proLékaře.cz | 9.10.2026

Přehledový článek
Review

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 4,
s. 95–103

Opotřebení dentálních výplňových materiálů a možnosti jeho měření

(Přehledový článek)

Wear of Dental Filling Materials and Possibilities of its Measurement

(Review)

Holík P.[1], Morozova Y.[1], Čtvrtlík R.[2], Tomáštík J.[2]

[1]Klinika zubního lékařství LF UP a FN, Olomouc
[2]Společná laboratoř optiky a fyziky PřF UP, Olomouc, a FZÚ AV ČR

SOUHRN

Předmět sdělení: Opotřebení zubu je komplexní multifaktoriální fenomén podmíněný interakcí biologických, mechanických, chemických a tribologických faktorů. Povrch tvrdých zubních tkání, stejně jako výplňového materiálu nahrazujícího sklovinu a dentin, je za své funkce mechanicky zatěžován buď otěrem o antagonisty (atrice) nebo o jiný objekt v dutině ústní, například zubní kartáček, pastu atd. (abraze). Tyto procesy vedou ke vzniku povrchových defektů tvrdých zubních tkání, ale i výplní. Ve sdělení jsou popsány možné metody experimentálního („pin on disc“ metoda, tooth brushing machine, počítačem řízený simulátor čelistí, měření tvrdosti a modulu pružnosti materiálů za použití nanoindentorů a vrypové zkoušky atd.) a klinického hodnocení (kritéria podle Ryge a Cvara, FDI kritéria, profilometrie a měření počítačových modelů CAD/CAM skenerem) opotřebení dentálních rekonstrukčních materiálů.
Závěr: Znalost jednotlivých vlastností rekonstrukčních materiálů ovlivňujících jejich opotřebení pomůže ošetřujícímu lékaři zvolit vhodný typ materiálu a správně informovat pacienta o životnosti rekonstrukce.
Klíčová slova: ***opotřebení – kritéria Ryge a Cvara – FDI kritéria – tribologie – pin on disk – nanoindentace – scratch test – profilometrie***

SUMMARY

Background: Tooth wear is a complex multifactorial phenomenon conditioned by the interaction of biological, mechanical, chemical and tribological factors. The surface of hard dental tissues as filling material replacing enamel and dentine has mechanical load by antagonist (attrition) or another object in the oral cavity such toothbrush, toothpaste, etc. (abrasion). These processes lead to surface defects of hard dental tissues and fillings. The report describes the possible methods of experimental („pin on disc“ method, tooth brushing machine, computer-controlled jaw simulator, material hardness and elastic modulus measurement using nanoindentation, scratch test, etc.) and clinical evaluation (Ryge and Cvar criteria, FDI criteria, profilometry, measurement of computer models by CAD/CAM scanner) wear of dental reconstruction materials.
Conclusion: Knowledge of the individual properties of the reconstruction materials influencing their wear will help the dentist to choose the appropriate type of material and to properly inform the patient about its reconstruction lifespan.
Keywords: ***wear – Ryge and Cvar criteria – FDI criteria – tribology – pin on disk – nanoindentation – scratch test – profilometry***

Čes. Stomat., roč. 118, 2018, č. 4, s. 95–103

proLékaře.cz | 9.10.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 4,
s. 95–103

ÚVOD

Na povrch rekonstrukčních materiálů nahrazujících sklovinu a dentin působí stejné mechanismy opotřebování jako na samotné tvrdé zubní tkáně. Jsou buď fyzikálního (atrice, abraze), nebo chemického původu (eroze). Tyto mechanismy se ale v dutině ústní jen vzácně vyskytují izolovaně, proto se v naprosté většině případů jedná o kombinaci uvedených faktorů. Při atrici na povrch zubu anebo rekonstrukce působí otěrem protější zub, zatímco při abrazi navíc nějaký třetí předmět (například zubní kartáček nebo částečky potravy). Oba procesy způsobují úbytek tvrdých zubních tkání, stejně tak i výplňových materiálů. Pro zubního lékaře je důležité vybrat správný materiál pro konkrétní typ defektu, ale i pro konkrétního pacienta. Kromě klasických indikačních pravidel pro dané materiály by se mělo přihlížet i k jejich mechanickým vlastnostem. Například pokud u pacienta s bruxismem zvolíme výplň s vyšší tvrdostí než má zubní tkáň (podle rozsahu opotřebení – sklovina/dentin), bude docházet k jejímu pomalejšímu opotřebení a výplň začne vystupovat nad povrch zubu, zároveň dojde ke zvýšenému opotřebení antagonisty.

Fyzikální vlastnosti, jako je tvrdost a modul pružnosti, předpovídají také životnost výplně. Srovnejme například kovové materiály, jako je zlatá inlay nebo amalgám, a cementy s nízkou tvrdostí. Rozdíl v životnosti rekonstrukcí zhotovených z materiálů těchto krajních skupin je už zaznamenán mnoha studiemi [2].

Znalost modulu pružnosti se patrně nejvíce osvědčí při zhotovování výplní V. třídy podle Blacka. Zub je v místě krčku silně namáhán v ohybu, čímž dochází k porušení sklovinných prizmat (abfrakce). Současně je ohybem zatěžován i výplňový materiál, který, pokud je méně pružný, ztrácí vazbu s tvrdými zubními tkáněmi a výplň je znehodnocena. Je důležité mít na paměti, že namáhání zubu v ohybu není u každého pacienta ani u zubů jednoho pacienta stejné. Krajním případem může být situace, kdy je antagonální zub nahrazen implantátem s korunkou s vysokou tvrdostí a malým modulem pružnosti. Taková náhrada je velmi rigidní a silně zatěžuje antagonisty v ohybu při artikulaci [5].

Z uvedeného výše je patrné, proč je důležité mít představu o základních fyzikálních vlastnostech (tvrdost a pružnost) užívaných materiálů, které lze zjistit především v laboratorních podmínkách. Je nutné ale mít na paměti, že každý pacient je jiný, takže nesmí chybět ani porovnání, měření a popis materiálů in vivo [15]. Sdělení shrnuje poznatky o současných metodách testování opotřebení dentálních rekonstrukčních materiálů v in vivo a in vitro podmínkách.

MOŽNOSTI IN VIVO MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ DENTÁLNÍCH REKONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

Situace při laboratorních testech a v ústech pacienta je velmi odlišná, proto docházelo k rozdílným výsledkům při výzkumu v in vitro a in vivo podmínkách. Vliv na opotřebení má totiž i teplota, vlhkost, přítomnost sliny, pH anebo přítomnost tzv. třetí složky otěru, což jsou například drobné tvrdé částečky potravy, abraziva v zubních pastách, vlákna zubního kartáčku atd. [18, 19]. Dále záleží na zatížení rekonstrukce, zdali netvoří artikulační překážku, je při artikulaci v kontaktu s antagonálním zubem a zda je antagonální zub opatřen výplní nebo protetickou prací, která má rozdílnou tvrdost než vlastní zub, atd. Testování in vivo tvoří neoddělitelnou součást výzkumu opotřebení výplňových materiálů.

Tento typ výzkumu je však obtížnější a výsledky jsou vzájemně těžko srovnatelné. Můžeme využít následujících metod.

Obr. 1 Kompozitní výplň se známkami opotřebení a nevyhovujícího okrajového uzávěru na zubu

proLékaře.cz | 9.10.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118, 2018, 4, s. 95–103

1. Klinické posouzení stavu výplní podle Ryge a Cvara a podle FDI kritérií

Na výplňové materiály působí stejné vlivy, jako na tvrdé zubní tkáně. Hodnocení opotřebení tvrdých zubních tkání je nejčastěji prováděno pomocí indexu opotřebení podle Smitha a Knighta anebo BEWE indexu, které se používají na hodnocení stupně erozivních defektů tvrdých zubních tkání. Ty však nelze aplikovat u výplňových materiálů, u těchto indexů je totiž vyžadováno rozlišení skloviny a dentinu. Ke klinickému hodnocení stavu výplní se v současnosti nejvíce používají kritéria podle FDI z roku 2007. Kritéria vycházejí z původní klasifikace podle Ryge a Cvara. Byly však přidány další parametry, a hodnocení se tak stalo přesnějším a méně subjektivním. Hodnocení by mělo být prováděno z makroskopických fotografií. Při zjištění stavu vý-

Tab. 1 Kritéria podle Ryge a Cvara pro hodnocení kvality výplní [6]

1. Retence:	
Alfa	Výplň je na místě
Bravo	Výplň částečně chybí
Charlie	Výplň zcela chybí
2. Barva:	
Alfa	Není rozdíl mezi barvou výplně a okolních tkání
Bravo	Lehký rozdíl mezi barvou výplně a okolním zubem, avšak v rámci barevných vzorníků
Charlie	Výplň má zcela odlišný barevný odstín
3. Okrajový uzávěr:	
Alfa	Zubní sonda nezachytává při pohybu z výplně na zub a zpět, nejsou schody ani zářezy
Bravo	a) V oblasti okraje v dentinu (cementu) sonda zachytává o okraj, avšak nepenetruje ani není zabarvení spáry b) V oblasti okraje skloviny sonda zachytává o okraj, avšak nepenetruje do spáry ani není vidět její zabarvení
Charlie	Sonda penetruje do spáry směrem k pulpální stěně
4. Okrajové zabarvení:	
Alfa	Není vidět žádné zabarvení
Bravo	a) V oblasti okraje v dentinu (cementu) je možno vidět penetraci barviva mezi výplní a zubem, avšak neproniká do hloubky až k pulpě b) V oblasti okraje skloviny je možno vidět penetraci barviva mezi výplní a zubem, avšak neproniká do hloubky až k pulpě
Charlie	Je patrné okrajové zabarvení podél celého okraje výplně s penetrací do hloubky
5. Rezistence vůči abrazi, zachování hladkosti povrchu:	
Alfa	Intaktní, neporušený, hladký, vyleštěný povrch
Bravo	Lehká ztráta obrysu, oploštěný, matný povrch
Charlie	Větší ztráta materiálu, hrubý povrch výplně s vrypy
6. Zabarvení povrchu:	
Alfa	Nejsou přítomné pigmentace
Bravo	Pigmentace přítomné
7. Pooperační citlivost:	
Alfa	Žádná citlivost
Bravo	Dočasná, do čtyř týdnů po ošetření vymizela
Charlie	Stálá

proLékaře.cz | 9.10.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118, 2018, 4, s. 95–103

Tab. 2 FDI kritéria hodnocení kvality výplní [6]

Estetická kritéria
1. Povrchový lesk
2. Zabarvení: (a) povrchu a (b) okraje
3. Shoda barvy a translucence
4. Estetický anatomický tvar
Funkční kritéria
1. Fraktura materiálu a retence
2. Marginální adaptace
3. Okluzní kontura a opotřebení
4. Anatomický tvar aproximálně: (a) body kontaktu a (b) obrys
5. Radiografické vyšetření
6. Názor pacienta
Biologická kritéria
1. Pooperační citlivost zubů a vitalita
2. Sekundární kaz, eroze, abraze
3. Integrita zubu
4. Reakce parodontu
5. Přilehlé sliznice
6. Orální a celkový zdravotní stav
U všech tří skupin se používají hodnocení:
1. Klinicky výborný/velmi dobrý
2. Klinicky dobrý
3. Klinicky dostačující/uspokojivý
4. Klinicky neuspokojivý
5. Klinicky špatný

plní se hodnotí jejich anatomický tvar, kvalita okrajového uzávěru, estetický vzhled, případná marginální dyskolorace a přítomnost sekundárního nebo recidivujícího kazu (obr. 1). Kritéria podle Ryge a Cvara a podle FDI jsou podrobněji uvedena v tabulkách 1 a 2 [6].

Příklad hodnocení kompozitní výplně I. třídy na zubu 46 vyobrazeného na obrázku 1:

Podle Ryge a Cvara:

1. alfa (výplň je na místě)
2. bravo (lehký rozdíl mezi barvou výplně a okolním zubem, avšak v rámci barevných vzorníků)
3. bravo (v oblasti okraje skloviny sonda zachytává o okraj, avšak nepenetruje do spáry ani není vidět její zabarvení)
4. charlie (je patrné okrajové zabarvení podél celého okraje výplně s penetrací do hloubky)
5. charlie (větší ztráta materiálu, hrubý povrch výplně s vrypy)
6. alfa (nejsou přítomné pigmentace)
7. alfa (chybí pooperační citlivost)

Podle kritérií FDI:

A. Estetická kritéria

1. Povrchový lesk: Hodnota 4 – Klinicky neuspokojivý (hrubý povrch, hrubost nezamaskuje ani slina, pouze leštění nestačí k nápravě)
2. Zabarvení: Hodnota 4 – Klinicky neuspokojivý (výrazná okrajová pigmentace)
3. Shoda barvy a translucence: Hodnota 3 – Klinicky dostačující/uspokojivý (znatelný rozdíl, který však přímo neovlivňuje estetiku
4. Estetický anatomický tvar: Hodnota 3 – Klinicky dostačující/uspokojivý (tvar je od normálního anatomického odlišný, avšak funkční, přijatelný)

B. Funkční kritéria

1. Fraktura materiálu a retence: Hodnota 4 – Klinicky neuspokojivý (marginální fraktura)
2. Marginální adaptace: Hodnota 3 – Klinicky dostačující/uspokojivý (větší nepravidelnosti okraje, důlky)
3. Okluzní kontura a opotřebení: Hodnota 3 – Klinicky dostačující/uspokojivý (opotřebení povrchu výplně je větší než opotřebení skloviny)
4. Anatomický tvar aproximálně: (nehodnoceno)
5. Radiografické vyšetření: (nehodnoceno)
6. Názor pacienta: (nehodnoceno)

C. Biologická kritéria

1. Pooperační citlivost zubů a vitalita: Hodnota 1 – Klinicky výborný/velmi dobrý (bez pooperační citlivosti)
2. Sekundární kaz, eroze, abraze: Hodnota 4 – Klinicky neuspokojivý (podezření na podminující kaz)
3. Integrita zubu: Hodnota 1 – Klinicky výborný/velmi dobrý (nezjištěna fraktura skloviny)
4. Reakce parodontu: Hodnota 1 – Klinicky výborný/velmi dobrý (bez plaku nebo zánětu gingivy)
5. Přilehlé sliznice: (nehodnoceno)
6. Orální a celkový zdravotní stav (nehodnoceno)

Hodnocení výplní za použití uvedených metod má hlavní nevýhodu v subjektivnosti měření. Je třeba výplň ihned po zhotovení zdokumentovat pořízením fotografie a hodnocení provádět v příslušných intervalech, například po 6, 12, 18 a 24 měsících. Posouzení aktuálního stavu výplní by měl provádět vždy jeden lékař. FDI stupnice se sice snaží konkretizovat hodnocení, aby nedocházelo k různým posudkům téže výplně u různých lékařů, například použitím speciálních tzv. kalibračních programů, kdy jsou lékaři promítány fotografie výplní s příslušným hodnocením. Metoda ale stále zůstává subjektivní a nejméně přesná [6].

2. Profilometrie

Starší z metod měření opotřebení in vivo je profilometrie. Touto metodou lze kvantifikovat úbytek výplňového materiálu v čase a zároveň srovnat rychlost opotřebení výplně a tvrdých zubních tkání.

proLékaře.cz | 9.10.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118, 2018, 4, s. 95–103

Je třeba zhotovit silikonový otisk situace v ústech a s jeho pomocí vytvořit model (u některých bezkontaktních metod měření lze využít již silikonový otisk). Oblast výplně je zaznačena, poté je provedeno měření profilometrem. Kontaktní profilometrie používá diamantový stylus (měřicí tyčinku), kterým přístroj proměří povrch zubu. Běžně používaný rozsah měření je od 10 nm. Bezkontaktní profilometry využívají různé metody měření povrchu, například laserovou triangulaci nebo konfokální mikroskopii. Výhodou je rozlišovací schopnost, naopak nevýhodou je citlivost na barvu a znečištění povrchu. Měří se ihned po zhotovení výplně a pak v určených časových odstupech. Naměřená data se porovnají a vypočte se úbytek výplňového materiálu za příslušnou dobu. Výpočet je však vždy vztažen k tvrdým zubním tkáním, které rovněž podléhají opotřebení [7, 14].

3. Skenování okluzních ploch pomocí CAD/CAM skeneru

Další možností přesného měření opotřebení rekonstrukce in vivo je využití CAD/CAM skeneru a příslušného software. Dalo by se říci, že tato metoda je podskupinou profilometrie. Princip je totožný jako u předchozí metody. Je třeba přenést reliéf okluzní plochy zkoumaného zubu do počítače a porovnat jej s obrazem zubu po časovém odstupu. Skenery sloužily původně k modelaci fixních protetických prací. Postupem času se modernizovaly, získaly vyšší přesnost měření a také širší možnosti využití. Jak už bylo uvedeno, nejprve je pořízen trojrozměrný digitalizovaný obraz okluzních ploch zubů. V závislosti na generaci skeneru může být vyžadováno zhotovení sádrového modelu. Stejný trojrozměrný počítačový model je pořízen i po dané časové prodlevě, většinou 6, 12, 18 a 24 měsíců. Počítač pak obrazy proloží, takže lze změřit úbytek materiálu i lokalizovat oblasti, kde opotřebení probíhá rychleji a kde pomaleji.

Srovnáním těchto metod se ve své studii z roku 2010 zabývali Al-Omiri a kol. Porovnávali přesnost určení opotřebení pouhým zrakem vyšetřujícího za využití příslušných indexů a měření pomocí 3D skeneru v šestiměsíčních intervalech. Příkladem je opotřebení okluzní plochy moláru působením antagonálního zubu s keramickou korunkou, kdy došlo ke ztrátě materiálu ve vertikální ose o 0,168 mm. Z výsledků bylo patrné, že pouhý zrak nestačí ke kvantifikaci opotřebení a ve většině případů nelze zrakem ani sledovat jeho progresi [10].

Hlavní nevýhodou výše uvedených metod je nemožnost standardizace podmínek zkoumání.

MOŽNOSTI IN VITRO MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ DENTÁLNÍCH REKONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

Pro testování opotřebení v laboratorních podmínkách byla vytvořena řada přístrojů. Snahou bylo co nejvíce se přiblížit podmínkám, jež panují v ústní dutině, ale zároveň udržet definovatelnost testovacích podmínek, což činí velké potíže, protože každý pacient má v ústní dutině odlišné podmínky. Testy se tedy lišily v komplexnosti, použité testovací síle, trajektorii, ošetření povrchu vzorků a v počtu použitých cyklů.

Většina přístrojů využívá k testování dvousložkový otěr (two-body wear testing), což ovšem simuluje pouze kontakt zubů bez přítomnosti potravy. Při žvýkání představují částečky potravy v závislosti na své tvrdosti důležitou složku. Proto některé testovací přístroje jsou již uzpůsobené k přidání třetí složky otěru – vzorku potraviny. To však ztěžuje možnost standardizace testů [8]. Ve snaze o sjednocení testovacích parametrů byly vydány dvě ISO normy: **ISO/TR 14569-1:2007** Dental materials – Guidance on testing of wear – Part 1: Wear by toothbrushing a **ISO/TS 14569-2:2001** Dental materials – Guidance on testing of wear – Part 2: Wear by two- and/or three body contact. Postihují pouze některé z mnoha metod testování, jež budou popsány níže.

Během vývoje dentálních materiálů se uplatňovaly následující testy.

1. Pin on disc tribometr

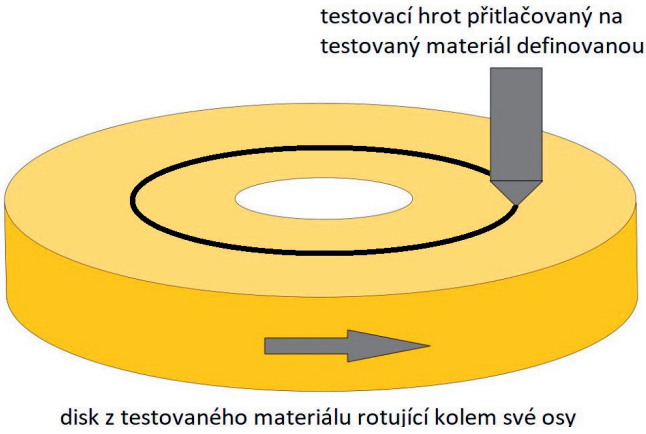
Pin on disc je nejběžnější a nejjednodušší metoda testování opotřebení využívaná i v jiných průmyslových odvětvích. V základu se užívá k testování dvousložkového otěru.

Při analýze „pin on disc“ je na povrch vzorku ve tvaru disku přiloženo „PIN“ tělísko ve formě válečku nebo nerotující kuličky. V určité zvolené vzdálenosti od středu vzorku je „PIN“ zatížen předem definovanou silou. Disk se začne otáčet zvolenými otáčkami a vykoná předem stanovený počet kol. „PIN“ tělísko tak vytváří na povrchu vzorku stopu (dráhu), jež je analyzována (tvar, hloubka, okolí apod.) [11].

Tento test je velmi jednoduchý, standardizovatelný a finančně nenáročný [20]. V minulosti se však pro jednotlivé výzkumy nastavovaly různé parametry (přítlačná síla, otáčky nebo počet cyklů), to však znemožňuje vzájemnou porovnatelnost studií. Dalším problémem je, že se testovací přístroj od podmínek v ústní dutině výrazně vzdaluje. Při snaze přiblížit test reálnějším podmínkám žvýkání se přidávala třetí složka otěru – abrazivní zrnka potravy (mletá rýže ve fosfátovém pufru, kukuřičná drť a celozrnná

proLékaře.cz | 9.10.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118,
2018, 4,
s. 95–103

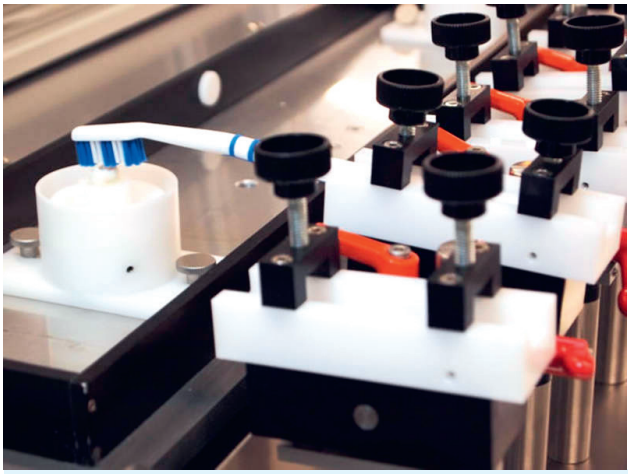


Obr. 2 Princip Pin on disc metody měření opotřebení materiálů

mouka v destilované vodě) nebo umělá slina. Přesto zůstává rotační pohyb velmi vzdálený mastikačnímu pohybu čelistí (obr. 2).

2. Simulátor zubního kartáčku (toothbrushing machine)

Opotřebení tvrdých zubních tkání a dentálních materiálů nevzniká jen při žvýkání potravy, ale také při čištění zubů. Velikost takového opotřebení u pacientů závisí na mnoha okolnostech, jako je technika čištění, tvrdost kartáčku, zručnost pacienta, četnost opakování a v neposlední řadě i použitá zubní pasta. Je také důležité, zda byly před čištěním zubů požity kyselé složky potravy a povrch zubů je erodovaný (erozivně-abrazivní adiční efekt) [1]. Metoda využívá zubního kartáčku cyklicky provádějícího lineární pohyb po povrchu testovaného materiálu o nastavitelné přítlačné síle (například 200 g, což odpovídá síle 2 N) [3].



Obr. 3 Simulátor zubního kartáčku – toothbrushing machine [http://sdm-gmbh.de/en/products/toothbrush-simulation-zm--38-and-zm-312.html]

Tento test se v zásadě podobá metodě pin on disk, jen je místo disku užíván zubní kartáček, z čehož plynou klady i zápory. Test je levný, jednoduchý a má své opodstatnění u materiálů, respektive lokalizací materiálů, jež nejsou zatíženy při artikulaci (například výplně lokalizované ve foramen caecum molárů nebo výplně III. třídy podle Blacka). Test samozřejmě nebere v úvahu abfrakci. Standardizace tohoto testu je důležitá nejen z hlediska přístroje, ale také zvoleného zubního kartáčku. Pro přesnější simulaci lze přidat třetí složku otěru – zubní pastu nebo pouze abrazivní částice ze zubní pasty, jejichž velikost se v jednotlivých pastách může výrazně lišit. Další odlišnost zubních past tkví v jejich odlišném působení na změnu pH dutiny ústní. Opět se tedy setkáváme s rozdílnými podmínkami při testování jednou a toutéž metodou (obr. 3) [4].

3. Simulátor čelistí

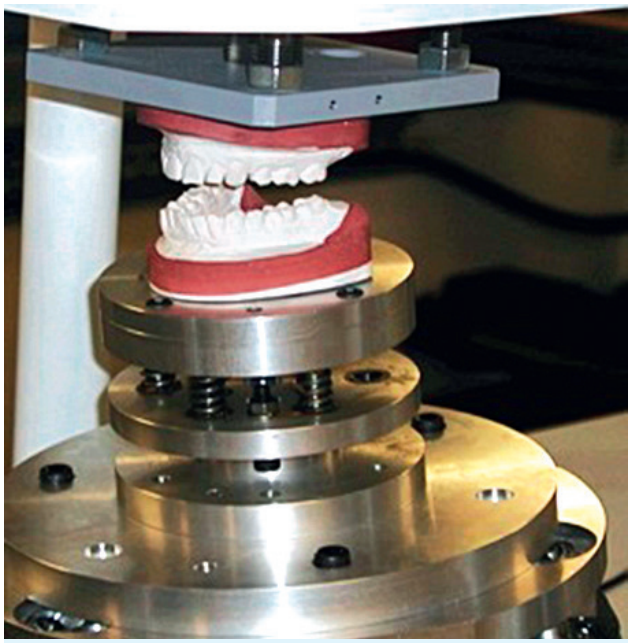
Vývoj přístrojů dále pokračoval ve snaze co nejlépe napodobit dutinu ústní a pohyby čelistí při žvýkání. Vědci se snažili vymyslet test, který by odpovídal podmínkám in vivo. V roce 1980 R. DeLong a W. H. Douglas sestrojili tzv. artificial oral environment. Jednalo se o spojení přístroje simulujícího pohyb čelistí vůči sobě a uměle vytvořeného prostředí ústní dutiny.

Simulátor čelistí sestával z modelu horního a dolního zubořadí (nebo jen jednoho konkrétního zubu s výplní), které se vůči sobě pohybovaly pomocí dvou nebo více servo-hydraulických motorů. První motor zajišťoval pohyby ve vertikální ose, druhý v ose horizontální. Oba motory řídil počítač tak, aby co nejvěrněji reprodukovaly fyziologické pohyby při žvýkání (obr. 4) [17]. Bylo možno individuálně nastavit sílu skusu a počet cyklů. Součástí bylo i umělé prostředí ústní dutiny. To zahrnovalo možnost nastavení teploty stejné, jako je v lidském těle, a byla vytvořena umělá slina. Další autoři přidali pro ještě větší reálnost simulace vzorky potravin (mletá rýže ve fosfátovém pufru, kukuřičná drť a celozrnná mouka v destilované vodě) [13].

Lze soudit, že reálnější simulátor lidských úst už sestrojit nelze. Přesto, když byly porovnávány výsledky měření in vivo a in vitro pomocí této si-

proLékaře.cz | 9.10.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118, 2018, 4, s. 95–103

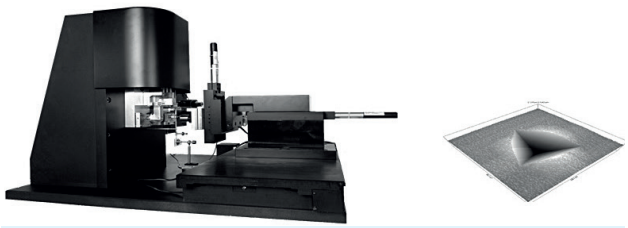


Obr. 4 Simulátor čelistí (artikulačního pohybu) [http://www.bristol.ac.uk/dental/news/2011/54.html]

mulace, docházelo ke značným rozdílům. Sajewicz a Kulesza argumentují tím, že přístroje napodobují definované žvýkací pohyby a silový vzorec, avšak ve skutečnosti takové standardní podmínky u pacientů neexistují. Stejně tak opotřebení výplňových materiálů je ovlivněno jejich zatížením, kontaktní plochou a kontaktní geometrií [13].

4. Nanoindentace

Vzhledem k faktu, že uměle napodobit podmínky v ústní dutině a žvýkací pohyb tak, aby odpovídal živému člověku, není reálné, začaly se studie zaměřovat na zkoumání dílčích fyzikálních vlastností materiálů, které mají vztah k rychlosti opotřebení. K těmto vlastnostem především patří **tvrdost** a **modul pružnosti**. Tyto charakteristiky jsou dané materiálem a při dodržení technologického postupu přípravy materiálu je jejich hodnota pro daný materiál konstantní. Díky tomu lze porovnávat jednotlivé



Obr. 5 Nanoindenter

materiály mezi sebou, aniž by byly výsledky zkresleny podmínkami při testování [9]. Test probíhá tak, že do vzorku materiálů připraveného za podmínek stanovených výrobcem je vtlačován diamantový hrot o definovaném tvaru (obr. 5). Dříve se podle známé síly F, změřené úhlopříčky vrypu a konstanty charakterizující testovací přístroj spočítala tvrdost testovaného vzorku. Nyní je test řízen počítačem, v reálném čase je vykreslován graf a podle zátěžové křivky počítač vyhodnotí tvrdost. Počítač vyhodnocuje i tzv. odlehčovací křivku, podle níž se spočítá modul pružnosti. Test vychází z klasické zkoušky indexace používané v průmyslu, pouze je upraven pro testování malých vzorků (zmenšený indexační hrot a upravené zátěžové síly). Z toho je odvozeno označení mikroindentace a nanoindentace. Výhodou je testování malých vzorků, aniž by došlo k jejich zničení, ale test je nyní citlivý na homogenitu vzorku a drsnost povrchu. Proto je v rámci jednoho vzorku provedeno hned několik vrypů a každý zvlášť je vyhodnocen.

Existuje několik stupnic a testů tvrdosti (tvrdost podle Brinella, Knoopa, Rockwella, Vickerse). V průmyslu se v současné době nejčastěji používá stupnice a testování tvrdosti podle Knoopa. Naproti tomu u dentálních materiálů se častěji vyskytuje tvrdost podle Vickerse, která definuje testovací hrot jako čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136°, výsledkem je pak Vickersovo číslo tvrdosti. Způsob jejího provedení je popsán a sjednocen normou ČSN EN ISO 6507-1 [9].

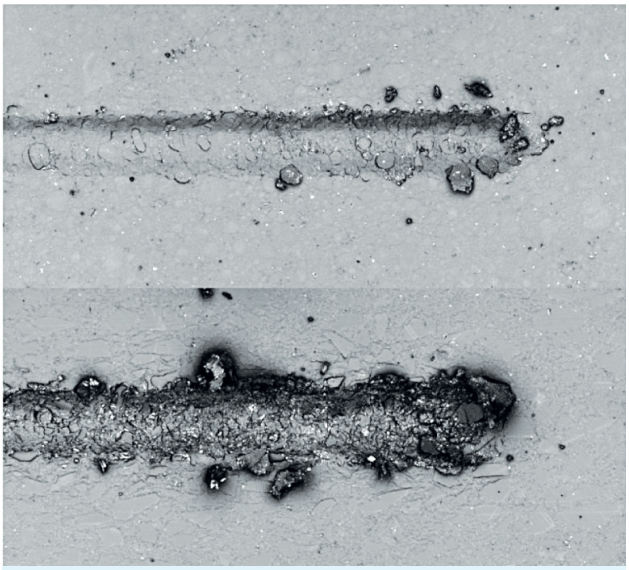
Měření tvrdosti a modulu pružnosti pomocí nanoindentace je v současnosti nejslibnější v porovnávání jednotlivých výplňových, ale i protetických materiálů a predikce jejich opotřebení při funkci.

5. Scratch test a konfokální rastrovací mikroskopie

Scratch test neboli vrypová zkouška se k testování tvrdosti využívá již od roku 1824, kdy byla sestavena tzv. Mohsova stupnice tvrdosti. Sloužila původně pro určování tvrdosti nerostů. Princip zkoušky spočíval ve skutečnosti, že tvrdší materiál udělá vryp do méně tvrdého. Proto bylo vybráno deset nerostů od nejméně tvrdého po nejtvrdší (1. mastek, 2. sůl kamenná, 3. kalcit, 4. kazivec, 5. apatit, 6. živec, 7. křemen, 8. topaz, 9. korund, 10. diamant) a ty sloužily pro testování dalších materiálů, které byly přiřazovány do deseti kategorií. Během let došlo k modernizaci daného testu. Místo deseti nerostů se začal používat jen jeden, a to nejtvrdší – diamant. Měření zajišťuje počítač, který zvětšující se silou působí přesně geometricky definovaným diamantovým hrotem (kužel

proLékaře.cz | 9.10.2026

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118, 2018, 4, s. 95–103



Obr. 6 CLSM obraz vrypů flow kompozitního (nahoře) a pastovitého nanohybridního kompozitního materiálu (dole)

o 120° s poloměrem zaoblení vrcholu 0,02 mm) na povrch testovaného materiálu a zároveň vykonává lineární pohyb po jeho povrchu. Mírou tvrdosti je pak síla *F*, potřebná ke vzniku vrypu širokého 0,01 mm. Zkoušku poprvé popsal německý hutník A. Martens a od roku 2003 je standardní zkouškou materiálů podle normy ISO 14577 [4, 14].

Tím byla stejně jako u předchozího testu zjištěna tvrdost vzorku. Scratch test později nabídl ještě další možnost zkoumání. S rozvojem mikroskopie bylo možné prohlížet vryp ve vzorku velmi detailně a rozeznat tak *porušení jeho okrajů, jeho hloubku a vliv homogenity materiálu na test* [7, 12]. K tomuto účelu se využívá laserový konfokální rastrovací (skenovací) mikroskop (CLSM), umožňující pořízení obrazové dokumentace trojrozměrných objektů. Na rozdíl od běžného mikroskopu, který dokáže zaostřit jen na jedno místo a ostrost jiného místa pak již záleží na zvětšení a hloubce ostrosti, konfokální mikroskop zaostřuje na jednotlivé body trojrozměrného objektu a po syntéze obrazů je výsledek ostrý ve všech částech objektu, v našem případě vrypu [16]. Obrázek 6 znázorňuje vrypy ve dvou typech kompozitních materiálů.

ZÁVĚR

Z hlediska požadavků pacienta na zubní rekonstrukci je doba její životnosti jedním z nejdůležitějších parametrů. Při každém odvrtávání a rekonstrukci výplně totiž dochází i ke ztrátě zbylých zubních tkání. Na životnosti výplní se podílejí i další faktory, jako je biokompatibilita, okrajový uzávěr nebo vazba k tvrdým zubním tkáním, ale opotřebení povrchu je neméně důležité. Situace u každého pacienta je odlišná a je třeba zvolit vhodný typ výplňového materiálu, jenž by měl být dostatečně odolný, ale zároveň šetrný k antagonálním zubům. Pak nám znalost rychlosti opotřebení pomůže spolu s dalšími faktory předpovědět, za jak dlouhou dobu bude potřeba výplň opravovat.

Rychlost opotřebení lze předvídat a vzájemně porovnat řadou laboratorních i klinických testů: od původního hodnocení výplní pouhým okem vyšetřujícího až po dnešní nanoindentaci a zhotovování trojrozměrných modelů, které určí přesný úbytek materiálu i nejvíce opotřebené oblasti výplně. Tato data mohou využít nejen zubní lékaři k zajištění co nejlepší péče a informovanosti pacienta, ale také výrobci výplňových materiálů. Analogicky lze stejným způsobem hodnotit i materiály pro rekonstrukci nepřímou.

LITERATURA

1. **Attin, T., Koidl, U., Buchalla, W., Schaller, H. G., Kielbassa, A. M., Hellwig, E.:** Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. Archs. Oral Biol., roč. 42, 1997, č. 3, s. 243–250.
2. **Downer, M. C., Azli, N. A., Bedi, R., Moles, D. R., Setchell, D. J.:** How long do routine dental restorations last? A systematic review. Br. Dent. J., roč. 187, 1999, č. 8, s. 432–439.
3. **Eisenburger, M., Shellis, R. P., Addy, M.:** Comparative study of wear of enamel induced by alternating and simultaneous combinations of abrasion and erosion in vitro. Caries Res., roč, 37, 2003, č. 6, s. 450–455.
4. **ESD Mechatronik GMBH:** Toothbrush simulation. [online] [cit. 5.6.2018]. Dostupné z WWW: http://sdm-gmbh.de/en/products/toothbrush-simulation-zm-38-and-zm-312.html
5. **Hacker, C. H., Wagner, W. C., Razzoog, M. E.:** An in vitro investigation of the wear of enamel on porcelain and gold in saliva. J. Prosthet. Dent., roč. 75, 1996, č. 1, s. 14–17.
6. **Hickel, R., Peschke, A., Tyas, M., Mjör, I., Bayne, S., Peters, M., et al.:** FDI World Dental Federation – clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations. Update and clinical examples. J. Adhes. Dent., roč, 12, 2010, č. 4, s. 259–272.
7. **Hrdý, M., Štěpánek, I., Reindl, R., Podlahová, M.:** Vrypová zkouška z pohledu hodnocení pomocí obrazové analýzy. In Metal 2003. Ostrava, Tanger, 2003. s. 1–8. ISBN: 80-85988-82-8.
8. **ISO**, Dental materials – Guidance on testing of wear. [online] [cit. 7. 5. 2018]. Dostupné z WWW: http://www.iso.org/iso/home/search.htm?qt=dental+wear&sort=rel&type=simple&published=on
9. **Ježek, V.:** Nanoindentace. [online] ÚFE 2011 [cit. 7. 5. 2018]. Dostupné z www: http://physics.muni.cz/~dorian/Jezek_Nanoindentace.pdf
10. **Jung, Y., Lee, J.-W., Choi, Y.-J., Ahn, J.-S., Shin, S.-W., Huh, J.-B.:** A study on the in-vitro wear of the natural tooth structure by opposing zirconia or dental porcelain. J. Adv. Prosthodont., roč. 2, 2010, č. 3, s. 111–115.

proLékaře.cz | 9.10.2026

11. Kříž, A.: Tribologická analýza Pin-on-disc. In Metal 2004. Ostrava, Tanger, 2004. s. 1–8. ISBN: 80-85988-95-X.
12. Kurland, N. E., Drira, Z., Yadavalli, V. K.: Measurement of nanomechanical properties of biomolecules using atomic force microscopy. Micron, roč. 43, 2011, č. 2–3, s. 116–128.
13. Lee, A., He, L. H., Lyons, K., Swain, M. V.: Tooth wear and wear investigations in dentistry. J. Oral Rehabil., roč. 39, 2012, č. 3, s. 217–225.
14. Maged, K. E., Woolford, M., Dunne, S.: Quantitative measurement of tooth and ceramic wear: in vivo study. Int. J. Prosthodont., roč. 21, 2008, č. 3, s. 245–252.
15. Mair, L. H., Stolarskij, T. A., Vowles, R. W., Lloyd, C. H.: Wear: mechanism, manifestation and measurement. Report of work. J. Dent., roč. 24, 1996, č. 1–2, s. 141–148.
16. Plášek, J.: Konfokální mikroskop. [online] Vesmír 74, 508, 1995/9 [cit. 5. 6. 2018]. Dostupné z WWW: http://www.vesmir.cz/clanek/konfokalni-mikroskop
17. Raabe, D.: Robomunch – the chewing robot! [online] 2011 [cit. 5. 6. 2018]. Dostupné z WWW: http://www.bristol.ac.uk/dental/news/2011/54.html
18. Stappert, C. F. J., Chitmongkolsuk, S., Silva, N., Att, W., Strub, J. R.: Effect of mouth-motion fatigue and thermal cycling on the marginal accuracy of partial coverage restorations made of various dental materials. Dent. Mater., roč. 24, 2008, č. 9, s. 1248–1257.
19. Yip, K., Smales, R. J., Kaidonis, J. A.: Differential wear of teeth and restorative materials: clinical implications. Int. J. Prosthodont., roč. 17, 2004, č. 3, s. 350–356.
20. Zum Gahr, K.-H.: Classification of wear processes. Microstructure and wear of materials. Elsevier, roč. 10, 1987, s. 80-131.

Práce vznikla za podpory grantového projektu s číslem IGA_LF_2017_006.

Korespondující autor
Stomatolog Yulia Morozova, Ph.D.
Klinika zubního lékařství
LF UP a FN
Palackého 12
772 00 Olomouc
e-mail: yulia.morozova@upol.cz

ČESKÁ STOMATOLOGIE
ročník 118, 2018, 4, s. 95–103

Inzerce A181004518

Z karetních transakcí strháváme 0 %

Když zákazník platí kartou, neměli byste doplácet

- S KB SmartPay neplatíte žádná procenta z plateb kartou.
- Za 580 Kč měsíčně získáte vše, co k přijímání karet potřebujete.
- Vyzkoušejte zdarma a uvidíte sami, že zákazníci platbu kartou ocení a nechají u vás víc peněz.
- Pokud vás terminál za 3 měsíce nepřesvědčí, vrátíte nám ho jednoduše bez jakýchkoliv poplatků.

Váháte? Vyzkoušejte terminál na 3 měsíce ZDARMA

Začněte na www.kbsmartpay.cz nebo na 228 883 243

Ceny jsou bez DPH. Detailní popis služby najdete na stránkách www.kbsmartpay.cz.

KB | SmartPay