

**UNIVERSITATEA “TITU MAIORESCU” BUCUREȘTI**  
**FACULTATEA DE MEDICINĂ DENTARĂ**  
**ȘCOALA DOCTORALĂ**

**REZUMAT**  
**TEZĂ DE DOCTORAT**

**STUDII COMPARATIVE PENTRU EVALUAREA**  
**PERFORMANȚEI ADEZIVILOR DE GENERAȚIA a IV-a ȘI**  
**ADEZIVII UNIVERSALI**

Coordonator științific:  
**Prof. Univ. dr. Florentina Cornelia**  
**BÎCLEȘANU**

Doctorand:  
**Ștefan George CĂLINOIU**

## Cuprins

Introducere .....	4
Anatomia interfeței adeziv-structură dentară.....	6
<b>Stratul hibrid.....</b>	<b>6</b>
Hibridizarea.....	6
Clasificarea și evoluția adezivilor dentari.....	7
Clasificarea adezivilor după modul de acțiune asupra detritusului dentinar remanent.....	7
Clasificarea adezivilor după numărul de etape de aplicare .....	7
Clasificarea generațiilor de adezivi dentari.....	7
<b>Strategii de adeziune.....</b>	<b>8</b>
<b>Avantajele agenților de adeziune din generația a IV-a și a adezivilor universali.....</b>	<b>8</b>
Adeziunea la nivelul structurilor dentare .....	8
Adeziunea la dentină.....	9
Adeziunea la cement .....	9
Degradarea fibrelor de colagen .....	9
Factori externi care afectează longevitatea adeziunii dentare.....	10
<b>Abordări actuale pentru a reduce degradarea și a îmbunătăți longevitatea adeziunii dentare</b>	<b>10</b>
<b>CERCETAREA PERSONALĂ.....</b>	<b>11</b>
<b>Studiu comparativ in vitro al rezistenței mecanice la forța de compresiune și tracțiune între adezivii de generația a-4-a și adezivii universali .....</b>	<b>11</b>
<b>Materiale și metode.....</b>	<b>12</b>
Rezistența mecanică la compresiune .....	12
Rezistența mecanică la tracțiune .....	12
<b>Rezultate</b>	<b>13</b>
Rezultatele rezistenței la compresiune .....	13
Rezultatele rezistenței la tracțiune .....	13
<b>Concluzii</b>	<b>14</b>
<b>Studiu SEM, EDAX, FTIR, Microscopie Optică asupra performanțelor adezivilor dentari de generația a IV-a și a adezivilor universali .....</b>	<b>15</b>
<b>Studiul comportamentului interfețelor la fractură prin simulare FEA între adezivii de generația a IV-a și adezivii universali .....</b>	<b>19</b>
Simularea mecanică a ruperii .....	20
Simularea mecanică a propagării fisurii.....	20
Simularea modelului global și identificarea zonei de interes .....	20
Simularea propagării de fisură în modelul izolat, în cazul adezivului Allbond3 .....	21

Simularea propagării de fisură în modelul izolat, în cazul adezivului Clearfil.....	22
Rezultatele simulării FEA.....	23
<b>Concluzii 23</b>	
<b>Concluzii finale.....</b>	<b>24</b>
<b>Abrevieri.....</b>	<b>27</b>
<b>Bibliografie.....</b>	<b>28</b>

## Introducere

Creșterea incidenței cariei dentare simple a determinat concomitent intensificarea activității de cercetare legată de îmbunătățirea calității materialelor existente dar, mai ales, de producerea unor materiale noi, cu performanțe ridicate.

În mod tradițional, pregătirea structurii dentare pentru restaurare presupune îndepărtarea chirurgicală a țesutului cariat pentru a asigura retenția mecanică. Tehnica adezivă a revoluționat acest principiu și a introdus o modalitate nouă de restaurare cu succes a structurii dentare. Începuturile au fost marcate de Buonocore, care a demonstrat că smalțul demineralizat îmbunătățește adeziunea. În anii următori, au fost efectuate cercetări asupra dentinei și s-a realizat hibridizarea, care este rezultatul infiltrării primerului în rețeaua de colagen expusă prin demineralizare, urmată de polimerizarea primer-ului și rășinii adezive, rezultând stratul hibrid.

Adezivii dentari au un istoric bogat, trecând de la etapa de demineralizare și spălare urmată de aplicarea separată a primer-ului și rășinii adezive, la produsele autoadezive, apărute recent în stomatologia restaurativă. Acestea au o abordare simplă și ușoară, cu aplicarea într-un singur pas a tuturor componentelor sistemului adeziv, sunt mai tolerante la umiditate și tehnica de lucru este simplificată (1).

Deși cercetarea și producerea sistemelor adezive progresează constant, accentul a fost în general pus pe simplificarea procesului de adeziune prin reducerea numărului de pași clinici (scurtarea timpului de lucru), cu puțin accent pe performanța bazată pe dovezi științifice. A apărut astfel o competiție între adezivii universali (cu aplicarea într-o singură etapă a acidului demineralizant, primer-ului și rășinii adezive combinate într-un singur flacon) și adezivii tradiționali (supranumiți “standardul de aur”) care se aplică în 3 etape și deci, necesită timp mai mare de lucru (2). În ciuda atractivității lor, cele mai multe rapoarte reflectă performanța scăzută a adezivilor universali în comparație cu adezivii tradiționali (3)(4)(5).

Tema aleasă pentru cercetare este o temă de actualitate întrucât progresele în domeniul materialelor și protocoalelor de aplicare au schimbat modul în care este abordată stomatologia restaurativă. Stomatologia adezivă, poate cea mai mare realizare în domeniul dentar din ultimile decenii, a condus la o schimbare de paradigmă în practică, permițând clinicienilor să efectueze proceduri minim invazive deci, cu pierdere minimă de substanță dură dentară și restabilirea optimă a structurii, funcției și esteticii (6). În plus, am ales această temă de cercetare deoarece există în literatura de specialitate foarte multe date, relativ controversate, legate de eficiența forței adezive,

realizate cu diferite generații și tehnici adezive. Consider că adezivii de generația a IV-a, asociați cu demineralizare și spălare și aplicare secvențială a complexului adeziv și adezivii universali cu tehnica simplificată reprezintă cele mai corecte opțiuni pentru activitatea clinică. Prin asocierea datelor rezultate din analiza studiilor științifice in vivo și in vitro consultate și cu expertiza obținută în urma activității mele clinice, am dorit să realizez o analiză personală a acestui subiect.

Teza de doctorat este structurată în două părți componente, prima reprezentând stadiul actual al cunoașterii, iar cea de-a doua, cercetările personale asupra temei propuse. Stadiul cunoașterii, alcătuit din patru capitole, este rezultatul studiului literaturii de specialitate recentă. Sunt descrise anatomiei interfeței adeziv/structură dentară, a rolului detritusului dentinar remanent (DDR) și procesul de hibridizare cu formarea stratului hibrid. De asemenea, sunt prezentate noțiuni legate de clasificarea și evoluția adezivilor dentari după criterii precum mod de gravare, mod de aplicare și strategii de aplicare. Sunt abordate și modalitățile prin care se face adeziunea la structurile dure dentare cu descrierea etapelor de lucru, a caracteristicilor specifice fiecărui țesut și stabilirea diferențelor dintre adeziunea smalț/dentină. În final, se face referire la factorii care determină longevitatea adeziunii dentare. Cercetarea personală cuprinde 4 capitole. Prin “studii in vitro” am evaluat comparativ rezistența adeziunii dentare prin teste mecanice (tracțiune, compresie), microscopice (SEM, FTIR, Microscopie Optică și EDAX) și analiza cu element finit (FEA), care au constituit direcțiile de cercetare ale tezei mele. Nota de originalitate a tezei este dată de rezultatele acestor studii de cercetare.

Pentru a obține rezultate științifice cât mai corecte, cu toate limitele studiilor, am stabilit următoarele direcții de cercetare: determinarea rezistenței la compresiune și tracțiune a adeziunii realizată prin protocolul în 3 pași (All-Bond 3 (Bisco) și un pas (Clearfil Bond Quick Kuraray) - adeziv universal; analiza comparativă a forței de adeziune între cele 2 generații de adezivi cu ajutorul microscopului electronic de baleiaj; identificarea nivelurilor de stres care acționează asupra aceluiași generații de adezivi dentari, în funcție de direcția și valoarea forței exterioare aplicate.

Industria materialelor dentare este într-o continuă dezvoltare, proprietățile și caracteristicile materialelor tinzând spre ideal. Sistemele adezive disponibile la ora actuală oferă posibilitatea obținerii unor rezultate durabile și, în același timp, cu o estetică superioară. Medicul dentist trebuie doar să cunoască și să respecte indicațiile și protocolul clinic.

# Stadiul actual al cunoașterii

## Anatomia interfeței adeziv-structură dentară

Tehnicile directe adezive realizează legătura materialului de restaurare cu structurile dure dentare prin intermediul unei interfețe cu o anumită configurație, particularitate și componență, care influențează decizia asupra alegerii sistemului adeziv potrivit.

### Detritusul dentinar remanent

DDR reprezintă un reziduu organic amorf, neregulat și granular, rezultat în timpul manoperelor de pregătire a dinților pentru restaurare, tratament endodontic sau șlefuire, cu o grosime de 0,5 până la 2  $\mu\text{m}$  (7), vizibil doar prin tehnici de microscopie electronică, care ar trebui îndepărtat sau dizolvat pentru a expune canaliculii dentinari și a obține o adeziune bună, fără existența altui strat intermediar (8). În 1980, Fusayama et al. au raportat că atacul dentinei cu acid fosforic ar deschide tubii dentinari, provocând adeziune micromecanică și formând stratul hibrid (9). DDR găsit la nivelul dentinei superficiale este superior celui din dentina profundă, atât din punct de vedere al cantității, cât și al calității, fapt ce poate influența semnificativ procesul de adeziune și eficiența materialelor adezive utilizate în stomatologie (10).

DDR, expus în cavitatea bucală, are efect protector prin cepurile intracanaliculare care acționează ca un “layer” natural.

### Stratul hibrid

Stratul hibrid este o rețea tridimensională de polimeri/colagen, rezultat dintr-un efect combinat între factorii mecanici și factorii chimici, inclusiv hidroliza și degradarea enzimatică a colagenului expus și a rășinii adezive (11). Deși în mod ideal asigură o legătură continuă și stabilă între adeziv și dentină (12) (13), a fost descris ca fiind cea mai slabă legătură în interfața dentino-adezivă (14) (15). Se crede că degradarea stratului hibrid la interfața dentină-adeziv este principalul motiv al eșecului adeziunii.

### Hibridizarea

Procesul în trei etape de aplicare a demineralizantului, primer-ului și rășinii adezive este denumit hibridizare sau procesul de formare a unui strat hibrid (strat nou, format din fibre colagen + adeziv, responsabil pentru adeziunea micromecanică dentină-rășină (16).

## **Clasificarea și evoluția adezivilor dentari**

Incidența tot mai ridicată a leziunilor carioase a impus progresul materialelor dentare. Materialele de restaurare și adezivii dentari folosiți au trecut prin mai multe îmbunătățiri până în prezent.

### **Clasificarea adezivilor după modul de acțiune asupra detritusului dentinar remanent**

Pe baza abordării clinice a detritusului dentinar remanent (DDR), sistemele de adezivi dentari pot elimina, dizolva sau modifica DDR (17). Adezivii care modifică DDR (17) și îl includ în procesul de adeziune necesită una sau două etape de aplicare și folosesc fie un singur adeziv, fie un primer și un adeziv.

### **Clasificarea adezivilor după numărul de etape de aplicare**

Adezivii dentari pot fi clasificați în funcție de numărul etapelor necesare pentru aplicarea lor, ceea ce reflectă complexitatea procedurii și timpul necesar pentru realizarea aderenței între materialul de restaurare și structura dentară. Această clasificare împarte adezivii în trei categorii principale: Adezivi în trei pași (Gravaj total în trei pași) - etapa de demineralizare, etapa de aplicare a primerului, etapa de aplicare a adezivului; Adezivi în doi pași - gravaj total în doi pași și auto-gravaj în doi pași (demineralizare totală și autodeminerizare); Adezivi într-un singur pas (Auto-gravaj all-in-one sau Universal) - conțin acid, primer și adeziv într-o singură soluție.

### **Clasificarea generațiilor de adezivi dentari**

În funcție de generație, există 8 tipuri de sisteme adezive. Primele două generații nu se mai folosesc de rutină. Generațiile 3-5 de adezivi se bazează pe gravaj și clătire ca mecanism de adeziune și se împart în două categorii: gravaj selectiv (în 3 pași) și gravaj total (în 2 sau în 3 pași). Ultimele generații de adezivi se bazează pe auto-gravaj ca mecanism principal de adeziune; acestea se clasifică în sistem auto-demineralizant în doi pași și sistem auto-demineralizant "all in one". Începând cu generația a VI-a până la generația a VIII-a a apărut termenul de adezivi universali, multifuncționali, multi-mode sau autogravanti (8). Generațiile a VII-a și a VIII-a au reușit simplificarea tehnicii de aplicare, acești adezivi fiind prezentați sub forma unui singur flacon și o singură aplicare

## **Strategii de adeziune**

Pentru un material restaurativ, aderența este cerința principală astfel încât să crească rezistența complexului dinte/material restaurativ și să fie diminuat riscul unor fracturi.

Prin demineralizarea smalțului tratat cu un acid diluat timp de câteva secunde, rezultă o suprafață microscopic rugoasă și poroasă în care pătrunde rășina adezivă.

Dentina este diferită de smalț, conținând mai mult de 25% material organic (în principal colagen) și limfa dentinară, care face ca adeziunea să fie dificilă fără demineralizarea în prealabil a suprafeței dentinare pentru a expune rețeaua de fibre de colagen și porțiunea inițială a canaliculilor dentinari.

Atunci când se utilizează rășini adezive, acestea formează un strat intermediar cu rețeaua de colagen expusă prin acțiunea demineralizantului acid și, astfel, se face adeziunea cu materialul de restaurare.

## **Avantajele agenților de adeziune din generația a IV-a și a adezivilor universali**

În ciuda preferinței fără echivoc a clinicienilor pentru adezivii dentari și rășinile compozite mai ușor de aplicat și mai versatile, se impune un echilibru între simplificarea excesivă a procedurilor de adeziune dentară și potențialele rezultate clinice (18).

Deși adezivii universali sunt mai ușor de utilizat, ușor de manevrat, oferă un aspect estetic excelent și au potențialul de a se atașa chimic de hidroxiapatită atâta timp cât dentina nu este gravată, sistemele de adeziune de generația a IV-a formează legături puternice atât cu smalțul, cât și cu dentina, au o capacitate de adeziune puternică la dentina umedă, prezintă rezistență ridicată la adeziunea dentinei și pot fi folosiți chiar și pentru adeziunea la substraturi precum porțelan și aliaje (inclusiv amalgamul).

## **Adeziunea la nivelul structurilor dentare**

Adeziunea la nivelul structurilor dentare reprezintă o prioritate datorită importanței procesului de aplicare și a retenției materialului de restaurare dentară în mod durabil și eficient. În acest fel se poate asigura longevitatea restaurărilor dentare, prin creșterea rezistenței, durabilității și integrității lor.

## **Adeziunea la smalț**

Smalțul dentar este o structură extrem de mineralizată, ce conține aproximativ 95% minerale, predominant hidroxiapatită, ceea ce îl face un țesut aproape ideal pentru adeziune. Procesul de adeziune la smalț implică sporirea reactivității acestui țesut dur dentar prin demineralizare acidă.

În practică, se folosește acid fosforic în concentrație de 37% pentru un interval de 15-30 de secunde (19). În plus, în afară de acidul fosforic tradițional utilizat pentru demineralizare, au fost studiați și alți acizi cum ar fi acidul malic, nitric, acidul citric 10% și acizii oxalici.

## **Adeziunea la dentină**

Diferențele de compoziție dintre smalț și dentină, precum și schimbările datorate îmbătrânirii, cariei dentare, procedurilor operative modifică proprietățile structurale ale dentinei și astfel afectează global calitatea adeziunii dentinare.

## **Adeziunea la cement**

În stomatologie, adeziunea la cementul dentar este esențială pentru succesul restaurărilor și tratamentelor dentare din zona cervicală și radiculară. Astfel, se poate considera că testul final al adezivilor este performanța lor clinică într-o cavitate cervicală neretentivă.

## **Factorii determinanți pentru longevitatea adeziunii dentare**

Degradarea interfeței de adeziune prin degradare hidrolitică și atacuri bacteriene și enzimatice reprezintă un factor semnificativ care duce la eșecul prematur al restaurărilor dentare aderente. Existența unei anumite anatomii a acestei interfețe, sensibilitatea ridicată a tehnicii adezive sau abilitățile profesionale ale clinicianului determină apariția sensibilității postoperatorii, a cariilor secundare, a inflamației pulpei și a pierderii retenției restaurării, deci, în consecință reducerea longevității restaurării.

### **Degradarea fibrelor de colagen**

O problemă importantă a adezivilor rășină-dentină este durabilitatea lor limitată. Se crede că zonele bogate în rășină și apă din interfețele legate de rășină se degradează în decurs de 1-2 ani, pe de o parte prin hidroliza componentelor rășinii hidrofile, pe de altă parte prin degenerarea fibrelor de colagen de către metaloproteinazele matriceale (MMP) generate de dentina demineralizată.

### **Factori externi care afectează longevitatea adeziunii dentare**

Tehnica operatorului joacă un rol crucial în obținerea unei adeziuni adecvate rășină-dentină. Acest lucru poate fi rezumat prin izolarea corectă a câmpului operator, respectarea exactă a recomandărilor pentru demineralizare și adeziune, protocolul de stratificare urmat în aplicarea restaurării și procedurile de finisare/lustruire (20). În plus, cunoștințele și abilitățile dentiștilor influențează, de asemenea, longevitatea tratamentelor.

### **Abordări actuale pentru a reduce degradarea și a îmbunătăți longevitatea adeziunii dentare**

Strategia anti-degradare cea mai explorată până în prezent se bazează pe dezvoltarea monomerilor mai hidrofobi sau mai puțin susceptibili la hidroliză. Monomerul 2-hidroxietil metacrilat (HEMA) este un monomer comun prezent în compoziția mai multor rășini adezive, dar el promovează absorbția și hidroliza apei la interfața adezivă, cu efecte negative asupra longevității pe termen lung. În acest context, în ultimii ani, acrilamidele și metacrilamidele au fost sugerate ca potențiali candidați pentru a înlocui HEMA. Gruparea amidă este mai stabilă și mai rezistentă la degradarea hidrolitică. Acești monomeri nu conțin esteri, ceea ce le scade șansa de a suferi hidroliză (21) (22).

# CERCETAREA PERSONALĂ

**Scopul** acestei lucrări este de a analiza comparativ modul în care se realizează adeziunea și efectele adezive la nivelul interfeței adeziv/structură dentară, a două generații de adezivi a 4-a generație (ALL-BOND 3® de la BISCO Dental) și a generației de adezivi cunoscuți sub denumirea de adezivi universali (CLEARFIL™ Universal Bond Quick de la Kuraray), urmărind să indice criteriile esențiale în alegerea individualizată a adezivului corespunzător diferitelor situații clinice, pentru a face restaurări predictibile și cu longevitate ridicată.

## **Studiu comparativ in vitro al rezistenței mecanice la forța de compresiune și tracțiune între adezivii de generația a-4-a și adezivii universali**

Sistemele adezive au beneficiat în timp de creșterea forței de adeziune. Astfel, s-a plecat de la 1-3MPa pentru generația 1 până la 8-15MPa, la generația 3, pentru ca, ulterior, performanțele să crească progresiv de la 17-25MPa pentru generația 4, la 23-30MPa la generația 7.

Sistemele adezive folosite pentru testare în acest studiu au fost adezivii de generația a 4-a și adezivii universali. Generația a 4-a reprezintă un sistem adeziv convențional utilizat în trei etape. Primer-ul are ca solvent etanolul. Rășina adezivă hidrofobă nu conține HEMA. Adezivul Clearfil New Bond (Kuraray) a inclus pentru prima dată molecula MDP la începutul anilor 1980; ulterior, brevetul MDP a expirat și astfel alți producători au început să adauge acest monomer fosfat la noii lor adezivi dentari cu un singur flacon. Adezivii universali simplificați se aplică într-o singură etapă. Clearfil Universal Bond Quick eliberează fluor, conține MDP și AMIDE (monomeri amidici hidrofilii nou dezvoltați) care pătrund rapid în dentină și smalț („tehnica adeziunii rapide”), ceea ce elimină timpul de așteptare și reduce absorbția de apă.

Măsurătorile in vitro ale forței de tracțiune și compresiune, precum și ale forței de adeziune, sunt importante în caracterizarea potențialului de adeziune al noilor adezivi și materiale de restaurare coronară. Primul scop al testării adeziunii este de a măsura forța de tracțiune a unei zone cu adeziune creată. Al doilea obiectiv este de a depista un posibil eșec al adeziunii. Cel mai frecvent eșec adeziv este cel care apare între adeziv și dinte. Eșecurile adezive sunt adesea un mix

între eșecurile adezive și coezive. Cedarea adezivilor pot fi măsurate folosind o scală care specifică cantitatea (în procente) din materialul de restaurare rămas pe dinte după dezlipire (23). Testarea rezistenței adeziunii se efectuează de obicei la întindere sau la forfecare, folosind o mașină universală de testare cu șuruburi sau servohidraulice.

Am realizat acest studiu care urmărește să compare prin teste mecanice de compresiune și tracțiune rezistența și forța de adeziune la țesutul dentar a unui adeziv din a 4-a generație (ALL-BOND 3® de la BISCO Dental) și un adeziv universal (CLEARFIL™ Universal Bond Quick de la Kuraray). Materialul compozit de restaurare folosit a fost GRADIA® DIRECT Posterior.

## **Materiale și metode**

### **Rezistența mecanică la compresiune**

Performanța adeziunii dentare a fost investigată în laboratorul de testare al Facultății de Chimie din cadrul Universității Politehnica din București, departamentul ”Știința și ingineria materialelor oxidice avansate și nanomateriale”.

Studiul a fost efectuat pe 20 de blocuri sub formă de tablete realizate din compozitul Gradia® Direct Posterior turnat cât mai uniform posibil în matrițe cilindrice cu un diametru de 15 mm și o grosime de cel puțin 2 mm.

După testare, tabletele au fost sparte în mai multe bucăți. Tabletele sparte în maxim patru părți au fost readuse la forma lor inițială de tablete prin lipire cu ajutorul adezivului în 3 timpi Allbond 3 și a adezivului universal Clearfil. S-au obținut două loturi cu pastile lipite în urma fracturilor post-testării inițiale. Acestea au ajuns la forma inițială cu diametrul de 15 mm și grosimea de 2 mm.

Protocolul de aplicare a materialului compozit conceput de către producători a fost respectat cu unele adaptări deoarece studiul nostru nu a fost efectuat pe substraturi dentare .

### **Rezistența mecanică la tracțiune**

Studiul a fost efectuat pe două loturi a câte 20 de dinți extrași, pe care s-au realizat obturații cu adezivii All-Bond 3 și Clearfil Universal Bond Quick.

S-au realizat cavități de pe fața vestibulară/orală pe molari și premolari, cu pondere egală în cele două loturi. Preparațiile au avut adâncime de 2 mm pe molari pentru a interesa atât smalțul cât și dentina. Pentru a realiza o suprafață de retenție egală, înainte de efectuarea cavității ce va avea o formă de trunchi de piramidă, pe smalț a fost delimitată viitoarea cavitate, cu dimensiunile

5 mm mezio-distal și 3 mm de la colet la marginea ocluzală. Peretele profund al cavității este reprezentat de dentină, iar pereții cavității sunt reprezentați de smalț.

S-a folosit adezivul în 3 timpi ALL-BOND 3 și cel universal CLEARFIL și s-au format 2 loturi a câte 20 de dinți: Lotul 1 : adeziv ALL-BOND 3; Lotul 2 : adeziv universal CLEARFIL. Diferența notabilă între cei doi adezivi constă în absența HEMA în adezivul de generația a 4-a și prezența unei cantități mai mari de solvenți în adezivul universal de generația a 7-a.

Testarea celor două loturi s-a realizat prin prinderea de dispozitivele pentru tracțiune cu sârme Dentaurum cu diametru de 0.6 mm/23, cu coeficient la întindere foarte mic, 1800-2000 N/mm<sup>2</sup>, conferindu-le o rigiditate ridicată. Din cauza rigidității structurale a tuturor componentelor supuse la forța de întindere, anticipăm că obturațiile se vor smulge. Aparatul cu care s-au efectuat măsurătorile 1000N ES30 este în conformitate cu standardele EN 6892-1, EN7050-1, EN 10002, EN 10080, EN 50081-1, EN 15630-1, EN 15630-3.

## **Rezultate**

### **Rezultatele rezistenței la compresiune**

Probabilitatea este mai mică de 0,05 deci există diferențe semnificative între valorile rezistenței la compresiune ale compozitului și ormocerului testate.

Pentru că eroarea standard nu este mare se deduce că media obținută cu studiul curent nu poate varia drastic în condiții de testare similare cu alte eșantioane.

Calcularea comparativă a valorilor medii ale loturilor între ele arată că nu există diferențe semnificative.

### **Rezultatele rezistenței la tracțiune**

Se observă diferențele mari între acele două generații de adeziv, iar la toate probele, valorile adezivului în 3 timpi au valori duble în comparație cu generația adezivilor universali.

Privind eșecul adeziunii rezultatele studiului nostru arată că: pentru probele din lotul 1 – All Bond 3 -Bisco părți egale (similar scorului 3) din adeziv au rămas pe dinte și pe materialul de obturație, iar probele din lotul 2 – Clearfill Universal Bond Quick întreg adezivul a rămas pe materialul compozit de obturație, ceea ce sugerează o adeziune slabă la interfata cu dintele (similar scorului 5).

## Concluzii

Privind rezultatele testelor de compresiune, adezivul All-Bond 3® Bisco a avut puterea de adeziune și rezistența de compresiune semnificativ mai mari decât a adezivilor universali (CLEARFIL™ Universal Bond Quick Kuraray).

Testele de tracțiune realizate au arătat faptul că adezivul de generația a IV-a prezintă o rezistență la dezlipire semnificativ mai mare la compresiune comparativ cu adezivul universal.

În concluzie, adezivul All-Bond 3® Bisco de generația a 4-a, folosind tehnica în 3 timpi operatori a arătat rezistența la tracțiune și compresiune semnificativ mai mare decât a adezivilor universali (CLEARFIL™ Universal Bond Quick Kuraray).

Testele de laborator însă nu se pot traduce neapărat într-o performanță clinică bună. Prin urmare, pentru a obține o înțelegere corectă a performanței adezivilor, este important să se asocieze rezultatele de cercetare în laborator cu evaluările clinice.

# **Studiu SEM, EDAX, FTIR, Microscopie Optică asupra performanțelor adezivilor dentari de generația a IV-a și a adezivilor universali**

Generația a IV-a de adezivi dentinari a fost pionieră în introducerea demineralizării cu acid fosforic printr-o tehnică în trei etape succesive.

Adezivii universali sau multifuncționali reprezintă o generație recentă și versatilă de adezivi, care susține adoptarea celor mai eficiente abordări pentru fiecare strategie de adeziune: utilizarea adezivilor autogranți (SE) într-o singură etapă și a adezivilor cu demineralizare (ER) în doi pași, ambele cu aceeași soluție adezivă dintr-un singur recipient. Aceasta oferă un grad ridicat de ușurință în aplicare, chiar și pe suprafețe dentare cu compoziții variate.

Adeziunea dentară este prea puțin previzibilă pe termen lung, în special adeziunea la dentină. Cele mai frecvente motive de eșec sunt pierderea adaptării marginale sau a retenției restaurării la structura dentară. Adeziunea la nivelul smalțului nu ridică probleme, smalțul fiind un mediu perfect structurat pentru obținerea unei bune adeziuni.

**Scopul:** Prin analizarea adeziunii pe structurile dentare (smalț și dentină), acest studiu compară adezivii de generația a IV-a cu adezivii universali. Această comparație își propune să evidențieze eficacitatea și particularitățile fiecărei generații de adezivi în contextul clinic actual.

## **Material si metodă**

**SEM:** Studiul s-a efectuat pe un lot de 40 dinți extrași. Aceștia au fost împărțiți în 4 loturi de lucru a câte 10 dinti. Pe fiecare dinte s-au efectuat cavități clasa I care interesează atât smalțul, cât și dentina, urmate de obturarea cavităților cu materiale adezive și de restaurare diferite astfel: lot 1: adezivul Clearfil + rășină compozită Gradia, lot 2: adezivul Clearfil + ormocerul Admira, lot 3: adezivul All Bond 3 + rășină compozită Gradia, lot 4: adezivul All Bond 3 + ormocerul Admira. După efectuarea restaurărilor conform timpilor de lucru și protocolului dat de producători, dinții au fost secționati în sens vestibulo-oral cu ajutorul unui disc de piesa dreaptă, sub jet de apă, secțiunile rezultate incluzând zona restaurării precum și smalțul și dentina cu care aceasta vine în contact. Secțiunile au fost analizate cu ajutorul microscopului electronic de baleiaj QUANTA INSPECT. În urma analizei secțiunilor la microscopul electronic, s-a evidențiat grosimea stratului de adeziv, adeziunea la tesuturile dentare (smalț și dentină), cât și adeziunea la cele 2 materiale de restaurare.

De asemenea, au fost obținute și rezultate compoziționale **EDAX** ale zonelor analizate SEM.

**Microscopie Optică:** Studiul a fost realizat pe 20 dinți extrași. După extracție, aceștia au fost curățați și păstrați în apă distilată până la folosirea lor. Ulterior, au fost integrați în arcade artificiale și împărțiți în 2 loturi a câte 10 dinți. Pe fiecare dinte s-au efectuat cavități clasa I, care au interesat smalțul și dentina, realizate după un protocol stabilit conform regulilor terapiei minim invazive. Pentru tehnica adezivă directă s-au folosit adezivii All Bond 3 (Bisco Inc), GC (lot 1) și Clearfil Universal Bond Quick, (Kuraray Noritake Dental Inc.) (lot 2), iar pentru restaurare s-a folosit același compozit, și anume Gradia direct posterior, GC. Înglobarea este necesară din conveniență, ca protecție sau când este necesar să pregătim o anumită dimensiune de probă în sistem automat. Rășina care se toarnă într-o matriță este amestecată cu un întăritor care induce o reacție exotermică care produce întărirea rășinii. În acest caz s-a utilizat rășină pulbere plus întăritor lichid (catalizator). Componentele rășinii trebuie amestecate cu grijă într-o matriță din plastic sau cauciuc de diferite dimensiuni, oferită de regulă de furnizor. Accesorii de tipul clipsurilor de prindere a probelor subțiri și foarte mici sunt făcute pentru a susține proba în timpul înglobării. Pentru probele care au tendința să plutească în timpul turnării și polimerizării rășinii, este nevoie să utilizăm bandă dublu-adezivă pentru a fixa proba în matriță. Pentru o tăiere fină a blocurilor obținute s-a folosit mașina Phoenix Alpha. Ulterior probele au fost șlefuite și lustruite.

**FTIR:** Probele au fost analizate prin Fourier transform infrared – FTIR, spectroscopie în infraroșu, metodă mult mai sensibilă precisă. Probele care au prezentat cea mai bună adeziune din punct de vedere macroscopic (probele 1 și 4 din lotul 1 și probele 8 și 14 din lotul 2) vor fi analizate FTIR. După evaluarea proprietăților mecanice, suprafețele au fost analizate prin microscopie FTIR pentru a evalua mai bine mecanismul de desprindere. În toate cazurile, spectrele dezvăluie vârfurile specifice ale materialului dentar utilizat, ceea ce înseamnă că adezivul folosit a aderat bine pe suprafață și, după testarea mecanică, eșecul s-a produs în interiorul materialului, nu la interfață prin desprinderea bracketului de pe suprafața dintelui (indiferent dacă desprinderea este o consecință a unei adeziuni slabe pe bracketul metalic sau pe dinte). Analizând toate hărțile, indiferent de lungimea de undă selectată, remarcăm o similaritate semnificativă, ceea ce înseamnă că interfața dintre bracket și dinte este omogenă. Mai mult, chiar și pe suprafața componentelor metalice, prezența adezivului poate fi ușor identificată chiar și în microscopia FTIR, fiind în corelație cu aspectul macroscopic al suprafețelor. În cazul eșantionului 14, eșecul nu are loc la interfață, ci o parte a dintelui s-a rupt și a rămas atașată de bracket (partea dreaptă a imaginii).

## Rezultate și discuții

În loturile de lucru în care a fost folosit adezivul universal Clearfil stratul de adeziv ARE o grosime mai mică și variabilă. De asemenea se pot observa neregularități în interfața dintre țesutul dentar și prezența unor goluri de aer. În stratul de adeziv universal Clearfil hibridizarea este una slabă comparativ cu cea obținută în stratul adeziv de generația a IV-a.

În loturile de lucru în care s-a utilizat adezivului All Bond 3, stratul de adeziv este compact, fără goluri de aer, iar grosimea sa este mai mare, relativ constantă chiar și în zonele pretențioase ale cavității. Hibridizarea este net superioară adezivului universal, iar interfața dintre țesutul dentar și adeziv este una ușor crenelată, ce mărește suprafața de contact. Mărirea suprafeței de contact și lipsa golurilor de aer oferă adezivului în 3 timpi o adaptare marginală mult mai bună comparativ cu cea a adezivului universal.

În cadrul folosirii sistemului adeziv (Clearfil), observăm adeziunea ușor deficitară a adezivului deoarece zonele componente interfeței de adeziune sunt bine delimitate, fără a fuziona.

Contrația mai mare a adezivului universal datorită prezenței componentei HEMA a condus la o fisură. Un astfel de defect de adeziune rezultat și inobservabil în timpii clinici de realizare a obturației poate afecta adeziunea.

De asemenea, se observă cum țesutul dentar la interfața de adeziune este neted și regulat, fără a oferi o retentivitate mecanică.

Pentru adezivul în 3 timpi, unde etapa de demineralizare este un pas operator individual, analiza structurală EDAX a prezentat un echilibru optim dintre ionii de Calciu rămași în structură, care oferă rezistență țesutului dentar, și cei liberi, cu potențial de legare de 10-MDP din compoziția adezivului. De asemenea, se poate vedea inversarea raportului dintre Ca/Si și stratul superficial demineralizat care au rol în reducerea sensibilității post-obturație.

Modificări similare ale demineralizării acide au descoperit și alți autori care au considerat benefică modificarea raportului Ca/Si pentru ca noile legături formate în urma dizolvării stratului superficial de dentină pot bloca canaliculele dentinare și scad o eventuală sensibilitate post-obturație (24).

Componenta HEMA prezentă în adezivul universal contribuie la o contracție mai mare și poate duce la formarea de fisuri și, deoarece nu există posibilitatea de a observa acest aspect în timpul intervențiilor clinice și tratamentul clinic, obturația poate eșua.

Analizând spectrele FTIR ale eșantionului 1 (folosind All-Bond 3 ca adeziv) și eșantionului 8 (folosind Clearfill Universal ca adeziv), se poate observa o asemănare foarte bună, componentele majore sunt similare.

### **Concluzii**

Adezivul universal Clearfil prezintă o adeziune inferioară sistemului All Bond datorită diferenței de aderare de la interfața adeziv-țesut dentar, unde gravajul acid și bondingul din sistemul All Bond realizează legături mai puternice.

Grosimea stratului adezivilor universali este mai mică (aproximativ 5-15 nm) și variabilă, în timp ce grosimea stratului adezivilor de generația a IV-a este mai mare (aproximativ 40 nm) și aproximativ constantă.

În ceea ce privește hibridizarea, adezivii de generația a IV-a rămân superiori adezivilor universali în anumite aspecte cheie ale procesului de adeziune dentară, prin absența golurilor de aer și suprafața de contact mai mare datorită formei ușor crenelare a interfeței material-țesut dentar.

O examinare microscopică indică faptul că adeziunea sistemului Clearfil este inferioară în comparație cu sistemul All Bond, în mare parte din cauza diferenței în aderența la interfața dintre adeziv și țesutul dentar. Aici, procedurile de gravaj acid și bonding utilizate în sistemul All Bond creează legături mai solide.

## **Studiul comportamentului interfețelor la fractură prin simulare FEA între adezivii de generația a IV-a și adezivii universali**

Cea mai probabilă cauză a cariilor secundare sunt microinfiltrațiile marginale, care reprezintă o problemă majoră pentru longevitatea restaurarilor. Prin utilizarea adezivilor, restaurările nu sunt doar mai convenabile din punct de vedere estetic, dar creează și o etanșare intimă între țesutul sănătos și restaurare, astfel reducând sau înlăturând riscul apariției cariilor secundare.

All Bond 3, Bisco, adezivul din generația 4 utilizat în acest studiu, oferă adeziune micro-mecanică tuturor tipurilor de substrat, fiind compatibil cu toate materialele: fotopolimerizabile, autopolimerizabile sau duale. Caracteristica cea mai importantă a acestui adeziv este hidrofobia, care îi permite o durată de viață intra-orală foarte lungă comparativ cu alte sisteme adezive. Este construit bicomponent și radio-opac, fiind vizibil astfel pe radiografiile dentare. Proprietățile sale mecanice sunt superioare adezivului Clearfil (adeziv universal utilizat în acest studiu), conform valorilor obținute de către producător prin teste de rezistență mecanică. Acestea sunt desigur diferite în funcție de metoda de testare aleasă. Din punct de vedere al utilizării clinice, acest adeziv are același tip de indicații ca și Clearfil.

Noi agenții din generațiile de autogravare au monomeri hidrofilii acizi și pot fi utilizați cu ușurință pe smalțul gravat după contaminarea cu salivă sau umiditate.

Clearfil este un adeziv universal unicomponent fotopolimerizabil care se utilizează în restaurațiile directe și indirecte în combinație cu tehnici de condiționare a suprafeței totale și selective.

Unul dintre cei mai importanți parametri ai unui ciment dentar este adeziunea la dentină și smalț. Aceștia sunt direct proporționali cu gradul de condiționare al suprafețelor, dar și cu modul de difuzie al componentelor cimentului în structura biologică. Astfel, prin încercări mecanice s-au pus în evidență proprietățile de rezistență ale interfețelor la solicitări de întindere/compresiune respectiv forfecare. În cazul forfecării, rezistența la interfața cu dentina este superioară față de cea realizată cu smalțul. Din punct de vedere al rezistenței interfețelor cu alte materiale, proprietățile Clearfil are o foarte bună adeziune la titan.

Rășina compozită Gradia are la bază o matrice de co-monomer și un agent de ranforsare de rășină pre-polimerică. Este fotopolimerizabilă și oferă o foarte bună calitate în estetica reconstrucției, gradul de lustruire, rezistență la uzură și o bună tenacitate la rupere. Este creată ca un înlocuitor perfect pentru smalț, cu o reflectivitate a culorii apropiată de cea naturală a dintelui. Proprietățile elastice sunt prezentate în figura 4 în comparație cu o serie de alte rășini compozite dentare. Se poate observa că energia elastică la încovoiere are cea mai bună valoare pentru Gradia datorită modulului de elasticitate relativ scăzut. Acest lucru determină comportamentul flexibil al rășinii în comparație cu alte componente mai rigide.

**Scopul** acestui studiu este de a compara rezistența mecanică la compresiune a adezivilor generației a IV-a, considerați „standardul de aur”, cu adezivii de ultima generație denumiți și adezivi universali.

### **Material și metodă.**

#### **Simularea mecanică a ruperii**

Studiul implică utilizarea a 2 adezivi dentari (Clearfil sau All Bond 3) și a 2 materiale de restaurare (compozitul dentar Gradia sau ormocerul Admira), precum și substratul biologic (dentină și smalț) cu care acestea se interfațează. Pentru a putea realiza simulările de mecanica ruperii, în prealabil s-au realizat simulări statice ale structurii unui molar reconstruit. Aceștia i-au fost atribuite proprietățile mecanice corespunzătoare materialelor constituate precum și condițiile pe contur pentru trei situații de încărcare fiziologică, funcțională: o solicitare pe direcția verticală (axa Y); o solicitare oblică la  $45^\circ$  în planul XOY și o solicitare de forfecare pură după direcția orizontală (axa X). Discretizarea s-a realizat cu elemente tetraedrice de dimensiuni constante iar pentru componenta de adeziv dentar s-au rafinat elementele de 10 ori pentru a evalua cât mai bine starea de solicitare la nivelul acestei componente. Simularea s-a realizat în Ansys 2019, iar în urma simulării inițiale s-au obținut valorile de tensiune la interfețele substrat biologic-adeziv-material de restaurare.

#### **Simularea mecanică a propagării fisurii**

S-au simulat propagarea de fisură și comportamentul la rupere în vederea obținerii factorilor de intensitate ai tensiunii în următoarele cazuri: materiale cu tenacitate la rupere diferită și direcții de solicitare diferite. Direcțiile de solicitare considerate au fost aceleași ca și în simularea molarului per ansamblu.

#### **Simularea modelului global și identificarea zonei de interes**

Simularea modelului de molar reconstruit s-a realizat în modulul static structural și pe baza modelului geometric și a condițiilor descrise în secțiunea de metodă au fost obținute valorile tensiunilor de forfecare la nivelul întregului ansamblu și în conformitate cu planele ortogonale ale sistemului de referință global. Tensiunea de forfecare maximă se înregistrează la nivelul adezivului dentar, ceea ce confirmă că apariția și propagarea unei fisuri se vor petrece la acest nivel. Aspectul distribuției tensiunilor este diferit de primul caz, cu o orientare preferențială în conformitate cu direcția de solicitare. De asemenea, și valorile tensiunilor sunt diferite, ca urmare a distribuției acestora pe alte secțiuni interne. Secțiunea cea mai solicitată este în vecinătatea adezivului dentar, motiv pentru care izolarea aceleiași zone a interfeței se va utiliza pentru simulare de propagare de fisură. Datorită naturii acestei solicitări, zonele de schimbare a spectrului tensiunilor sunt aliniate orizontal. Valoarea mare a solicitării se găsește de această dată la baza molarului, dar această zonă nu este susceptibilă fracturării deoarece în această zonă nu apar discontinuități la nivelul materialului. Următoarea zonă cea mai solicitată este tot la interfața adezivului, acolo unde ar putea apărea și s-ar putea propaga fisura, chiar și la solicitări mai reduse decât rezistența mecanică a interfeței. Secțiunile transversale ne prezintă modul în care deformația elastică se propagă în model, de la zona cuspidală spre cea bazală. Valorile reduse de deformație (culoare albastră închis) se înregistrează pentru materialul de restaurare, deoarece acesta are proprietăți de rigiditate mai înalte decât cimentul și dentina.

### **Simularea propagării de fisură în modelul izolat, în cazul adezivului Allbond3**

Propagarea fisurii s-a realizat cu ajutorul modulului *fracture* din Ansys 19, care utilizează o fisură preexistentă și un mesh rafinat în zona de propagare. Modul de încărcare al modelului se produce după cele 3 direcții: vertical, oblic și orizontal. Frontul de fractură aparține unui plan paralel cu planul în care s-a aplicat încărcarea, respectiv cu planul fix al modelului.

S-a simulat în acest mod o situație foarte apropiată de realitate, în care un material de reconstrucție este cimentat pe un perete vertical al molarului. Se observă deplasarea progresivă a frontului de fractură prin propagarea mesh-ului rafinat în etapa pregătitoare a simulării. O observație importantă în acest caz este direcția liniei de fracură, care tinde spre modul 2 de rupere, ceea ce indică o solicitare de forfecare la nivelul interfeței. Zona cea mai susceptibilă la fracturare este zona de final a propagării fisurii. Factorii de intensitate a tensiunii (FIT) au fost urmăriți prin simulare pentru toate cele 3 moduri de rupere. Valorile FIT se definesc în simulare în legătură cu 3 contururi. Fiecare contur reprezintă zona de propagare și variație al FIT după

cum urmează: *Contour 1 – axa X; Contour 2 – axa Y; Contour 3 – axa Z*. Se observă clar dominanța modului I de rupere prin propagarea fisurii, valorile de tenacitate fiind depășite de aproximativ 10-12 ori, direcțiile cele mai solicitate la vârful fisurii fiind Y și Z. Modul III apare doar marginal, în rest cele 3 contururi având valori comparabile și deci susceptibilitate de fracturare foarte redusă. Modul II se situează în limita intrinsecă a valorii de tenacitate la rupere pentru acest material.

În a doua simulare s-a considerat o solicitare oblică la  $45^\circ$  a modelului prin efectuarea a 2 deplasări liniare egale, de 0.1 mm, pe axele X și Y. Secvențele simulării ne prezintă în acest caz o direcție diferită a liniei de propagare a fisurii, care se apropie tot mai mult de modul I, datorită schimbării direcției de încărcare, iar zona cea mai solicitată, pe lângă cea de la vârful fisurii, este cea a locului de inserție a solicitării. Valorile de tensiune sunt foarte mari și de această dată. Deplasarea maximă se înregistrează în colțul superior al modelului, acesta fiind cel care se rezonează pe măsură ce se propagă fisura.

Solicitarea orizontală aplicată asupra modelului vine să întregască spectrul de solicitări care se pot exercita în planul longitudinal al molarului reconstruit. Prin natura sa, această solicitare expune în mod direct fisura la deschidere și materializează o solicitare de împingere a structurii restaurative. Propagarea are loc în mod simetric, cu fisură perfect verticală, coliniară cu cea inițială

Deplasarea totală este în aceeași zonă ca și în cazul simulărilor precedente și se datorează punctului de inserție a solicitării. Acesta va fi întotdeauna proporțională cu deplasarea impusă și cu elasticitatea materialului.

### **Simularea propagării de fisură în modelul izolat, în cazul adezivului Clearfil**

Al doilea adeziv considerat a fost definit cu o tenacitate la rupere mai redusă decât a adezivului AllBond 3, datorită proprietăților mecanice mai reduse ale acestuia. Tenacitatea mai scăzută ca valoare indică un caracter mai fragil al cimentului și care coroborat cu modulul de elasticitate mai scăzut și el va conduce la deformații elastice mai mari ale structurii dar și la lipsa deformațiilor plastice înainte de rupere. Valorile FIT sunt mai reduse, ceea ce demonstrează o susceptibilitate mai redusă la fracturare a acestui material. Din punct de vedere al direcțiilor de fracturare, de această dată zona de propagare este la capetele liniei frontului și nu în centru cum s-a observat la AllBond 3.

## **Rezultatele simulării FEA**

Deși acest mod de rupere este mai rar decât celelalte două, combinația dintre solicitarea impusă, susținerea modelului și proprietățile materialului utilizat pot conduce spre un astfel de comportament mecanic.

Modul I este cel dominant, ceea ce înseamnă că cel mai probabil propagarea și ruperea se vor face în acest mod. Aplicând solicitarea oblic și menținând constanți toți ceilalți parametri, o astfel de solicitare va produce o propagare și o instabilitate locală a interfeței mult mai semnificativă. În cazul solicitării orizontale, există un comportament mai simetric al apariției factorilor de intensitate ai tensiunii datorită simetriei solicitare-fixare a structurii. Și de această dată valorile FIT depășesc tenacitatea la rupere a cimentului, dar nu la același nivel ca și în cazul solicitării oblice.

În mod evident, indiferent de cazul simulat, vârful fisurii este cel mai vulnerabil, urmate de zone din secțiunea transversală pe care se află vârful. De asemenea, se observă cum la distanță de vârful fisurii factorii sunt mari și constanți, datorită distribuției tensiunii uniform prin toată secțiunea.

## **Concluzii**

Analiza FEA, prin simularea de mecanică a ruperii realizată la interfața dintre dentină și cimentul adeziv - zonele cu solicitarea cea mai puternică, a relevat că adezivul All-Bond 3® Bisco demonstrează rezistență mai mare în modul de rupere I în comparație cu Clearfill™ Universal Bond Quick Kuraray, în toate direcțiile: verticală, oblică și orizontală. Cel mai mare risc de fracturare apare în cazul solicitării oblice. Totuși, solicitarea verticală pe cuspid nu prezintă un risc semnificativ de fracturare. Clearfill™ Universal Bond Quick Kuraray, cu o capacitate mai mică la rupere, prezintă o propagare mai lentă și stabilă a fisurii, deși factorii de tensiune sunt mai mici.

## Concluzii finale

Performanțele clinice ale restaurărilor dentare estetice sunt corelate cu prezența mai multor factori care reprezintă în continuare o temă de abordare în cercetările în domeniul odontoterapiei. Dintre cauzele apariției eșecurilor fac parte contractia materialelor de restaurare, tipul de material utilizat, alegerea unei strategii terapeutice necorespunzătoare, nerespectarea protocolului specificat de producător sau ineficiența aderenței materialului la structurile dentare. Unul dintre obiectivele principale ale stomatologiei adezive este acela de a oferi sistemul adeziv optim cu proprietăți micromecanice și antibacteriene superioare. Acesta este secretul unei longevități crescute a restaurărilor adezive fizionomice, cu preparare minim invazivă. Mecanismul de funcționare al adezivilor are la bază eliminarea mineralelor din țesuturile dure dentare prin demineralizare urmată de pătrunderea monomerilor de rășină care, după polimerizare, realizează o interconectare micromecanică cu structurile dentare. În prezent, există o varietate de opțiuni de adezivi, fiecare cu avantajele sale unice și limitările potențiale.

Debutul stomatologiei adezive a pornit de la Buonocore, care a constatat că demineralizarea smalțului poate crește potențialul său adeziv. Dar era necesară dezvoltarea capacității adezive cu succes și la nivel dentinar, esențială pentru stomatologia restaurativă minim invazivă.

Cercetările au pus accent pe creșterea forței de aderență. A patra generație de adezivi, cu o forță de aderență de până la 30 MPa, când sunt utilizați corespunzător, prezintă o eficiență ridicată. Aceasta este cea mai versatilă dintre toate generațiile de adezivi, motiv pentru care este recunoscută ca standard de aur în materie de aderență, un reper pentru generațiile mai noi de adezivi.

Adezivii universali sau multifuncționali aduc o versatilitate remarcabilă în practica stomatologică, prin tehnicile lor diferite de aplicare - fie ca adezivi care necesită demineralizare și clătire (ER), fie ca adezivi autogranți (SE), eliminând necesitatea unei etape separate de clătire. Mai mult, acești adezivi pot fi utilizați pentru demineralizarea totală sau selectivă a suprafeței dentare. Adezivii universali sunt hidrofilii și se degradează mai rapid. În plus, din cauza includerii a trei componente într-un singur recipient, aceste sisteme trebuie să aibă o cantitate mai mare de solvent (de obicei alcool sau apă), ceea ce limitează adâncimea de infiltrare a rășinii în dinte și poate crea goluri.

Cu toate limitele acestui studiu in vitro, se pot concluziona următoarele:

Adezivii standard cu aplicare în 3 timpi și demineralizare separată sunt mai performanți comparativ cu adezivii universali cu aplicare unică. Rezultatele testelor mecanice realizate în acest studiu indică faptul că adezivul de generația a IV-a are o rezistență la compresiune mai mare decât adezivii universali. Conform testelor de tracțiune, se observă diferențe mari între cele două generații de adeziv, iar la toate probele, valorile adezivului în 3 timpi au prezentat parametri dubli în comparație cu generația adezivilor universali.

Adeziunea ideală la structurile dentare a materialului de restaurare se traduce prin menținerea unei adaptări marginale perfecte pentru a nu crea premisele apariției soluției de continuitate și penetrarea microinfiltrațiilor marginale responsabile de pătrunderea agenților microbieni. Examinarea prin microscopie optică, electronică și FTIR indică faptul că adeziunea sistemului adeziv universal este inferioară în comparație cu adezivul generației a IV-a, în principal datorită diferenței de la interfața adeziv/țesutul dentar/dentina. În acest context este evident că aplicarea acidului și demineralizarea urmate de aplicarea ulterioară a agentului adeziv utilizate în sistemul All Bond3 creează legături mai puternice. Trebuie menționat că, la nivelul smalțului nu există diferențe majore între cele 2 generații de sisteme adezive.

Calitatea stratului hibrid are și ea un rol important în realizarea unei aderențe performante. Legat de parametri precum aderență, grosimea stratului hibrid, hibridizare, rezultatele studiului meu arată o superioritate netă a adezivului de generația a IV-a, comparativ cu adezivii universali, prin legături mai rezistente obținute prin procesul de gravare acidă și bondingul din sistemul All Bond, prin grosimea de aproximativ 3 ori mai mare a acestora (de la 15 nm până la 40 nm), precum și prin interfața ușor crenelată dintre țesutul dentar și adeziv, care contribuie la creșterea suprafeței de contact și, împreună cu absența golurilor de aer, asigură adezivului de generația a IV-a o adaptare marginală superioară adezivului universal.

Analiza structurală EDAX a celor 2 adezivi analizați a relevat că atunci când demineralizarea se face separat există un echilibru optim între ionii de Calciu remanenți și cei liberi, care se leagă de 10-MDP din adeziv. Evidențierea raportului Ca/Si inversat și a demineralizării superficiale indică reducerea sensibilității post-obturație.

Analiza FTIR a evaluat macroscopic zona de interfață adeziv/dinte, adeziv/material restaurare și a relevat o adeziune mai slabă a adezivului universal prin prezența solvenților în cantități mai mari în adezivul universal dar și absența grupării HEMA din adezivul de generația a IV a.

La analiza FEA, simularea de mecanică a ruperii s-a realizat la interfața dintre dentină și cimentul adeziv, zona cu solicitarea cea mai puternică. Simulările au arătat, prin comparație, că adezivul de generația a IV a are o rezistență la fractură de mod I considerabil mai mare decât adezivul universal (cu aproximativ 40% mai mare) și FIT-uri înregistrate cu doar 30% mai mari. Prin urmare, în condițiile date, adezivul de generația a IV a va avea performanțe mai bune în ceea ce privește prevenirea formării și propagării fisurilor.

Solicitarea oblică, comparativ cu celelalte studiate, pare să aibă cea mai mare probabilitate de a produce propagare necontrolată a fisurii urmată de cedarea interfeței. Solicitarea perfect verticală pe cuspid nu generează o așa mare probabilitate de fracturare.

Adezivul Clearfil, care are susceptibilitate mai mică de rupere decât AllBond3, se caracterizează prin apariția unei fisuri mai stabile, cu propagare mai lentă, deși factorii de intensitate ai tensiunii sunt la valori mult mai mici.

Capacitatea materialului AllBond3 de a rezista la rupere este mai mare în comparație cu alte materiale similare, ceea ce face ca acesta să ofere o rezistență mai mare în utilizare clinică. Prin urmare, există o probabilitate mai mică ca interfața să se fractureze sau să se deterioreze în timpul utilizării.

Investigații suplimentare realizate pe perioade de testare pe termen lung pentru verificarea eficienței adezivilor dentari pot oferi informații mai aprofundate, extinzând ceea ce a fost explorat în această teză. Pe baza rezultatelor obținute de cercetările acestui studiu, direcțiile viitoare pot include concentrarea pe testarea grupelor de monomeri, componente importante a adezivilor, care pot să influențeze rezistența mecanică la tracțiune și compresiune. Utilizarea de materiale noi, îmbunătățirea metodelor de testare a forței de adeziune și perfecționarea tehnicilor adezive pot fi alte direcții viitoare de cercetare. Și, nu în ultimul rând, asocierea testelor de laborator cu investigații clinice corespunzătoare.

## Abrevieri

Abrevierile folosite frecvent pentru substanțele chimice de rășină:

- **Bis-GMA** - Bisfenol glicidil metacrilat
- **HEMA** - 2-Hidroxietil metacrilat
- **TGDMA/TEGDMA** - Dimetacrilat de trietilenglicol
- **4-META** - 4-Metacriloxietil trimelitat anhidridă
- **UDMA** - Dimetacrilat de uretan
- **PMDM** - Acid piromelitic dietil metacrilat
- **NPG-GMA** - N-fenilglicina glicidil meta crilat
- **GPDM** - Dimetacrilat de acid glicerofosforic
- **EDTA** - Acid etilendiaminotetraacetic
- **Detritusul dentinar remanent** – DDR
- **Factorul de intensitate al tensiunii** - FIT

## Bibliografie

1. **Latta, M.A., Tsujimoto, A., Takamizawa, T. & Barkmeier, W.W.** Enamel and Dentin Bond Durability of Self-Adhesive Restorative Materials. 2020, pg. 22 (1), pp. 99–105.
2. **Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Van Landuyt, K., Yoshida, Y., et al.** A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology - From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. 2020, Vol. 22, 1, pg. 7-34.
3. **Miletic, V. & Sauro, S.** Bonding to Tooth Tissues. In: Miletic V, Editor. 2018, pg. pp. 199–218.
4. **Sabbagh, J., Dagher, S., El Osta, N. & Souhaid, P.** Randomized Clinical Trial of a Self-Adhering Flowable Composite for Class I Restorations: 2-Year Results. 2017, pg. pp. 1–7.
5. **Nagarkar, S., Theis-Mahon, N. & Perdigão, J.** Universal dental adhesives: Current\ status, laboratory testing, and clinical performance. 2019, pg. 107 (6) pp. 2121–2131.
6. **J., Perdigão.** Dentin adhesion – not there yet. 2020, pg. 56(1):190–207.
7. **Wang, R. și Weiner, S.** Human Root Dentin: Structural Anisotropy and Vickers Microhardness Isotropy. *Connect Tissue Res.* 1998, 39, pg. 269–279.
8. **Sofan E, Sofan A, Palaia G, Tenore G, Romeo U, and Migliau G.** Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. Jan-Mar 2017, pg. 1–17.
9. **Fusayama T., Nakamura M., Kurosaki N., Iwaku M.** Non-pressure adhesion of a new restorative resin. *J Dent Res* . 1979, 58, pg. 1364–1370.
10. **De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M.,** A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. 2005, 84, pg. 118-132.
11. **Manuja, N., Nagpal, R. și Pandit, I.K. ,,,** Dental Adhesion: Mechanism, Techniques and Durability. *J. Clin. Pediatr. Dent.* 2012, Vol. 36, pg. 223–234.
12. **Burrow, M.F., Satoh, M. și Tagami, J.** Dentin Bond Durability after Three Years Using a Dentin Bonding Agent with and without Priming. *Dent. Mater.* 1996, 12, pg. 302–307.
13. **Spencer, P., Wang, Y. și Bohaty, B.** Interfacial Chemistry of Moisture-Aged Class II Composite Restorations. *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.* 2006, 77, pg. 234–240.
14. **Gwinnett, A.J.** Dentin Bond Strength after Air Drying and Rewetting. *Am. J. Dent.* 1994, 7, pg. 144–148.
15. **Guo, X., și alții.** Effects of a Solubility Enhancer on Penetration of Hydrophobic Component in Model Adhesives into Wet Demineralized Dentin. *Dent. Mater.* 2007, 23, pg. 1473–1481.
16. **Nakabayashi, N., Kojima, K. și Masuhara, E.** The Promotion of Adhesion by the Infiltration of Monomers into Tooth Substrates. *J. Biomed. Mater. Res.* 1982, 16, pg. 265–273.
17. **Kugel Geroard, Ferrari Marco.** The science of bonding from first to sixth generation. 2007, pg. 1-4.

18. **J. Perdig, E. Araujo, R. Q. Ramos, G. Gomes, L. Pizzolotto.** Adhesive dentistry: Current concepts and clinical. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* . 2021.
19. **Sato T, Takagaki T, Hatayama T, Nikaido T and Tagami J.** Update on Enamel Bonding Strategies. 22 Jun 2021, Vol. 2, 2:666379.
20. **Ahmed, M.H., și alții.** Extra Bonding Layer Compensates Universal Adhesive's Thin Film Thickness. 2020, pg. 22,483–501.
21. **Rodrigues, S.B. et al.** Influence of Hydroxyethyl Acrylamide Addition to Dental Adhesive Resin. *Dent. Mater.* 2015, Vol. 31, pg. 1579–1586.
22. **Mar, Ahmed MH. Et al.** Acrylamide monomers in universal adhesives. *Dent Mater.* 3, 2023, Vol. 39, pg. 246-259.
23. **Swift, E.J., Perdigão, J. și Heymann, H.O.** Bonding to Enamel and Dentin: A Brief History and State of the Art. *Quintessence Int.* 1995, 26, pg. 95–110.
24. **S. Sismanoglu, Z. Yildirim-Bilmez, A. T. Gurcan&B. Gumustas.** Influence of application mode of universal adhesive on the surface morphology, elemental composition and bond strength of calcium silicate-based cements to composite resin: a SEM-EDX microanalysis study. *Journal of Adhesion Science and Technology.* 2022, Vol. 36, pg. 1833-1846.