

UNIVERZITA KARLOVA
3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA



Ing. Karolína Linhartová

Problematika abraze ortodontických attachmentů

The Issue of Abrasive Wear of Orthodontic Attachments

Bakalářská práce

Praha, duben 2025

Autor práce: **Ing. Karolína Linhartová**

Studijní program: Dentální hygiena

Vedoucí práce: **MUDr. Wanda Urbanová, Ph.D.**

Pracoviště vedoucího práce: Stomatologická klinika 3. LF UK a FNKV

Konzultant: **MUDr. Bc. Jana Mrzilková, Ph.D.**

Pracoviště konzultanta: Ústav anatomie 3. LF UK

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci vypracoval/a samostatně a použil/a výhradně uvedené citované prameny, literaturu a další odborné zdroje. Současně dávám svolení k tomu, aby má závěrečná práce byla používána ke studijním účelům.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému Theses.cz a Turnitin za účelem soustavné kontroly podobnosti závěrečných prací.

V Praze dne 19. května 2025

Karolína Linhartová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala MUDr. Wandě Urbanové, Ph.D. za ochotu, vstřícnost, cenné rady a připomínky, které mi poskytla při psaní této bakalářské práce. Velký dík patří také panu Ing. Jaroslavu Vitekovi, který se postaral o návrh a konstrukční řešení čistícího zařízení a zajistil tak hladký průběh praktické části práce. V neposlední řadě bych také ráda poděkovala MUDr. Bc. Janě Mrzílkové, Ph.D. a Niklasu Ericssonovi za pomoc při měření a zpracování dat a výsledků studie.

OBSAH

ÚVOD	6
1 TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 FÓLIOVÉ APARÁTY	7
1.1.1 Historie	7
1.1.2 Terapeutický postup	8
1.1.3 Biomechanika působení	10
1.1.4 Systémy fóliových aparátů	12
1.1.5 Čištění a dezinfekce fóliových aparátů	15
1.2 ORTODONTICKÉ ATTACHMENTY	17
1.2.1 Materiály attachmentů a jejich abraze	20
1.2.2 Abraze attachmentů	21
1.3 ABRAZIVITA ZUBNÍCH PAST	23
1.3.1 Abraze a další nekariézní defekty tvrdých zubních tkání	23
1.3.2 Složení zubních past	24
1.3.3 Měření abrazivity zubních past	26
2 PRAKTICKÁ ČÁST	30
2.1 HYPOTÉZY	30
2.2 MATERIÁLY A METODIKA	30
2.2.1 Experimentální čistící zařízení	30
2.2.2 Příprava vzorků	31
2.2.3 Čištění vzorků	33
2.3 VÝSLEDKY	36
2.4 DISKUSE	36
ZÁVĚR	39
SOUHRN	40
SUMMARY	41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM TABULEK	51
SEZNAM PŘÍLOH	52

ÚVOD

Oblíbenost fóliových ortodontických aparátů u pacientů stále stoupá. Mezi jejich výhody patří snadnější čištění a údržba v porovnání s klasickými fixními aparáty, lze je sejmout před jídlem či důležitou událostí a v ústech jsou velmi nenápadné. Fóliové aparáty se vyrábějí na míru pacientovi z pružných materiálů, jako jsou polyuretan nebo etylenvinylacetát. Pro lepší retenci a efektivnější funkci aparátu se používají tzv. attachmenty. Attachment je malé množství fotokompozitní pryskyřice polymerizované na povrchu zubu. Zlepšují biomechanické vlastnosti fóliového aparátu a mohou mít různé tvary a velikosti specifické pro konkrétní účely a pohyby zubů. Správná kombinace tvaru, velikosti, umístění a počtu attachmentů tak může vést k výrazné optimalizaci v procesu ortodontické léčby.

Vzhledem ke zvyšující se popularitě fóliových aparátů se i v ordinaci dentální hygieny stále častěji setkáváme s pacienty podstupujícími tuto formu ortodontické léčby. Je samozřejmě v zájmu našem i pacienta poskytnout co nejkvalitnější a profesionální ošetření, s čímž souvisí i péče o attachmenty. Pokud při čištění nebo polishingu dochází k výrazné abrazi attachmentů, snižuje se jejich funkce, což může mít negativní efekt na celkový průběh ortodontické terapie. Cílem této práce je tedy zjistit, do jaké míry dochází k abrazi attachmentů při použití různých druhů past a kartáčků. Díky větší informovanosti o této problematice tak můžeme efektivněji provádět ordinální čištění u pacientů s fóliovými aparáty a zároveň je lépe instruovat pro domácí dentální hygienu.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Fóliové aparáty

V posledních desetiletích vedla poptávka po estetičtější alternativě léčby fixním ortodontickým aparátem, zejména mezi dospělými pacienty, k vývoji nového typu estetičtějších a pohodlnějších aparátů (Nucera a kol., 2022). Léčba fóliovými aparáty (FA) je metoda narovnávání zubů pomocí průhledných fólií, které se vyrábějí na míru pacientovi z pružných materiálů, jako jsou polyuretan nebo etylenvinylacetát. FA působí na zuby jemným tlakem, čímž je postupně posouvají do požadované pozice. Mezi jejich výhody patří snadnější čištění a údržba v porovnání s klasickými fixními aparáty, lze je sejmout před jídlem či důležitou událostí a v ústech jsou velmi nenápadné (Almogbel, 2023).

Oblíbenost FA u pacientů stále stoupá. Předchozí studie ukázaly, že téměř dvě třetiny mladých dospělých by odmítly podstoupit ortodontickou léčbu, pokud by zahrnovala terapii konvenčním fixním ortodontickým aparátem (Thai a kol., 2020). Na první pohled viditelný fixní aparát byl shledán nejen méně atraktivním, ale zároveň vzbuzoval v dotázaných dojem, že jejich nositel má více nežádoucích vlastností včetně např. snížených intelektuálních schopností. Fóliové „neviditelné“ aparáty se tak pro mnoho pacientů rychle staly synonymem estetiky, což koresponduje i se způsobem, jakým jsou dnes FA propagovány (Thai a kol., 2020).

Jako většina typů léčby, i terapie FA má své limity a nevýhody, kterých by si pacienti měli být vědomi. Léčba FA vyžaduje svědomitou spolupráci pacienta. Aby byly FA účinné, musí být nasazeny v ústech 22 hodin denně a pacient je musí nosit pečlivě podle pokynů ortodontisty. Pokud nejsou FA nošeny podle daných doporučení, může dojít k výraznému prodloužení nebo úplnému selhání léčby. Další nevýhodou je fakt, že pomocí FA dosud nelze řešit veškeré ortodontické vady, například příliš velké mezery v případě malých anatomických korunek zubů či rozsáhlé vady skusu. Pro tyto a další případy jsou stále vhodnou alternativou klasické fixní ortodontické aparáty. V neposlední řadě představují FA nemalou investici, která není hrazena ze zdravotního pojištění a z finančních důvodů tak může být léčba FA pro některé pacienty nedostupná (Almogbel, 2023).

1.1.1 Historie

Vznik prvního prapředka FA můžeme datovat až do roku 1945, kdy doktor H. D. Kesling navrhl retenční ortodontický aparát z termoplastického pružného gumového materiálu, takzvaný pozicionátor. Tento typ aparátu sloužil spíše k retenční léčbě a uzavírání mezer po

předchozí léčbě kroužkovým ortodontickým aparátem a nebyl vhodný k léčbě výrazných ortodontických vad nebo rozsáhlých malokluzí. Výroba takového aparátu navíc zahrnovala zdoluhavý a manuálně náročný proces, který vylučoval jeho použití v širším měřítku (Tai, 2018).

FA dnešního typu začaly vznikat v devadesátých letech minulého století, kdy zubní lékaři experimentovali s aparáty fóliového typu. Zjistili, že pomocí série průhledných plastových dlah, z nichž se každé mírně liší od předchozího, lze postupně posouvat zuby do požadované pozice. Za pomoci 3D počítačového systému tak v ortodoncii vznikla nová, revoluční technologie, kterou bylo navíc možné ve velkém reprodukovat a vyrábět. V roce 1999 uvedla firma Align Technology první komerční systém FA pod názvem Invisalign a o rok později byl Invisalign schválen FDA. Systém si rychle získal oblibu mezi pacienty, kteří hledali diskrétnější a pohodlnější alternativu k tradiční ortodontické léčbě (Almogbel, 2023).

Společnost Align Technology začala postupně rozšiřovat svou produktovou řadu a představila nové možnosti v léčbě FA, například léčbu složitějších ortodontických vad nebo využití počítačem generovaných léčebných plánů. S rostoucí oblibou FA začaly na trh vstupovat další společnosti s vlastními systémy FA. Mezi význačné patří např. ClearCorrect, Spark nebo Orthero (Almogbel, 2023).

Od svého uvedení na trh prošly FA značným vývojem. Z prvopočátku byly FA chápány jako alternativní léčba pro nenáročné případy a drobná stěsnání chrupu. Dnes se FA vyrábějí z optimalizovaných materiálů a existuje celá řada přídatných zařízení a attachmentů, které výrazně zvyšují efektivitu léčby FA a mohou být díky nim léčeni i pacienti s komplikovanějšími ortodontickými vadami. Pohyby zubů jsou plánovány pomocí sofistikovaných počítačových algoritmů za kontroly ošetřujícího ortodontisty. Na celém světě dnes existuje celá řada společností, které se zabývají vývojem FA a je zřejmé, že FA představují budoucnost ortodontické léčby (Tai, 2018).

1.1.2 Terapeutický postup

Proces výroby FA zahrnuje intraorální skenování a zpracování digitálního modelu, 3D tisk, následné úpravy vytisknutých modelů a zhotovení samotného aparátu pomocí termoformujícího vakuového stroje. Intraorální skener vytvoří digitální vizualizaci chrupu a přilehlých měkkých tkání a exportuje je do souboru v příslušném formátu. Tento soubor lze posléze v k tomu určeném softwaru otevřít a dle potřeby s ním manipulovat, takže lékař

nebo laborant získá podrobný přehled o rozsahu chrupu a tvaru zubního oblouku pacienta. Tento postup eliminuje potřebu odlévání klasických sádrových modelů, neboť aparát je vyroben na 3D tištěném modelu podle digitálního plánu (Nazemian a kol., 2023; Pasaoglu a kol., 2025). Po dokončení digitálního modelu vytvoří zpravidla laborant ve spolupráci s ošetřujícím lékařem v softwaru návrh léčebného plánu pacienta. V tomto plánu jsou vyznačeny přesně jednotlivé pohyby potřebné k dosažení optimální polohy každého zubu, potřebný stripping i lokalizace attachmentů. Ortodontista může s digitálním modelem manipulovat a simulovat tak různé výsledky léčby. Tato fáze virtuálního plánování je klíčová, protože určuje finální počet potřebných fólií a dobu trvání léčby. Digitální model a simulace také pomohou pacientům lépe pochopit, co mohou od své léčby očekávat. Po schválení finální verze léčebného plánu lze začít se samotnou výrobou FA.

Proces výroby FA sestává z několika technologických kroků. Nejprve se vytvoří velmi přesné 3D tištěné modely. Tyto modely pak poslouží jako základ pro tvarování samotných FA. Tvarování fólie pomocí tepla a tlaku vyžaduje pečlivý výběr materiálu, nejčastěji se využívá polyuretan nebo etylenvinylacetát s tloušťkou v rozmezí 0,5 – 1 mm. Samotné tvarování zahrnuje zahřátí termoplastického materiálu na optimální teplotu, přesné působení tlaku při aplikaci fólie na 3D tištěný model a následně i řízení rychlosti chlazení pro zachování prostorových poměrů aparátu. Po vytvarování projdou FA ještě finálními úpravami, včetně ořezávání a zahlazování okrajů pro zajištění pohodlí pacienta (Bichu a kol., 2023).

Pacient posléze obdrží sérii na míru vyrobených FA. Počet FA v sérii je individuální a odvíjí se od typu ortodontické vady a plánované délky léčby a může se pohybovat mezi 6 – 48 fóliemi. Postup léčby vyžaduje nasazení FA v ústech pacienta 20-22 hodin denně a výměnu aparátu zpravidla každý týden až dva. Každý nový FA v sérii se mírně liší od předchozího a postupně posouvá zuby do požadované polohy (Balachandran a kol., 2019). Pravidelné kontroly u ortodontisty zajišťují, že léčba probíhá podle plánu a umožňují případné úpravy léčebného plánu. U komplexnějších případů vyžaduje léčebný plán navíc aplikaci attachmentů nebo dalších přídatných zařízení. Jejich umístění a design jsou pečlivě naplánovány již v prvotní fázi léčby, aby se optimalizovala jejich účinnost při současném zachování estetiky (Balachandran a kol., 2019). Délka terapie pomocí FA se liší v závislosti na složitosti případu a spolupráci pacienta. Léčba některých jednoduchých případů může být dokončena již za šest měsíců, zatímco řešení komplexních a složitějších ortodontických vad může trvat 18–24 měsíců a někdy i déle. V každém případě je nezbytná spolupráce pacienta,

poctivé nošení FA, vynikající hygiena dutiny ústní a dodržování pokynů ortodontisty (Balachandran a kol., 2019).

1.1.3 Biomechanika působení

Základním principem léčby pomocí FA je působení řízených sil na zuby prostřednictvím série elastických dlah. Elasticita fólie v kontextu použitých attachmentů zajistí požadovaný ortodontický pohyb. Po nasazení obemkne fólie zub, přizpůsobí se tvaru zubního oblouku a pružnost materiálu vyvíjí na zuby požadovaný tlak. Optimalizované attachmenty poskytují aktivní povrch a fungují jako vektor síly vytvářené fólií (Moya a Zafra, 2021). Tvar i umístění attachmentů jsou přesně navrženy tak, aby postupně posouvaly zuby prostřednictvím drobných pohybů. S každou novou fólií lze dosáhnout pohybu zubu v rozmezí 0,25 – 0,33 mm (Feizi a kol., 2019). Stejně jako je tomu u fixního ortodontického aparátu, i na FA se vztahují základní ortodontické principy, tedy síla, retence a kotvení. FA však ze své podstaty fungují pomocí jiného mechanismu než fixní ortodontický aparát, je tedy zapotřebí pochopit rozdíly i podobnosti mezi těmito dvěma technikami pro výběr správného léčebného postupu u konkrétního pacienta (Tai, 2018).

Zásadní rozdíl v působení síly mezi FA a fixním aparátem je ten, že fixní aparát vyvíjí na zuby tah, kdežto FA vyvíjí na zuby tlak. Síla, kterou na zub působí fixní aparát, závisí, mimo jiné, na tloušťce a pružnosti oblouku a způsobu, jakým s ním ortodontista manipuluje. V kontrastu s tím FA vyvíjí na zuby tlak prostřednictvím elasticity fólie, přičemž nejintenzivnější jsou síly při prvním nasazení FA a postupně se snižují v průběhu doby nošení (Tai, 2018).

Dalším důležitým ortodontickým principem, který musí splňovat FA, je retence. FA dosahují retence na zubech tím, že je obalí svým materiálem. V tomto aspektu se FA liší od klasických fixních aparátů, které mají na zubech jednotlivé „body kontaktu“ oproti tomu FA je v kontaktu s celým povrchem korunky (obrázek 1). Čím větší plocha zubu bude obalena, tím lepší bude retence fólie a lepší zapojení zubu do ortodontického pohybu. U zubů s delší klinickou korunkou a větší plochou povrchu pozorujeme vyšší efektivitu pohybu, naopak u zubů s krátkou klinickou korunkou může být rozsah pohybu do značné míry omezen (Moya a Zafra, 2021).

Obrázek 1 Srovnání principu retence fixního ortodontického aparátu a fóliového aparátu



Zdroj: Moya a Zafra, 2021

Třetím důležitým principem léčby FA je kotvení. FA se ukazují být v tomto směru velmi efektivními, protože kotevní zub může být v různých fázích léčby nepohyblivý. Například při asymetrické expanzi může být jedna polovina zubního oblouku využita k rozšíření té druhé. Nebo při postupné distalizaci horního zubního oblouku můžeme v prvotní fázi léčby posouvat pouze druhé moláry, zatímco zbytek zubního oblouku zůstává nehybný a funguje jako kotevní segment pro předozadní pohyb druhých molárů (Moya a Zafra, 2021).

Účinnost pohybu zubů závisí na několika základních biomechanických konceptech, včetně centra rezistence a středu rotace. Centrum rezistence představuje teoretický bod, kde působení síly způsobí posun zubu en masse, zatímco střed rotace je bod, kolem kterého dochází k rotaci zubu. Vztah mezi těmito body, vyjádřený jako poměr momentu a síly, určuje typ dosaženého pohybu zubu. Různé typy pohybů zubů tak vyžadují vyvinutí specifické síly a pro úspěšný výsledek léčby je nutné pochopení a pečlivé zohlednění těchto biomechanických principů.

Jak již bylo zmíněno výše v textu, FA nelze prozatím využít v léčbě všech ortodontických anomálií. Pomocí FA je možné léčit např. stěsnání a mezerovitý chrup v rozsahu 1-5 mm, otevřený skus, méně závažné případy hlubokého a zkříženého skusu. Při správné indikaci je u vybraných malokluzí terapie FA efektivnější a výsledky lépe předvídatelné než pomocí fixních ortodontických aparátů. Pro úspěšnou léčbu je nutné řádné pochopení biomechaniky FA spolu s vhodným digitálním plánováním (Tai, 2018). V současné fázi vývoje jsou FA nejúčinnější pro vykonávání buko-lingválních

a transversálních pohybů zubů, naopak nejnižší efektivitu vykazují u rotačních a vertikálních pohybů zubů (Mendes Ribeiro a kol., 2023). Obecně nejlépe předvídatelné jsou při léčbě FA korekce inklinovaných zubů, zejména úprava sklonu zubů menších než 45°. Během terapie je posun zubu omezen na 2-3° na jednu fólii, aby byl zachován fyziologický pohyb zubu. Translační pohyby jsou obtížněji dosažitelné, zejména translace molárů a zpravidla je zapotřebí attachmentů pro vhodné rozložení působících sil. Nejvíce problematické jsou korekce rotovaných zubů, především výrazných rotací nad 45° a rotací špičáků a molárů. Obtížně dosažitelné jsou při použití FA také extruzní pohyby, především extruze řezáků a uzavírání velkých poextrakčních mezer (Marek a Bělíková, 2015; Balachandran a kol., 2019).

1.1.4 Systémy fóliových aparátů

Od konce devadesátých let prošly FA velkým vývojem. S jejich rostoucí popularitou mezi odbornou i laickou veřejností rostl i počet firem zaměřujících se na jejich výrobu. V současnosti existuje po celém světě několik desítek výrobců a s každým rokem přibývají další. Níže uvádím jen několik nejznámějších systémů FA.

Invisalign (obrázek 2) od americké společnosti Align Technology byl vůbec prvním systémem FA na trhu. V současnosti je největším a nejznámějším výrobcem FA s více než dvacetiletou tradicí a 35 % ze všech dospělých pacientů, kteří podstoupili nebo podstupují léčbu FA, bylo léčeno právě za pomoci systému Invisalign (Gierie, 2018).

Obrázek 2 Fóliový aparát Invisalign



Zdroj: Sidhu, 2023

Společnost se neustále vyvíjí a zlepšuje svůj produkt. V současnosti existuje již devátá generace systému Invisalign. Firma postupně uvedla na trh inovace jako vlastní SmartTrack materiál, software ClinCheck, optimalizované attachmenty a další vylepšení (Wajekar a kol., 2021).

ClearCorrect, v současnosti vlastněný společností Straumann Group, byl založený v roce 2006. Jedná se tak, vedle Invisalignu, o jednoho z prvních dodavatelů fóliových systémů. Ačkoliv majoritní podíl zákazníků tvoří ordinace v USA, ClearCorrect expanduje i na trhy v Kanadě, Izraeli, Evropě, Austrálii a Novém Zélandu (Gierie, 2018). FA ClearCorrect jsou vyráběny v polyuretanové fólie o tloušťce 7,5 mm a attachmenty nesou označení „engagers“. Okraj fólie není zastřižený tak, aby kopíroval tvar krčků zubů, ale je rovný a přesahuje marginální gingivu (obrázek 3). Tento způsob úpravy má za cíl zvýšit retenci FA na zubním oblouku a snížit nutnost použití attachmentů k tomuto účelu (Moya a Zafra, 2021).

Obrázek 3 Fóliový aparát ClearCorrect



Zdroj: <https://smileconcepts.co.uk/clearcorrect/>

Spark je systém FA od společnosti Ormco. Systém využívá software Insignia Advanced Smile Design, přičemž počáteční digitální nastavení provádí technik, ale lékař může následně upravovat pozice zubů pomocí programu Insignia Approver (Gierie, 2018). Spark nabízí tři možné varianty léčby – pomocí deseti fólií, dvaceti, nebo neomezeného množství, přičemž doba nošení jednotlivých fólií je vždy sedm dní. Jako výhody systému Spark uvádí firma skutečně čiré fólie, které jsou v ústech výrazně méně nápadné než konkurenční produkty, a také větší komfort při nošení díky speciálně upravenému a ohlazenému okraji aparátu. Zároveň má Spark i velmi propracovanou implementaci kořenů zubů do digitálního obrazu dutiny ústní (Moya a Zafra, 2021).

SureSmile uvedla na trh v roce 2018 společnost Dentsply. Původně se společnost zaměřovala na konzervační zubní lékařství, postupně však svou nabídku rozšířila i o implantáty a fóliové aparáty (Moya a Zafra, 2021). SureSmile software je specifický tím, že dokáže propojit CBCT snímky s 3D modelem z intraorálního skenu a poskytnout tak věrný model struktury kořenů. 3D modely lze vytisknout ve vlastní praxi, exportovat do komerční laboratoře nebo mohou být vytištěny přímo v laboratoři SureSmile. Dle instrukcí Dentsply jsou SureSmile FA ideální pro případy vyžadující mírné pohyby zubů (Gierie, 2018).

Orthero je dalším výrobcem nabízejícím vlastní systém FA. Pro výrobu fólií používají inovativní materiál, který je skutečně průhledný, odolný vůči pigmentacím z potravin, a také více rezistentní vůči růstu a množení bakterií. I zde je možné zakomponovat CBCT snímky do digitálního plánování. Šablona pro aplikaci attachmentů obsahuje speciální vnitřní fólii, která umožňuje plynulejší aplikaci attachmentu na povrch zubu. Specifická je také úprava okraje FA, neboť z vestibulární strany kopíruje okraj aparátu linii krčků a z orální strany je linie aparátu střižena rovně.

Aparáty typu **Essix** jsou zvláštním typem FA. Na trhu jsou již od roku 1993 a jsou vhodné pro použití zejména v retenční fázi léčby. Vyrábějí se nejčastěji z polypropylenové fólie o tloušťce 0,75 mm, 1 mm a 2 mm. Největší rozdíl v porovnání s jinými systémy FA je výrazně nižší počet použitých fólií. Jeli aparát Essix použit v aktivní fázi léčby, pak je fólie opakovaně tvarována ortodontistou pomocí tzv. Hilliardových termokleští (obrázek 4). Tento proces tvarování se opakuje během každé kontroly. Kleště je nejprve nutné zahřát teplotu 83–94 °C a poté jsou přiloženy na požadované místo aparátu a stiskem dojde k vytvoření výstupku na fólii. Tento proces významně redukuje množství použitých fólií a jedná se o ekonomičtější variantu počítačem řízené výroby ortodontických fólií. Essix jakožto aktivní aparát je vhodný zejména pro korekci mírných vad případně pro korekci recidivy předešlé ortodontické terapie (Bělíková a kol., 2013).

Obrázek 4 Tvarování aparátu Essix pomocí Hilliardových termokleští



Zdroj: Tai, 2018

1.1.5 Čištění a dezinfekce fóliových aparátů

Studie ukazují, že hodnoty plakových i gingiválních indexů jsou u pacientů s FA lepší u pacientů s fixním ortodontickým aparátem. Přesto však představují FA stále jisté riziko pro zdraví dutiny ústní, zejména kvůli svému rozsáhlému povrchu, který je ideální pro vznik a růst bakteriálního biofilmu. Adheze povlaku je navíc umocněna u aparátů, které mají členitější povrch s větším množstvím různých prohlubní a žlábků. Drobné praskliny a mikroabraze materiálu způsobené jak nošením, tak procesem výroby jsou výchozím bodem pro adhezi a množení bakterií. Z povrchu FA byla kultivována a identifikována řada bakteriálních druhů, např. *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum*, *Treponema denticola*, *Porphyromonas gingivalis*, *Streptococcus mutans* a *Streptococcus sobrinus*. Navíc neexistuje žádný samoočišťovací proces zubů, rtů nebo jazyka, který by přirozeně zbavoval FA nánosů plaku. Je tedy zřejmé, že FA díky svému materiálu a vlastnostem podporují a urychlují vznik a růst orálního biofilmu, což může vést k narušení již existujícího mikrobiomu a ke zhoršení zdraví dutiny ústní. V rámci preventivní péče o ústní zdraví je tedy nezbytné pravidelné čištění a dezinfekce FA (Charavet a kol., 2022).

K čištění FA existují různé přístupy a doporučení. FA lze čistit měkkým kartáčkem a zubní pastou, ponořit do ultrazvukové lázně nebo ponořit do roztoku s povrchově aktivními látkami (Charavet a kol., 2022). V současnosti existují ve vodě rozpustné tablety určené pro čištění FA (obrázek 5a) a např. Invisalign nabízí vlastní produkt, ve vodě rozpustné krystalky (obrázek 5b). Někteří pacienti umývají rovnátka po vyjmutí z úst pouze pod tekoucí vodou, což není dostatečný způsob očisty. Ze studií vyplývá, že nejefektivnějším způsobem čištění

je kombinace mechanické a chemické metody, tedy čištění kartáčkem a současné použití čistících tablet (Charavet a kol., 2022). Zubní kartáček je vhodné zvolit měkký a používat jeden pouze na čištění FA a druhý na čištění zubů. Zubní pasta by měla neabrazivní, aby nedošlo k poškození aparátu. Vhodnější alternativou je použití jemného mýdla namísto zubní pasty.

Obrázek 5 Tablety a krystalky pro čištění fóliových aparátů



Zdroj: <https://www.benu.cz/corega-pro-cleanser-orthodontics-cistici-tablety-30ks;> [://shop.invisalign.com/products/invisalign-cleaning-crystals](https://shop.invisalign.com/products/invisalign-cleaning-crystals)

Důležité je rovněž zmínit, že FA snadno podléhají zbarvení po kontaktu s barevnými potravinami nebo nápoji. Ačkoliv všeobecná doporučení zní tak, že s FA v ústech by pacienti neměli konzumovat potraviny ani nápoje a fólii by měli vždy nasazovat na vyčištěné zuby, ne vždy se tak děje. Zachování barevné stálosti FA je samozřejmě důležité, neboť jakákoliv změna barvy negativně ovlivní estetický dojem z FA. Barevná stálost FA závisí na výrobním procesu, chemickém složení materiálu i jeho povrchových vlastnostech (Olteanu a kol., 2024). Olteanu a kol. (2024) porovnávali rozsah zbarvení FA vyrobených z polyethylentereftalát-glykolu (PET-G) a kopolyesteru po namočení do roztoku kávy, červeného vína a kolového nápoje. U obou materiálů došlo ke změně barvy, nejvýrazněji u vzorků ponořených v červeném víně. Podobnou studii provedli i Bernard a kol. (2020), když porovnávali barevnou stálost FA od Invisalign, ClearCorrect a Minor Tooth Movement po namočení do roztoku kávy, červeného vína, černého čaje a kolového

nápoje. Největší změnu barvy způsobilo červené víno a káva, a to nejvýrazněji u aparátu Invisalign.

Nežádoucím zbarvení ovšem nemusí podléhat jen samotné fólie, může k němu docházet v okolí attachmentů. To může být pro řadu pacientů nepříjemné, neboť fólie se mění obvykle každý týden, oproti tomu attachmenty zůstávají na zubech po celou dobu ortodontické léčby. Na rozdíl od kompozitních výplní by se povrch attachmentů neměl leštit, a stejně tak není žádoucí měnit v průběhu léčby jejich tvar. Povrch attachmentů tak zůstává zdrsněný, což může způsobovat vyšší retenci plaku, absorpci vody a barevných pigmentů (Erçin a kol. 2023). Erçin a kol. (2023) zkoumali barevnou stálost attachmentů z nanokompozitu a flow kompozitu po ponoření do roztoku kávy a kolového nápoje. U všech tří vzorků attachmentů došlo k zbarvení, výrazněji opět u vzorků ponořených v kávě. Chami a kol. (2022) porovnávali zbarvení attachmentů ze čtyř různých kompozitních materiálů po působení kávy, červeného vína, bílého vína, světlého piva a tmavého piva. Vzorky namočené do bílého vína a piva nevykazovaly významnou změnu barvy, oproti tomu největší změna barvy byla u vzorků ponořených do kávy a červeného vína. Ze studií tedy vyplývá, že některé nápoje s vysokým obsahem barevných pigmentů skutečně mohou negativně ovlivnit estetické vlastnosti FA a attachmentů a je vhodné na toto pacienty upozornit.

1.2 Ortodontické attachmenty

Attachment je malé množství fotokompozitní pryskyřice polymerizované na povrchu zubu (obrázek 6). Použití attachmentů je zásadní pro úspěšný průběh ortodontické léčby – zajišťuje lepší retenci a efektivnější funkci fóliového aparátu (Jedliński a kol., 2023).

Obrázek 6 Ortodontické attachmenty



Zdroj: archiv autorky

Attachments tedy zlepšují biomechanické vlastnosti fóliového aparátu, ovšem samy o sobě nevytvářejí aktivní zdroj síly, nýbrž fungují jako vektor síly přenášené fóliovým aparátem (Castroflorio a kol., 2023).

Attachments mohou mít různé tvary a velikosti specifické pro konkrétní účely a pohyby zubů. Na základě tvaru lze attachmenty rozdělit do dvou skupin – konvenční nebo také běžné typy a optimalizované attachmenty. **Konvenční** attachmenty mohou být ortodontistou umístěny na jakýkoliv zub a mohou být orientovány všemi směry (Castroflorio a kol., 2023). Jedná se o pasivní attachmenty, které zvyšují retenci FA. Podle tvaru rozlišujeme konvenční attachmenty na obdélníkové, elipsovité a zkosené:

- Elipsovité attachmenty byly prvním typem attachmentů používaným v léčbě FA. Jsou to pasivní attachmenty a užívají se zejména na místech s limitovanou plochou pro aplikaci, např. na labiálních ploškách laterálních řezáků.
- Obdélníkové attachmenty jsou nejčastěji používaným typem attachmentů. Mohou být vertikální, ty jsou užitečné např. pro kontrolu pohybu kořene zubu, nebo horizontální, které jsou vhodné pro zuby s krátkou klinickou korunou.
- Zkosené attachmenty jsou attachmenty aktivní, neboť zkosená plocha usměrňuje síly tvořené FA a je tak dosaženo požadovaného pohybu zubu. Pro intruzní pohyb zubu bude tedy vhodné zvolit attachment zkosený směrem k okluzi, pro extruzní pohyb bude naopak efektivní attachment zkosený gingiválně (Tai, 2018).

Optimalizovaný typ attachmentu je uzpůsoben svým tvarem a umístěním specifickému pohybu a anatomii konkrétního zubu. Je navržen tak, aby přesně korigoval místo, směr i intenzitu působící síly a je přizpůsoben na míru pro každý zub zvlášť.

Kromě vhodného tvaru attachmentu je nutné najít i vhodné místo na povrchu zubu pro jeho umístění. Síla působící na zub závisí na vzdálenosti mezi místem působení síly a centrem rezistence zubu. Je nutné tuto vzdálenost změřit ve všech třech rozměrech, abychom plně pochopili, jak FA působí na zub. Když tuto souvislost dobře známe a umíme ji změřit, můžeme lépe předpovědět, jak efektivní bude pohyb zubu (Castroflorio a kol., 2023).

Také velikost attachmentu hraje důležitou roli z hlediska mechanického i estetického. Attachmenty menších rozměrů jsou žádoucí zejména kvůli estetickým vlastnostem, neboť jsou na první pohled méně nápadné. Se snižující se velikostí ovšem také klesá schopnost attachmentu přenášet požadovanou sílu, neboť se, přirozeně, zmenšuje i velikost aktivní plochy. Oproti tomu attachmenty větší velikosti vykazují lepší

biomechanické vlastnosti. Zároveň zvyšují i retenci FA na zubním oblouku, a to až do bodu, kdy to může být pro pacienty nepraktické a nekomfortní, neboť jim to znesnadňuje snímání a nasazování aparátu (Castroflorio a kol., 2023). Příliš velké a vysoké attachmenty jsou nežádoucí rovněž z estetického hlediska, zejména ve frontálním úseku chrupu, kde významně snižují efekt „neviditelnosti“ FA (Thai a kol., 2020).

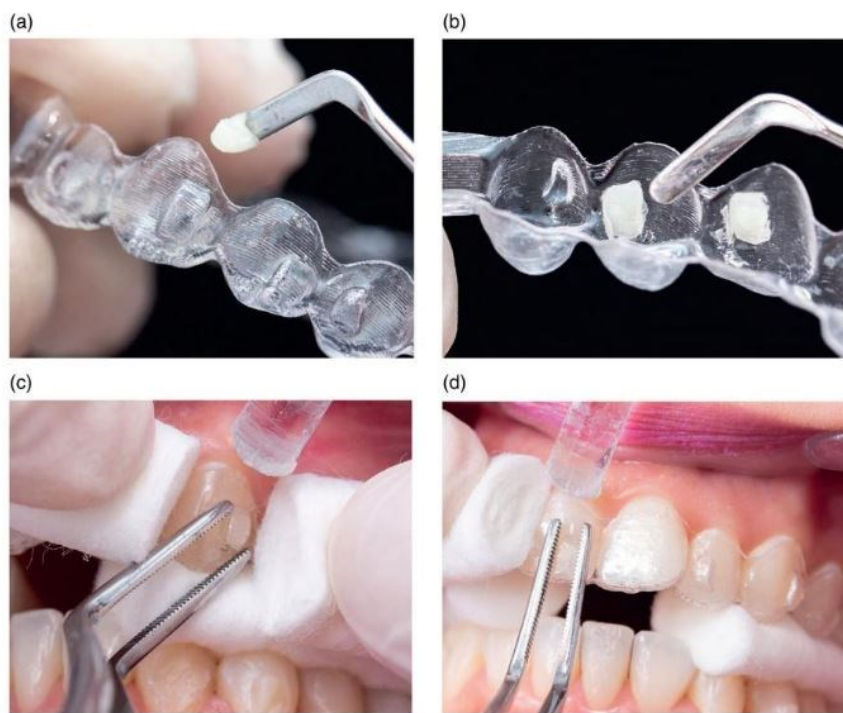
Proces začlenění attachmentů do terapie FA zahrnuje několik klíčových kroků. Nejprve ve fázi plánování léčby ortodontista určí, které zuby vyžadují umístění attachmentů, a to na základě požadovaných pohybů zubů a celkových cílů léčby. Pomocí specializovaného softwaru jsou pak attachmenty digitálně navrženy a začleněny do 3D léčebného plánu, což umožňuje přesné umístění a přizpůsobení tvarů a velikostí attachmentů. Na základě tohoto digitálního návrhu je posléze vytvořena šablona, která napomáhá při přesné aplikaci attachmentů na povrch zubů (Lin, 2020).

Následuje proces lepení samotného attachmentu na zub. Lepení začíná přípravou povrchu zubu zahrnující pečlivé čištění a leštění. Tento krok je nezbytný pro vytvoření dostatečně pevné vazby mezi povrchem zubu a attachmentem. Po vyčištění následuje leptání skloviny na místech určených pro budoucí umístění attachmentu. Leptání se nejčastěji provádí pomocí gelu obsahujícího kyselinu fosforečnou a jejím působím vznikají ve sklovině zubu inteprizmatické prostory. Do těchto prostor pak může lépe zatéci bond aplikovaný v dalším kroku. Tento postup umožňuje pevné mikromechanické spojení skloviny a fotokompozitního materiálu (Lin, 2020).

Po takovéto přípravě povrchu zubů je na zubní oblouk nasazena šablona FA. Tato šablona má v sobě drobné prohlubně, které odpovídají plánovaným pozicím budoucích attachmentů. Tyto prohlubně se před nasazením vyplní kompozitním materiálem, který odpovídá barvě zubu pacienta (obrázek 7). Jakmile je šablona přesně umístěna na zubním oblouku, dojde k vytvrzení kompozitu pomocí polymerační lampy a vzniknou tak nové attachmenty. Následuje opatrné sejmutí šablony a finální kontrola, kdy se ortodontista ujistí, zda jsou všechny attachmenty správně a dostatečně pevně umístěny. Celý proces lepení trvá přibližně 30–60 minut v závislosti na počtu aplikovaných attachmentů. Jakmile jsou attachmenty na svém místě, pacient obdrží sérii FA, které může ihned začít nosit. V průběhu léčby ortodontista pravidelně sleduje pokrok v pohybech zubů a při tzv. refinementu může podle potřeby měnit attachmenty na konkrétních zubech, aby optimalizoval výsledky léčby (Lin, 2020). Refinementem nazýváme nasazení dalšího setu fólií u daného pacienta, a je třeba k němu přistoupit pro doladění pozice jednotlivých zubů, selhání nošení ze strany

pacienta či ztráty fólií. Pak je nutné attachment na daném zubu odstranit a přilepit za nový během nasazení refinementu.

Obrázek 7 Proces lepení attachmentu na povrch zubu



Zdroj: Moya a Zafra, 2011

1.2.1 Materiály attachmentů a jejich abraze

Materiály k vytvoření attachmentu by měly mít adekvátní estetické i mechanické vlastnosti. Je nezbytné, aby materiál odpovídal barvě zubu a zároveň byl co nejvíce odolný vůči pigmentaci. Rovněž je, kvůli častému snímání fóliových aparátů, zapotřebí odolnost vůči otěru. Výběr vhodného materiálu je klíčový pro zajištění dlouhotrvající funkčnosti a životnosti attachmentů a celkově i pro zajištění úspěšného průběhu ortodontické terapie. Stěžejním materiálem užívaným pro výrobu attachmentů je kompozitní pryskyřice. Tento všestranný materiál se používá ve stomatologii již řadu let např. pro tvorbu výplní. Fotokompozitní pryskyřice vynikají svými estetickými vlastnostmi a je možné snadno sladit barvu zubu a barvu pryskyřice, díky čemuž lze vytvořit zcela nenápadný attachment.

Kompozitní výplňové materiály jsou tvořeny ze tří hlavních složek – organické matrix, anorganického plniva a spojovacího činidla. Spojovacím činidlem jsou nejčastěji organické sloučeniny křemíku – silany. Váží se na částice plniva a vytvářejí pevné spojení s monomery organické matrix. Organická matrix funguje jako pojivo, které drží částičky

plniva pohromadě. Obvykle je složena z monomerů, které po vytvrzení polymerují a vytvářejí tuhou, zesíťovanou strukturu. Nejčastěji užívanými monomery jsou Bis-GMA (bis-fenol-glycidyl-metakrylát), UDMA (uretan-di-metakrylát) a TEGDMA (tri-ethylen-glykol-di-metakrylát). Součástí matrix jsou také iniciátory, které umožňují polymeraci a inhibitory, které slouží k zastavení samovolného tuhnutí materiálu (Šedý, 2012).

Anorganická složka zajišťuje mechanickou odolnost vůči žvýkacím tlakům a otěru, RTG kontrastnost a podle množství a typu částic také požadovanou opacitu nebo naopak transparentitu. Jako plnivo se používá např. hlinitokřemičité, zirkoniové nebo brosilíkatové sklo, sklokeramika, částice oxidu křemičitého a oxidu hlinitého. Obsah plniva v kompozitním materiálu se může pohybovat od 20 do 80 %, nejčastěji se pohybuje okolo 50 objemových procent (Šedý, 2012). Podle velikosti anorganických částic plniva můžeme kompozita rozdělit na:

- makrofilní (velikost částic 1–40 μm) – dnes užívané jen zřídka;
- mikrofilní (velikost částic 0,01 – 0,2 μm) – esteticky vynikající, ovšem mechanicky méně odolné, a tedy nevhodné do míst s vysokým mechanickým zatížením;
- nanofilní (0,001 – 0,01 μm) – nejmodernější materiál, vynikající estetické vlastnosti a zároveň vysoce mechanicky odolné;
- hybridní (0,001-20 μm) – kombinace předešlých typů.

Podle viskozity můžeme kompozita dále dělit na flow kompozita, klasická (výplňová) kompozita a speciální kompozita (např. kondenzovaná). Flow kompozit je nízkoviskózní materiál, nejčastěji mikrofilního nebo hybridního typu. Má vysokou zatékavost a je tedy snadno aplikovatelný i do mikrokavit nebo podsekřivin. Nelze ho však modelovat a je indikován např. jako první vrstva výplně nebo pro pečetění fisur (Šedý, 2012). Klasická kompozita mají střední viskozitu a jsou univerzálním materiálem pro vícero aplikací. Kondenzovaná kompozita mají vysoký obsah plniva a odolávají vysokým žvýkacím tlakům.

Pro výrobu attachmentů se využívají nanofilní kompozita, hybridní i flow kompozita. Studie poukazují na to, že z hlediska odolnosti a dlouhodobé funkčnosti se jako optimální volba jeví klasická nanofilní kompozita (Barreda a kol., 2017; Gazzani a kol., 2022).

1.2.2 Abraze attachmentů

Jak již bylo zmíněno výše v textu, attachmenty by měly odolávat nadměrné pigmentaci a měly by být v souladu s přirozenou barvou zubu, aby byl maximálně zachován efekt „neviditelných rovnátek“. Z klinického hlediska jsou ovšem významnější mechanické

vlastnosti attachmentu. Jelikož se jedná o důležité prvky v procesu ortodontické léčby, je třeba zachovat jejich integritu a tvar, aby nebyla ohrožena účinnost FA (Gazzani a kol., 2022). Opotřebení attachmentů je však, do jisté míry, běžným jevem ortodontické léčby FA. Tento proces může negativně ovlivnit účinnost a celkový průběh léčby. Existuje několik faktorů, které přispívají k abrazi attachmentů, a to například opakované nasazování a snímání aparátu, tlak způsobený žvýkacími silami, čištění zubů, kvalita použitého materiálu nebo kyselé potraviny a nápoje (Barreda a kol., 2017). Dle nejnovějších poznatků hraje rovněž výraznou roli typ a umístění attachmentu – podle studie z roku 2024 abrazi výrazněji podléhají attachmenty konvenčního typu umístěné ve frontálním úseku chrupu. Zároveň nejvyšší míra otěru byla zjištěna na distálních hranách attachmentu (Fausto daViega Jardim a kol., 2024). Další výzkum publikovaný v témže roce ukázal, že míra abraze attachmentů se zvyšuje úměrně s časem a ovlivňuje ji nejen typ attachmentů, ale i pohlaví, jelikož opotřebení attachmentů bylo významně vyšší u žen než u mužů. U konvenčního obdélníkového typu se míra otěru zvyšovala od středu attachmentu směrem k okrajům a nejvíce zasažené byly rohy u gingiválního okraje. U optimalizovaného typu byly nejvíce abradované bukalní plošky attachmentu (Li a Yang, 2024). Studie v *Acta odontologica latinoamericana* srovnávala míru abraze attachmentů ze dvou různých kompozitních materiálů. Z výsledků vyplývá, že použití nanofilních kompozitů může významně snížit míru abraze v porovnání s mikrohybridními kompozity (Barreda a kol., 2017). Další studie porovnávala odolnost attachmentů vyrobených z flow nanokompozitu a konvenčního nanokompozitu. Konvenční nanofilní kompozit vykázal lepší mechanickou odolnost a zdá tak být ideální volbou pro tvorbu attachmentů (Gazzani a kol., 2022).

Výše uvedené studie se věnovaly opotřebení attachmentů zejména vlivem nošení, opakovaného snímání a nasazování FA. Pro účely této práce nás nejvíce zajímá abraze attachmentů způsobená čištěním zubů a použitím různých typů zubních past a kartáčků. Na toto téma nebyly dosud publikovány odborné studie, je tedy nutné vycházet ze studií, které se zabývají abrazí způsobenou čištěním kompozitních materiálů jako takových. Zde jsou však vzorky zkoumány ve formě větších vzorků s rovným povrchem, nikoliv v podobě strukturovaných výběžků. Studie v *Journal of Conservative Dentistry* srovnávala zdrsnění povrchu dvou různých kompozit – nanohybridního a nanofilního – následkem simulovaného čištění po dobu tří měsíců v in vitro podmínkách. Pro samotné čištění byl použit měkký manuální kartáček a zubní pasta s RDA (relativní dentinová abrazivita) 180. U obou typů

kompozit došlo k povrchovým změnám, ovšem statisticky významnější bylo zdrsnění povrchu kompozitu nanohybridního typu (Singh a kol., 2021).

Výzkum publikovaný v časopise *Materials* zkoumal vliv různých volně prodejných bělících zubních past na povrch nanofilního a kondenzovaného kompozitu. U obou vzorků došlo ke značnému zdrsnění povrchu, u kondenzovaného kompozitu navíc také k výraznému snížení lesku (Binhasan a kol., 2022). Studie v *PeerJ* byla rovněž zaměřena na efekt bělících past, tentokrát s obsahem nanohydroxyapatitu. Z výsledků vyplývá, že ani u nanohybridního materiálu, ani u nanofilního nedošlo k výrazným změnám povrchu, tedy ani k výrazné abrazi (Dayi a Öcal, 2023). V kontrastu s tím Colak a Katirci (2023) potvrdili známky abraze po opakovaném užití bělících zubních past u nanofilního i mikrohybridního kompozitu, přičemž horší hodnoty byly naměřeny u mikrohybridního.

Da Costa a kol. (2010) zkoumali dopad zubních past s různou hodnotou RDA na lesk a zdrsnění povrchu různých typů kompozitních materiálů (mikrofilní, nanofilní a nanohybridní). Zubní pasty s vyšším RDH zapříčinily větší redukci lesku a větší abrazi u všech typů materiálů. U kompozit s menší velikostí částic došlo k méně výraznému snížení lesku a menší míře abraze než u kompozit s většími částicemi plniva.

Cílem studie publikované v *Journal of Dental Sciences* bylo porovnat efekt čištění kartáčkem na tři typy kompozitních materiálů – nanofilního, nanohybridního a mikrohybridního. Hodnoty byly přeměřeny po 2000, 4000 a 8000 cyklech, přičemž jeden cyklus sestával ze dvou lineárních tahů kartáčku. U nanofilního kompozitu došlo k výrazným změnám až po 8000 cyklech, u zbylých dvou materiálů byly hodnoty abraze významné již po 4000 cyklech. Po skončení experimentu byly nejmenší změny v textuře povrchu zaznamenány u nanofilního kompozitu (Yu a kol., 2023). V kontrastu s tím Suzuki a kol. (2023) došli v obdobné studii k závěru, že materiály s částicemi o vyšší velikosti jsou více odolné abrazi a vykazují nižší zdrsnění povrchu, zatímco materiály s menšími částicemi plniva jsou odolnější vůči ztrátě lesku.

1.3 Abrazivita zubních past

1.3.1 Abraze a další nekariézní defekty tvrdých zubních tkání

Kromě zubního kazu, který stále zůstává nejčastějším onemocněním tvrdých zubních tkání, se můžeme u pacientů setkat i s tzv. nekariézními lézemi. Jedná se o defekty tvrdých zubních tkání, které nebyly způsobeny primárně bakteriemi, ale působením fyzikálních a chemických vlivů v dutině ústní. Na základě fyzikálního působení dochází ke vzniku

abfrakce, atrice nebo abraze a vlivem chemického působení dochází ke vzniku eroze (Holík a Morozova, 2018).

Abfrakcí rozumíme nekariézní defekty v cervikální oblasti zubu, tzv. krčkové defekty, které vznikají poškozením skloviny při zátěžové flexi zubu, nejčastěji vlivem nesprávných skusových poměrů, bruxismu nebo stresového zatínání zubů.

Termínem atrice se označuje ztráta tvrdé zubní tkáně způsobená vzájemným mechanickým otěrem zubů, jedná se o tzv. dvousložkový otěr. Atrici pozorujeme v oblasti bodu kontaktu zubů, typicky na okluzních ploškách laterálních zubů a incizálních hranách zubů frontálních (Holík a Morozova, 2018).

Abraze vzniká, stejně jako atrice, mechanickým otěrem, tentokrát však vlivem tříslložkového otěru. Abrazi způsobují externí podněty, které přicházejí do kontaktu s dutinou ústní a zuby, typicky se může jednat např. o nesprávnou techniku čištění zubů, příliš tvrdý zubní kartáček, abrazivní zubní pastu nebo špatně zhotovené zubní náhrady. Dále sem můžeme zařadit také zlovyky jako je např. okusování tužky nebo přidržování různých předmětů zuby (šroubky, špendlíky apod.). Abrazi rovněž podléhají dentální rekonstrukční materiály (Holík a Morozova, 2018).

Jako erozi označujeme ztrátu tvrdých zubních tkání podmíněnou působením chemických vlivů na povrch zubu, obvykle kyselých nebo chelátotvorných látek. Kyseliny, které se dostávají do dutiny ústní mohou být endogenního (žaludeční) nebo exogenního (např. kyselé potraviny) původu (Holík a Morozova, 2018).

1.3.2 Složení zubních past

Aby byla zubní pasta funkční a plnila svůj účel, je nezbytné, aby obsahovala kombinaci tří důležitých složek – abrazivum, povrchově aktivní látku (tenzid) a pojivo/plnivo (Schemeron a kol., 2011). Důležitou složkou je rovněž voda, jejíž podíl se ve složení pohybuje v rozmezí 20-40 % (Weber, 2012).

Abraziva tvoří 20-40 % celkového obsahu pasty. Jejich hlavním účelem je mechanická očista povrchu zubu, odstranění zubního povlaku a pigmentací (Weber, 2012). Mezi nejčastěji používaná abraziva patří např. uhličitán vápenatý, oxid křemičitý, oxid hlinitý, křemičitan hlinitý nebo fosforečnan vápenatý. Abrazivní složka by měla mít maximální čistící efekt a současně minimálně poškozovat tvrdé zubní tkáně. Výsledný brusný účinek abraziva ovlivňuje celá řada faktorů, včetně krystalické struktury částic, jejich

tvaru, velikosti a počtu. V neposlední řadě musí být abrazivum kompatibilní a mísitelné s ostatními složkami zubní pasty (Schemeron a kol., 2011).

Tenzidy jsou v pastách obsaženy v množství menším než 2 %. Jsou to povrchově aktivní látky, tedy snižují povrchové napětí nepolárních sloučenin a usnadňují rozpouštění a odstraňování nečistot (Weber, 2012). Nejběžněji používaným tenzidem v zubních pastách je laurylsulfát sodný (SLS – sodium lauryl sulfate). U citlivějších jedinců však může SLS způsobovat alergické reakce a kontaktní dermatitidy (Harvima a Airaksinen, 2024). Z toho důvodu volí řada výrobců jiné alternativy, např. laurylsulfoacetát sodný nebo cocamidopropyl betaine (Ucuncu a kol., 2024).

Pojiva mají za úkol zajistit příjemnou konzistenci výrobku, dostatečnou viskozitu a zabránit oddělování jednotlivých složek. V pastách jsou obsaženy v množství okolo 2 % a patří sem karboxymetylcelulóza a xantan (Weber, 2012).

Zvlhčovač tvoří 20-40 % podílu výrobku, udržují v pastě vlhkost a předcházejí tak jejímu ztuhnutí nebo úplnému vyschnutí. Nejčastěji ve složení nalezneme glycerin nebo sorbitol (Weber, 2012).

Aromatické látky (2 %) zajišťují chuťovou přijatelnost a atraktivitu výrobku pro zákazníka. Dle požadovaných příchutí lze k dochucení použít celou řadu přírodních i syntetických složek, např. mentolový, anýzový nebo eukalyptový olej (Weber, 2012).

Sladidla (2 %) slouží, vedle aromatických látek, k dotvoření chuťového vjemu zubní pasty a na rozdíl od cukru nepřispívají ke vzniku zubního kazu. Naopak, sladidlo xylitol působí antibakteriálně, redukuje růst druhů *Streptococcus mutans* a *Streptococcus sanguis* a má tak antikariézní účinky (Gasmi a kol., 2020). Xylitol patří do skupiny cukerných alkoholů, do které řadíme také sorbitol, v zubních pastách rovněž používaný. Ve složení můžeme také často nalézt sacharin, který je jedním z nestarších používaných umělých sladidel. Je asi 300x sladší než sacharóza, trávicím traktem prochází beze změny a nezvyšuje hladinu glykemie (Roubík, 2018).

Konzervační látky (<1 %) zabraňují množení mikroorganismů a zajišťují trvanlivost výrobku. Používají se např. benzoát sodný nebo kyselina benzoová (Weber, 2012).

Terapeutické složky (1 %) jsou rozsáhlou skupinou ingrediencí, které se do zubních past přidávají pro cílenou terapii konkrétních obtíží pacienta. Jsou to např. složky pro remineralizaci skloviny a ochranu proti zubnímu kazu (fluorid sodný, fluorid cínatý, CPP - ACP), adstringencia pro zmírnění krvácení dásní (aluminiumchlorid, aliminiumlaktát), inhibitory bakterií zubního plaku (chlorhexidin, sanguinarin)

a desenzibilizační látky pro pacienty s dentinovou hypersenzitivou (hydroxyapatit, arginin, chlorid strontnatý) (Weber, 2012; Hu a kol., 2018).

1.3.3 Měření abrazivity zubních past

Poměr jednotlivých složek zubní pasty samozřejmě významně ovlivňuje výslednou abrazivitu pasty a její čistící účinek. Tyto vlastnosti pasty můžeme měřit kombinací hodnot RDA (relativní dentinová abrazivita) a PCR (pellicle cleaning ratio). Existují pasty s nízkým RDA pro děti a pacienty se senzitivitou dentinu, univerzální zubní pasty se střední hodnotou RDA a vysoce abrazivní pasty např. pro užití v ordinaci (Epple a Enax, 2018). Historie výzkumu abrazivity zubních past začíná kolem roku 1907. William Miller se, spolu se svým týmem na univerzitě v Michiganu, zajímal o příčinu vzniku cervikálních defektů u pacientů s dobrou ústní hygienou. Jeho výzkum zahrnoval jak krčkové defekty, tak abrazi dentinu. Z výsledků studie vyplynulo, že na vzniku recesů se podílí kombinace příliš agresivního čištění kartáčkem a zubní pasty s obsahem vysoce abrazivních částic. Za zmínku ovšem stojí, že vysoce abrazivní částice v té době znamenaly něco jiného než nyní. V roce 1907 byly za abrazivní považovány např. pasty s obsahem namletých sépiových kostí nebo písku. Tyto složky jsou samozřejmě velmi hrubé a způsobují poškození skloviny i dentinu. Podle dnešních měřítek by taková pasta měla hodnotu RDA okolo 1000 jednotek. William Miller tak položil základy pro další výzkumné týmy, které dále posouvaly výzkum v oblasti metodiky stanovení abraze tvrdých zubních tkání a její souvislosti se složením zubních past (John a White, 2015).

V roce 1941 v této oblasti výrazně pokročil doktor Richard Manly, když se mu podařilo v laboratorních podmínkách úspěšně popsat a demonstrovat techniku zachycující abrazi dentinu. Popsaná metoda spočívala ve zhotovení fotografie zubu před čištěním, následně byla zakryta větší část kořene s odhaleným dentinem. Vzorek byl následně upevněn a čištěn kartáčkem za pomoci automatického čistícího přístroje. Poté byla vyhotovena druhá fotografie vzorku, na které byl, po porovnání s první fotografií, patrný úbytek exponované oblasti dentinu. Mimo to doktor Manly rovněž vyzoroval, že čištění ve směru kolmém na dlouhou osu zubu způsobuje větší poškození tvrdých zubních tkání než pohyby kartáčku paralelní s dlouhou osou zubu. Podařilo se mu tedy ověřit a prokázat, že technika čištění má skutečně vliv na vznik krčkových defektů. Dále zjistil, že dentin je výrazně náchylnější k abrazi než sklovina a podléhá působení abraze přibližně desetkrát rychleji. Díky tomuto se zjištění se další výzkumy zaměřené na abrazi tvrdých zubních tkání začaly orientovat

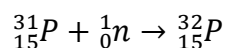
primárně na abrazi dentinu. V neposlední řadě Manly také potvrdil, že abraziva obsažená v zubních pastách mají roli ve vzniku cervikálních defektů, neboť u zubů, které čistil pouze mýdlovou vodou, nezpůsobil žádné poškození (John a White, 2015).

V roce 1948 publikovali Kitchin a Robinson studii s názvem „Jak abrazivní musí být zubní pasta?“, která byla zaměřena na efektivitu zubních past při odstraňování pigmentací z povrchu zubů. Během výzkumu potvrdili jasnou korelaci mezi abrazivitou pasty a její efektivitou při odstraňování skvrn. Metodika, kterou použili, byla podobná postupu doktora Manlyho a každý testovaný zub byl podroben celkem 100 000 tahům kartáčku. Vyzpozovali, že odstranění i velmi výrazného znečištění během dvoutýdenního intervalu lze dosáhnout pomocí past s obsahem abrazivních složek, které způsobí úbytek dentinu menší než 1 mm. Vytvořili tak první vodítko pro výrobce i odbornou veřejnost, tedy že abrazivita zubní pasty, která je větší než úbytek 1 mm dentinu po 100 000 tazích kartáčku, je zbytečná i pro osoby s velmi výraznými pigmentacemi. Po zveřejnění těchto závěrů se mnoho výrobců zubních past začalo řídit uvedeným doporučením a z trhu postupně zmizely pasty s nadměrnou hodnotou abrazivity (John a White, 2015).

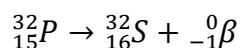
Vývoj metody měření RDA jak ji známe dnes započal v roce 1958. Ačkoliv již byly stanoveny limity pro abrazivitu zubní pasty (tedy 1 mm úbytku dentinu po 100 000 tazích kartáčku), bylo potřeba najít přesnější a standardizovanou metodu. Předchůdce současného RDA měření vynalezl R.J. Grabenstetter. Vzorky dentinu ozářil neutrony a po čištění určil počet částic radioaktivního dentinu, které se uvolnily do použitého roztoku zubní pasty (John a White, 2015).

V roce 1970 se Americká dentální asociace (ADA) začala zajímat o vývoj a standardizaci oficiální metody pro stanovení abrazivity zubních past. Tímto úkolem byl pověřen doktor John Hefferren, který ve svém postupu zkombinoval čistící zařízení doktora Manlyho a techniku radioaktivního indikátoru R.J. Grabenstettera. Práce doktora Hefferrena tak vedla k publikování oficiální metodiky pro stanovení hodnoty RDA, která se rychle rozšířila do laboratoří výrobců zubních past. V roce 1980 schválil Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) tuto metodiku jako vhodnou pro stanovení hodnot abrazivity a vydal prohlášení, že zubní pasty pro běžné každodenní užívání by neměly překračovat hodnotu RDA 250 (John a White, 2015).

Výše stanovená metodika se používá dodnes. Pro stanovení RDA hodnoty pasty je nejprve ozářen vybraný vzorek dentinu neutrony. Fosfor ^{31}P vázaný v molekule hydroxyapatitu se tímto procesem přemění v radioaktivní izotop ^{32}P , tzv. radiofosfor.



Takto ozářený vzorek je potom čištěn v čistícím přístroji za předem stanovených, standardizovaných podmínek, které zahrnují i tlak kartáčku, počet tahů atd. Radiofosfor se za beta-rozpadu přeměňuje na síru ${}^{32}\text{S}$, zároveň dochází k uvolnění beta částic, což umožňuje detekci fosforu i při velmi nízkých koncentracích (Epple a Enax, 2018).



Po celém procesu čištění je změřena hladina radioaktivity použité suspenze zubní pasty. Tato hodnota je následně porovnána s hodnotou tzv. standardu, nebo také referenční pasty. Jedná se o pastu s obsahem oxidu křemičitého nebo fosforečnanu vápenatého jako abrazivní složky. Tato pasta má domluvenou hodnotu RDA 100 (Epple a Enax, 2018). Výsledná hodnota testovaného vzorku pasty je pak určena porovnáním s referenční pastou. Pokud testovaný vzorek pasty způsobí například poloviční abrazi dentinu než pasta referenční, bude RDA testované pasty 50. Čím vyšší tedy bude hodnota RDA, tím vyšší je abrazivita zubní pasty (Hamza a kol., 2020) (tabulka 1). Pasty s RDA vyšší než 250 jsou považovány za příliš abrazivní a škodlivé pro tvrdé zubní tkáně (Epple a Enax, 2018).

Tabulka 1 Hodnoty RDA zubních past

Hodnota RDA	Stupeň abrazivity
0-70	nízká abrazivita
71-100	střední abrazivita
101-150	vysoká abrazivita
151-200	velmi vysoká abrazivita (horní limit FDA)
do 250	horní limit ADA

Zdroj: Williamson, 2014

Jak již bylo zmíněno výše v textu, efektivitu zubní pasty můžeme změřit kombinací hodnot RDA a PCR. PCR (pellicle cleaning ratio) hodnoty se stanovují na základě zabarvení zubů pomocí výrazně pigmentovaného činidla, nejčastěji směsí kávy a čaje, které je nanášeno na dentin nebo sklovinu (Epple a Enax, 2018). Barva zubu je před i po čištění nasnímána pomocí spektrofotometru. Z výsledného rozdílu obou naměřených hodnot lze posléze vyhodnotit účinnost pasty při odstraňování skvrn a zabarvení (Labib a kol., 2024). Ideální zubní pasta by měla mít co nejnižší abrazivitu a zároveň co nejefektivnější čistící

vlastnosti. K tomuto účelu slouží CEI (cleaning efficiency index), který lze vypočítat z rovnice:

$$CEI = (RDA + PCR - 50) \div RDA$$

Tento index kombinuje hodnoty RDA a PCR a klade důraz na co nejvyšší efektivitu pasty během odstraňování skvrn a pigmentací při minimální možné abrazivitě a poškození tvrdých zubních tkání (Schemeron a kol., 2011).

Kromě RDA existuje i hodnota REA, tedy relativní abrazivita skloviny, která udává abrazivitu zubní pasty ve vztahu ke sklovině. Studie ukazují, že podle hodnot RDA nelze předpovědět hodnotu REA a zároveň se tyto hodnoty nemusí shodovat. Pro stanovení REA se používá stejná metodika jako pro určení RDA, s tím rozdílem, že domluvená standardizovaná hodnota je 10 a nikoliv 100, jako je tomu u RDA. Většina past dostupných v tržní síti není testována na hodnotu REA. Je to dáno jednak historickými faktory, neboť výzkum abrazivity past se dlouhodobě zaměřoval především na abrazi dentinu. Zároveň RDA je, z čistě praktického hlediska, rychlejší na provedení, neboť sklovina je výrazně tvrdší než dentin a je tak zapotřebí mnohem delší časový interval čištění, aby bylo možné pozorovat úbytek tkáně a zhodnotit výsledky měření (Hamza a kol., 2020).

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části bylo zjistit, zdali vlivem čištění zubů manuálním kartáčkem dochází k abrazi ortodontických attachmentů a zároveň jestli a do jaké míry je tato abraze ovlivněna abrazivitou použité zubní pasty.

2.1 Hypotézy

Hypotéza 1.: Následkem simulovaného čištění zubním kartáčkem a pastou dojde k mechanické abrazi attachmentů (Yu a kol., 2023).

Hypotéza 2.: U attachmentů zhotovených z flow-kompozitního materiálu dojde k výraznější abrazi než u attachmentů zhotovených z klasického nanofilního kompozitu (Gazzani a kol., 2022).

Hypotéza 3.: Zubní pasta s vyšším RDA způsobí větší míru abraze než zubní pasta s nižším RDA či voda (Da Costa a kol., 2010).

2.2 Materiály a metodika

Metodika práce sestává ze tří dílčích částí – sestavení experimentálního čistícího zařízení, příprava vzorků a čištění vzorků a měření vzorků pomocí mikro CBCT.

2.2.1 Experimentální čistící zařízení

Pro pohon lineárního čistícího zařízení (obrázek 8) byl zvolen stejnosměrný elektromotor s převodovkou – DC 12V 150 RPM N20. Lineární vedení Machifit MGN9 s vozíkem MGN9H zajišťuje přímočarý pohyb kartáčku. Táhlo, které spájí elektromotor a lineární vedení bylo vybráno od firmy Iigus. Aby bylo možné měnit rychlost pohybu kartáčku při čištění, byl při sestavení použit PWM regulátor otáček motoru DC 6V – 28V 3A. Digitální snímač otáček RPM s čidlem Hall a LED displejem zajišťuje přesné měření počtu tahů kartáčkem při čištění. Napájecí síťový adaptér – 12V 1000 mA zajišťuje napájení celého zařízení.

Na vozík MGN9H byl na míru vyroben a připevněn univerzální úchyt kartáčku. Pro výrobu byl použit čtvercový profil a do dvou jeho stěn byly vyvrtány otvory se závitem. Do těchto otvorů byly umístěny šrouby jakožto pevná část uchycení kartáčku. Na stěny profilu bez otvorů byl nalepen pěnový výplňový materiál o tloušťce 8 mm. Tento pěnový materiál zajišťuje pružnou část uchycení kartáčku a také nám vyrovnává tvarové rozmanitosti rukojeti různých kartáčků. Díky nastavovacím šroubům v otvorech je tak možné použít jakýkoliv

manuální zubní kartáček. Pomocí vrchních šroubů je možné centrovat kartáček vertikálně a tím volit přítlak kartáčku na čištěnou plochu a pomocí bočních šroubů je možné kartáček centrovat horizontálně.

Pro stavbu základové desky a vrchní krycí desky byl použit plný čirý polykarbonátový materiál. Pro boční stěny a čelisti byly použity PVC ploché tyče o rozměru 20x10 mm.

Obrázek 8 Experimentální lineární čistící zařízení



Zdroj: archiv autorky

2.2.2 Příprava vzorků

Nejprve bylo nutné shromáždit osm extrahovaných zubů pro přípravu vzorků. Byly použity třetí moláry z dolní čelisti. Zajištění extrahovaných zubů bylo uskutečněno ve spolupráci se Stomatologickou klinikou 3. LF UK a FNKV. Etická komise FNKV schválila výzkum zubů pomocí zubů pomocí mikro CBCT a každý z pacientů, který poskytl zuby na výzkum, podepsal informovaný souhlas s výzkumem. Extrahované zuby byly následně mechanicky očištěny a ponořeny 0,5% roztoku Chloraminu T po dobu čtrnácti dnů, který sloužil jako dezinfekce pro zajištění optimálních podmínek manipulace s biologickým

materiálem. Zuby byly následně skladovány ve vodě. Pro jednodušší manipulaci s nimi jim byl posléze odřezán kořenový systém.

Na takto připravené zubní korunky byly připevněny attachmenty. Nejprve byl vyčištěný povrch zubu naleptán v místě určeném pro budoucí umístění attachmentu. Leptání bylo provedeno pomocí gelu obsahujícího kyselinu fosforečnou OptiBond Gel Etchant (Kerr Corporation). Leptání probíhalo po dobu dvaceti sekund a následoval oplach vodou, rovněž po dobu dvaceti sekund. Poté byl zub pečlivě osušen. V dalším kroku byly na naleptané místo nanесeny ortodontický primer a bond Adper™ Single Bond 2 (3M ESPE) pro zajištění pevného mikromechanického spojení skloviny a fotokompozitního materiálu.

Po takovéto přípravě skloviny byla na zub nasazena šablona molárového attachmentu ze zubu 37, získaná z přebytečných fólií systému Invisalign od anonymního pacienta. Prohlubně v šabloně byly před nasazením vyplněny kompozitním materiálem. Vzorky zubů byly v tomto kroku rozděleny na dvě skupiny. Na jednu polovinu zubů (vzorky A, B, E, F) byl použit flow kompozit Transbond™ Supreme LV (3M Unitek), na druhou polovinu (vzorky C, D, G, H) kompozit Transbond™ XT (3M Unitek). Jakmile byla šablona přesně umístěna na zub, došlo k vytvrzení kompozitu pomocí polymerační lampy a vytvořil se tak nový attachment. Následovalo opatrné sejmutí šablony, pracování přebytků adheziva v okolí attachmentu standartním způsobem a finální kontrola, zda jsou attachmenty správně a dostatečně pevně umístěny. Dále bylo třeba zalít připravené zuby s attachmenty do pryskyřice (obrázek 9).

Obrázek 9 Zalití vzorků do pryskyřice



Zdroj: archiv autorky

Tento krok byl nezbytný pro zajištění fixace a lepší manipulace se vzorky v následující fázi praktické části. K tomuto účelu byla použita samopolymerující bazální pryskyřice Premacryl Plus (SpofaDental), umíchaná dle poměru doporučeného výrobcem. Následně byla pryskyřice rovnoměrně rozlita do drobných silikonových forem (Silikomart). Do takto připravených forem byly následně vloženy vzorky zubů tak, aby vždy zůstala část korunky s attachmentem čnět nad úroveň hladiny pryskyřice. Po vhodném umístění vzorku bylo ještě nutné vyčkat do úplného vytvrdnutí pryskyřice (obrázek 10).

Obrázek 10 Připravený vzorek



Zdroj: archiv autorky

2.2.3 Čištění vzorků

Připravené vzorky byly v silikonové formě upevněny do kleštin čistícího zařízení. Do úchyty byl vložen zubní kartáček. Pro účely této práce byl zvolen manuální zubní kartáček Curaprox Super Soft CS 3960, přičemž pro čištění každého jednotlivého vzorku byl použit kartáček nový. Pro čištění byly zvoleny tři zubní pasty (obrázek 11). Vzorky A a C byly čištěny zubní pastou Colgate Total Anti-Tartar (Colgate-Palmolive Company), vzorky E a G pastou WOOM Carbon+ (WOOM SIA LLC), vzorky F a H pastou Colgate Total Whitening (Colgate-Palmolive Company). Vzorky B a D sloužily jakožto kontrolní a byly čištěny pouze v prostředí destilované vody (tabulka 2). Všechny tři použité pasty obsahují hydratovaný oxid křemičitý jako abrazivní složku. Pro účely čištění byl z každé pasty připraven vodný roztok v hmotnostním poměru 1:1 zubní pasty a destilované vody.

Obrázek 11 Zubní pasty použité k čištění



Zdroj: <https://www.hebe.com/cz/colgate-zubni-pasta--75-ml-00000000000491563.html>; <https://www.notino.cz/colgate/total-whitening-belici-zubni-pasta-584257>; <https://www.notino.cz/woom/carbon-toothpaste-cerna-belici-zubni-pasta>

Tabulka 2 Přehled čištěných vzorků

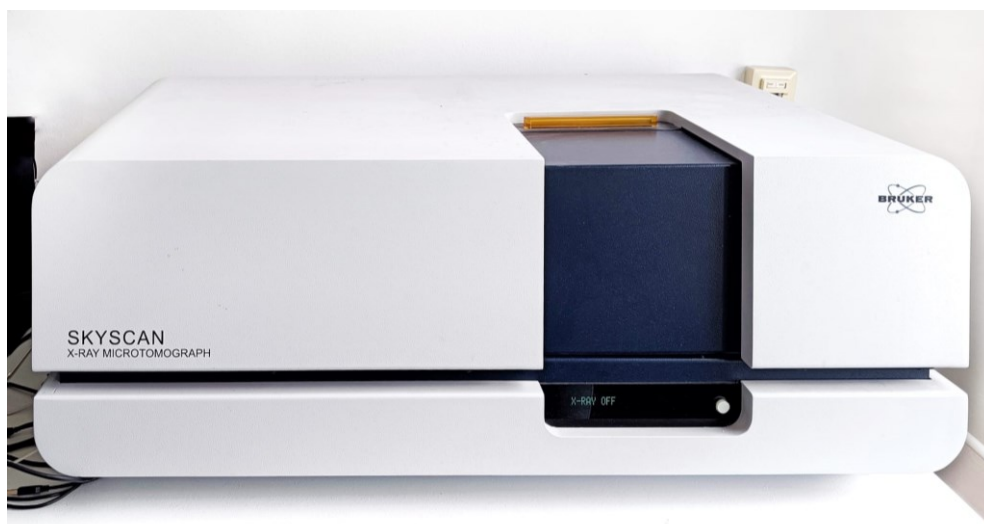
Označení vzorku	Typ kompozitu	Zubní pasta
A	flow	Colgate Total Anti-tartar
B	flow	destilovaná voda
C	nanokompozit	Colgate Total Anti-tartar
D	nanokompozit	destilovaná voda
E	flow	WOOM Carbon+
F	flow	Colgate Total Whitening
G	nanokompozit	WOOM Carbon+
H	nanokompozit	Colgate Total Whitening

Zdroj: archiv autorky

Každý vzorek byl pro účely čištění upevněn do čistícího zařízení a zcela ponořen do roztoku zubní pasty a vody. Suspenze pasty a vody byla v průběhu čištění měněna každých 60 minut. Každý zub byl čištěn po dobu odpovídající čištění po dobu 1,5 roku ráno a večer,

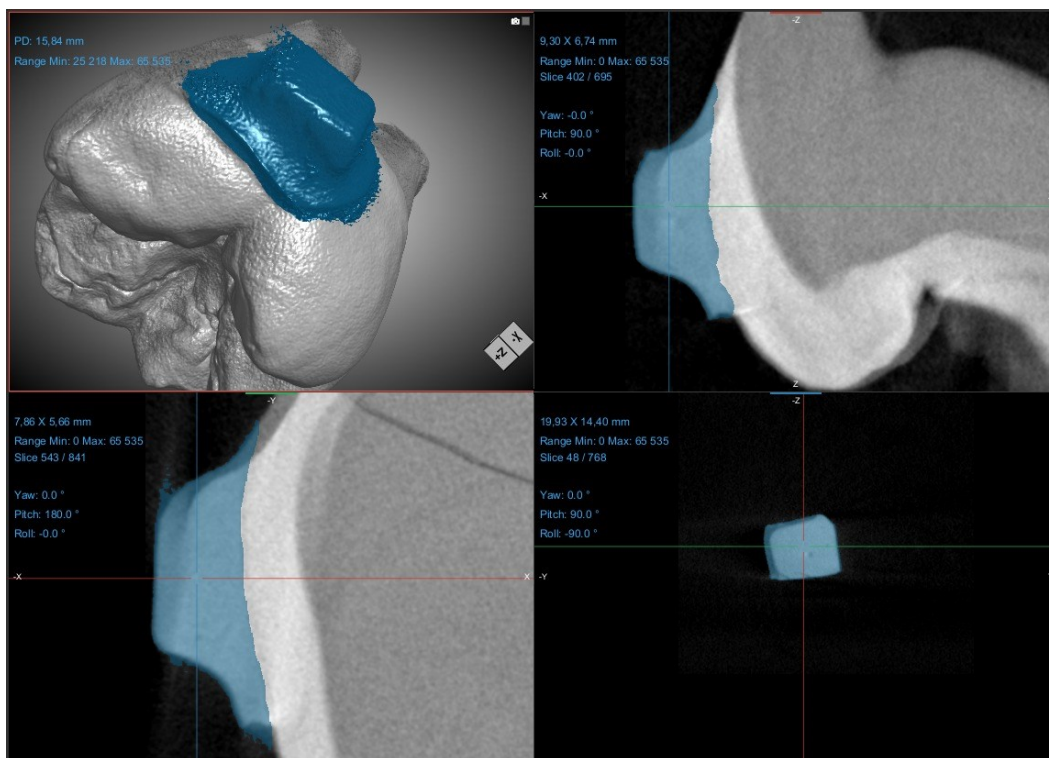
tj. 9 hodin, při rychlosti 185 tahů kartáčku/min. Všechny vzorky byly před čištěním a po čištění naskenovány pomocí mikro CBCT Skyscan 1275 (Bruker) (obrázek 12). Z těchto snímků byly následně v programu Dragonfly (Comet Technologies Canada Inc) vyhodnoceny objemy attachmentů a jejich rozdíl (obrázek 13).

Obrázek 13 Mikro CBCT Skyscan 1275



Zdroj: archiv autorky

Obrázek 12 ROI – Region of Interest, tj. snímek s vyznačenou oblastí, jejíž objem měříme



Zdroj: archiv autorky

2.3 Výsledky

V tabulce 3 jsou zaznamenány výsledky měření abraze attachmentů. U všech vzorků, včetně kontrolních, byla po čištění zaznamenána abraze. Nejnižší míra abraze byla naměřena u vzorků kontrolních, které byly čištěny pouze kartáčkem a destilovanou vodou. U vzorku z flow kompozitu (B) byl rozdíl naměřených hodnot objemů $0,2 \text{ mm}^3$ a u vzorku z nanokompozitu (D) $0,05 \text{ mm}^3$.

Nejvyšší míra abraze byla naměřena u vzorku E, tedy attachmentu z flow kompozitu, který byl čištěn zubní pastou WOOM Carbon+. U nanokompozitního attachmentu vzorku G, který byl čištěn stejnou pastou, byl naopak úbytek objemu ze všech vzorků nejmenší.

Vzorky A a C byly čištěny pastou Colgate Total Anti-tartar. U flow attachmentu A došlo k úbytku objemu o $0,32 \text{ mm}^3$, u nanokompozitního attachmentu C o $0,31 \text{ mm}^3$.

Vzorky F a H byly čištěny pastou Colgate Total Whitening. Úbytek objemu u flow attachmentu F byl $0,14 \text{ mm}^3$, u nanokompozitního attachmentu H $0,12 \text{ mm}^3$.

Tabulka 3 Výsledky měření objemů attachmentů před a po čištění

Označení vzorku	Typ kompozitu	Objem před čištěním (mm^3)	Objem po čištění (mm^3)	Rozdíl (mm^3)
A	flow	7,81	7,5	0,32
B	flow	12,52	12,32	0,2
C	nanokompozit	12,69	12,37	0,31
D	nanokompozit	12,02	11,97	0,05
E	flow	11,9	11	0,9
F	flow	9,27	9,13	0,14
G	nanokompozit	12,33	12,56	0,01
H	nanokompozit	11,8	11,68	0,12

Zdroj: archiv autorky

2.4 Diskuse

Cílem práce bylo zjistit, zdali vlivem čištění kartáčkem dojde k abrazi ortodontických attachmentů, do jaké míry je tato abraze ovlivněna použitou zubní pastou a zároveň ověřit funkčnost experimentálního lineárního čistícího zařízení. Pro účely této studie byly porovnávány dva různé kompozitní materiály a tři zubní pasty.

Předmětem první hypotézy bylo, jestli následkem simulovaného čištění zubním kartáčkem a pastou dojde k mechanické abrazi attachmentů. U všech čištěných vzorků došlo ke zmenšení objemu, a to jak u vzorků kontrolních, tak u vzorků čištěných zubních pastou. Můžeme tedy konstatovat, že čištění zubů může skutečně způsobit abrazi ortodontických attachmentů a hypotézu potvrdit. K obdobnému závěru došli i Yu a kol. (2023), kteří zkoumali vliv simulovaného čištění zubním kartáčkem na povrch bločků vytvořených z pěti různých kompozitních materiálů. U všech typů kompozitů došlo k abrazi povrchu a ztrátě lesku, což odpovídá výsledkům naší studie.

Druhá hypotéza měla za cíl zjistit, zdali u attachmentů zhotovených z flow-kompozitního materiálu dojde k výraznější abrazi než u attachmentů zhotovených z klasického nanofilního kompozitu. V rámci této studie byly vzorky rozděleny do čtyř dvojic, vždy jeden vzorek z nanofilního kompozitu a druhý z flow-kompozitního materiálu. Každá dvojice vzorků pak byla čištěna jinou zubní pastou, případně pouze vodou u kontrolních vzorků. Ve všech čtyřech dvojicích byl zaznamenán vyšší úbytek objemu u vzorku z flow-kompozitního materiálu. Druhá hypotéza byla tedy výsledky studie potvrzena. Odborné studie zkoumající mechanickou odolnost attachmentů chybí, výsledky lze porovnávat se studii, které se zabývaly odolností tohoto materiálu v souvislosti s jeho použitím v konzervačním zubním lékařství. Gazzani a kol. (2022) porovnávali mechanickou odolnost a vlastnosti dvou typů materiálů, které se běžně používají pro tvorbu ortodontických attachmentů – flow nanokompozitu a konvenčního nanokompozitu. Konvenční nanokompozit vykazoval lepší mechanické vlastnosti a odolnost než flow nanokompozit. K podobnému výsledku dospěli i Yu a kol. (2023), neboť zjistili, že mezi pěti testovanými vzorky různých kompozitních materiálů byl nejméně abradovaný konvenční nanokompozit.

Třetí hypotéza předpokládala, že zubní pasta s vyšším RDA způsobí větší míru abraze než zubní pasta s nižším RDA či voda. V této studii byly použity tři zubní pasty, a to Colgate Total Anti-Tartar, WOOM Carbon+, a Colgate Total Whitening. V současnosti nemají výrobci v Evropské unii povinnost uvádět hodnotu RDA zubní pasty na obalu, vycházelo se tedy z hodnot v tabulce v příloze PI. Pasta Colgate Total Anti-Tartar má hodnotu RDA 165, pasta Colgate Total Whitening 142. Hodnotu RDA pasty WOOM Carbon+ se nepodařilo dohledat, byla však zvolena z důvodu obsahu aktivního uhlí. Zubní pasty s touto složkou v současnosti stoupají mezi pacienty na popularitě a je tedy aktuální zjistit, zdali jsou vhodnou alternativou pro pacienty procházející ortodontickou léčbou. Celkově byla nejvyšší

abraze zaznamenána u vzorku E, tedy attachmentu z flow kompozitu, který byl čištěn pastou WOOM Carbon+. Zajímavé ovšem je, že nejnižší míru abraze vykazoval vzorek G, tedy nanokompozitní attachment čištěný rovněž pastou WOOM Carbon+. Hodnota abraze u tohoto vzorku vyšla dokonce nižší než u vzorku kontrolního, který byl čištěn pouze kartáčkem a destilovanou vodou. Tento nepoměr mohl být způsoben složením zubní pasty a jeho vlivem na typ kompozitního materiálu, chybou měření nebo například rozdílným tlakem kartáčku při čištění. Mezi attachmenty z nanokompozitu byl nejvyšší úbytek objemu naměřen u vzorku C, který byl čištěn pastou Colgate Total Anti-Tartar. Třetí hypotézu se tedy nepodařilo zcela potvrdit. Pro potvrzení této hypotézy bude zapotřebí dalšího výzkumu s vyšším počtem vzorků. Již nyní lze ale konstatovat, že kombinace měkkého kompozitního materiálu a abrazivní zubní pasty vede k abrazi ortodontického attachmentu. Dosavadní studie zjistily, že attachmenty mohou podléhat abrazi vlivem opakovaného snímání a nasazování fólie a na míru jejich opotřebení mohou mít vliv i další faktory, jako například tvar attachmentu nebo jeho umístění na zubním oblouku (Barreda a kol., 2017, Fausto daViega Jardim a kol., 2024). Přičteme-li k tomu navíc opotřebení způsobené čištěním abrazivní zubní pastou, mohlo by již dojít ke klinicky relevantním úbytkům attachmentů.

Praktická část studie zahrnovala rovněž sestavení experimentálního lineárního čistícího zařízení a ověření jeho funkčnosti pro tento typ výzkumu. Čistící zařízení bylo úspěšně sestaveno a uvedeno do provozu. Během nepřetržitého devítihodinového zapojení nebyl zaznamenán žádný technický problém. Kladně lze rovněž hodnotit zakomponování snímače otáček s displejem do konstrukce zařízení, díky čemuž bylo možné nastavit a sledovat počet tahů kartáčku a tuto hodnotu konstantně udržovat u všech vzorků. Pro budoucí výzkum by se jevil vhodné zakomponování tlakového senzoru, který by snímal tlak kartáčku v průběhu čištění. Tím by bylo možné docílit jednotnějších podmínek čištění a přesnějších výsledků. Drobným problémem se ukázala být také pěnivost některých zubních past. Pasty Colgate Total Anti-Tartar a Colgate Total Whitening během čištění výrazně vypěnily, což vedlo k potřísnění čistícího zařízení. Pro budoucí provoz by tedy bylo vhodné zamyslet se nad alternativou pro sběr a odvod nadbytečné pěny.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit, zdali vlivem čištění zubů manuálním kartáčkem dochází k abrazi ortodontických attachmentů a zároveň jestli, a do jaké míry, je tato abraze ovlivněna abrazivitou použité zubní pasty. Z výsledků práce vyplývá, že čištění zubů pomocí manuálního kartáčku a pasty může způsobit abrazi ortodontických attachmentů. Vyšší abraze byla naměřena u attachmentů čištěných kartáčkem a pastou s obsahem abrazivní složky a u těch zhotovených z flow kompozitu. Výběr adekvátního kompozitního materiálu a doporučení správných pomůcek dentální hygieny jsou nezanedbatelnou součástí ortodontické terapie fóliovými aparáty.

SOUHRN

Úvod: Pro lepší retenci a efektivnější funkci fóliových ortodontických aparátů se používají tzv. attachmenty – malé množství kompozitního materiálu polymerizovaném na povrchu zubu. Pokud by při čištění nebo polishingu mělo docházet k výrazné abrazi attachmentů, znamenalo by to snížení jejich funkce, což může mít negativní efekt na celkový průběh ortodontické léčby.

Cíl: Zjistit, zda vlivem čištění zubů manuálním kartáčkem dochází k abrazi ortodontických attachmentů ze dvou různých kompozitních materiálů při používání abrazivní zubní pasty.

Metodika: Bylo sestrojeno experimentální lineární čistící zařízení vybavené na míru vyrobeným, univerzálním úchytem kartáčku. Na osm extrahovaných třetích molárů byly připevněny attachmenty z flow kompozitu a nanokompozitu. Připravené vzorky byly v silikonových formách zality do samopolymerující pryskyřice. Pro čištění byl zvolen manuální zubní kartáček Curaprox Super Soft CS 3960 a vodné roztoky tří různých past. Dva vzorky byly čištěny zubní pastou Colgate Total Anti-Tartar, dva vzorky pastou WOOM Carbon+, dva vzorky pastou Colgate Total Whitening. Dva vzorky sloužily jako kontrolní a byly čištěny pouze destilovanou vodou. Každý zub byl čištěn po dobu odpovídající dvouletému čištění ráno a večer při rychlosti 185 tahů kartáčku/min. Všechny vzorky byly před čištěním a po čištění naskenovány pomocí mikro CBCT Skyscan 1275 (Bruker). Z těchto snímků byly následně vyhodnoceny objemy attachmentů a jejich rozdíl.

Výsledky: Nejvyšší míra abraze byla naměřena u vzorku E, tedy attachmentu z flow kompozitu, který byl čištěn zubní pastou WOOM Carbon+. U nanokompozitního attachmentu vzorku G, který byl čištěn stejnou pastou, byl naopak úbytek objemu ze všech vzorků nejnižší. Mezi attachmenty z nanokompozitu byl nejvyšší úbytek objemu naměřen u vzorku C, který byl čištěn pastou Colgate Total Anti-Tartar. U všech vzorků z flow kompozitu byla naměřena vyšší míra abraze než u vzorků z nanokompozitu čištěných stejnou pastou.

Závěr: Čištění zubů pomocí manuálního kartáčku a pasty může způsobit abrazi ortodontických attachmentů. Vyšší abrazi byla naměřena u attachmentů čištěných kartáčkem a pastou s obsahem abrazivní složky a u těch zhotovených z flow kompozitu. Výběr adekvátního kompozitního materiálu a doporučení správných pomůcek dentální hygieny jsou nezanedbatelnou součástí ortodontické terapie fóliovými aparáty.

Klíčová slova: fóliové aparáty, ortodontické attachmenty, abrazi

SUMMARY

Introduction: In order to improve the retention and functional efficiency of clear aligner orthodontic appliances, *attachments*—small amounts of composite material polymerized onto the tooth surface—are commonly used. Significant abrasion of these attachments during brushing or polishing could compromise their function, potentially having a negative impact on the overall progress of orthodontic treatment.

Objective: The aim of this study was to determine whether manual toothbrushing with abrasive toothpaste causes abrasion of orthodontic attachments fabricated from two different composite materials.

Materials and Methods: An experimental linear brushing device equipped with a custom-made universal toothbrush holder was constructed. Orthodontic attachments made from flowable composite and nanocomposite were bonded to eight extracted third molars. The samples were embedded in silicone molds and fixed in self-curing resin. Brushing was performed using a Curaprox Super Soft CS 3960 manual toothbrush and aqueous solutions of three different toothpastes. Two samples were brushed with Colgate Total Anti-Tartar, two with WOOM Carbon+, and two with Colgate Total Whitening. Two control samples were brushed using distilled water only. Each tooth was brushed for a duration simulating two years of twice-daily brushing, at a rate of 185 strokes per minute. All samples were scanned before and after brushing using a SkyScan 1275 micro-CBCT (Bruker). The volumes of the attachments were measured and compared pre- and post-brushing.

Results: The highest degree of abrasion was measured in sample E, i.e., the attachment made of flowable composite brushed with WOOM Carbon+ toothpaste. In contrast, the lowest volume loss among all samples was observed in the nanocomposite attachment of sample G, which was brushed with the same toothpaste. Among the nanocomposite attachments, the greatest volume loss was recorded in sample C, which was cleaned with Colgate Total Anti-Tartar toothpaste. All flowable composite samples showed a higher degree of abrasion compared to the nanocomposite samples brushed with the same toothpaste.

Conclusion: Manual toothbrushing in combination with abrasive toothpaste can lead to the abrasion of orthodontic attachments. Higher levels of abrasion were found in attachments exposed to toothpaste containing abrasive agents and in those made from flowable composite material. Therefore, the choice of appropriate composite material and

the recommendation of suitable oral hygiene tools are critical considerations in the orthodontic treatment with clear aligners.

Key words: clear aligners, orthodontic attachments, abrasion

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ALMOGBEL, AbdulMajeed. Clear Aligner Therapy: Up to date review article. Online. *Journal of Orthodontic Science*. 2023, roč. 12, č. 1. ISSN 2278-1897. Dostupné z: https://doi.org/10.4103/jos.jos_30_23.

BALACHANDRAN, Sharmila; GANAPATHY, Dhanraj a RAMANATHAN, Visalakshi. Clear aligners – A review. *Drug Invention Today*. 2019, roč. 12, č. 10, s. 2280–2284. ISSN 0975-7619.

BARREDA, Graciela J., et al. Surface wear of resin composites used for Invisalign® attachments. *Acta odontologica latinoamericana: AOL*, 2017, 30.2.

BERNARD, Gabrielle; ROMPRÉ, Pierre; TAVARES, Jason Robert a MONTPETIT, Andrée. Colorimetric and spectrophotometric measurements of orthodontic thermoplastic aligners exposed to various staining sources and cleaning methods. Online. 2020, roč. 16, č. 1. ISSN 1746-160X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s13005-020-00218-2>.

BĚLÍKOVÁ, Klára; MAREK, Ivo a TYCOVÁ, Hana. Ortodontické fóliové aparáty. Souborný referát. *Ortodoncie*. 2013, roč. 22, č. 4, s. 225-235. ISSN 1210-4272.

BICHU, Yashodhan M.; ALWAFI, Abdulraheem; LIU, Xiaomo; ANDREWS, James; LUDWIG, Björn et al. Advances in orthodontic clear aligner materials. Online. *Bioactive Materials*. 2023, roč. 22, s. 384-403. ISSN 2452199X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.10.006>.

BINHASAN, Mashael; SOLIMANIE, Abdulilah H.; ALMUAMMAR, Khalid S.; ALNAJRES, Ahmed R.; ALHAMDAN, Mai M. et al. The Effect of Dentifrice on Micro-Hardness, Surface Gloss, and Micro-Roughness of Nano Filled Conventional and Bulk-Fill Polymer Composite—A Micro Indentation and Profilometric Study. Online. *Materials*. 2022, roč. 15, č. 12. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma15124347>.

CASTROFLORIO, Tommaso; PARRINI, Simone a ROSSINI, Gabriele. Aligner biomechanics: Where we are now and where we are heading for. Online. *Journal of the*

World Federation of Orthodontists. 2024, roč. 13, č. 2, s. 57-64. ISSN 22124438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2023.12.005>.

COLAK, Gulben a KATIRCI, Gunseli. In Vitro evaluation of the effects of whitening toothpastes on the color and surface roughness of different composite resin materials. Online. *BMC Oral Health*. 2023, roč. 23, č. 1. ISSN 1472-6831. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03277-4>.

DA COSTA, Juliana; ADAMS-BELUSKO, Anne; RILEY, Kelly a FERRACANE, Jack L. The effect of various dentifrices on surface roughness and gloss of resin composites. Online. *Journal of Dentistry*. 2010, roč. 38, s. e123-e128. ISSN 03005712. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.02.005>.

DAYI, Burak a ÖCAL, Fikri. Evaluation of the effects of whitening toothpaste containing nanohydroxyapatite on surface roughness and color change in restorative materials. Online. *PeerJ*. 2023, roč. 11. ISSN 2167-8359. Dostupné z: <https://doi.org/10.7717/peerj.15692>.

EPPLE, Matthias a ENAX, Joachim. The Chemistry of Dental Care – Part 2. Online. *ChemViews*. 2018. ISSN 21903735. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/chemv.201800065>.

ERÇİN, Özlem; KURNAZ, Merve a KOPUZ, Dilan. Evaluation of the color stability of attachments made with different resin composites. Online. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2023, roč. 164, č. 4, s. e121-e128. ISSN 08895406. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.07.008>.

FAUSTO DA VEIGA JARDIM, Alexandre; CURADO DE FREITAS, Jairo a ESTRELA, Carlos. Surface wear and adhesive failure of resin attachments used in clear aligner orthodontic treatment. Online. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2024, roč. 85, č. S1, s. 52-62. ISSN 1434-5293. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00056-023-00471-5>.

FEIZI, Ariana; BROOKS, John; SCHNEIDER, Monica a BASHIRELAHI, Nasir. What every dentist needs to know about clear aligners. *GENERAL DENTISTRY*. 2019, roč. 68, č. 4, s. 23-26.

GASMI BENAHMED, Asma; GASMI, Amin; ARSHAD, Maria; SHANAIDA, Mariia; LYSIUK, Roman et al. Health benefits of xylitol. Online. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020, roč. 104, č. 17, s. 7225-7237. ISSN 0175-7598. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10708-7>.

GAZZANI, Francesca; BELLISARIO, Denise; QUADRINI, Fabrizio; PARRINELLO, Francesca; PAVONI, Chiara et al. Comparison Between Different Composite Resins Used for Clear Aligner Attachments: An In-Vitro Study. Online. *Frontiers in Materials*. 2022, roč. 8. ISSN 2296-8016. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.789143>.

GIERIE, William. Clear Aligner Therapy: An Overview. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2018, roč. 52, č. 12, s. 665-674.

HAMZA, Blend; ATTIN, Thomas; CUCUZZA, Claudia; GUBLER, Andrea a WEGEHAUPT, Florian. RDA and REA Values of Commercially Available Toothpastes Utilising Diamond Powder and Traditional Abrasives. Online. *Oral Health & Preventive Dentistry*. 2020, roč. 18, č. 4, s. 801-808. Dostupné z: <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a45085>.

HARVIMA, Rauno a AIRAKSINEN, Tiina. Toothpaste Hypersensitivity – A Case Report. Online. *American Journal of Clinical and Medical Research*. 2024, roč. 4, č. 11, s. 1-2. ISSN 2835-9496. Dostupné z: <https://doi.org/10.47991/2835-9496/AJCMR-166>.

HOLÍK, Pavel a MOROZOVA, Yuliya. Opotřebení tvrdých zubních tkání a metody jeho hodnocení. *Praktické zubní lékařství*. 2018, roč. 66, č. 4, s. 43-49.

HU, Meng-Long; ZHENG, Gang; ZHANG, You-Dong; YAN, Xiang; LI, Xiao-Chan et al. Effect of desensitizing toothpastes on dentine hypersensitivity: A systematic review and meta-analysis. Online. *Journal of Dentistry*. 2018, roč. 75, č. 8, s. 12-21. ISSN 03005712. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.05.012>.

CHAMI, Vitória de Oliveira; GEBERT, Fabiane; ASSAF, Débora do Canto; CENTENO, Anna Carolina Teixeira; FERRAZZO, Vilmar Antônio et al. Color stability of resin composites for orthodontic attachments: an in vitro study. Online. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2022, roč. 27, č. 1. ISSN 2177-6709. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.27.1.e2220432.oar>.

CHARAVET, Carole; GOURDAIN, Zoé; GRAVELINE, Léa a LUPI, Laurence. Cleaning and Disinfection Protocols for Clear Orthodontic Aligners: A Systematic Review. Online. *Healthcare*. 2022, roč. 10, č. 2. ISSN 2227-9032. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/healthcare10020340>.

JEDLIŃSKI, Maciej; MAZUR, Marta; GRECO, Mario; BELFUS, Joyce; GROCHOLEWICZ, Katarzyna et al. Attachments for the Orthodontic Aligner Treatment—State of the Art—A Comprehensive Systematic Review: A Systematic Review. Online. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023, roč. 20, č. 5. ISSN 1660-4601.

JOHN, Samuel a WHITE, Donald. History of the Development of Abrasivity Limits for Dentifrices. *The Journal of clinical dentistry*. 2015, roč. 26, č. 2, s. 50-54.

LABIB, Mohamed E.; PERAZZO, Antonio; MANGANARO, James L.; TABANI, Yacoob; DURHAM, Carmine J. et al. Stain removal, abrasion and anticaries properties of a novel low abrasion dentifrice containing micro-fibrillated cellulose: in vitro assessments. Online. *Journal of Dentistry*. 2024, roč. 146, č. 7, s. 1-8. ISSN 03005712. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105038>.

LI, Qiuying a YANG, Kai. Surface wear of attachments in patients during clear aligner therapy: a prospective clinical study. Online. *Progress in Orthodontics*. 2024, roč. 25, č. 1. ISSN 2196-1042. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40510-023-00506-y>.

LIN, Joshua. Efficient Procedure for Precise Bonding of Aligner Attachments. Online. *Journal of Digital Orthodontics*. 2020, roč. 59, s. 64-73. Dostupné z: https://iaoi.pro/asset/files/jdo_59_pdf_article/JDO59_064-073.pdf.

MAREK, Ivo a BĚLÍKOVÁ, Klára. *Ortodontické fóliové aparáty*. Online. In: Mediprofi. 2015.

MENDES RIBEIRO, Suelly Maria; ARAGÓN, Mônica Lídia Santos de Castro; ESPINOSA, Daybelis del Socorro González; SHIBASAKI, Wendel Minoro Muniz a NORMANDO, David. Orthodontic aligners: between passion and science. Online. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2023, roč. 28, č. 6. ISSN 2177-6709. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.28.6.e23spe6>.

MOYA, Suzana Palma a ZAFRA, Javier Lozano. *Aligner Techniques in Orthodontics*. John Wiley, 2021. ISBN 1119607229.

NAZEMIAN, Suephie; BROOKS, John; SCHNEIDER, Monica a BASHIRELAHI, Nasir. What every dentist needs to know about in-house clear aligner therapy. *GENERAL DENTISTRY*. 2023, roč. 71, č. 6, s. 20-23.

NUCERA, Riccardo; DOLCI, Carolina; BELLOCCHIO, Angela Mirea; COSTA, Stefania; BARBERA, Serena et al. Effects of Composite Attachments on Orthodontic Clear Aligners Therapy: A Systematic Review. Online. *Materials*. 2022, roč. 15, č. 2. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma15020533>.

OLTEANU, Nicolae Daniel; TARABOANTA, Ionut; PANAITE, Tinela; BALCOS, Carina; ROSU, Sorana Nicoleta et al. Color Stability of Various Orthodontic Clear Aligner Systems after Submersion in Different Staining Beverages. Online. *Materials*. 2024, roč. 17, č. 16. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma17164009>.

PASAOGLU BOZKURT, Aylin; DEMIRCI, Mehmet; ERDOGAN, Pelin a KAYALAR, Emre. Comparison of microbial adhesion and biofilm formation on different orthodontic aligners. Online. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2025, roč.

167, č. 1, s. 47-62. ISSN 08895406. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.08.010>.

ROUBÍK, Lukáš. *Moderní výživa ve fitness a silových sportech*. Praha: Erasport, [2018]. ISBN 978-80-905685-5-6.

SCHEMERON, Bruce; MOORE, Michael a PUTT, Mark. Abrasion, polishing, and stain removal characteristics of various commercial dentifrices in vitro. *The Journal of Clinical Dentistry*. 2011, roč. 22, č. 1, s. 11-18.

SIDHU, Gurpreet. *Invisalign Guide and Care Instructions*. Online. In: Lighthouse Dental Centre. 2023. Dostupné z: <https://www.lighthousedentalcentre.com/blog/invisalign-guide-and-care-instructions>.

SINGH, Nitika; MEENAKUMARI, C; BANSAL, Abhishek; PAL, Sweety; ALROOMY, Riyadh et al. "Comparative evaluation of effect of toothbrush-dentifrice abrasion on surface roughness of resin composites with different filler loading: " An in vitro study. Online. *Journal of Conservative Dentistry*. 2021, roč. 24, č. 1. ISSN 0972-0707. Dostupné z: https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_521_20.

SUZUKI, M; MIYANO, Y; SATO, F a SHINKAI, K. Surface Properties of Resin Composites and CAD/CAM Blocks After Simulated Toothbrushing. Online. *Operative Dentistry*. 2023, roč. 48, č. 5, s. 575-587. ISSN 1559-2863. Dostupné z: <https://doi.org/10.2341/22-123-L>.

ŠEDÝ, Jiří. *Kompendium stomatologie*. Praha: Stanislav Juhaňák – Triton, 2012-2016. ISBN 978-80-7387-543-5.

TAI, Sandra. *Clear aligner technique*. Hanover Park: Quintessence Publishing, 2018. ISBN 978-0-86715-777-2.

THAI, Jessica Kimberly; ARAUJO, Eustaquio; MCCRAY, Julie; SCHNEIDER, Patricia Pigato a KIM, Ki Beom. Esthetic perception of clear aligner therapy attachments using eye-

tracking technology. Online. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020, roč. 158, č. 3, s. 400-409. ISSN 08895406. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.09.014>.

UCUNCU, Musa Kazim; GUVEN, Kerem a YAZICIOGLU, Oktay. Investigation of the constituents of commercially available toothpastes. Online. *International Journal of Dental Hygiene*. 2024, roč. 22, č. 4, s. 913-932. ISSN 1601-5029. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/idh.12805>.

WAJEKAR, Nimish; PATHAK, Snehal a MANI, Shubhangi. Rise & review of invisalign clear aligner system. *IP Indian Journal of Orthodontics and Dentofacial Research*. 2021, roč. 8, č. 1, s. 7-11.

WEBER, Thomas. *Memorix zubního lékařství*. 2. české vyd. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3519-1.

WILLIAMSON, Mike. *Toothpaste Abrasiveness Ranked by RDA (Relative Dentin Abrasion) Value*. Online. In: Austin Dentist - Austin Periodontist - Dr. Mike Williamson. 2014. Dostupné z: <https://www.williamsonperio.com/wp-content/uploads/2014/07/Toothpaste-Abrasiveness-Ranked-by-RDA.pdf>.

YU, Peng; YANG, Su-Ming; XU, Yong-Xiang a WANG, Xiao-Yan. Surface roughness and gloss alteration of polished resin composites with various filler types after simulated toothbrush abrasion. Online. *Journal of Dental Sciences*. 2023, roč. 18, č. 3, s. 1016-1022. ISSN 19917902. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jds.2022.12.004>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Srovnání principu retence fixního ortodontického aparátu a fóliového aparátu	11
Obrázek 2 Fóliový aparát Invisalign.....	12
Obrázek 3 Fóliový aparát ClearCorrect.....	13
Obrázek 4 Tvarování aparátu Essix pomocí Hilliardových termokleští.....	15
Obrázek 5 Tablety a krystalky pro čištění fóliových aparátů.....	16
Obrázek 6 Ortodontické attachmenty.....	17
Obrázek 7 Proces lepení attachmentu na povrch zubu.....	20
Obrázek 8 Experimentální lineární čistící zařízení.....	31
Obrázek 9 Zalití vzorků do pryskyřice.....	32
Obrázek 10 Připravený vzorek.....	33
Obrázek 11 Zubní pasty použité k čištění.....	34
Obrázek 13 ROI – Region of Interest, tj. snímek s vyznačenou oblastí, jejíž objem měříme.....	35
Obrázek 12 Mikro CBCT Skyscan 1275.....	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hodnoty RDA zubních past.....	28
Tabulka 2 Přehled čištěných vzorků.....	34
Tabulka 3 Výsledky měření objemů attachmentů před a po čištění.....	36

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Přehled hodnot RDA vybraných zubních past

PŘÍLOHA P I: PŘEHLED HODNOT RDA VYBRANÝCH ZUBNÍCH PAST

Toothpaste Abrasiveness Ranked by RDA (Relative Dentin Abrasion) Value

RDA	Toothpaste Name	RDA	Toothpaste Name
4	Toothbrush with plain water	100	Sensodyne Tartar Control Whitening
7	Plain baking soda	101	Natural White
8	Arm & Hammer Tooth Powder	103	Arm & Hammer Sensation
15	Weleda Salt Toothpaste	104	Sensodyne Extra Whitening
30	Elmex Sensitive Plus	106	Arm & Hammer Advance White
30	Weleda Tooth Products	107	Crest Sensitivity Protection
34	ProNamel by Sensodyne	107	Sensodyne Full Protection Whitening
35	Arm & Hammer Dental Care	110	Crest Regular
42	Arm & Hammer Advanced Whitening / Peroxide	110	Prevident 5000 Booster
45	Weleda Calendula Toothpaste	110	Colgate Herbal
45	Weleda Pink Toothpaste with Ratanhia	113	Aquafresh Whitening
45	Oxyfresh	117	Arm & Hammer Advance White Gel
48	Arm & Hammer Dental Care Sensitive	117	Arm & Hammer Sensation Tartar Control
49	Tom's of Maine Sensitive	120	Close Up with Baking Soda
52	Arm & Hammer Peroxicare Regular	124	Crest Sensitivity Whitening + Scope
53	Rembrandt Original	124	Colgate Whitening
53	CloSYS	130	Crest Extra Whitening
54	Arm & Hammer Sensitive + Whitening	133	Ultra Brite
54	Arm & Hammer Dental Care PM Bold Mint	140	Crest Pro Health Night
57	Tom's of Maine Childrens Toothpaste	142	Colgate Total Whitening
63	Colgate Sensitive Enamel Protect	145	Crest Pro Health Enamel Shield
63	Rembrandt Mint	145	Ultra Brite Advanced Whitening
65	ClinPro	150	Pepsodent
68	Colgate Regular	152	Crest Sensitive Whitening
70	Colgate Total	155	Crest Pro Health
70	Arm & Hammer Advance White Sensitive	160	Colgate Total Advanced Fresh
70	Colgate 2-in-1 Fresh Mint	162	Crest Pro Health Whitening
78	Biotene	165	Colgate Tartar Control
79	Sensodyne	168	Arm & Hammer Dental Care PM Fresh Mint
80	Close Up	176	Nature's Gate paste
83	Colgate Sensitive Max Strength	200	Colgate 2-in-1 Tartar Control / Whitening
84	Tom's of Maine	200	FDA upper limit
85	Dentisse	250	ADA upper limit
85	Rembrandt Intense Stain		
87	Nature's Gate		
90	Sensodyne Fresh Mint		
91	Aquafresh Sensitive		
92	Sensodyne Cool Gel		
93	Tom's of Maine		
94	Rembrandt Plus	0-70	The RDA Table: Low Abrasive
94	Sensodyne Fresh Impact	71-100	Medium Abrasive
95	Oxyfresh with Fluoride	101-150	Highly Abrasive
100	Sensodyne Original	151-250	Regarded as Harmful Limit

*The date from this chart was compiled from various sources including independent research and company literature.