

Universitatea Titu Maiorescu
Facultatea de Medicină Dentară
Școala Doctorală Medicină Dentară

**Studiu comparativ al fiabilității coroanelor primare
telescopate frezate din dioxid de zirconiu versus cobalt-
crom în reabilitarea orală**

REZUMAT

Doctorand:
Caroline Adela Ingrid FISCHER

Coordonator științific:
Prof. Univ. Dr. Doina Lucia GHERGIC

2022

CUPRINS

INTRODUCERE.....	3
CAPITOLUL I	4
SISTEMELE TELESCOPATE ÎN PROTETICA DENTARĂ	4
1.1 Aspecte generale.....	4
1.2 Modalități tehnice de obținere a sistemelor telescopate	4
1.2.1 Tehnica clasică de obținere a capelor sistemelor telescopate	4
1.2.2. Tehnica modernă de obținere a capelor sistemelor telescopate	4
CAPITOLUL II	5
BIOMATERIALE UTILIZATE PENTRU CONFEȚIONAREA RESTAURĂRILOR PROTETICE AMOVIBILE.....	5
2.1. Aspecte generale.....	5
2.2 Biomateriale metalice	5
2.3. Biomateriale ceramice	5
2.3.1. Dioxidul de zirconiu	5
CAPITOLUL III.....	6
METODE UTILIZATE PENTRU CARACTERIZAREA SISTEMELOR TELESCOPATE..	6
3.1. Analiza macroscopică.....	6
3.2. Analiza morfologică și compoziția elementală	6
3.3. Evaluarea <i>in vitro</i> a comportamentului mecanic al cuplelor telescopate	6
3.4. Evaluarea experimentală a comportamentului mecanic al cuplelor telescopate prin metoda elementelor finite	6
CAPITOLUL IV	7
STUDIUL STATISTIC RETROSPECTIV PRIVIND INCIDENȚA CONFEȚIONĂRII SISTEMELOR TELESCOPATE ÎN ROMÂNIA COMPARATIV CU ALTE ȚĂRI EUROPENE	7
4.1 Introducere.....	7
4.2 Material și metodă	7
4.3 Rezultate	7
4.4 Discuții.....	10
4.5 Concluzii.....	10
CAPITOLUL V.....	11

EVALUAREA <i>IN VITRO</i> A FORȚELOR DE RETENȚIE ALE COROANELOR TELESCOPATE DIN DIOXID DE ZIRCONIU VERSUS ALIAJ COBALT-CROM CU DIFERITE ANGULAȚII	11
5.1 Introducere.....	11
5.2 Material și metodă	11
5.3 Rezultate	16
5.4 Discuții.....	20
5.5 Concluzii.....	21
CAPITOLUL VI	22
EVALUAREA FORȚELOR DE RETENȚIE A SISTEMELOR TELESCOPATE LA DIFERITE ANGULAȚII UTILIZATE ÎN REABILITAREA ORALĂ CU AJUTORUL METODEI CU ELEMENTE FINITE.....	22
6.1. Introducere.....	22
6.2. Material și metodă	22
6.3 Rezultate	23
6.4 Discuții.....	29
6.5 Concluzii.....	30
CAPITOLUL VII	31
CONCLUZII GENERALE, ELEMENTE DE ORIGINALITATE ȘI PERSPECTIVE PE CARE LE DESCHIDE TEZA	31
Concluzii generale	31
Elemente de originalitate	32
Perspective.....	33
BIBLIOGRAFIE	34

INTRODUCERE

Sistemele telescopate sunt utilizate pentru fixarea protezelor dentare amovibile care sunt de obicei recomandate pacienților cu puțini dinți reziduali – sau care și-au pierdut dinții din cauza bolii parodontale, pacienților care au suferit tratament chirurgical (adică, pentru tumori maligne cranio-faciale) sau în cazuri de reducere a dimensiunii verticale ocluzale cauzată de uzura patologică a dinților. Acest sistem este considerat o opțiune de tratament ideală atunci când tratamentul protetic fix nu poate fi aplicat din cauza unei stări medicale generale compromise, nefavorabile.

Componentele unui sistem de coroane telescopate pot fi fabricate folosind tehnologii clasice sau neconvenționale (de exemplu, turnare, tehnologie de fabricare asistată de calculator sau tehnici de fabricație aditivă), rezultând diferențe în rugozitatea suprafeței și toleranțele dimensionale. Tehnologiile de proiectare asistată de calculator și de fabricare asistată de calculator (CAD/CAM) au crescut și diversificat foarte mult opțiunile de tratament disponibile clinicienilor, fiind capabili să producă forme foarte complexe.

Un prim obiectiv al tezei de doctorat a constat în identificarea incidenței utilizării sistemelor telescopate în practica stomatologică actuală din România versus alte țări Europene cu ajutorul unui studiu statistic retrospectiv.

Obiectivul principal al prezentei teze de doctorat a fost analizarea, prin intermediul unor încercări mecanice specifice, a forțelor de reținere corespunzătoare diferitelor sisteme telescopice; aceste sisteme au fost reprezentate de coroane primare pe bază de aliaj de cobalt-crom (Co-Cr) sau dioxid de zirconiu (ZrO_2) și coroane secundare din aliaj Co-Cr. Au fost evidențiate aspecte relevante privind evoluția forțelor de reținere ale sistemelor telescopice selectate pentru diferite seturi de cicluri mecanice la diferite perioade de timp. Suplimentar, a fost realizată o identificare a zonelor de contact dintre coroanele primare și secundare pentru a evidenția comportamentul sistemelor telescopice selectate.

Un alt obiectiv a fost reprezentat de evaluarea comparativă cu ajutorul metodei cu elemente finite (MEF) a forțelor de retenție ale sistemelor telescopate cu diferite angulații în funcție de materialele utilizate la realizarea elementelor componente (ZrO_2 și aliaj Co-Cr) în vederea validării rezultatelor obținute în cadrul testelor de laborator prin intermediul încercărilor mecanice specifice.

CAPITOLUL I

SISTEMELE TELESCOPATE ÎN PROTETICA DENTARĂ

1.1 Aspecte generale

Coroana telescopată a fost patentată de dr. J.B. Beers în 1873 [1]. Întâlnit în literatură sub denumirea de “**double crown technique**” [5–11], sistemul este alcătuit din 2 componente: o coroană primară, reprezentată de o **capă** adaptată cât mai precis pe un bont și agregată la acesta prin cimentare și o coroană secundară sau **coroană de înveliș** ce restaurează morfologia dentară, culisează pe capă și este solidarizată de restaurarea protetică în sine [12–17].

Sistemele telescopice pot fi coroane cilindrice, coroane conice, designuri reziliante sau designuri modificate. S-a constatat că în timp coroanele telescopate își pierd fricțiunea și au tendință de desprindere.

1.2 Modalități tehnice de obținere a sistemelor telescopate

Sistemele telescopate pot fi realizate prin tehnica clasică (turnare) sau prin tehnica modernă (CAD-CAM).

1.2.1 Tehnica clasică de obținere a capelor sistemelor telescopate

Metoda convențională de obținere a capelor prin turnare presupune mai multe etape clinico-tehnice: prepararea bontului dentar, amprentarea câmpului protetic, turnarea modelului de lucru, realizarea machetei capei, ambalarea machetei, turnarea propriu-zisă a aliajului metalic topit, dezambalarea, finisarea și lustruirea piesei protetice, proba pe bont, cimentarea coroanei primare, urmată de realizarea coroanei secundare.

1.2.2. Tehnica modernă de obținere a capelor sistemelor telescopate

Medicina dentară modernă a achiziționat o parte din noile procedee de proiectare și obținere a unor produse finite utilizând calculatorul (CAD/CAM), pentru a înlocui vechile tehnici de realizare a pieselor protetice cu scopul eliminării limitărilor pe care le aveau tehnologiile clasice.

Utilizarea fluxului digital în producerea restaurărilor protetice are o serie de beneficii semnificative, precum îmbunătățirea preciziei și a productivității [40], cu scăderea timpului scurs de la amprentare și până la fixarea pieselor protetice [47].

CAPITOLUL II

BIOMATERIALE UTILIZATE PENTRU CONFEȚIONAREA RESTAURĂRILOR PROTETICE AMOVIBILE

2.1. Aspecte generale

Fiecare protetician își adaptează practica clinică la noile descoperiri apărute în domeniu. Evaluarea cercetărilor actuale privind materialele utilizate în protetică este laborioasă și subiectivă [48–50].

Inițial, pentru confecționarea dinților artificiali s-au folosit dinți naturali (de origine umană sau animală, adaptați la forma și dimensiunea necesară), precum și materiale ca fildeșul sau porțelanul [52,53].

2.2 Biomateriale metalice

Aliajele metalice sunt utilizate pe scară largă în confecționarea restaurărilor protetice amovibile. Dar, aceste materiale nu prezintă un aspect estetic plăcut, se prelucrează destul de dificil și prezintă risc de a produce a unor reacții alergice [56].

Materialele care răspund actualmente cu succes cerințelor stomatologiei moderne sunt aliajele de aur, aliajele din Co-Cr și aliajele de titan [57].

2.3. Biomateriale ceramice

Ceramica are o gamă largă de aplicații în mai multe domenii, inclusiv în stomatologie, unde este utilizată pentru obținerea dinților artificiali, a coroanelor, punților dentare, fațetelor (Fig. 2.4) [55].

2.3.1. Dioxidul de zirconiu

Clinicienii și producătorii caută alternative mai puțin costisitoare, mai estetice și biocompatibile, care pot oferi o precizie similară și o retenție pe termen lung pentru supraprotezele cu agregare telescopată.

Într-un studiu clinic, care urmărea evoluția după 3 ani de utilizare a mai multor tipuri de proteze amovibile, modificările protezelor detașabile din dioxid de zirconiu au fost similare cu cele fabricate din aliaj cobalt-crom [80].

CAPITOLUL III

METODE UTILIZATE PENTRU CARACTERIZAREA SISTEMELOR TELESCOPATE

3.1. Analiza macroscopică

Examinarea macroscopică a materialelor poate fi utilizată pentru evaluarea calității acestora prin prisma caracteristicilor macrostructurale ale unei probe, precum porozitatea, incluziunile și fisurile macroscopice [87].

3.2. Analiza morfologică și compoziția elementală

Un microscop electronic de baleiaj (SEM) la care este cuplat și un spectrometru de raze X cu dispersie după energie (EDS) este principalul echipament utilizat pentru caracterizarea probelor din punct de vedere morfologic și compozițional. Microscopul electronic este un dispozitiv utilizat pentru obținerea unor imagini mărite ale probelor investigate care utilizează un fascicul de electroni, permițând astfel examinarea unor obiecte de dimensiuni foarte mici.

3.3. Evaluarea *in vitro* a comportamentului mecanic al cuplelor telescopate

Pentru a evalua comportamentul mecanic al sistemelor telescopate se recurge la simularea ciclurilor de desprindere și recuplare la care acestea sunt supuse zilnic pentru igienizare, prin folosirea unui dispozitiv de încercare la tracțiune. În cadrul acestei metode proba este prinsă la capete în bacurile unei mașini de încercare și asupra ei se aplică o forță de tracțiune [26].

3.4. Evaluarea experimentală a comportamentului mecanic al cuplelor telescopate prin metoda elementelor finite

Studiul tensiunii în restaurările protetice se poate estima prin diferite metode, cum ar fi măsurarea cu extensometrul, analiza tensiunii fotoelastice sau analiza cu elemente finite (FEA) [95,96].

FEA oferă informații calitative și cantitative 2D și 3D reproductibile neinvazive despre caracteristicile biomecanice ale protezelor dentare și ale structurilor de susținere, fără a fi nevoie de considerații etice în comparație cu alte metode experimentale [97–99].

CAPITOLUL IV

STUDIU STATISTIC RETROSPECTIV PRIVIND INCIDENȚA CONFEȚIONĂRII SISTEMELOR TELESCOPATE ÎN ROMÂNIA COMPARATIV CU ALTE ȚĂRI EUROPENE

4.1 Introducere

Sistemele telescopate pentru protezele parțial mobilizabile prezintă numeroase avantaje față de alte elemente de fixare/retenție cum ar fi sistemele magnetice, barele, sistemele O-ring, ce includ o deplasare mai redusă a protezelor, o igienizare mai facilă și durabilitate mecanică [12,103,104]. Sistemele telescopate necesită pentru fabricare proceduri complicate de laborator și o precizie ridicată [105]. De asemenea, sistemele telescopate reprezintă o opțiune viabilă și pentru sistemele implanto-portate [106–112].

Prezentul studiu statistic retrospectiv a avut drept **scop** decelarea incidenței utilizării sistemelor telescopate în practica stomatologică actuală din România versus alte țări Europene.

4.2 Material și metodă

Au fost analizate și prelucrate statistic un număr de 328 fișe de laborator din perioada 2017-2021 din baza de date a laboratorului de tehnică dentară *Dr. Fischer Dental Lab* din București, provenite de la 328 pacienți care au beneficiat de sisteme telescopate, confecționate pentru agregarea punților dentare, pentru restaurări protetice pe implanturi, pentru proteze acrilice sau proteze scheletate.

Din fișele de laborator au fost preluate informații despre: distribuția localizării sistemelor telescopate, distribuția după sexe, distribuția după vârsta pacienților, după sistemul telescopat utilizat (cilindric/conic), după materialul coroanei primare, distribuția pacienților pe țări, după tipul de restaurare protetică pentru care au fost confecționate sistemele telescopate și după grupa de vârstă la care s-a utilizat un anumit tip de restaurare protetică.

Datele preluate din fișele de laborator au fost introduse în Microsoft Excel și prelucrate statistic.

4.3 Rezultate

Din totalul de 328 pacienți, 167 au prezentat edentații maxilare, 140 edentații mandibulare și 21 edentații pe ambele arcade, care au fost protezate utilizând ca sisteme de agregare coroanele telescopate.

Lotul analizat a cuprins 163 pacienți de sex masculin și 165 pacienți de sex feminin.

Lotul de studiu a fost de asemenea analizat după grupa de vârstă (tabel 4.3, figura 4.3), dar și după vârstă, sex și localizarea edentației care a fost protezată utilizând ca elemente de agregare sistemele telescopate. Distribuția lotului studiat după vârstă, sex, dar și localizarea edentației este consemnată în figurile 4.5 și 4.6.

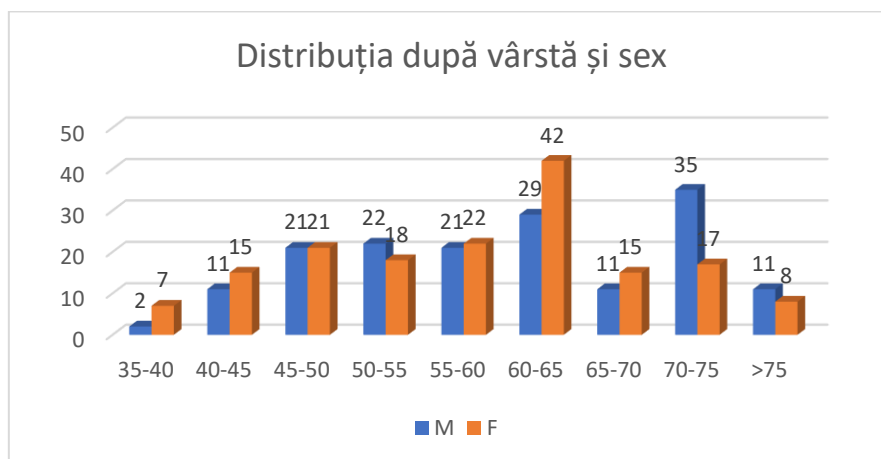


Fig. 4.5. Distribuția pacienților după vârstă și sex

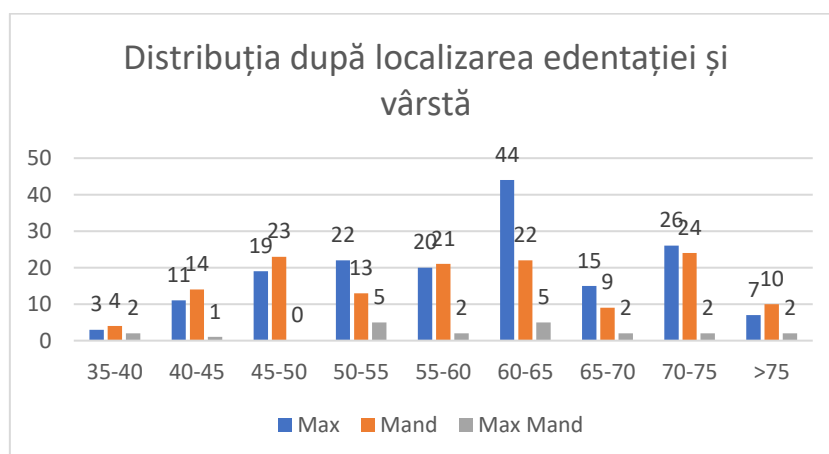


Fig. 4.6. Distribuția pacienților după localizarea edentației și vârstă

Clasificarea lotului studiat în funcție de tipul sistemelor telescopate utilizate este făcută în tabelul 4.6.

Tabel 4.6. Clasificarea lotului în funcție de tipurile de sisteme telescopate utilizate

Sistem	
Cilindric	Conic
321	7

Coroanele primare ale sistemelor telescopate luate în studiu au fost confecționate din aliaje de Co-Cr (287, reprezentând 88%), aliaj de titan (23, reprezentând 7%) sau dioxid de

zirconiū (18, reprezentând 5%), în timp ce coroanele secundare au fost confecționate exclusiv din aliaj Co-Cr. Distribuția pacienților pe țări este ilustrată în figura 4.9.

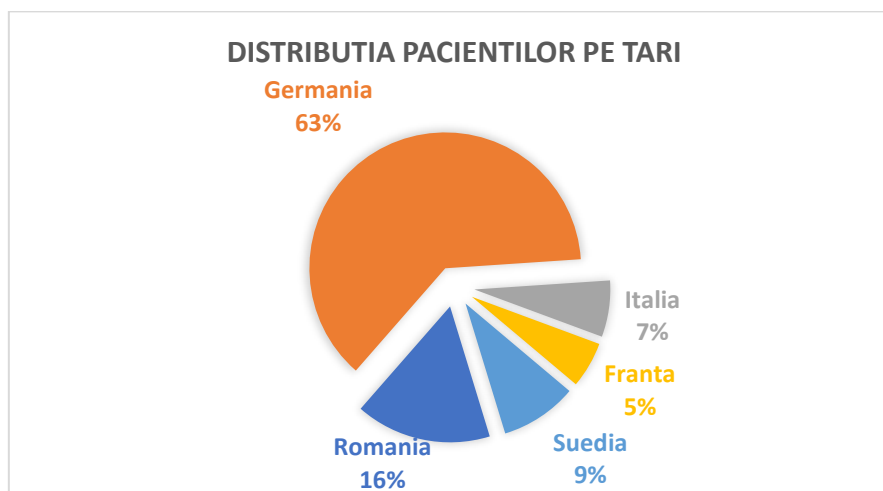


Fig. 4.9. Distribuția pacienților pe țări

Clasificarea sistemelor telescopate în funcție de tipul de proteză pentru agregarea căreia au fost confecționate este consemnată în tabelul 4.8.

Tabel 4.8. Clasificarea sistemelor telescopate în funcție de tipul de proteză pentru agregarea căreia au fost confecționate

Sistem telescopat utilizat pentru proteza acrilică	Sistem telescopat utilizat pentru proteza scheletată	Sistem telescopat utilizat pentru punte dentară	Sistem telescopat utilizat pentru restaurări pe implanturi
56	98	92	82
17%	30%	28%	25%

Clasificarea lotului în funcție de grupa de vârstă a pacienților și de tipul de restaurare protetică confecționată este consemnată în tabelul 4.9.

Tabel 4.9. Clasificarea lotului în funcție de grupa de vârstă a pacienților și de tipul de restaurare protetică confecționată

Distribuția după vârstă	Sistem telescopat utilizat pentru proteza acrilică	Sistem telescopat utilizat pentru proteza scheletată	Sistem telescopat utilizat pentru punte dentară	Sistem telescopat utilizat pentru restaurări pe implanturi
35-40	1	1	2	5
40-45	4	3	9	10
45-50	5	13	13	11

50-55	4	11	12	13
55-60	2	11	18	11
60-65	16	19	24	12
65-70	5	12	4	5
70-75	16	21	5	10
>75	3	6	5	5

4.4 Discuții

La lotul analizat, distribuția coroanelor telescopate a fost relativ egală în ceea ce privește arcadele edentate pentru care au fost confecționate, dar și în ceea ce privește sexul pacienților, cu un ușor avantaj pentru arcada maxilară și sexul feminin.

La lotul studiat s-au confecționat preponderent sisteme telescopate cilindrice (98% din cazuri), în concordanță cu alte studii din literatura de specialitate [14,113,118,119] care arată că scăderea unghiului de convergență a coroanelor telescopate va crește retenția sistemelor.

La lotul de studiu, coroanele primare au fost confecționate preponderent din aliaje de Co-Cr (88%) și mai rar din materiale studiate relativ recent în literatură în acest scop [5,7,120–124]. Pacienții din România s-au situat numeric pe locul 2 în ceea ce privește incidența confecționării sistemelor telescopate, după Germania, dar înaintea altor state Europene precum Suedia, Italia și Franța, prezentul studiu fiind primul din țara noastră care analizează comparativ frecvența utilizării sistemelor telescopate în practica stomatologică curentă față de alte state Europene.

Sistemele telescopate incluse în studiu au fost confecționate pentru proteze scheletate (30%), punți dentare (28%), restaurări pe implanturi (25%) sau proteze acrilice (17%).

4.5 Concluzii

- 1) În țara noastră, utilizarea sistemelor telescopate este relativ frecventă (16%) față de alte țări, România situându-se pe locul 2 din 5 state Europene pentru ai căror pacienți au fost confecționate respectivele sisteme de retenție.
- 2) Limitele prezentului studiu sunt date de lotul relativ redus de pacienți și de perioada scurtă luată în studiu.
- 3) Pentru validarea rezultatelor obținute este necesară extinderea studiului la un număr mai mare de laboratoare de tehnică dentară, pe o perioadă mai mare de timp și implicit pe un lot mai mare de pacienți.

CAPITOLUL V

EVALUAREA *IN VITRO* A FORTELOR DE RETENȚIE ALE COROANELOR TELESCOPATE DIN DIOXID DE ZIRCONIU VERSUS ALIAJ COBALT-CROM CU DIFERITE ANGULAȚII

5.1 Introducere

Sistemele telescopate pot fi confecționate din aliaje de aur, de titan, pe bază de Co-Cr, din dioxid de zirconiu (ZrO_2) sau polimeri [8,67,130–139], toate aceste materiale având durități diferite și coeficienți de frecare diferiți [140–142], cu rezistență variabilă la ciclurile de inserție-dezinsertie [143,144].

În general, coroana primară este confecționată dintr-un material mai dur, care prezintă o rezistență la uzură mai mare, iar coroana secundară este fabricată dintr-un material mai flexibil [7].

Prezentul studiu s-a desfășurat cu **scopul** de a evalua comparativ forțele de retenție ale sistemelor telescopate cu diferite angulații în mediu uscat în timp, în funcție de materialele utilizate la realizarea elementelor componente (ZrO_2 și aliaj Co-Cr).

5.2 Material și metodă

Materialele utilizate în realizarea sistemelor telescopate sunt dioxidul de zirconiu (ZrO_2) și un aliaj de cobalt-crom (Co-Cr), produse de firma NOVADENT, Germania, sub formă de discuri.

Obținerea sistemelor telescopate prin tehnica CAD/CAM

Sistemele telescopate utilizate în prezentul studiu experimental au fost confecționate prin tehnica CAD/CAM în laboratorul de tehnică dentară *Dr. Fischer Dental Lab* din București.

S-au realizat seturi de probe de coroane telescopate primare și secundare cu formă de canin superior drept (1.3), respectiv molar unu superior stâng (2.6), din următoarele materiale:

- Coroane primare/interne din aliaj cobalt-crom sau dioxid de zirconiu, cu o angulație de 0, respectiv 2 grade.
- Coroane secundare/externe din aliaj cobalt-crom.

În etapa CAD (Computer Aided Design), scanarea modelului corespunzător situației clinice pe care a fost bazat acest studiu a fost realizată cu Scannerul D850 aparținând producătorului 3Shape.

În urma scanării modelului de lucru este necesară verificarea acurateții scanării. După această verificare urmează editarea propriu-zisă a viitorului telescop intern, care constă în prima fază în stabilirea axului de inserție a telescopului intern pe bontul dentar și delimitarea limitei viitorului telescop intern.

În această fază trebuie de asemenea setat spațiul virtual care este necesar pentru materialul de fixare a viitorului telescop intern pe bontul protetic, respectiv grosimea viitorului strat de ciment. Programul generează automat telescopul intern în forma sa primară.

Următorul pas constă în stabilirea înclinării pereților telescopului intern. În această fază am ales gradul de înclinare al acestor pereți de 0° , respectiv 2° .

Tot în această etapă putem stabili existența și tipul pragului telescopului intern. Pragul telescopului intern a fost ales în studiul nostru de formă circulară. Funcția pragului în acest caz a constat în delimitarea unei curse clare a coroanei telescopate externe, deoarece în urma eventualei dispariții a fricțiunii dintre cei doi pereți, deplasarea să fie bine stabilită până la această limită. Un alt motiv pentru alegerea acestui tip de prag circular este faptul că acolo vor fi fixați pini de susținere în disc în vederea frezării.

Pentru a ajunge la aceste setări standard este necesară o experiență obținută în timp și practic fiecare tehnician și le personalizează, deoarece software-ul utilizat oferă o multitudine de variante de setări care pot fi aplicate și la cazuri mai speciale.

La final, proiectul este salvat și automat se generează un fișier în format STL corespunzător lucrării respective. Acest format face parte din limbajul de comunicare Software dintre CAD și CAM și este necesar pentru editarea CAM. Este necesar doar transferul acestui fișier STL și nu al întregului proiect în programul de editare CAM.

Fișierul în format STL a fost importat în programul Millbox de la CIM Systems în vederea editării procesului de frezare, care s-a realizat cu mașina de frezat Imes Icore 350i. În acest sens a fost necesară poziționarea virtuală a telescopului intern în discul care urma a fi frezat. Strategia de frezare se setează automat în funcție de tipul lucrării selectate. Strategia de frezare reprezintă totalitatea informațiilor care sunt necesare mașinii de frezat în funcție de axele X, Y și Z. Aceste axe se referă la mișcările efectuate de freză în plan tridimensional. Înălțimea telescopului și înclinarea sa sunt importante în alegerea discului virtual corespunzător.

În urma alegerii discului este necesară fixarea virtuală a telescopului intern cu ajutorul pinilor de susținere. Acești pini de susținere în cazul nostru au fost poziționați pe acel prag circular definit și nu pe pereții telescopului, pentru a nu modifica modelajul virtual efectuat anterior.

Odată finalizat procesul de frezare, tehnicianul dentar a îndepărtat discul din suportul mașinii și a început procesul de tăiere a pinilor de susținere a telescoapelor interne din disc.

Pentru a obține orice restaurare protetică din dioxid de zirconiu este necesară sinterizarea acesteia în cuptoare speciale, destinate acestui material. Este important de specificat că ceramica din ZrO_2 înainte de acest proces este supradimensionată cu un coeficient de aproximativ 19-20%, deoarece în urma procesului de sinterizare are loc o contracție echivalentă cu acesta.

Restaurările din ZrO_2 se așază pentru sinterizat într-un recipient special conceput să reziste la temperaturi înalte (peste 1500°). Acest recipient conține un strat de particule sferice ceramice care sunt foarte importante pentru o sinterizare corectă.

Etapile pentru obținerea componentei externe a sistemului telescopat rămân în principal aceleași ca pentru telescopul intern, cu precizarea că de această dată trebuie scanat și telescopul intern pe modelul de lucru. În acest caz a fost necesară exportarea și importarea scanărilor în programul Exocad unde a urmat editarea virtuală a telescopului extern. Scanarea telescopului intern s-a efectuat și în această etapă cu ajutorul Scannerului D850 aparținând producătorului 3Shape.

Scanările rezultate au fost importate în softul Exocad. În acest proces trebuiesc parcurse următoarele etape:

- a) Poziționarea modelului de lucru
- b) Stabilirea liniei de colet
- c) Stabilirea direcției de inserție a telescopului extern pe cel intern
- d) Stabilirea spațiului virtual diferențiat pe zone
- e) Selectarea coroanei din librăria Exocad
- f) Modelarea și finisarea virtuală a coroanei
- g) Salvarea lucrării cu obținerea fișierului STL pentru etapa de frezare.

Procesul de frezare este același cu cel de obținere a telescoapelor interne descris anterior, cu diferența că toate probele au fost frezate în studiul nostru în discuri din aliaj de cobalt-crom.

În urma procedurilor CAD / CAM au fost realizate 120 de exemplare de sisteme telescopate, acestea fiind clasificate în 8 categorii diferite, în funcție de forma coroanelor

(dintele 1.3 sau 2.6), de materialul utilizat pentru obținerea coroanei primare și de unghiul de fricțiune. Codificarea sistemelor este prezentată în tabelul 5.2.

Tabel 5.2. Codificarea sistemelor telescopate obținute

Dinte 1.3, coroană primară din aliaj cobalt-crom, unghi de 0°	13-CC-0
Dinte 1.3, coroană primară din aliaj cobalt-crom, unghi de 2°	13-CC-2
Dinte 1.3, coroană primară din dioxid de zirconiu, unghi de 0°	13-CZ-0
Dinte 1.3, coroană primară din dioxid de zirconiu, unghi de 2°	13-CZ-2
Dinte 2.6, coroană primară din aliaj cobalt-crom, unghi de 0°	26-CC-0
Dinte 2.6, coroană primară din aliaj cobalt-crom, unghi de 2°	26-CC-2
Dinte 2.6, coroană primară din dioxid de zirconiu, unghi de 0°	26-CZ-0
Dinte 2.6, coroană primară din dioxid de zirconiu, unghi de 2°	26-CC-2

Prima etapă de investigare efectuată asupra sistemelor telescopate ulterior obținerii a fost analizarea lor macroscopică prin fotografierea, cu ajutorul unui aparat foto profesional cu obiectiv de tip macro, a suprafețelor de interes ale coroanelor sistemului telescopat. Astfel din fiecare dintre cele opt categorii a fost aleasă aleatoriu câte o probă ce a fost studiată, urmărindu-se dacă prezintă imperfecțiuni apărute ulterior sau chiar în timpul procesului de prelucrare CAM.

În *a doua etapă a studiului*, cele 8 coroane alese aleator au fost investigate din punct de vedere al compoziției elementale și a morfologiei suprafeței cu ajutorul unui microscop electronic de baleiaj – SEM dotat cu un spectometru cu dispersie după energie – EDS (model Phenom ProX, producator PhenomWorld, Olanda).

În *a treia etapă de investigare*, sistemele telescopate au fost evaluate din punct de vedere mecanic, pentru a simula ciclurile de desprindere și recuplare a acestora, întâlnite în timpul uzului zilnic ulterior montării sistemului telescopat în reabilitările orale protetice. A fost estimat că un pacient efectuează un singur astfel de ciclu pe zi. De aceea, fiecare dintre cele 8 categorii de sisteme telescopate clasificate anterior, fiecare având câte 15 exemplare identice, au fost la rândul lor împărțite în alte 5 grupuri de câte 3 probe, pentru a simula perioade de timp de utilizare, prezentate în tabelul 5.3.

Tabel 5.3. Codificarea probelor în vederea efectuării testelor mecanice

Probă	Număr de cicluri
1-A, 1-B, 1-C	30
3-A, 3-B, 3-C	90

6-A, 6-B, 6-C	180
9-A, 9-B, 9-C	270
12-A, 12-B, 12-C	360

Cele 5 grupuri au simulat efectul ciclurilor de desprindere și recuplare a sistemelor, pentru o lună, 3 luni, 6 luni, 9 luni și 12 luni.

În vederea testării mecanice a sistemelor telescopate, acestea au trecut printr-o etapă de pregătire în vederea investigațiilor. În cadrul acestei etape, pentru a putea fi fixate în bacurile aparatului de încercare, probelor le-au fost atașate câte două tije subțiri din cupru ($\Phi = 2,5\text{mm}$), una pe partea inferioară a coroanei primare și una pe partea superioară a coroanei secundare. Această atașare a fost realizată cu ajutorul unei rășini epoxidice.

Un aspect foarte important al fixării tijelor a fost ca acestea să se afle pe același ax, pentru a evita apariția unor sarcini nedorite în timpul testelor mecanice și pentru a obține valori cât mai precise ale forțelor de retenție.

Testele mecanice au fost efectuate cu ajutorul echipamentului de tracțiune Lloyd LRX Plus (Ametek). Fiecare probă a fost testată individual, iar tijele probei au fost prinse în bacurile aparatului de tracțiune Lloyd LRX Plus într-o poziție verticală.

În funcție de proba testată, s-a efectuat un număr de 30, 90, 180, 270 sau 360 de cicluri. Pentru a putea înregistra forțele dorite, deplasarea efectuată în cadrul fiecărui ciclu în vederea desprinderii telescoapelor a fost de 2 mm și viteza utilizată a fost de 18 cicluri/min.

Înregistrarea forțelor de-a lungul efectuării testelor a fost realizată cu ajutorul unui soft numit NEXYGEN Plus. Cu ajutorul softului au fost setate numărul de cicluri, distanța de deplasare și viteza cu care au fost realizate toate ciclurile. Rezultatele testului sunt afișate de către softul NEXYGEN Plus în timp real sub forma unui grafic în coordonate timp – forță.

Datele obținute sunt exportate la finalul fiecărui test într-un fișier text sub forma unui tabel, din cadrul căruia se pot extrage valorile dorite. Valorile extrase au fost cele ale forțelor de retenție înregistrate la începutul testului și cele înregistrate la final după efectuarea numărului de cicluri prestabilit.

În a patra etapă de investigare, după ce probele au fost supuse testelor mecanice de tracțiune, acestea au fost analizate din nou microscopic pentru a studia urmele de uzură ce apar în urma ciclurilor efectuate.

Au fost obținute imagini macroscopice a 40 de sisteme telescopate, alese aleator câte una din fiecare tip (cele 8 menționate anterior) pentru fiecare din cele 5 seturi de cicluri de tracțiune efectuate (30, 90, 180, 280, 360). Suprafețele obținute în aceste imagini macroscopice

În imaginile SEM din fig. 5.26 se pot observa zone specifice procesului de sablare la care au fost supuse coroanele, prin urme produse pe suprafață de către particulele utilizate la sablare.

În fig 5.27 se regăesc imagini SEM ale suprafeței unei coroane din dioxid de zirconiu, în care se pot observa urmele zgârieturilor produse prin frezare în timpul prelucrării coroanei.

Compoziția elementală a aliajului Co-Cr folosit la obținerea atât a coroanelor primare cât și a celor secundare, obținută cu ajutorul EDS, este prezentată în tabelul 5.4.

Tabel 5.4. Compoziția elementală a aliajului Co-Cr

Numărul atomic al elementului	Simbolulchimic al elementului	Numele elementului	Procente atomice [%at]	Procente masice [%wt]
27	Co	Cobalt	44,37	49,96
24	Cr	Crom	20,98	20,84
74	W	Wolfram	4,35	15,29
8	O	Oxigen	19,52	5,96
13	Al	Aluminiu	6,39	3,30
42	Mo	Molibden	1,46	2,67
14	Si	Siliciu	2,59	1,39
40	Zr	Zirconiu	0,34	0,60

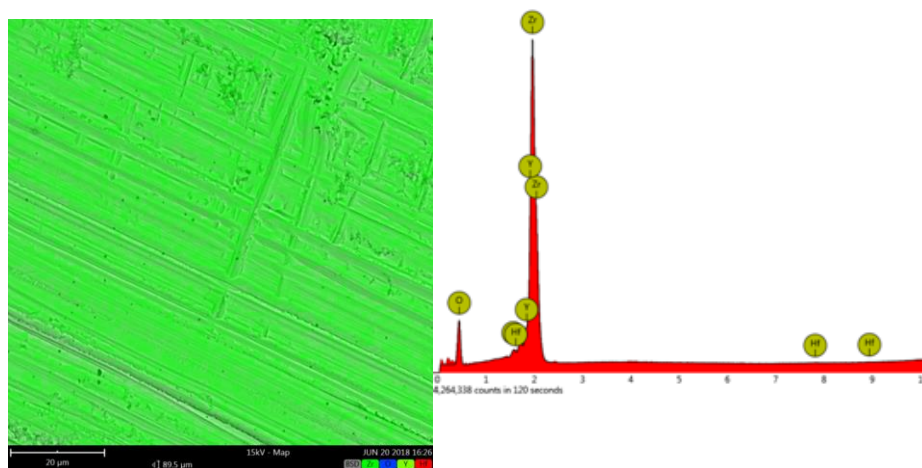


Fig. 5.29. Distribuția elementelor chimice componente (stânga) și spectrul EDS (dreapta) corespunzătoare unei coroane din ZrO_2

Compoziția elementală a zirconiei (ZrO_2) utilizată la confecționarea conoanelor primare, obținută cu ajutorul EDS, este prezentată în tabelul 5.5, iar o imagine cu distribuția elementelor chimice componente, dar și a spectrului EDS corespunzător se regăsește în figura 5.29.

Tabel 5.5. Compoziția elementală a ZrO_2 [121]

Numărul atomic al elementului	Simbolul elementului	Numele elementului	Procente atomice [%at]	Procente masice [%wt]
40	Zr	Zirconiu	37,71	72,43
8	O	Oxigen	58,52	19,71
39	Y	Ytriu	3,34	6,25
72	Hf	Hafniu	0,43	1,61

A treia etapă de investigare – evaluarea in vitro a forțelor de desprindere a elementelor componente din cuplele telescopate prin teste mecanice

În urma interpretării rezultatelor obținute, au fost calculate valorile medii ale fiecărui eșantion format din trei probe identice (A, B, C) testate la același număr de cicluri și deviațiile standard ale acestora. Astfel a fost obținut tabelul 5.6, pe baza căruia au fost create două grafice, unul pentru sistemele aferente dintelui 1.3 și unul pentru dintelui 2.6, reprezentate în fig. 5.30 și 5.31.

Tabel 5.6. Forțele de retenție ale sistemelor telescopate în urma testelor mecanice [121]

Proba	Forțe de retenție [N]					
	Primul ciclu	După 1 lună	După 3 luni	După 6 luni	După 9 luni	După 12 luni
13 - CC - 0°	1,90 ± 0,51	2,38 ± 0,44	3,12 ± 0,38	2,34 ± 0,64	2,83 ± 0,55	1,38 ± 0,19
13 - CC - 2°	1,60 ± 0,36	1,74 ± 0,24	0,98 ± 0,27	1,47 ± 0,69	1,49 ± 0,67	1,51 ± 0,71
13 - CZ - 0°	5,92 ± 0,35	6,55 ± 0,61	4,84 ± 0,18	4,58 ± 0,36	4,65 ± 0,55	3,71 ± 0,58
13 - CZ - 2°	4,52 ± 0,62	4,04 ± 0,84	2,87 ± 0,77	3,47 ± 0,72	1,69 ± 0,68	2,10 ± 0,61
26 - CC - 0°	2,73 ± 0,67	3,00 ± 0,61	3,14 ± 0,31	2,48 ± 0,72	5,12 ± 0,58	5,26 ± 0,62
26 - CC - 2°	1,40 ± 0,42	1,32 ± 0,34	1,68 ± 0,32	2,34 ± 0,23	2,15 ± 0,44	2,42 ± 0,22
26 - CZ - 0°	3,82 ± 0,38	3,31 ± 0,44	3,33 ± 0,52	3,26 ± 0,67	3,52 ± 0,46	5,98 ± 0,45
26 - CZ - 2°	3,01 ± 0,22	2,89 ± 0,41	3,40 ± 0,16	3,85 ± 0,28	2,72 ± 0,22	3,51 ± 0,39

Din valorile înregistrate în urma testelor mecanice se poate observa în cazul sistemului telescopat al dintelui 1.3 la unghiul de 2° că valorile inițiale ale forței de retenție sunt mai mici decât în cazul celui de 0° indiferent de materialul din care este realizată coroana primară. Aceeași observație se poate face și în cazul sistemului telescopat al dintelui 2.6.

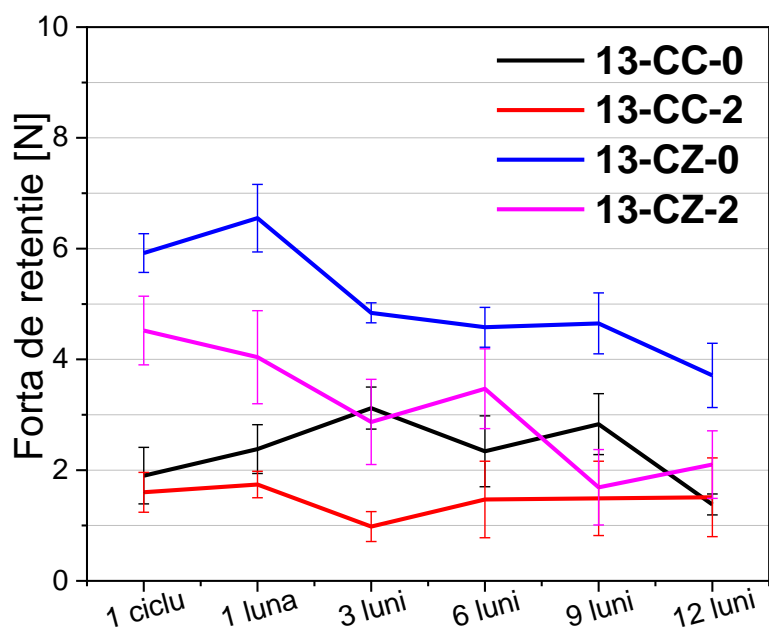


Fig. 5.30. Evoluția forțelor de retenție aferente sistemului telescopat din poziția 1.3

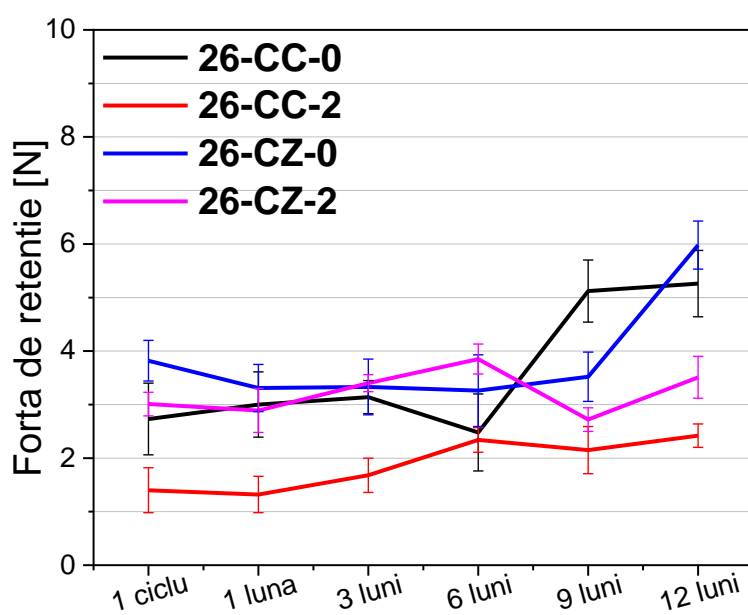


Fig. 5.31. Evoluția forțelor de retenție aferente sistemului telescopat din poziția 2.6

A patra etapă de investigație – analiza microscopică a suprafețelor după efectuarea testelor mecanice

În urma primului set de cicluri (30) au apărut foarte puține diferențe, prin prezența unor mici zgârieturi. Urme de uzare evidente nu au fost identificate nici în urma efectuării celui de-al doilea set de cicluri (90).

Odată cu efectuarea numărului de cicluri corespunzătoare perioadei de 6 luni (180) urmele lăsate pe suprafața coroanelor încep să fie evidente, același fenomen fiind întâlnit și pentru sistemele încercate cu 270 cicluri (corespunzătoare unei perioade de 9 luni).

Imaginile macroscopice ale suprafețelor coroanelor sistemelor telescopate supuse testelor mecanice corespunzătoare unei perioade de 12 luni (360 de cicluri) prezintă defecte sub forma unor zgârieturi pe suprafețe mari și cu adâncimi mai mari decât ale coroanelor testate la un număr mai mic de cicluri.

5.4 Discuții

Examinarea vizuală inițială a suprafețelor coroanelor telescopate nu a evidențiat defecte de fabricație. În cadrul procesului de sablare a coroanelor din aliaj de Co-Cr au fost utilizate particule de alumina (Al_2O_3), fapt ce explică prezența aluminiului și a oxigenului în compoziția elementală a acestora. În tabelul 5.4 se remarcă și prezența unei cantități reduse de zirconiu, ce se datorează cel mai probabil utilizării în cadrul procesului de prelucrare a aceleiași freze ce a fost utilizată anterior pentru prelucrarea coroanelor din dioxid de zirconiu. Restul elementelor identificate prin analiza EDS sunt cele corespunzătoare aliajului Co-Cr menționate de producător în fișa tehnică.

În ceea ce privește piesele protetice frezate din discuri de dioxid de zirconiu, analiza efectuată la microscopul electronic a relevat o compoziție similară celei din fișa tehnică a produsului.

În urma analizei rezultatelor forțelor de retenție înregistrate pentru sistemele telescopate se poate spune că acestea întrunesc valorile minime necesare dictate de necesitățile clinice și care se situează, conform literaturii de specialitate [14,26,91,147,148] între 2-7 N.

Din diferențele vizibile între valorile obținute în cadrul testelor mecanice reiese că forma sistemului telescopat (din punct de vedere anatomic dictat de forma dintelui) joacă, de asemenea, un rol important în comportamentul acestuia în timp, sistemele fiind afectate în moduri diferite de uzură [121]. Valorile forțelor pentru dintele 1.3 scad după realizarea celor 360 de cicluri, în timp ce pentru dintele 2.6 acestea cresc indiferent de unghiul la care sistemul telescopat a fost construit. Fluctuațiile forțelor de retenție înregistrate în timpul realizării testelor se datorează probabil produșilor de uzură apăruiți în urma fenomenului de frecare, formarea unor noi micro-zone de contact sau modificarea/dispariția celor existente între componentele sistemului telescopat. În cazul molarului, punctele de fricțiune prin care se realizează cuplarea se transformă în timp în suprafețe de frecare ce necesită o forță mai mare

pentru separarea celor două coroane, spre deosebire de canin, unde zonele de contact sunt mai mici.

Retenția sistemelor telescopate este influențată de conicitatea pereților, fiind necesare forțe mai mari pentru detașarea sistemelor cu unghi de 0° atât inițial, cât și după 360 cicluri. Această constatare este în concordanță cu alte studii [14,113,149,150].

După Langer [15,151], efortul de compresiune în sistemele telescopate este indus de coroana primară, iar forța de compresiune este cu atât mai mică cu cât unghiul este mai mare între coroana primară și cea secundară.

Urmele de uzură diferă nu numai din punct de vedere al numărului de cicluri, dar și din cel al materialului din care sunt fabricate coroanele primare. Sistemele telescopate cu coroane primare din dioxid de zirconiu prezintă, în general, un număr de urme mai mic și dimensiuni mai reduse, poziționate mai ales în treimea ocluzală a pereților laterali, față de cele care au în componență coroane primare din Co-Cr, unde se regăsesc urme vizibile pe toată suprafața pereților laterali.

5.5 Concluzii

1) Toate sistemele telescopate evaluate au înregistrat valori ale forței de retenție cuprinse între 2 și 7 N, favorabile utilizării clinice.

2) Forțele de retenție corespunzătoare sistemelor telescopate în care coroana primară este din dioxid de zirconiu au înregistrat cele mai mari valori comparativ cu cele corespunzătoare sistemelor telescopate cu coroane primare din aliaj de Co-Cr. În plus, evoluția forțelor de retenție și a rezistenței la uzură în timpul celor 360 de cicluri (reprezentând echivalentul unui an de utilizare a sistemului) este favorabilă tot coroanelor primare din dioxid de zirconiu.

3) Pentru toate sistemele telescopate studiate s-a evidențiat faptul că prin utilizarea unui unghi de conicitate de 2° forța de retenție scade, indiferent de materialele utilizate pentru confecționarea coroanei primare. Prin folosirea unui unghi de conicitate de 0° , care este cunoscut a fi ideal, se obține un sistem telescopat mai eficient și mai fiabil.

4) Investigarea ulterioară a acestor aspecte necesită coroborarea cu studii de urmărire intraorală, evaluându-se clinic forța de retenție în timp combinată cu monitorizarea nivelului de satisfacție a pacientului.

5) Studiul de față poate deschide noi perspective în ceea ce privește selectarea biomaterialelor care pot fi utilizate pentru confecționarea sistemelor telescopate.

CAPITOLUL VI

EVALUAREA FORTELOR DE RETENȚIE A SISTEMELOR TELESCOPATE LA DIFERITE ANGULAȚII UTILIZATE ÎN REABILITAREA ORALĂ CU AJUTORUL METODEI CU ELEMENTE FINITE

6.1. Introducere

Analizele prin MEF se utilizează în prezent tot mai frecvent în studiile efectuate în domeniul medicinei dentare pentru simularea comportamentului diferitelor materiale și a variatelor dispozitive utilizate pentru restaurarea directă sau indirectă a funcțiilor aparatului dento-maxilar [99,159–183].

Scopul prezentului studiu a fost acela de a evalua prin MEF forțele de desprindere ale sistemelor telescopate cu diferite angulații și confecționate din materiale diferite (dioxid de zirconiu – ZrO_2 și aliaj Co-Cr) și compararea valorilor obținute cu cele înregistrate în cazul studiului experimental *in vitro* prezentat în Capitolul 5.

6.2. Material și metodă

Modelele utilizate în simularea desprinderilor sistemelor telescopate la diferite angulații utilizate în reabilitarea orală cu ajutorul metodei cu elemente finite (MEF) sunt similare cu cele folosite în evaluarea *in vitro* a forțelor de retenție a coroanelor telescopate, iar modalitatea lor de obținere este descrisă în subcapitolul 5.2. Codificarea sistemelor supuse încercărilor cu ajutorul metodei cu elemente finite se regăsește în tabelul de mai jos (tabel 6.1).

Tabel 6.1. Codificarea sistemelor telescopate și materialele utilizate în cadrul analizei prin MEF

Dinte	Sistem telescopat — Material coroană		Unghi	Codificare sistem
	Coroană secundară (SC)	Coroană primară (PC)		
1.3	Co-Cr	Co-Cr	0°	13-CC-0
			2°	13-CC-2
		ZrO_2	0°	13-CZ-0
			2°	13-CZ-2
2.6	Co-Cr	Co-Cr	0°	26-CC-0
			2°	26-CC-2
		ZrO_2	0°	26-CZ-0
			2°	26-CZ-2

Forțele de retenție au fost evaluate cu ajutorul metodei cu elemente finite, folosind software-ul Ansys. Astfel, pentru analiza forțelor de retenție de către Ansys, trebuie inițial selectat elementul finit pentru discretizare.

Elementele finite utilizate în simulare

Discretizarea modelelor a fost efectuată folosind elementul finit SOLID 187, utilizat pentru discretizarea modelelor solide simulate. Dimensiunea laturii unui element a fost impusă la valoarea de 0.3 mm, astfel încât să se poată obține un optim al discretizării [158].

Alte două elemente finite utilizate în simulare sunt CONTA174 și TARGE170, folosite pentru a simula contactul dintre două corpuri solide ce interacționează între ele.

Pentru a putea fi simulat modelul din format STL trebuie convertit în model solid 3D. Acest lucru se realizează prin importul și conversia acestui model de tip suprafețe (STL) în model geometric 3D.

Distanța de deplasare a coronei secundare fost setată la 2 mm pentru toate sistemele telescopate analizate cu ajutorul MEF în prezentul studiu, în timp ce coroanele primare au fost considerate într-o poziție fixă.

Pentru toate materialele utilizate în simulări s-a apreciat ca acestea sunt materiale liniar-elastice și izotrope pe baza a două constante, și anume modulul de elasticitate și coeficientul Poisson. În tabelul 6.2 se regăsesc proprietățile materialelor utilizate în simulări.

Tabel 6.2. Proprietățile materialelor utilizate în cadrul simulărilor

Material	Modulul de elasticitate (GPa)	Coeficientul Poisson
ZrO₂	200	0,30
Co-Cr	241	0,30

Studiul s-a desfășurat în cadrul Facultății de Inginerie Industrială și Robotică din cadrul Universității Politehnica din București, cu sprijinul cadrelor didactice și cercetătorilor din Departamentul Rezistența Materialelor.

6.3 Rezultate

Sistemul 13-CC-0

În urma procesului de discretizare au rezultat 64381 de noduri și 36088 elemente.

Modul de aplicare al deplasării impuse de 2 mm este prezentat în figura 6.11.

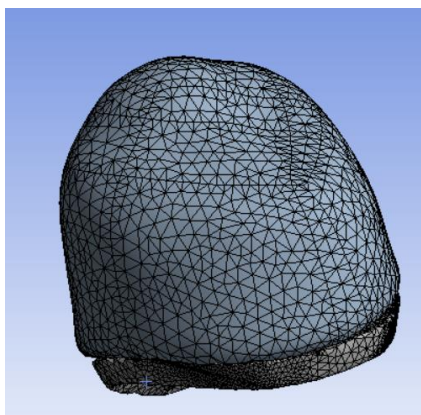


Fig. 6.10. Modul de discretizare al ansamblului

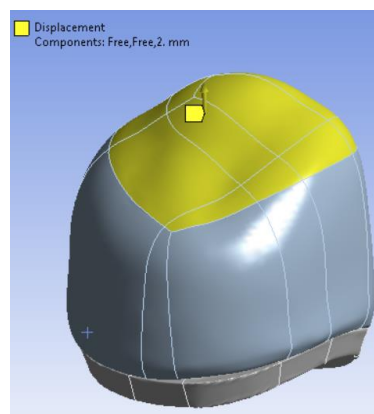


Fig. 6.11. Suprafețele pe care s-a aplicat deplasarea impusă

În urma simulării a rezultat o forță de 1,99 N, această forță a apărut ca urmare a separării celor două componente.

Starea de tensiune în coroana primară a avut valoarea maximă de 360,44 MPa într-un nod, restul componenteii nefiind sollicitată foarte mult.

Starea de tensiune în coroana secundară a avut valoarea maximă de 220,66 MPa, localizată într-un nod, și corespunde separării celor două componente.

Sistemul 13-CC-2

În urma discretizării au rezultat 33899 de noduri și 18581 elemente. Modul de aplicare al deplasării impuse de 2 mm este prezentat în figura 6.16.

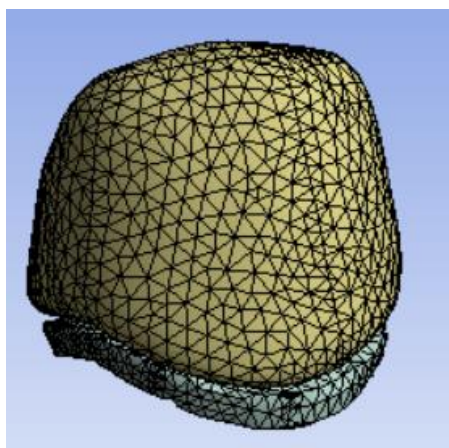


Fig. 6.15. Modelul discretizat al ansamblului

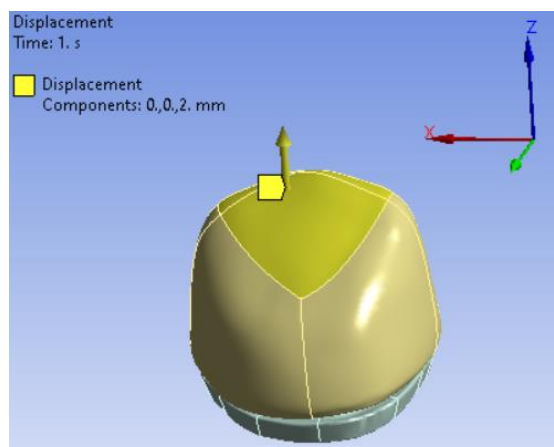


Fig. 6.16. Suprafețele pe care s-a aplicat deplasarea impusă

În urma simulării a rezultat o forță de 1,625 N, această forță a apărut ca urmare a separării celor două componente.

Starea de tensiune în coroana primară a avut valoarea maximă de 77,933 MPa într-un nod, restul componentei nefiind solicitată foarte mult.

Starea de tensiune în coroana secundară a avut valoarea maximă de 567,63 MPa tot într-un nod și corespunde separării celor două componente.

Sistemul 13-CZ-0

În urma discretizării au rezultat 64381 de noduri și 36088 elemente. Evoluția în timp a forței ca urmare a impunerii deplasării este prezentată în figura 6.23, valoarea maximă este de 5,5216 N.

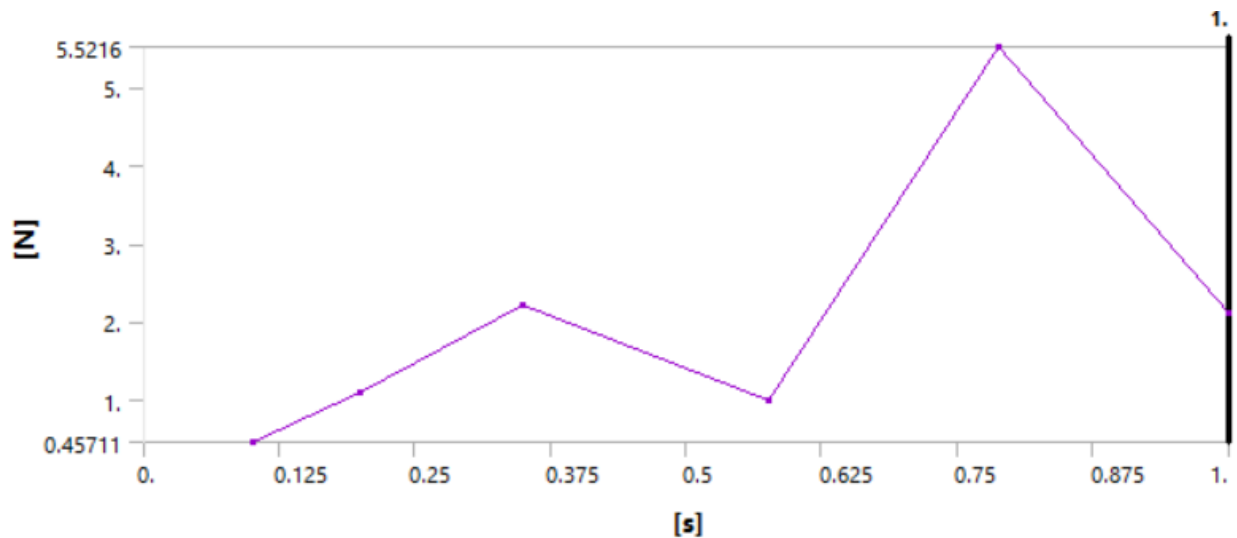


Fig. 6.23. Evoluția în timp a forței

Starea de tensiune în coroana primară cu valoarea maximă de 300,62 MPa este localizată într-un nod, în rest componenta nu este solicitată. Starea de tensiune în coroana secundară este cu valoarea maximă de 385,53 MPa, fiind localizată este tot într-un nod, situat la contactul cu coroana primară. Componenta în rest nu este solicitată foarte mult.

Sistemul 13-CZ-2

Discretizarea modelului este prezentată în figura 6.26, în urma discretizării au rezultat 33899 de noduri și 18581 elemente. Modul de aplicare al deplasării impuse de 2 mm este prezentat în figura 6.27. Modul de simulare a prinderii prin aplicarea blocajelor este prezentat în figura 6.28. În urma simulării a rezultat o forță de 4,895 N, ce a apărut ca urmare a separării celor două componente. Starea de tensiune în coroana primară este prezentat în figura 6.29, valoarea maximă de 207,34 MPa se atinge într-un nod, restul componentei nefiind solicitată foarte mult. Starea de tensiune în coroana secundară este prezentată în figura 6.30. Valoarea

maximă este de 95,903 MPa și corespunde separării celor două componente. Această valoare nu pune în pericol integritatea structurală a componentei.

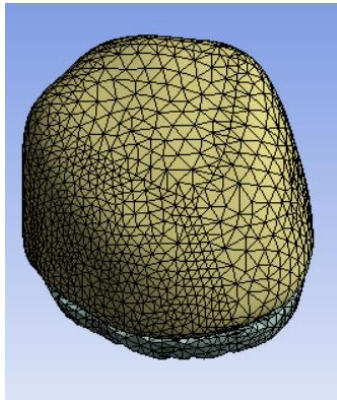


Fig. 6.26. Modul de discretizare al ansamblului

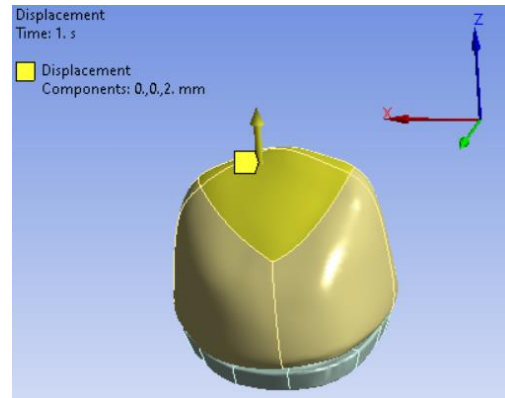


Fig. 6.27. Suprafețele pe care s-a aplicat deplasarea impusă

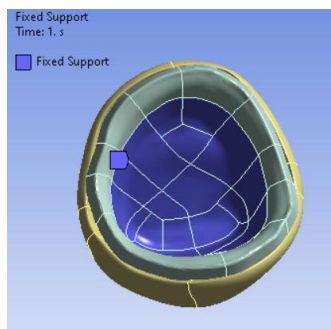


Fig. 6.28. Suprafețele pe care s-a aplicat blocajul pentru a simula prinderea

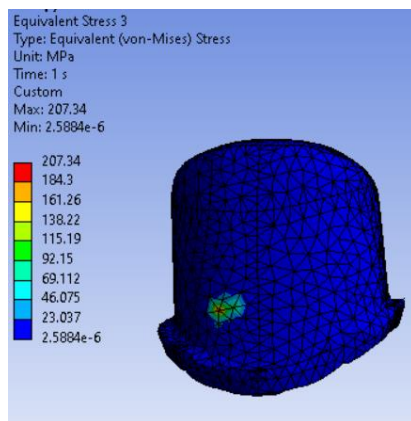


Fig. 6.29. Starea de tensiune în coroana primară

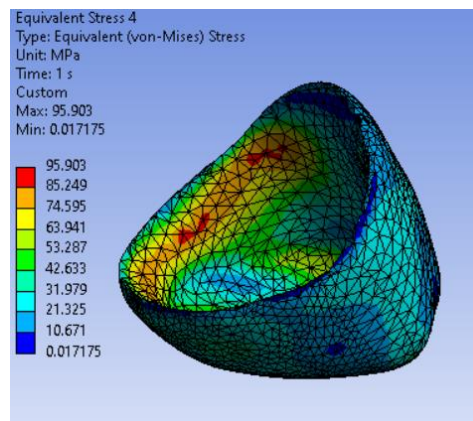


Fig. 6.30. Starea de tensiune în coroana secundară

Sistemul 26-CC-0

În urma discretizării au rezultat 24697 de noduri și 13186 elemente. În urma simulării a rezultat o forță de 2,915 N, această forță a apărut ca urmare a separării celor două componente.

Starea de tensiune în coroana primară este prezentat în figura 6.34, valoarea maximă de 10,516 MPa se atinge într-un nod, restul componente nefiind sollicitată foarte mult.

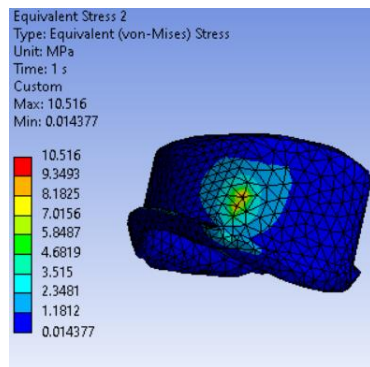


Fig. 6.34 Starea de tensiune în coroana primară

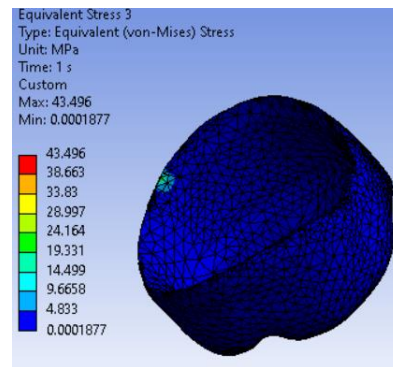


Fig. 6.35. Starea de tensiune în coroana secundară

Starea de tensiune în coroana secundară este prezentată în figura 6.35, valoarea maximă este de 43,496 MPa se atinge într-un nod, restul componente nefiind sollicitată foarte mult.

Sistemul 26-CC-2

În urma simulării a rezultat o forță de 4,29 N, această forță a apărut ca urmare a separării celor două componente. Starea de tensiune în coroana primară a avut valoarea maximă de 3,1027 MPa într-un nod, restul componente nefiind sollicitată foarte mult. Starea de tensiune în coroana secundară cu valoarea maximă de 10,932 MPa se atinge într-un nod, restul componente nefiind sollicitată foarte mult.

Sistemul 26-CZ-0

În urma simulării a rezultat o forță de 4,895 N, această forță a apărut ca urmare a separării celor două componente. Starea de tensiune în coroana primară a avut valoarea maximă de 15,72 MPa atinsă într-un nod, restul componente nefiind sollicitată foarte mult.

Starea de tensiune în coroana secundară a avut valoarea maximă de 22,802 MPa într-un se atinge într-un nod, restul componente nefiind sollicitată foarte mult.

Sistemul 26-CZ-2

În urma discretizării au rezultat 49435 de noduri și 27501 elemente. În urma simulării a rezultat o forță de 3,11 N, această forță a apărut ca urmare a separării celor două componente.

Starea de tensiune în coroana primară a avut valoarea maximă de 2,6204 MPa ce s-a atins într-un nod, restul componente nefiind sollicitată foarte mult. Starea de tensiune în coroana

secundară a avut valoarea maximă de 3,2298 MPa care corespunde separării celor două componente iar această valoare nu pune în pericol integritatea structurală a componentei.

În Tabelul 6.3 sunt prezentate numărul de noduri și elemente obținute în urma discretizării fiecărui model împreună cu solicitarea von-Mises și forța de retenție obținută pe fiecare coroană primară și secundară în urma efectuării simulărilor.

Tabel 6.3. Informații despre nodurile și elementele din modelele cu elemente finite, împreună cu valorile maxime ale tensiunilor și valorile forțelor de retenție

Sistem telescopat	Metoda elementelor finite - MEF				
	Nr. de noduri	Nr. de elemente	Forță maxima SC (MPa)	Forță maxima PC (MPa)	Forța de retenție (N)
13-CC-0	64381	36088	360,44	220,66	1,99
13-CC-2	33899	18581	567,63	77,93	1,63
13-CZ-0	64381	36088	385,53	300,62	5,52
13-CZ-2	33899	18581	95,90	207,34	4,90
26-CC-0	24697	13186	43,50	10,52	2,92
26-CC-2	49435	27501	10,93	3,10	4,29
26-CZ-0	24697	13186	22,80	15,72	4,90
26-CZ-2	49435	27501	3,23	2,62	3,11

Rezultatele obținute în urma analizelor MEF [184] au fost comparate cu cele obținute experimental prin teste mecanice [121] și au fost calculate și erorile între aceste rezultate conform ecuației 8 iar rezultatele se găsesc în tabelul 6.4.

$$Eroare = \frac{Forță\ retenție_{experimental} - Forță\ retenție_{MEF}}{Forță\ retenție_{MEF}} \cdot 100 [\%] \quad (8)$$

Tabel 6.4. Forțele de retenție obținute experimental și cele cu ajutorul MEF și erorile dintre acestea

Sistem telescopat	Forță de retenție		Eroare [%]
	Experimental	MEF	
13-CC-0	1,90	1,99	4,52
13-CC-2	1,60	1,63	1,54
13-CZ-0	5,92	5,52	-7,25
13-CZ-2	4,52	4,90	7,66
26-CC-0	2,73	2,92	6,35
26-CC-2	1,40	1,42	1,06

26-CZ-0	3,82	4,29	10,96
26-CZ-2	3,01	3,11	3,22

Pentru o comparație mai facilă a forțelor de retenție obținute experimental și cu ajutorul metodei cu elemente finite a fost construită o reprezentare grafică a acestora, care este prezentată în figura 6.51.

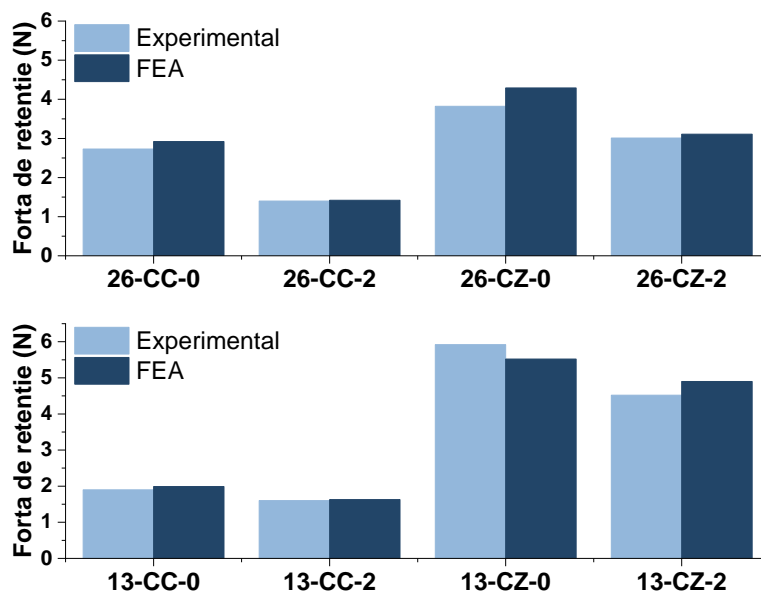


Fig. 6.51. Forțele de retenție obținute experimental și cu ajutorul metodei elementelor finite

6.4 Discuții

Analizând valorile maxime ale tensiunilor obținute pentru coroana secundară și primară a fiecărui sistem telescopic, se poate observa că s-au obținut valori mai mari atunci când unghiul de conicitate a fost de 0° , indiferent de materialul luat în considerare pentru fiecare componentă a sistemului, în concordanță cu un studiu care a concluzionat că în cazul coroanelor telescopate conicitatea ar trebui să fie mai mică de 2° pentru utilizarea cu succes pe termen lung [22], dar și cu alte studii care au apreciat că forța de retenție dintre coroanele telescopate crește la scăderea conicității [15,24,150,185,186].

Având în vedere criteriile von Mises, se poate afirma că atât coroana primară cât și cea secundară a fiecărui sistem telescopic analizat în acest studiu au înregistrat valori care se găsesc în limitele de siguranță, ceea ce indică faptul ca materialele propuse pot fi folosite cu succes la fabricarea sistemelor protetice telescopate. Mai mult, rezultatele valorilor tensiunilor von Mises relevă faptul că zonele de concentrare maximă ale tensiunilor au fost situate în regiunea ocluzală

a coroanelor, fiind obținute valori mai mari pentru coroana secundară, comparativ cu cele obținute pentru coroana primară, indicând o adaptare corespunzătoare între cele două componente.

Conform rezultatelor obținute se poate observa că sistemele telescopate din Co-Cr și ZrO₂ au avut forțele de retenție mai mari decât cele în care ambele componente au fost realizate din Co-Cr. Din punct de vedere al tipului de dinte, forțele de retenție au fost mai mari pentru dintele 1.3 decât pentru dintele 2.6.

Întrucât analiza cu elemente finite este o metodă aproximativă, se poate considera că erorile obținute și prezentate în Tabelul 6.4, satisfac rigorile studiului efectuat [187–189]. Astfel, valorile forțelor de retenție obținute prin metoda numerică au validat valorile obținute experimental în Capitolul 5, indicând faptul că metoda MEF este o resursă de încredere [190] care poate fi folosită înainte de efectuarea testelor experimentale propriu-zise pentru a reduce utilizarea materialelor și timpul de producție, pentru a evalua comportamentul și pentru a stabili dacă designul și/sau materialele selectate sunt adecvate pentru a îndeplini specificațiile clinice.

6.5 Concluzii

1. Analiza cu elemente finite este un instrument de încredere, ce poate oferi informații valoroase care pot îmbunătăți procesul de fabricare în ceea ce privește selecția corectă a materialelor sau a proiectării pentru a obține cele mai bune rezultate.

2. Rezultatele obținute în acest studiu indică faptul că forțele de retenție obținute prin metoda elementelor finite sunt similare cu cele obținute experimental, prin teste mecanice, care au indicat că sistemele telescopice în care coroana primară a fost realizată din dioxid de zirconiu sunt mai indicate pentru sistemele telescopice în care coroana primară a fost confecționată din aliaj de Co-Cr, datorită valorilor de retenție înregistrate mai mari.

3. În studiul prezent, analizele numerice efectuate prin MEF au relevat că o conicitate de 0° a sistemelor telescopate este de preferat, indiferent de materialul din care sunt confecționate coroanele primare și secundare.

4. Sistemele analizate au fost stabile în condițiile prezentului studiu, încadrându-se în limitele de siguranță având în vedere criteriile von Mises.

5. Forțele de retenție înregistrate au fost mai mari pentru dintele cu suprafață mai mică, dar cu înălțime mai mare.

6. Atât pentru canin, cât și pentru molarul unu, zonele de concentrare maximă a tensiunilor au fost situate în regiunea ocluzală, fiind obținute valori mai mari pentru coroana secundară, comparativ cu cele obținute pentru coroana primară.

CAPITOLUL VII

CONCLUZII GENERALE, ELEMENTE DE ORIGINALITATE ȘI PERSPECTIVE PE CARE LE DESCHIDE TEZA

În urma studiilor efectuate în prezenta teză de doctorat referitoare la studierea comparativă a fiabilității coroanelor primare telescopate frezate din dioxid de zirconiu (ZrO_2) și aliaj Co-Cr în reabilitarea orală începute printr-un studiu statistic privind incidența confecționării sistemelor telescopate în România versus alte țări Europene, continuate apoi prin evaluarea *in vitro* a forțelor de retenție a coroanelor telescopate fabricate din dioxid de zirconiu și aliaj Co-Cr la diferite angulații și urmate apoi de evaluarea forțelor de retenție ale acestor sisteme cu ajutorul metodei cu elemente finite, o multitudine de concluzii, elemente de originalitate și perspective, se pot evidenția.

Concluzii generale

După efectuarea studiului statistic cu privire la incidența confecționării sistemelor telescopate în cadrul unui laborator de tehnică dentară pentru pacienți din România versus alte state Europene, se pot evidenția următoarele concluzii:

- Utilizarea sistemelor telescopate ca elemente de agregare pentru diferite tipuri de restaurări protetice indirecte este relativ frecventă în România (16%) comparativ cu alte state Europene precum Suedia, Italia sau Franța. Pe primul loc se situează Germania cu 63% din cazuri.
- Perioada relativ redusă luată în studiu și numărul mic de fișe analizate din cadrul unui singur laborator de tehnică dentară constituie limitări ale prezentului studiu.
- Validarea rezultatelor obținute va fi posibilă prin includerea în studiu a bazei de date a mai multor laboratoare de tehnică dentară, pentru o perioadă mai mare de timp.

Evaluarea *in vitro* a forțelor de retenție ale coroanelor telescopate fabricate din dioxid de zirconiu și aliaj Co-Cr la diferite angulații a scos în evidență faptul că:

- Forțele de retenție corespunzătoare sistemelor telescopate în care coroana primară este din dioxid de zirconiu au înregistrat cele mai mari valori comparativ

cu cele corespunzătoare sistemelor telescopate cu coroane primare din aliaj de Co–Cr;

- Evoluția forțelor de retenție și a rezistenței la uzare în timpul celor 360 de cicluri este favorabilă sistemelor telescopate ale căror coroane primare sunt fabricate din dioxid de zirconiu;
- Este recomandabilă fabricarea coroanelor telescopate cilindrice, unghiul de conicitate de 0° dovedindu-se experimental a fi mai eficient și mai fiabil;
- Toate sistemele telescopate evaluate au înregistrat valori ale forței de retenție favorabile utilizării clinice, cuprinse între 2 și 7 N.

În urma utilizării metodei cu element finit pentru evaluarea forțelor de retenție a sistemelor telescopate la diferite unghiuri utilizate în reabilitarea orală următoarele concluzii pot fi evidențiate:

- Cele mai mari valori ale tensiunilor elementelor componente ale sistemelor telescopate studiate au fost înregistrate în cazul în care unghiul de conicitate a fost de 0° , indiferent de materialul din care au fost confecționate;
- Valorilor tensiunilor von Mises relevă faptul că zonele de concentrare maximă ale tensiunilor au fost situate în regiunea ocluzală, fiind obținute valori mai mari pentru coroana secundară, comparativ cu cele obținute pentru coroana primară;
- Sistemele telescopate din Co-Cr și ZrO₂ au înregistrat forțe de retenție mai mari decât cele în care ambele componente au fost realizate din Co-Cr;
- Rezultatele obținute în acest studiu indică faptul că forțele de retenție obținute prin metoda elementelor finite sunt similare cu cele obținute experimental, prin teste mecanice, care au indicat că sistemele telescopice în care coroana primară a fost realizată din dioxid de zirconiu sunt mai potrivite pentru restaurarea dentară decât cele din aliaj Co-Cr.

Elemente de originalitate

- Realizarea unui studiu statistic retrospectiv privind incidența confecționării sistemelor telescopate utilizând datele dintr-un cabinet de tehnică dentară ce deservește cabinete ale unor medici a căror activitate se desfășoară în zone geografice diferite (Germania, Italia, Franța, Suedia, România) din Europa;
- Studiul de față deschide noi perspective în ceea ce privește selectarea biomaterialelor care pot fi utilizate pentru confecționarea componentelor sistemelor telescopate;

- Realizarea unui protocol de laborator propriu cu privire la selecția echipamentelor și materialelor utilizate la confecționarea eșantioanelor experimentale astfel încât rezultatele obținute în urma testelor mecanice de evaluare a forțelor de retenție să nu fie alterate;
- Selectarea metodei cu element finit pentru evaluarea forțelor de retenție a sistemelor telescopate selectate și obținerea unor rezultate comparabile cu cele rezultate experimental, cu ajutorul testelor mecanice, demonstrează ca această metodă poate fi un instrument de încredere, ce poate oferi informații valoroase care pot îmbunătăți procesul de fabricare în ceea ce privește selecția corectă a materialelor și/sau al proiectării pentru a obține sisteme telescopate ce satisfac cerințele clinice;
- Rezultatele obținute în prezenta Teză de doctorat, publicate în reviste indexate/cotate ISI și prezentate în cadrul unor conferințe internaționale, poate conduce la familiarizarea sistemelor telescopate atât în rândul medicilor cât și al pacienților și astfel la folosirea lor mai des în cadrul confecționării unor dispozitive medicale utilizate în reabilitarea orală.

Perspective

- Investigarea ulterioară a sistemelor telescopate coroborate cu studii de urmărire intraorală, evaluându-se clinic forța de retenție în timp combinată cu monitorizarea nivelului de satisfacție a pacientului;
- Extinderea perioadei de evaluare a forțelor de retenție cu ajutorul testelor mecanice a sistemelor telescopate;
- Utilizarea de biomateriale noi la fabricarea sistemelor telescopate în vederea îmbunătățirii fiabilității acestora.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Reitz PV., Weiner MG, Levin B. An overdenture survey: Preliminary report. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1977; 37: 246-258.
- [5] Dąbrowa T, Weisło A, Majstrzyk W, *et. al.* Adhesion as a component of retention force of overdenture prostheses-study on selected Au based dental materials used for telescopic crowns using atomic force microscopy and contact angle techniques. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2021; 121: 104648.
- [6] Goguta L, Lungeanu D, Negru R, *et. al.* Selective Laser Sintering versus Selective Laser Melting and Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing in Double Crowns Retention. *Journal of Prosthodontic Research* 2021; 65: JPOR_2019_556
- [7] Schimmel M, Walther M, Al-Haj Husain N, *et. al.* Retention forces between primary and secondary CAD/CAM manufactured telescopic crowns: an in vitro comparison of common material combinations. *Clinical Oral Investigations* 2021; 25: 6297-6307.
- [8] Arnold C, Schweyen R, Boeckler A, *et. al.* Retention Force of Removable Partial Dentures with CAD-CAM-Fabricated Telescopic Crowns. *Materials* 2020; 13: 3228.
- [9] Hong S-J, Kwon K-R, Jang E-Y, *et. al.* A novel retentive type of dental implant prosthesis: marginal fitness of the cementless double crown type implant prosthesis evaluated by bacterial penetration and viability. *The Journal of Advanced Prosthodontics* 2020; 12: 233.
- [10] Lian M, Zhao K, Feng Y, *et. al.* Prognosis of Combining Remaining Teeth and Implants in Double-Crown–Retained Removable Dental Prostheses: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 2018; 33: 281-297.
- [11] Seo J-G, Cho J-H. Clinical outcomes of rigid and non-rigid telescopic double-crown-retained removable dental prostheses: An analytical review. *The Journal of Advanced Prosthodontics* 2020; 12: 38.
- [12] Langer Y, Langer A. Tooth-supported telescopic prostheses in compromised dentitions: A clinical report. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2000; 84: 129-132.
- [13] Dabrowa Tomasz, Panek Halina, Napadlek Piotr. 8–Year Clinical Observation of Telescopic Anchors Applied in Removable Dentures - Case Report 8–letnie obserwacje kliniczne zaczepów teleskopowych zastosowanych w protezach ruchomych - opis przypadku. *Dent Med Probl* 2007; 44: 520-524.
- [14] Stančić I, Jelenković A. Retention of telescopic denture in elderly patients with maximum partially edentulous arch. *Gerodontology* 2008; 25: 162-167.
- [15] Langer A. Telescope retainers and their clinical application. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1980; 44: 516-522.

- [16] Langer A. Telescope retainers for removable partial dentures. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1981; 45: 37-43.
- [17] Shiba A. The Conical Double-Crown Telescopic Removable Periodontic Prosthesis. 2nd ed. Tokyo: St. Louis : Ishiyaku EuroAmerica,; 1993.
- [22] Ohkawa S, Okane H, Nagasawa T, *et. al.*. Changes in retention of various telescope crown assemblies over long-term use. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1990; 64: 153-158.
- [24] Hakkoum MA, Wazir G. Telescopic Denture. *The Open Dentistry Journal* 2018; 12: 246-254.
- [26] Minagi S, Natsuaki N, Nishigawa G, *et. al.* New telescopic crown design for removable partial dentures. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1999; 81: 684-688.
- [40] Belli R, Scherrer SS, Lohbauer U. Report on fractures of trilayered all-ceramic fixed dental prostheses. *Case Studies in Engineering Failure Analysis* 2016; 7: 71-79.
- [47] Bankoğlu G, Güngör M, Karakoca Nemli S. Fracture resistance of CAD-CAM monolithic ceramic and veneered zirconia molar crowns after aging in a mastication simulator. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2018; 119: 473-480.
- [48] Kaku M. Prosthodontics: A multidisciplinary field in dentistry. *Journal of Prosthodontic Research* 2016; 60: 143-144.
- [49] Carlsson GE, Omar R. The future of complete dentures in oral rehabilitation. A critical review. *Journal of Oral Rehabilitation* 2010; 37: 143-156.
- [50] Tanimoto Y. Dental materials used for metal-free restorations: Recent advances and future challenges. *Journal of Prosthodontic Research* 2015; 59: 213-215
- [52] Manapallil J. Basic Dental Materials. 4th ed. New Delhi, India: Jaypee Brothers Medical Pub; 2015.
- [53] Ladha K, Verma M. 19th century denture base materials revisited. *J Hist Dent* 2011; 59: 1-11
- [55] Saeed F, Muhammad N, Khan AS, *et. al.* Prosthodontics dental materials: From conventional to unconventional. *Materials Science and Engineering: C* 2020; 106: 110167
- [56] Peng T-Y, Ogawa Y, Akebono H, *et. al.* Finite-element analysis and optimization of the mechanical properties of polyetheretherketone (PEEK) clasps for removable partial dentures. *Journal of Prosthodontic Research* 2020; 64: 250-256
- [57] Srivastava SK, Ghosh (Pal) B. Metallic biomaterials for dental implant systems. In Preetha Balakrishnan, Sreekala M S, Sabu Thomas, eds. *Fundamental Biomaterials: Metals*. Duxford, UK: Elsevier, 2018; 111-137.
- [67] Farawati F al, Nakaparksin P. What is the Optimal Material for Implant Prosthesis? *Dental Clinics of North America* 2019; 63: 515-530.

- [80] Uz MM, Karakaş Aydınoglu A, Hazar Yoruç AB. Effects of binder and compression strength on molding parameters of dental ceramic blocks. *Ceramics International* 2020; 46: 10186-10193
- [87] Boukhalifa C. Sulfate removal from aqueous solutions by hydrous iron oxide in the presence of heavy metals and competitive anions. *Desalination* 2010; 250: 428-432
- [91] Özyemişci-Cebeci N, Yavuziyilmaz H. Comparison of the effects of friction varnish and electroforming on the retention of telescopic crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2013; 109: 392-396.
- [95] Tribst JPM, Dal Piva AM de O, Borges ALS. Biomechanical tools to study dental implants: A literature review. *Brazilian Dental Science* 2016; 19: 5-11.
- [96] Pesqueira AA, Goiato MC, Filho HG, *et. al.* Use of Stress Analysis Methods to Evaluate the Biomechanics of Oral Rehabilitation With Implants. *Journal of Oral Implantology* 2014; 40: 217-228.
- [97] Hsu M-L, Chang C-L. Application of Finite Element Analysis in Dentistry. In Moratal D, ed. *Finite Element Analysis*. London: In Tech Open, 2010; 44-60.
- [98] Mousa M, Jamayet N, Lynch E, *et. al.* Biomechanical stress in removable complete dental prostheses: a narrative review of finite element studies. *Journal of International Oral Health* 2020; 12: 413.
- [99] Mousa MA, Abdullah JY, Jamayet NB, *et. al.* Biomechanics in Removable Partial Dentures: A Literature Review of FEA-Based Studies. *BioMed Research International* 2021; 2021: 1-16.
- [103] Igarashi Y, Ogata A, Kuroiwa A, *et. al.* Stress distribution and abutment tooth mobility of distal-extension removable partial dentures with different retainers: an in vivo study. *Journal of Oral Rehabilitation* 1999; 26: 111-116.
- [104] Igarashi Y, Goto T. Ten-year follow-up study of conical crown-retained dentures. *Int J Prosthodont* 1997; 10: 149-155.
- [105] Kiyama M, Shiba A. Studies on Retentive Force of Conical Telescopic Double-Crown. Part 1. Retentive Force of Conical Telescopic Double-Crown Related to Materials and Taper Angle and Height of Cone and Load. *Nihon Hotetsu Shika Gakkai Zasshi* 1994; 38: 1252-1264.
- [106] Heckmann SM, Heckmann JG, Linke JJ, *et. al.* Implant Therapy Following Liver Transplantation: Clinical and Microbiological Results After 10 Years. *Journal of Periodontology* 2004; 75: 909-913.
- [107] Hoffmann O, Beaumont C, Tatakis DN, *et. al.* Telescopic Crowns as Attachments for Implant Supported Restorations: A Case Series. *Journal of Oral Implantology* 2006; 32: 291-299.
- [108] Greven B, Luepke M, von Dorsche SH. Telescoping implant prostheses with intraoral luted galvano mesostructures to improve passive fit. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2007; 98: 239-244.

- [109] Heckmann SM, Wichmann MG, Winter W, *et. al.* Overdenture attachment selection and the loading of implant and denture-bearing area. Part 1: In vivo verification of stereolithographic model. *Clinical Oral Implants Research* 2001; 12: 617-623.
- [110] Heckmann SM, Wichmann MG, Winter W, *et. al.* Overdenture attachment selection and the loading of implant and denture-bearing area. Part 2: A methodical study using five types of attachment. *Clinical Oral Implants Research* 2001; 12: 640-647.
- [111] Eitner S, Schlegel A, Emeka N, *et. al.* Comparing bar and double-crown attachments in implant-retained prosthetic reconstruction: a follow-up investigation. *Clinical Oral Implants Research* 2008; 19: 530-537.
- [112] Preiskel HW, Tsolka P. Telescopic prostheses for implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998; 13: 352-357.
- [113] Bayer S, Stark H, Mues S, *et. al.* Retention force measurement of telescopic crowns. *Clinical Oral Investigations* 2010; 14: 607-611.
- [118] Enaba lamis. In vitro retention overall pull-off force of telescopic crowns made from two different materials at three taper angles. *Egyptian Dental Journal* 2022; 68: 831-838.
- [119] Merk S, Wagner C, Stock V, *et. al.* Suitability of secondary PEEK telescopic crowns on zirconia primary crowns: The influence of fabrication method and taper. *Materials* 2016; 9.
- [120] Nakamura M, Tanaka A, Tasaka A, *et. al.* Comparison of retentive forces between telescopic crowns made of poly(ether ether ketone) and type 4 gold alloy. *Dental Materials Journal* 2021; 40: 129-135.
- [121] **Fischer CAI, Ghergic DL, Vranceanu DM, *et. al.* Assessment of force retention between milled metallic and ceramic telescopic crowns with different taper angles used for oral rehabilitation. *Materials* 2020; 13: 1-16.**
- [122] Yoshikawa Y, Torii K, Tanaka M. Influence of the number of insertions and removals of telescopic zirconia/alumina crowns on retentive force and settling. *Dental Materials Journal* 2019; 38: 671-677.
- [123] Lee W-T, Chen Y-C. Digitally Fabricated Dentures for Full Mouth Rehabilitation with Zirconia, Polyetheretherketone and Selective Laser Melted Ti-6Al-4V Material. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022; 19: 3021.
- [124] Wagner C, Stock V, Merk S, *et. al.* Retention Load of Telescopic Crowns with Different Taper Angles between Cobalt-Chromium and Polyetheretherketone Made with Three Different Manufacturing Processes Examined by Pull-Off Test. *Journal of Prosthodontics* 2018; 27: 162-168.
- [130] Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, *et. al.* All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dental Materials* 2015; 31: 603-623.
- [131] Roach M. Base Metal Alloys Used for Dental Restorations and Implants. *Dental Clinics of North America* 2007; 51: 603-627.

- [132] Dragus L, Ghergic DL, Comaneanu RM, *et. al.* In vitro Comparative Tests About the Biocompatibility of Some Dental Alloys. *Revista de Chimie* 2019; 70: 610-613.
- [133] Bosinceanu DG, Sandu IG, Baci ER, *et. al.* Clinical Use of a New Polymer in Complete Dentures Fabrication. II. *Materiale Plastice* 2018; 55: 704-707.
- [134] Osman R, Swain M. A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia. *Materials* 2015; 8: 932-958.
- [135] Bhasin S, Perwez E, Sachdeva S, *et. al.* Trends in prosthetic biomaterials in implant dentistry. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization* 2015; 7: 148.
- [136] Vitti RP, Catelan A, Amaral M, *et. al.* Zirconium in dentistry. In Khurshid Z, Najeeb S, Zafar MS *et. al.*, eds. *Advanced Dental Biomaterials*. 1st Editio. United Kingdom: Elsevier, 2019; 317-345.
- [137] Tsoi JKH. Ceramic materials in dentistry. In Khurshid Z, Najeeb S, Zafar MS *et. al.*, eds. *Advanced Dental Biomaterials*. 1st Editio. Woodhead Publishing Limited, 2019; 55-78.
- [138] Rokaya D, Srimaneepong V, Sapkota J, *et. al.* Polymeric materials and films in dentistry: An overview. *Journal of Advanced Research* 2018; 14: 25-34.
- [139] Nishihara H, Haro Adanez M, Att W. Current status of zirconia implants in dentistry: preclinical tests. *Journal of Prosthodontic Research* 2019; 63: 1-14.
- [140] Sulong MZAM, Aziz RA. Wear of materials used in dentistry: A review of the literature. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1990; 63: 342-349.
- [141] Heintze SD, Reichl F-X, Hickel R. Wear of dental materials: Clinical significance and laboratory wear simulation methods —A review. *Dental Materials Journal* 2019; 38: 343-353.
- [142] Hussein M, Mohammed A, Al-Aqeeli N. Wear Characteristics of Metallic Biomaterials: A Review. *Materials* 2015; 8: 2749-2768.
- [143] Yi YJ, Cho LR, Park CJ. Cause of technical failures of conical crown-retained denture (CCRD): a clinical report. *The Journal of Korean Academy of Prosthodontics* 2003; 41: 714-719.
- [144] Arnold C, Hey J, Setz JM, *et. al.* Retention force of removable partial dentures with different double crowns. *Clinical Oral Investigations* 2018; 22: 1641-1649.
- [147] Majcher A, Leśniewska-Kochanek A, Mierzwińska-Nastalska E. A method and a device for the evaluation of the retention of telescopic dental crowns. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2017; 69: 362-367.
- [148] Singh AV, Ansari MHD, Rosenkranz D, *et. al.* Artificial Intelligence and Machine Learning in Computational Nanotoxicology: Unlocking and Empowering Nanomedicine. *Advanced Healthcare Materials* 2020; 9: 1901862.
- [149] Aranda Yus E, Cantarell JMA, Miñarro Alonso A. Comparison of the marginal fit of milled yttrium stabilized zirconium dioxide crowns obtained by scanning silicone

- impressions and by scanning stone replicas. *The Journal of Advanced Prosthodontics* 2018; 10: 236.
- [150] Bayer S, Zuziak W, Kraus D, *et. al.* Conical crowns with electroplated gold copings: retention force changes caused by wear and combined off-axial load. *Clinical Oral Implants Research* 2011; 22: 323-329.
- [151] Langer A. Combinations of diverse retainers in removable partial dentures. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1978; 40: 378-384.
- [158] ***, ANSYS, User Manual.
- [159] Hamed HA, Marzook HA, Ghoneem NE, *et. al.* Angulated Dental Implants in Posterior Maxilla FEA and Experimental Verification. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences* 2018; 6: 397-401.
- [160] Tribst JPM, Dal Piva AM de O, lo Giudice R, *et. al.* The Influence of Custom-Milled Framework Design for an Implant-Supported Full-Arch Fixed Dental Prosthesis: 3D-FEA Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17: 4040.
- [161] Tribst JPM, Borges ALS, Silva-Concílio LR, *et. al.* Effect of Restorative Material on Mechanical Response of Provisional Endocrowns: A 3D—FEA Study. *Materials* 2021; 14: 649.
- [162] Schrader P, Kolling S, Schlenz MA, *et. al.* Finite element simulation of fixed dental prostheses made from PMMA —Part II: Material modeling and nonlinear finite element analysis. *Dental Materials Journal* 2021; 40: 2020-2231.
- [163] Lima JMC, Costa AKF, Anami LC, *et. al.* CAD-FEA modeling and fracture resistance of bilayer zirconia crowns manufactured by the rapid layer technology. *Brazilian Dental Journal* 2021; 32: 44-55.
- [164] Patil V, Naik N, Gadicherla S, *et. al.* Biomechanical Behavior of Bioactive Material in Dental Implant: A Three-Dimensional Finite Element Analysis. *The Scientific World Journal* 2020; 2020: 1-9.
- [165] Sichi LGB, Pierre FZ, Arcila LVC, *et. al.* Effect of Biologically Oriented Preparation Technique on the Stress Concentration of Endodontically Treated Upper Central Incisor Restored with Zirconia Crown: 3D-FEA. *Molecules* 2021; 26: 6113.
- [166] Huang Z-L, Shi J-Y, Zhang X, *et. al.* The influence of the shock-absorbing restorative materials on the stress distributions of short dental implant rehabilitations. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2021; 25: 24-34.
- [167] Manea A, Baciut G, Baciut M, *et. al.* New Dental Implant with 3D Shock Absorbers and Tooth-Like Mobility—Prototype Development, Finite Element Analysis (FEA), and Mechanical Testing. *Materials* 2019; 12: 3444.
- [168] Lee C-H, Mukundan A, Chang S-C, *et. al.* Comparative Analysis of Stress and Deformation between One-Fenced and Three-Fenced Dental Implants Using Finite Element Analysis. *Journal of Clinical Medicine* 2021; 10: 3986.

- [169] Shelar P, Butler S. Effect of thermal gradient on structural relaxation and characterization of thermal stresses in dental porcelains – A finite element study. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2021; 122: 104693.
- [170] Lisiak-Myszke M, Marciniak D, Bieliński M, *et. al.* Application of Finite Element Analysis in Oral and Maxillofacial Surgery—A Literature Review. *Materials* 2020; 13: 3063.
- [171] Mosharraf R, Molaei P, Fathi A, *et. al.* Investigating the Effect of Nonrigid Connectors on the Success of Tooth-and-Implant-Supported Fixed Partial Prostheses in Maxillary Anterior Region: A Finite Element Analysis (FEA). *International Journal of Dentistry* 2021; 2021: 1-12.
- [172] Nudel I, Pokhojaev A, Bitterman Y, *et. al.* Secondary Dentin Formation Mechanism: The Effect of Attrition. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021; 18: 9961.
- [173] Sellan PLB, Campaner LM, Tribst JPM, *et. al.* Functional or Nonfunctional Cusps Preservation for Molars Restored with Indirect Composite or Glass-Ceramic Onlays: 3D FEA Study. *Polymers (Basel)* 2021; 13: 3831.
- [174] Wazeh AM, El-Anwar MI, Galal Atia RM, *et. al.* 3D FEA study on: Implant Threading Role on Selection of Implant and Crown Materials. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences* 2018; 6: 1702-1706.
- [175] Kim WH, Lee J-C, Lim D, *et. al.* Optimized Dental Implant Fixture Design for the Desirable Stress Distribution in the Surrounding Bone Region: A Biomechanical Analysis. *Materials* 2019; 12: 2749.
- [176] Datte C, Tribst J, Dal Piva A, *et. al.* Influence of different restorative materials on the stress distribution in dental implants. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 2018: 439-444.
- [177] Ausiello P, Dal Piva AM de O, di Lauro AE, *et. al.* Mechanical Behavior of Alkaside Posterior Restorations in Comparison to Polymeric Materials: A 3D-FEA Study. *Polymers (Basel)* 2022; 14: 1502.
- [178] al Mortadi N, Bataineh K, al Janaideh M. Fatigue Failure Load of Molars with Thin-Walled Prosthetic Crowns Made of Various Materials: A 3D-FEA Theoretical Study. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* 2020; Volume 12: 581-593.
- [179] Kaizer MR, Kolakarnprasert N, Rodrigues C, *et. al.* Probing the interfacial strength of novel multi-layer zirconias. *Dental Materials* 2020; 36: 60-67.
- [180] Mosharraf R, Fathi A, Botshekan SS. Comparative Evaluation of the Effect of Core Type and Antirotational Post on Stress Distribution in an Endodontically Treated Maxillary First Molar: FEA. *International Journal of Dentistry* 2022; 2022: 1-9.
- [181] Tanaka CB, Ballester RY, de Souza GM, *et. al.* Influence of residual thermal stresses on the edge chipping resistance of PFM and veneered zirconia structures: Experimental and FEA study. *Dental Materials* 2019; 35: 344-355.

- [182] Dal Piva A, Tribst J, Borges A, *et. al.* Influence of substrate design for in vitro mechanical testing. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 2019; e119-e125.
- [183] He J, Zheng Z, Wu M, *et. al.* Influence of restorative material and cement on the stress distribution of endocrowns: 3D finite element analysis. *BMC Oral Health* 2021; 21: 495.
- [184] **Fischer C, Baciú F, Vranceanu D, *et. al.* Evaluation of the force retention within the telescopic crowns with different taper angles by finite element analysis. *UPB Sci Bull* 2022 84 (3), 169-178.**
- [185] Çelik Güven M, Tuna M, Bozdağ E, *et. al.* Comparison of retention forces with various fabrication methods and materials in double crowns. *The Journal of Advanced Prosthodontics* 2017; 9: 308.
- [186] Turp I, Bozdağ E, Sünbülüoğlu E, *et. al.* Retention and surface changes of zirconia primary crowns with secondary crowns of different materials. *Clinical Oral Investigations* 2014; 18: 2023-2035.
- [187] Soares C, Versluis A, Andra, *et. al.* Finite element Analysis in Dentistry – Improving the quality of oral health care. In *Finite Element Analysis - From Biomedical Applications to Industrial Developments*. InTech, 2012.
- [188] Bandela V, Kanaparthi S. Finite Element Analysis and Its Applications in Dentistry. In *Finite Element Methods and Their Applications*. IntechOpen, 2021.
- [189] Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* 2014; 4: 200-203.
- [190] Fingerhut C, Schindler HJ, Schweizerhof K, *et. al.* Finite element analysis of the principles and loosening force of the conical telescopic crown: a computer-based study. *Int J Comput Dent* 2014; 17: 199-218.