie

APPLICATION OF TRIBOLOGICAL METHODS FOR PREDICTION OF WEAR OF DENTAL FILLING MATERIALS

Original work – analytical study

Svoboda P.[1, 2], Šikula P.[1], Vrbka M.[3], Nečas D.[3], Roubalíková L.[1]
[1]Stomatologická klinika Lékařské fakulty Masarykovy univerzity a Fakultní nemocnice u sv. Anny, Brno
[2]Medisyn, s. r. o., Brno
[3]Odbor tribologie, Ústav konstruování FSI VUT, Brno

SOUHRN

Úvod a cíl práce: Tribologické metody nacházejí široké uplatnění nejen na poli technických věd, ale stále častěji také v oblasti humánní a veterinární medicíny. Sledování opotřebení biologických a protetických materiálů je dnes již běžnou součástí protokolů zkoušek u kloubních náhrad. I z tohoto pohledu je využití tribologie v zubním lékařství logickým krokem při vývoji a zátěžovém sledování řady materiálů používaných u výkonů záchovné a protetické stomatologie, ale také v oblasti dentální hygieny při čištění, včetně depuračních technik.

Výsledky: Jako klíčové se jeví vytvoření odpovídajících podmínek pro simulaci kontaktu v prostředí, které se co nejvíce přiblíží reálným poměrům v ústní dutině. Vedle optimalizace zátěže je žádoucí následné vyhodnocení vhodnou defektoskopickou metodou, která tak doplňuje vlastní tribologii.

Závěr: Tento komplexní přístup umožňuje již v rámci vývoje získat cenné informace o vlastnostech nového materiálu a případně jej modifikovat.

Klíčová slova: trvalý výplňový materiál, fyzikální a mechanické vlastnosti, tribologie, opotřebení, tření, topografie třecích povrchů

SUMMARY

Introduction and aim: Tribological methods are widely used not only in the field of technical sciences, but increasingly also in the field of human and veterinary medicine. Monitoring the wear of biological and prosthetic materials is now a common part of test protocols for joint replacements. From this point of view, the use of tribology in dentistry is a logical step in the development and stress monitoring of a number of materials used in restorative and prosthetic dentistry, but also in the field of dental hygiene in cleaning, including depuration techniques.

Results: The creation of appropriate conditions for the simulation of contact in an environment that is as close as possible to the real conditions in the oral cavity seems to be crucial. In addition to stress-stain optimization, a subsequent evaluation by a suitable defectoscopic method is desirable to complement the issue of tribology.

Conclusion: This comprehensive approach makes it possible to obtain valuable information on the properties of the new material through its development and, if necessary, to modify it.

Key words: permanent filling material, physical and mechanical properties, tribology, wear, friction, topography of rubbing surfaces

Svoboda P, Šikula P, Vrbka M, Nečas D, Roubalíková L.
Využití tribologických metod pro predikci opotřebení dentálních výplňových materiálů.
Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(4): 108–115. doi: 10.51479/cspzl.2021.012

ÚVOD A CÍL

Zubní lékař ovlivňuje zejména vlastní provedení zdravotního výkonu záchovné stomatologie, včetně volby optimálního výplňového materiálu, a předpokládá, že lege artis zhotovená výplň bude mít deklarované vlastnosti, mj. stálost v chemicky a mechanicky náročném prostředí. Vlastní sledování stavu výplní a vývoje změn v ústní dutině je redukováno především na aspekční a taktilní metody, doplněné o metody zobrazovací. I z důvodu těchto omezení je žádoucí pečlivé a mno-

proLékaře.cz | 30.9.2026

hoúrovňové ověřování fyzikálních, mechanických, chemických a biokompatibilních vlastností. Jedním z přístupů, které lze uplatnit, je sledování tribologických vlastností trvalých výplňových materiálů po simulované zátěži, které je následně doplněno o optické vyhodnocení topografie povrchu výplně.

Cílem tohoto přehledového článku je seznámit odbornou veřejnost s aktuálním vývojem tribologických metod při sledování vlastností výplňových materiálů.

AKTUÁLNÍ MOŽNOSTI HODNOCENÍ VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ DENTÁLNÍCH MATERIÁLŮ

Dlouhodobá odolnost trvalých výplňových materiálů vůči mechanickým a chemickým vlivům je významným znakem jejich kvality, kterou však zubní lékař může ovlivnit pouze nepřímo, tedy pečlivým výběrem výplňového materiálu.

Kontinuální vývoj a další zvyšování kvalitativně-zdravotních standardů dentálních materiálů, včetně výplňových, má zásadní význam pro výslednou funkčnost protetických prací a výplní v zubním lékařství, a objektivně tak přispívá k jejich užitné kvalitě. S tím úzce souvisí vlastní management zdravotní služby, který hodnotí jak kvalitu, tak efektivitu procesu. Na úrovni stomatologické ambulantní péče v EU se jedná například o systém EPA (European Practice Assessment), který je spojený s řízením kvality (QM) poskytované péče [1].

Sledování vlastností dentálních materiálů, jak v průběhu jejich vývoje a schvalování, tak u výsledných prací v prostředí ústní dutiny, je logickou součástí tohoto procesu. Trend objektivizace jednotlivých parametrů a standardizace postupů vedl ke vzniku systému technických norem v oblasti dentálních materiálů, které vydává Technická komise 106 organizace ISO [2]. V současné době je dostupný soubor více než padesáti ISO norem, které se vztahují k dentálním materiálům. Téměř dalších dvacet ISO norem je v přípravě či v procesu posuzování [2, 3].

Jakostní požadavky na dentální materiály lze rozčlenit do dvou základních kategorií – na zdravotně-bezpečnostní a na funkční požadavky pro daný účel použití. Vzhledem k tomu, že dentální materiály jsou zpravidla zdravotnickými prostředky v souladu se zákonem č. 268/2014 Sb. o zdravotnických prostředích a nařízením EP a Rady (EU) 2017/745, podléhají před uvedením na trh procesu posouzení shody s následnou notifikací v rámci stanoveného zákonného postupu.

Pro praktické využití výplňových materiálů má zásadní význam také jejich dlouhodobá strukturní stálost při dynamicky se měnících faktorech v ústní dutině. Limitujícím faktorem se stává predikce dlouhodobých vlastností na základě krátkodobých laboratorních testů. Jedním ze sledovaných parametrů je také stupeň abraze po opakovaném mechanickém kontaktu různého charakteru [4]. K moderním přístupům, které lze využít v rámci studia mechanické odolnosti trvalých výplňových materiálů, patří tribologické metody, což znamená sledování procesů tření a opotřebení za podmínek simulovaného kontaktu povrchů. Ty lze dále doplnit o defektoskopii skenovací elektronovou mikroskopií, laserovou interferometrií či o chemickou analýzu [5].

MOŽNOSTI SIMULACE PROSTŘEDÍ ÚSTNÍ DUTINY PRO OVĚŘENÍ TRIBOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ NĚKTERÝCH VÝPLŇOVÝCH MATERIÁLŮ

Z trvalých výplní dnes převládají kompozity a skloionomery. Vlastnosti kladené na polymerní materiály ve stomatologii definuje ČSN EN ISO 4049:2019 a ISO/TR 14569-1:2007 [6]. Určujícími faktory jsou pevnostní charakteristiky a jejich kombinace při zátěži v tahu, tlaku, ohybu a krutu. Rovněž je sledován faktor únavy materiálu. Laboratorně bylo opakovaně prokázáno, že intaktní sklovina je nejméně o jeden řád odolnější vůči opotřebení než klinicky využívané trvalé dentální materiály [7].

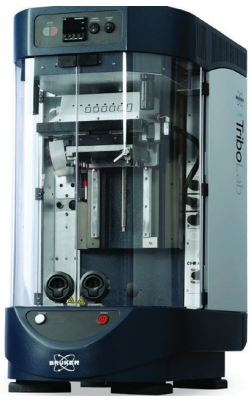
Nejjednodušším vztahovým modelem v rámci tribologie dentálních materiálů je in vitro studium dvousložkového otěru pomocí tribometru typu pin-on-disk nebo pin-on-plate, kde je testovací hrot přitlačován definovanou silou na rotující nebo recipročně přímočaře se posouvající vzorek **(obr. 1)**.

I když je dostupných mnoho klinických vyšetření pro posouzení stavu výplně (profilometrie, klinické posouzení podle Ryge a Cvara FDI, skenování CAD/CAM aj.) nejpřesnější metody, kam řadíme tribologické testování, defektoskopii rastrovací elektronovou mikroskopií nebo konfokální rastrovací mikroskopií, nelze z praktických důvodů in vivo použít [8]. Jen částečné řešení představují simulátory otěru (MTS, SD Mechatronic, Proto-tech aj.). Nedostatkem je značná variabilita výsledků stejných výplňových materiálů mezi jednotlivými simulátory [9].

Komplexní pohyb, jakým je vzájemný artikulační pohyb dvou protilehlých čelistí, lze

Obr. 1
Univerzální tribometr Bruker UMT TriboLab (zdroj: https://www.blue-scientific.com/bruker-umt-tribolab)

Fig. 1
Bruker UMT TriboLab universal tribometer (source: https://www.blue-scientific.com/bruker-umt-tribolab)



proLékaře.cz | 30.9.2026

simulovat jen přibližně. Částečně úspěšný je počítačem řízený „žvýkací robot" Robomunch, který byl sestrojen na University of Bristol a který umožňuje simulovat i reálnou abrazivní stravu a sliny [10].

Pro vyhodnocení odolnosti konkrétního trvalého výplňového materiálu vůči abrazi je v iniciální fázi ověřování jakostních parametrů přípustná také metoda srovnání za obdobných podmínek. Pokud se výsledky statisticky významně odlišují již v této fázi, je zřejmé, že v podmínkách ústní dutiny bude rozdíl minimálně stejný, spíše však výraznější. S vhodným laboratorním vybavením lze rutinně sledovat korelace mezi třecí silou a opotřebením s následnou defektoskopií pomocí rastrovací elektronové mikroskopie u hodnoceného dentálního materiálu a referenční zubní tkáně. Některé práce ukazují, že zatímco kompozitní výplňové materiály podléhají při vystavení třecí síle především chemickým změnám, tvrdé zubní tkáně mění zejména fyzikální vlastnosti [7].

TRIBOLOGICKÉ STUDIE DENTÁLNÍCH MATERIÁLŮ

V rámci stomatologie bylo provedeno již mnoho tribologických studií. Jednotlivé studie se lišily nejen v komplexnosti, použité testovací síle, trajektorii, ale i v ošetření povrchu vzorků nebo v počtu použitých cyklů [8]. Ke sjednocení některých in vitro testů odolnosti výplňových materiálů vůči abrazi byly sice vypracovány ISO normy citované výše, ale tyto standardy nezahrnují všechny aspekty testování abrazivity stomatologických materiálů.

Villat a kol. srovnávali kinetiku opotřebení vysoce viskózního konvenčního skloionomerního cementu (Fuji IX GP Capsule) a pryskyřicí modifikovaného skloionomerního cementu (Fuji II LC Capsule) na 24 vzorcích, které po povrchové úpravě byly uloženy na 28 dní v destilované vodě nebo v Ringerově roztoku [11]. Následně byl proveden tribologický test pomocí tyčinky z oxidu hlinitého se sférickou koncovkou při působení síly 5 N a frekvenci rotace 2 Hz. Měření byla prováděna po 2500, 5000 a 7500 cyklech. Míra opotřebení u obou typů skloionomerních cementů kontinuálně klesala během první periody (tj. mezi 0 až 2500 cykly), v dalších periodách se opotřebení stávalo konstantním a srovnatelným pro oba použité materiály. Statisticky významné vyšší opotřebení bylo pozorováno u vzorků ze skloionomerních cementů modifikovaných pryskyřicí ve srovnání s vysoce viskózními konvenčními skloionomerními cementy.

Cílem další studie bylo srovnání míry opotřebení polymerů (PMMA >99,8 %), kompozitních materiálů, živcové a zirkonové keramiky (ZrO_2 + HfO_2 + Y_2O_3 ≥99 %). Tribologický test byl proveden pomocí kuličky z oxidu hlinitého při teplotě 37 °C a za použití umělé sliny k napodobení podmínek v ústní dutině. Největší odolnost proti opotřebení byla prokázána u zirkonové keramiky, nejnižší naopak u kompozitních materiálů. Výsledky výzkumu také prokázaly, že opotřebení živcové keramiky může být ovlivněno i jejími optickými vlastnostmi, kdy vyšší rezistenci proti otěru vykazovala keramika translucentní ve srovnání s keramikou opaknÍ [12].

V dalších tribologických studiích se porovnávalo dvousložkové a třísložkové opotřebení u stomatologických materiálů na výrobu CAD/CAM bločků. Jednalo se o čtyři vzorky kompozitních materiálů a po jednom vzorku materiálu živcové a hybridní keramiky. Vzorky byly podrobeny testu „ball-on--disc", při kterém byla použita kulička z oxidu zirkoničitého o průměru 4 mm při zatížení 50 N. Během testu byly vzorky ponořeny buď do vody pro simulaci dvousložkového otěru, nebo do 33% vodní suspenze jemně mletých makových zrnek. Po každých deseti tisících cyklech byly voda nebo vodní suspenze vyměněny. U testu dvousložkového otěru došlo k většímu objemovému úbytku keramických materiálů ve srovnání s materiály kompozitními. U třísložkového otěru byly ztráty objemu u všech testovaných vzorků velmi nízké. Zároveň všechny testované vzorky vykazovaly nižší míru opotřebení ve srovnání s kompozitními materiály určenými pro přímé dostavby v laterálním úseku chrupu [14].

Relativně standardně se využívá také „ball--cratering" test, při němž je na hřídeli rotující ocelová kulička o definovaném průměru v permanentním kontaktu s testovaným vzorkem za použití abrazivního média, v tomto případě roztoku destilované vody s mikročásticemi oxidu křemičitého. Tato studie srovnávala odolnost proti abrazi u šesti různých druhů světlem tuhnoucích kompozitních výplňových materiálů při odlišné době polymerace. U dvou vzorků kompozitních materiálů byla prokázána zvýšená odolnost proti abrazi až při polymeraci delší než 60 sekund, u dalších dvou vzorků byla odolnost proti abrazi maximální již na počátku polymerace, poslední dva vzorky byly charakterizovány optimální dobou pro polymeraci kolem 40 sekund, kdy byla odolnost vůči abrazi nejvyšší.

proLékaře.cz | 30.9.2026

Závěrem této studie bylo zjištění, že absolutní hodnota tvrdosti světlem tuhnoucích kompozitních materiálů není rozhodujícím kritériem při hodnocení odolnosti daného materiálu vůči abrazi [15]. Stejný typ testu byl využit také při studiu odolnosti proti otěru PEEK (polyetheretherketon) a titanové sloučeniny $Ti_6A_{14}V$ [16].

TRIBOLOGICKÉ STUDIE KONTAKTU VLÁKEN ZUBNÍHO KARTÁČKU S TVRDÝMI ZUBNÍMI TKÁNĚMI

V typické konfiguraci „pin-on-disc" byl proveden experiment na vzorcích zhotovených z extrahovaných třetích molárů, které byly po mechanickém očištění dezinfikovány v 5% roztoku peroxidu vodíku a následně dále čištěny v ultrazvukové lázni. Vzorky byly exponovány vláknům vybraného zubního kartáčku. Jako médium byla použita destilovaná voda a vzorky tří zubních past s rozdílným RDA (Radio Dentin Abrasion) (30, 75, 165). Při použití zubních past byl součinitel tření výrazně vyšší. Hloubka stopy, která byla analyzována skenovacím elektronovým mikroskopem, se zvyšovala s rostoucí hodnotou RDA jednotlivých past [17].

Vyhodnocení opotřebení dentinu během čištění zubů si kladla za cíl další studie [30]. K experimentu byl použit simulátor čištění zubů (DentTest, Department of Operative and Preventive Dentistry, Witten/Herdecke University and Ingpuls GmbH Bochum, Germany). Ze 72 extrahovaných třetích molárů byly vybroušeny válcovité vzorky. Testovány byly čtyři kartáčky – sonický, rotačně-oscilační a dva manuální (jeden s rovně střiženými vlákny, druhý s rozdílnou délkou vláken). Lineární vratný pohyb simulující čištění byl prováděn v rozsahu dráhy tři centimetry při použité síle 2 N po dobu 260 minut, což podle autorů v průměru odpovídá čištění jedné plošky zubu při provádění dentální hygieny dvakrát denně dvě minuty po dobu osmi let a šesti měsíců. Během celého experimentu byla na povrch vzorku přiváděna suspenze bělicí zubní pasty s hodnotou RDA 150. Ztráta dentinu po provedení testu byla stanovena pomocí profilometru. K nejmenšímu opotřebení docházelo při použití manuálních zubních kartáčků a největší objemové ztráty byly zjištěny u kartáčků sonických.

TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY PROTETICKÝCH MATERIÁLŮ

Pin-on-disc test byl použit také ve studii zaměřené na testování odolnosti proti opotřebení u materiálů používaných na výrobu zubů do zubních protéz. Byly testovány tři druhy konvenční akrylátové pryskyřice (PMMA), dva druhy kompozitních pryskyřic (UDMA + anorganické plnivo; fluorometakrylát + anorganické plnivo), hustě zasíťovaná akrylová pryskyřice (IPN) a keramika. Vzorky materiálů byly opracovány karbidovým brusným papírem a poté vyleštěny suspenzí oxidu hlinitého s částečkami o zrnitosti 0,5 μm. Během testu byl použit antagonista z oxidu hlinitého při zatížení 15 N. Objemové ztráty byly následně měřeny profilometrem. Dále se pomocí nano-indetačního systému měřil modul pružnosti a tvrdost výše uvedených materiálů. Studie prokázala největší objemové i hmotnostní ztráty, a tedy nejnižší odolnost proti opotřebení u hustě zasíťované akrylové pryskyřice. Nebyla však nalezena přímá korelace mezi odolností proti abrazi a mechanickými vlastnostmi materiálů (tj. modulem pružnosti a tvrdostí testovaných materiálů) [18].

Ve studii Sajewicze a Kulesza byl testován tribometr vyvinutý pro studium tribologického chování dentálních materiálů a tvrdých zubních tkání [19]. K experimentu byly použity extrahované premoláry skladované v 0,9% roztoku NaCl. Poté byly upraveny pomocí brusných papírů a vyleštěny aluminium-oxidovou pastou. Pin, který v tomto případě působil na zubní plošky, byl zhotoven z nerezové oceli. Experimentální parametry testu byly stanoveny na základě klinických údajů – zatížení 30 N a frekvence pohybu 1,67 Hz. Celý test byl prováděn za použití umělých slin, kdy k polovině testovaných vzorků bylo k umělé slině přidáno i 100 mg Al_2O_3 na 3 cm^3 umělé sliny. Objemové ztráty byly stanoveny pomocí profilometru. Po každém měření došlo ke snížení hrbolku premoláru o 0,1 mm a celý test byl opakován. Míra opotřebení při třísložkovém otěru byla několikanásobně vyšší než u otěru dvousložkového. Zároveň byl v této studii prokázán vliv zatížení na tribologické chování skloviny.

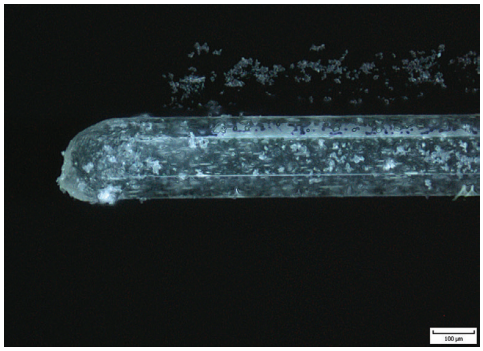
VLIV pH A DALŠÍCH SPECIFICKÝCH PODMÍNEK ÚSTNÍ DUTINY NA TRIBOLOGICKÉ CHOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

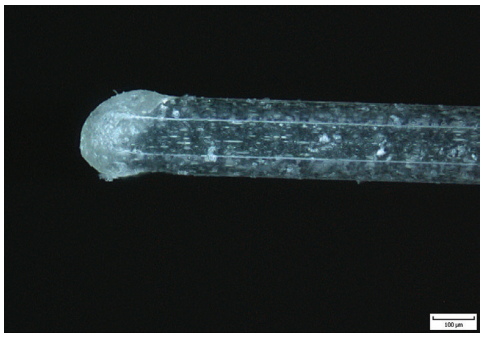
Antone a Ramalho sledovali tribologické chování vybraných kompozitních materiálů v čase při různé aktivitě vodíkových iontů [20]. Autoři vycházeli z hypotézy, že vystavení kompozitních materiálů proměnnému pH v prostředí ústní dutiny snižuje jejich mechanickou odolnost. Bylo testováno sedm

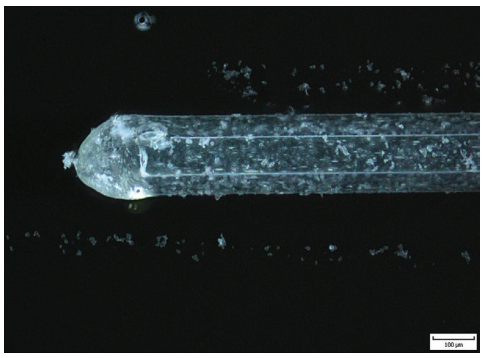
proLékaře.cz | 30.9.2026

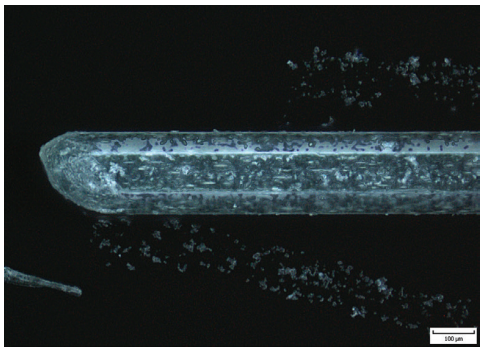
Obrázek 2a–2d
Variabilita v morfologii vláken různých zubních kartáčků zobrazená pomocí konfokální mikroskopie (zdroj: archiv doc. Roubalíkové)

Fig 2a–2d
Variability in fiber morphology of different toothbrushes imaged by confocal microscopy (source: archives Assoc. Prof. Roubalíková)









různých druhů kompozitních materiálů určených pro přímé rekonstrukce v distálním úseku chrupu. Vzorky zhotovené z těchto materiálů byly vystaveny působení roztoků s rozdílným pH, konkrétně 3, 7 a 9, a to po dobu tří, šesti nebo 22 měsíců. Po této době byly vzorky testovány pomocí tribometru s recipročním pohybem se skleněnou kuličkou o poloměru 5 mm, při zatížení 5 N, frekvenci pohybu 1 Hz a rozsahu pohybu 2 mm. Všechny testované materiály vykazovaly nejvyšší variabilitu objemových ztrát v případě, kdy byl vzorek vystaven působení roztoku po dobu 22 měsíců. Největší ovlivnění tribologického chování kompozitních materiálů v dlouhodobém časovém horizontu bylo pozorováno u vzorků umístěných do roztoků o pH 9. Obdobnou problematikou se ve své studii zabýval také Wu a kol. [21].

Tribologický test v konfiguraci pin-on-disc byl využit také pro studium účinků různých chemických látek na kompozitní výplňové materiály. McKinney a Wu sledovali vliv etanolu a cyklohexanonu na kompozitní výplňové materiály na bázi Bis-GMA [22]. Vzorky ve tvaru disku z kompozitního materiálu s povrchovou úpravou byly umístěny po dobu dvou týdnů do destilované vody, roztoků etanolu s vodou o koncentraci 75, 50 nebo 25 objemových procent, čistého etanolu a cyklohexanonu. Do stejných sloučenin nebo roztoků byly ponořeny také vzorky neplněné pryskyřice na bázi Bis-GMA, u kterých se po uplynutí dvou týdnů měřila jejich tvrdost. Vzorky kompozitních materiálů byly podrobeny tribologickému testu. Během celého testu byl povrch disku lubrikován destilovanou vodou. Odolnost proti otěru se snižovala s rostoucí koncentrací etanolu v roztoku, do kterého byly vzorky před tribologickým testem umístěny. To se projevilo zejména na počátku experimentu, tedy v povrchových vrstvách vzorků.

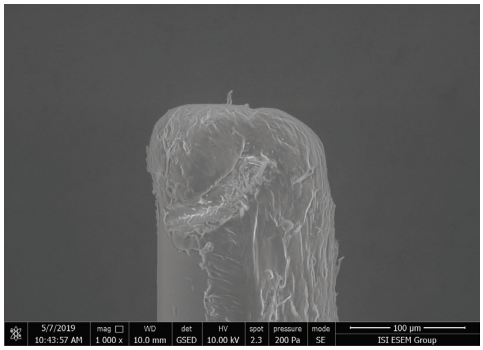
KOMBINOVANÉ TRIBOLOGICKÉ TESTY

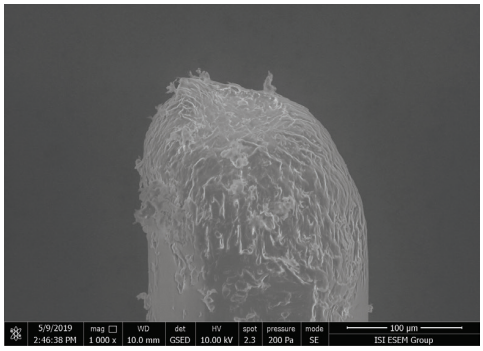
Cílem in vitro studie Sripetchdanonda a Laavailoja bylo srovnání míry abraze skloviny při kontaktu zubu s kompozitními výplňovými materiály, keramickými materiály užívanými ve stomatologii a vlastní sklovinou [23]. Celkem bylo zhotoveno šest vzorků válcovitého tvaru z každého materiálu – z kompozitní pryskyřice, zirkonové keramiky, sklokeramiky a skloviny. Z extrahovaných stálých molárů bylo připraveno dalších 24 vzorků skloviny o průměru 8 mm, které byly po opracování a povrchových úpravách vyčištěny a uloženy do 0,1% roztoku thymolu. Pin-on-disc test byl realizován při zatížení 20 N a rychlosti rotace 20 ot/min. Po 4800 cyklech byla pomocí profilometru měřena maximální a střední hloubka opotřebení a střední drsnost povrchu. Po celou dobu testu byly vzorky ponořeny v destilované vodě. Závěrem studie bylo zjištění, že hloubka opotřebení skloviny

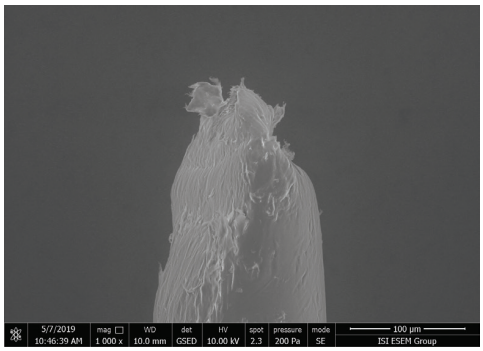
proLékaře.cz | 30.9.2026

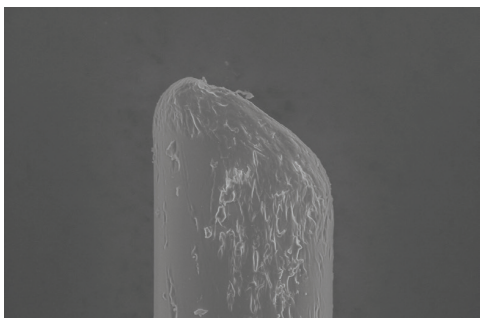
způsobená monolitickým zirkonem a kompozitní pryskyřicí byla výrazně nižší než opotřebení způsobené sklokeramikou a sklovinou. Drsnost povrchu vzorků skloviny po působení sklokeramiky, zirkonové keramiky a skloviny se po testování opotřebení statisticky významně zvýšila, na rozdíl od vzorků vystavených působení kompozitní pryskyřice, kdy drsnost povrchu skloviny před tribologickým testem a po testu nebyla významně odlišná (Mayworm a kol. [24]). Autoři srovnávali odolnost proti otěru a stupeň tvrdosti dvou nanohybridních kompozitních materiálů a následným vyhodnocením zjistili, jak tyto vlastnosti ovlivní uložení vzorků do prostředí umělé sliny po dobu 62 dní. Polovina vzorků byla při teplotě 37 °C uložena do roztoku umělé sliny s pH 6 (průměrná hodnota pH biofilmu). Tato hodnota byla dosažena přidáním kyseliny octové a mléčné. K simulaci tří-složkového otěru během ball-cratering testu byla použita suspenze oxidu hlinitého. Rychlost rotace ocelové kuličky byla nastavena na 50 ot/min při působící síle 1 N. Měření za pomoci elektronového mikroskopu byla prováděna vždy po 50, 200, 500, 1000 a 1500 cyklech. Tvrdost kompozitních vzorků byla kvantifikována testem podle Vickerse. Po skladování vzorků v prostředí umělé sliny docházelo u obou testovaných materiálů ke zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení, což autoři přisoudili vlivu času a teploty, při kterých byly vzorky skladovány. V průběhu času došlo k dalšímu vytvrzení organické matrix kompozitních materiálů, avšak současně nastalo snížení povrchové mikrotvrdosti, způsobené absorpcí komponent umělé sliny do povrchu vzorku.

Bay et al. využili pin-on-disc test pro sledování vlivu povrchových úprav zirkonové keramiky na odolnost vůči otěru [25]. První skupinu tvořily vzorky, které byly vyříznuty z bločku již barvené keramiky. Druhá skupina sestávala ze vzorků s externím barvením. Po vyříznutí z bločku nebarvené zirkonové keramiky byly tyto vzorky ponořeny na pět minut do barvicího roztoku a následně sušeny pomocí lampy s infračerveným zářením. Třetí skupinu tvořily vzorky opatřené glazurou. Zbylých 30 nebarvených vzorků bylo použito jako skupina kontrolní. Glazované vzorky byly opískovány částicemi oxidu hlinitého. Část vzorků z prvních dvou skupin a ze skupiny kontrolní byla leštěna Robinsonovým kartáčkem v kombinaci s lešticí pastou. Druhá část rotačními zirkoniovými leštícími nástroji při 6000 ot/min, zbylé vzorky leštěny nebyly. Poté byly všechny výše uvedené vzorky podrobeny









Obrázek 3a–3d
Variabilita v morfologii vláken různých zubních kartáčků zobrazená pomocí elektronové mikroskopie (zdroj: archiv doc. Roubalíkové)

Fig 3a–3d
Variability in fiber morphology of different toothbrushes imaged by electron microscopy (source: archives Assoc. Prof. Roubalíková)

testu pin-on-disc za působení kuličky z křemičitanu hořečnatého o poloměru 1,5 mm, vertikálním zatížením 5 N a frekvenci rotace 1,6 Hz.

Závěrem studie bylo zjištění, že zirkonová keramika, jejíž povrch byl upraven Robinsonovým kartáčkem v kombinaci s lešticí pastou, vykazovala nejvyšší odolnost proti

proLékaře.cz | 30.9.2026

opotřebení, včetně nejnižšího opotřebení antagonisty. Rozdíly v opotřebení interně a externě barvené keramiky po stejné povrchové úpravě byly statisticky nevýznamné.

DALŠÍ MODIFIKOVANÉ TRIBOLOGICKÉ STUDIE DENTÁLNÍCH MATERIÁLŮ

Condon a Ferracane vyhodnotili míru opotřebení kompozitních materiálů obsahujících nanoplniva a porovnali je s opotřebením mikrofilních a mikrohybridních kompozitních materiálů [26]. Vzorky z nanofilních, nanohybridních, mikrofilních a mikrohybridních kompozitních materiálů ve tvaru disku o průměru 15 mm byly po svém vyleštění skladovány po dobu jednoho týdne v destilované vodě. Byl použit Oregon Health Sciences University Oral Wear Simulator. K ocelovým držákům simulátoru byly připevněny hrbolky skloviny získané z extrahovaných třetích molárů, které byly následně vybroušeny do sférického tvaru o průměru 10 mm. Tyto hrbolky působily na kompozitní vzorky silou 20 N po dráze 8 mm za přítomnosti suspenze k napodobení abraze způsobené částicemi potravy. Na konci této dráhy bylo použito zatížení 70 N k simulaci opotřebení způsobeného atricí. Měření pomocí profilometru bylo provedeno vždy po 50 000 cyklech. U simulovaného opotřebení způsobeného atricí nebyl pozorován vliv velikosti částic plniva kompozitních materiálů, naopak u třísložkového otěru docházelo ke statisticky významnému vyššímu opotřebení u nanohybridních kompozitních vzorků. Na práci navázali Yesil a kol. a u obdobného testu konstatovali, že testovaný povrch mikrofilních kompozitních materiálů vykazoval vyšší drsnost než u nanohybridních nebo mikrohybridních kompozitů [27]. Při porovnání s nanofilními kompozity byla drsnost testovaného povrchu srovnatelná. Stejný simulátor k napodobení atrice a abraze a obdobná metodika byly použity také ve studiích Clellanda a kol. a Lima a kol. [28, 29].

Modifikované tribologické zkoušky umožnují rovněž vyhodnocení vlivu rozdílného charakteru vláken zubních kartáčků na jednotlivé dentální materiály a vlastní tvrdé tkáně ústní dutiny. Variabilita v jejich morfologii a způsob čisticí techniky ovlivňuje tribologické vlastnosti dentinu po simulovaném kontaktu [30]. **Obrázky 2a–2d** a **3a–3d** ukazují značnou tvarovou variabilitu především v terminální části vlákna. Vzhledem k morfologické variabilitě zakončení vláken však tato oblast zůstává doposud nedostatečně prozkoumána.

DISKUSE A ZÁVĚR

Metody tribologie přinášejí do testování odolnosti dentálních materiálů a tvrdých zubních tkání nový rozměr, například v oblasti sledování abrazních účinků zubních past. Při tribologických zkouškách je nezbytné vzít v potaz, že tkáně a protetické materiály v ústní dutině jsou vystaveny působení specifického fyzikálně-chemického prostředí. Pozornost je však třeba věnovat i typu zubního kartáčku – jeho tvrdosti, přítlačné síle a morfologii vláken.

Komplexní tribologický přístup umožňuje sledování změn povrchu tvrdých tkání a dentálních materiálů při působení dalších faktorů v ústní dutině, například vyhodnocení vlivu některých složek potravy a nápojů. Samostatnou problematiku představují některé mechanické depurační techniky ústní hygieny. Co nejpřesnější simulace poměrů v ústní dutině při hygienických procedurách může významně přispět k další inovaci dentálních materiálů i k vývoji metodiky měření jejich odolnosti.

Významná část citovaných prací se zaměřuje na sledování vybraných charakteristik dentálních materiálů, především pro účely vývojového nebo schvalovacího procesu. Naše výzkumná skupina pokládá za stejně důležitou predikci jejich chování v delším časovém období. I proto se v rámci našeho projektu plánujeme prostřednictvím tribologických testů zaměřit na srovnání vlastností nově zhotovených výplní a výplní po simulovaném opotřebení. I když jde jen o dílčí znak komplexního procesu stárnutí dentálních materiálů, může být důležitým vodítkem jak pro vývoj, tak pro metodiku volby konkrétní trvalé výplně.

Práce byla podpořena projekty specifického výzkumu č. MUNI/A/1675/2020 a FSI-S-20-6443.

Autoři děkují pracovníkům Ústavu přístrojové techniky AV ČR, jmenovitě Ing. Vilémovi, Ph.D., za morfologickou analýzu zubních kartáčků.

Mgr. et Bc. Petr Svoboda, Ph.D.
Stomatologická klinika
Lékařská fakulta Masarykovy univerzity
a Fakultní nemocnice u svaté Anny
Pekařská 53
656 91 Brno
e-mail: 23722@mail.muni.cz

proLékaře.cz | 30.9.2026

LITERATURA

1. Goetz K, Campbell MD, Broge B, Brodowski M, Wensing M, Szecsenyi J.
Effectiveness of a quality management program in dental care practices. BMC Oral Health. 2014; 41(14). [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1186/1472-6831-14-41

2. ISO – International Organization for Standardization.
ISO/TC 106, Technical Commities – Dentistry. Ženeva: International Organization for Standardization; 1962. [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z https://www.iso.org/committee/51218.html

3. Jones DW.
International dental standards. Brit Dental J. 2007; 203(6): 361–369. [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1038/bdj.2007.837

4. Wojda S, Szoka B, Sajewicz E.
Tribological charakteristics of enamel–dental material contacts investigated in vitro. Acta Bioeng Biomech. 2015; 17(1): 21–29. [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z: http://www.actabio.pwr.wroc.pl/Vol17No1/3.pdf

5. Azevedo AM, Miranda A, Panzeri H, do Prado CJ, De-Mello JDB, Soares CJ, et al.
Assessment in vitro of brushing on dental surface roughness alteration by laser interferometry. Braz Oral Res. 2008; 22(1): 11–17. [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1590/S1806-83242008000100003

6. ISO – International Organization for Standardization.
ISO/TR 14569-1:2007, Dental materials – Guidance on testing of wear, Ženeva: International Organization for Standardization; 2007. [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z: https://www.iso.org/standard/45741.html

7. Sajewicz E.
A comparative study of tribological behaviour of dental composites and tooth enamel: an energy approach. J Eng Tribol. 2010; 224(6): 559–568. [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1243/13506501JET685

8. Holík P, Morozova Y.
Opotřebení tvrdých zubních tkání a metody jeho hodnocení. Čes stomatol Prakt zubní lék. 2018; 118(4): 43–49. [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z: https://cspzl.dent.cz/artkey/sto-201804-0006_wear-of-hard-dental-tissues-and-methods-of-its-evaluation.php

9. Heintze S, Siegward D.
How to qualify and validate wear simulation devices and methods. Dent Mater. 2006; 22(8): 712–734. [cit. 23. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.02.002

10. Prestigious 2010
Zwick Science Award [online]. 2011. [cit. 2. 1. 2021]. Dostupné z: https://www.bristol.ac.uk/dental/news/2011/54.html

11. Villat C, Ponthiaux P, Pradelle-Plasse N, Grosgogeat B, Colon P.
Initial sliding wear kinetics of two types of glass ionomer cement: A tribological study. BioMed Res Inter. 2014; 2014: 790572. [cit. 5. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1155/2014/790572

12. Carvalho A, Pinto AP, Madeira S, Silva FS, Carvalho O, Gomes JR.
Tribological characterization of dental restorative materials. Biotribology. 2020; 23(1): 10–19. [cit. 5. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.biotri.2020.100140

13. Ruggiero A, D'Amato R, Sbordone L, Haro FB, Lanza A.
Experimental comparison on dental biotribological pairs zirconia/zirconia and zirconia/natural tooth by using a reciprocating tribometer. J Med Syst. [online]. 2019; 43(4). [cit. 6. 9. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s10916-019-1230-8

14. Lauvahutanon S, Takahashi H, Oki M, Arksornnukit M, Kanehira M, Finger WJ.
In vitro evaluation of the wear resistance of composite resin blocks for CAD/CAM. Dent Mater J. [online]. 2015; 34(4), 495–502. [cit. 6. 9. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.4012/dmj.2014-293

15. Vale AP, Ramalho A.
Study of abrasive resistance of composites for dental restoration by ball-cratering. Wear. 2003; 255(7–12): 990–998. [cit. 6. 9. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00150-9

16. Sampaio M, Buciumeanu M, Henriques B, Silvia F, Souza J, Gomes JR.
Comparison between PEEK and Ti6Al4V concerning micro-scale abrasion wear on dental applications. J Mech Behav Biomed Mater. 2016; 2016(60): 212–219. [cit. 6. 9. 2020]. Dostupné z: https://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.12.038

17. Scherge M, Sarembe S, Klesow A, Petzold M.
Dental tribology at the microscale. Wear. 2013; 297(1–2): 1040–1044.[cit. 19. 9. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/lubricants7060052

18. Suwannaroop PP, Chaijareenont NK, Takahashi H, Arksornnukit M.
In vitro wear resistance, hardness and elastic modulus of artificial denture teeth. Dent Mater J. 2011; 30(4): 461–468.

19. Sajewicz E, Kulesza Z.
A new tribometer for friction and wear studies of dental materials and hard tooth tissues. Tribol Int. 2007; 40(5): 885–895.

20. Amtunes P, Ramalho VA.
Influence of pH values and aging time on the tribological behaviour of posterior restorative materials. Wear. 2009; 267(5–8): 718–725. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.12.054

21. Tingting WU, Gan X, Zhu Z, Yu H.
Aging effect of pH on the mechanical and tribological properties of dental composite resins. Particulate Sci Technol. [online]. 2016; 36(3): 378–385. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1080/02726351.2016.1262484

22. Mckinney JE, Wu W.
Influence of chemicals on wear of dental composites. J Dent Res. 1982; 61(10): 1180–1183.

23. Sripetchdanond J, Leevailoj C.
Wear of human enamel opposing monolithic zirconia, glass ceramic, and composite resin: An in vitro study. J Prosthet Dent. 2014; 112(5): 1141–1150. [cit. 31. 12. 2020]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.05.006

24. Mayworm CD, Camargo SS, Bastian FL.
Influence of artificial saliva on abrasive wear and microhardness of dental composites filled with nanoparticles. J Dent. 2008; 36(9): 703–710. [cit. 1. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jdent.2008.05.001

25. Bai Y, Zhao J, Si W, Wang X.
Two-body wear performance of dental colored zirconia after different surface treatments. J Prosthet Dent. 2016; 116(4): 584–590. [cit. 2. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.02.006

26. Condon JR, Ferracane JL.
Evaluation of composite wear with a new multi-mode oral wear simulator. Dent Mater. 1996; 12(4): 218–226. [cit. 2. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/s0109-5641(96)80026-1

27. Yesil ZD, Alapati S, Johnston W, Seghi RR.
Evaluation of the wear resistance of new nanocomposite resin restorative materials. J Prosthet Dent. 2008; 99(6): 435-443. [cit. 2. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60105-5

28. Clelland N, Pagnotto M, Kerby RE, Seghi RR.
Relative wear of flowable and highly filled composite. J Prosthet Dent. 2005; 93(2): 153–157. [cit. 2. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.11.006

29. Lim B, Ferracane JL, Condon J, Adey JD.
Effect of filler fraction and filler surface treatment on wear of microfilled composites. Dent Mater. 2002; 18(1): 1–11. [cit. 2. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0109-5641(00)00103-2

30. Bizhang M, Schmidt I, Chun YP, Arnold WH, Zimmer S.
Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement. PloS one. 2017; 12(2): e0172060. [cit. 3. 1. 2021]. Dostupné z: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172060