

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
“VICTOR BABEȘ” TIMIȘOARA
FACULTATEA MEDICINĂ GENERALĂ
Departamentul XV

POPA ADELINA



REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

APORTUL DIAGNOSTICULUI RADIO-IMAGISTIC ÎN
EVALUAREA PRE ȘI POST TERAPEUTICĂ A
ANOMALIILOR ORTODONTICE CU SUBLINIAREA
VALORII CBCT ÎN CUANTIFICAREA
MULTIPLANARĂ ȘI 3D A ELEMENTELOR
SCHELETALE ȘI DENTO-MAXILARE

Conducător Științific
PROF. UNIV. DR. SILVIU BRAD

Timișoara
2021

CUPRINS

I. PARTEA GENERALĂ.....	4
1. ANCORAJUL ÎN ORTODONȚIE.....	4
1.1. Generalități și terminologie	4
1.1.1. Generalități	4
1.1.2. Terminologie.....	4
2. MINI-IMPLANTELE ORTODONTICE.....	4
1.2.1. Terminologie	4
1.2.2. Concepte și controverse	4
1.2.2.1. Metoda de inserare: auto-înfiletantă, cu pre-foraj sau cu perforarea corticalei.....	4
1.2.2.2. Ancoraj direct sau indirect	4
1.2.2.3. Momentul încărcării.....	4
1.2.3. Design și componente	5
1.2.4. Avantaje.....	5
1.2.5. Indicații/Contraindicații	5
1.2.6. Riscuri/Complicații	5
1.2.7. Considerații anatomice	6
3. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ RATA DE SUCCES A MINI-IMPLANTELE ORTODONTICE	6
4. COMPUTER TOMOGRAFIA CU FASCICUL CONIC (CBCT).....	6
III. PARTEA SPECIALĂ.....	7
1. EVALUAREA GROSIMII OSULUI CORTICAL ȘI EFECTELE ACESTEIA ASUPRA RATEI DE SUCCES A MINI-IMPLANTELE ORTODONTICE, UTILIZÂND CBCT-UL	7
1.1. Context.....	7
1.2. Material și metodă	7
1.3. Rezultate	7
1.4. Discuții.....	7
1.5. Concluzii.....	7
2. CORELAREA DINTRE BIOTIPUL GINGIVAL ȘI GROSIMEA OSULUI CORTICAL, FACTORI CARE INFLUENȚEAZĂ RATA DE SUCCES A MINI-IMPLANTELE ORTODONTICE - UN STUDIU PILOT.....	8
2.1. Context.....	8
2.2. Material și metodă	8
2.3. Rezultate și discuții.....	8
2.4. Concluzii.....	8
3. DETERMINAREA PRECISĂ A LOCULUI DE INSERTIE A MINI-IMPLANTELE FOLOSIND GHIDURILE CHIRURGICALE ȘI CBCT-UL.....	9
3.1. Context.....	9

3.2. Obiective	9
3.3. Material și metodă	9
3.4. Rezultate	9
3.5. Discuții.....	9
3.6. Concluzii.....	9
4. EFECTUL UNGHIULUI DE INSERȚIE ȘI A GROSIMII OSULUI CORTICAL ASUPRA DISTRIBUȚIEI STRESULUI - UN STUDIU IN VIVO ȘI IN VITRO.	10
4.1. Introducere	10
4.2. Material și metode	10
4.2.1. Modelul in vitro.....	11
4.2.2. Evaluarea morfologiei celulare.....	11
4.2.3. Evaluarea in vitro	11
4.2.4. Evaluarea in vivo a bio-compatibilității / toxicității vasculare utilizând modelul HET-CAM.....	11
4.2.5. Analiza statistică	11
4.3. Rezultate	11
4.4. Profilul biologic in vitro	12
4.5. Integritatea vasculară pe membrana corioalantoică	12
4.6. Discuții.....	12
4.7. Concluzii.....	12
5. PROTOCOL PENTRU INSERAREA MINI-IMPLANTE ORTODONTICE	13
IV. CONCLUZII FINALE	14
V. CONTRIBUȚII PROPRII.....	15

I. PARTEA GENERALĂ – REZUMAT

1. Mini – implantele ortodontice

1.1. Terminologie

Terminologia utilizată în această lucrare pentru dispozitivele ortodontice temporare de ancoraj este de **mini-implant**. Aceste dispozitive nu se osteointegrează datorită faptului că acestea se folosesc pe o perioadă limitată, iar, la final, este necesară îndepărtarea lor. Retenția este în principal mecanică și este asigurată de o suprafață de contact cât mai mare între os și mini-implant. **Stabilitatea primară** a mini-implantului ortodontic este rezultatul întrepătrunderii dintre spirele acestuia și osul înconjurător, fiind determinată de o serie de factori: locul de inserție, apropierea de rădăcini, designul mini-implantului, grosimea țesutului moale, tehnica operatorie, momentul și amplitudinea aplicării forțelor, având o mare pondere grosimea osului cortical. **Stabilitatea secundară** se reflectă prin bio-compatibilitatea mini-implantului cu osul înconjurător. Stabilitatea secundară, și nu cea primară, este importantă pentru rata de succes pe termen lung a mini-implantului. Pentru a obține o stabilitate secundară optimă este necesară o stabilitate primară adecvată: dacă mini-implantul are mobilitate este imposibil să se obțină o vindecare optimă și o suprafață de contact crescută între os și acesta. O stabilitate primară crescută nu garantează o stabilitate secundară. Iar din punct de vedere clinic stabilitatea este reprezentată de suma dintre stabilitatea primară și cea secundară.

1.2. Concepte și controverse

1.2.1. Metoda de inserare: auto-înfiletantă, cu pre-foraj sau cu perforarea corticalei

S-a evaluat stabilitatea mini-implantelor inserate direct sau utilizând freze de ghidaj, iar concluziile arată că ambele metode sunt eficiente. Există totuși o serie de avantaje pentru sistemele auto-înfiletante: scăderea timpului operator, reducerea cantității de debriuri osoase, degajarea redusă de căldură și un disconfort minim pentru pacient.

Perforarea corticalei se indică în cazurile în care aceasta este densă și groasă, în special în zona posterioară a mandibulei și la nivelul palatului, pentru a evita utilizarea unor valori excesive ale torque-ului în momentul inserării și generarea de micro-fracturi la nivelul osului înconjurător. Acest lucru se poate realiza cu perforare superficială, doar la nivelul corticalei, și nu utilizarea unei freze care să depășească 2 mm în adâncime

1.2.2. Ancoraj direct sau indirect

Ancorajul direct presupune o tracțiune directă de la nivelul capului mini-implantului. De obicei această tracțiune este realizată de o catenă sau de un resort de nichel-titan.

Ancorajul indirect presupune utilizarea mini implantului pentru a crește valoarea de ancoraj a dinților de pe care se aplică forța.

Ancorajul indirect are unele avantaje, punând accent pe factorii anatomici, dar totodată prezintă riscul pierderii ancorajului prin flexiunea arcului intermediar, cât și o basculare sau translație corporală a mini-implantului

1.2.3. Momentul încărcării

Încărcarea mini-implantului stimulează obținerea unui răspuns favorabil al osului adiacent. Se recomandă atenție în inserțiile vestibulare cu os cortical subțire care prezintă riscuri mai mari din cauza stabilității primare precare. Primele trei săptămâni reprezintă perioada în care scade stabilitatea primară și cresc efectele stabilității secundare. Astfel se indică încărcarea imediată a mini-implantelor, în special în cazurile pacienților adulți. După

inserarea mini-implantului, stabilitatea primară este indicele care evaluează rata de succes. Aplicarea de forțe, imediat după inserare, va accelera osteointegrarea pentru că osul în zonele de compresie se mineralizează mai repede decât în zonele de tensiune.

Se recomandă aplicarea unei forțe inițiale scăzute, mai puțin de 50 Ncm (50 gr), atunci când se încarcă imediat după inserare. Un mini-implant poate deveni mobil în urma aplicării unor forțe mari care depășesc capacitatea de adaptare a osului, astfel apărând micro-fracturi în osul cortical subțire. Se recomandă ca forțele aplicate la nivelul mini-implantelor să fie ușoare, uniforme și predictibile.

1.2.3. Design și componente

Există o mare diversitate de mini-implante, fiecare având caracteristici individuale. Cu toate acestea toate prezintă trei componente de bază: cap, gât și corp. Cea mai utilizată formă este cea cu slot rectangular care permite ancorarea unui arc cât și elemente auxiliare (elastice și ligaturi). Gâtul poate avea diverse mărimi în funcție de grosimea țesutului moale, astfel prevenind hipertrofia acestuia. În locurile cele mai comune pentru inserarea mini-implantelor grosimea medie a țesutului moale este de 1-2 mm, astfel se recomandă utilizarea mini-implantelor cu o înălțime a gâtului de 2 mm, cu excepția zonelor palatine unde grosimea țesutului moale poate fi de 3-4 mm și se recomandă utilizarea unui gât mai înalt. Forma părții active poate să fie cilindrică sau conică, iar din punct de vedere biomecanic, mini-implantele conice, cu o formă ascuțită, cresc valoarea torque-ului de inserție în special în porțiunea coronală, asigurând o suprafață de contact mai mare cu osul înconjurător. De asemenea sunt mai ușor de inserat în osul cortical și asigură o legătură mecanică mai bună între spire și os. Compresia progresivă a osului în timpul inserării mini-implantelor conice duce la o mai mare stabilitate a acestora comparativ cu cele cilindrice.

1.2.4. Indicații/Contraindicații

Indicații: Retracția grupului frontal, distalizarea / mezializarea zonei laterale, debascularea molarilor, corectarea rotațiilor, intruzia / extruzia grupului frontal, intruzia / extruzia zonei laterale, expansiune scheletală maxilară, corectarea angrenajului invers / ocluziei lingualizate, tratamentul ortodontic pre-protetic.

Contraindicații

Contraindicațiile tratamentului ortodontic cu mini-implante sunt acelea ale tratamentului implantar în general: boli sistemice asociate cu metabolismul osos crescut sau pierderi de țesut osos (osteoporoză sau diabetul necontrolat). Nu există contraindicații specifice tratamentului cu mini-implante ortodontice.

1.2.5. Riscuri/Complicații

Afectarea rădăcinilor sau a ligamentului parodontal

Rădăcinile afectate de contactul cu mini-implantul se regenerează în 12 săptămâni prin apozitie de cement și regenerare parodontală, în condițiile în care nu există niciun portal de infecție.

Perforația sinusală sau nazală

Inserțiile mini-implantelor la nivelul maxilarului riscă să creeze perforații oro-antrale (zona incisivă maxilară, zona posterioară maxilară, creasta zigomato-alveolară). Aceste perforații se însoțesc de anumite riscuri (sinuzită, mucocel, fistule) și ar trebui evitate. Perforațiile <2 mm se vindecă fără vreo complicație, iar în cazul unei perforații nu se indică îndepărtarea mini-implantului.

Tulburări neuro-senzitive

Siturile de inserție din apropierea unor componente neuro-vasculare se găsesc în principiu la nivelul palatului, regiunea retro-molară sau linia oblică externă. Efectele neuronale minore fără secționarea nervului se remit în 6 luni.

Fractura mini-implantului

Este destul de rară, datorită adaptării structurii și designului mini- implantelor la valorile optime ale torque-ului de inserție

Durerea

După această intervenție, de obicei, pacienții se așteaptă să simtă o durere intensă, dar de cele mai multe ori aceștia nu simt disconfort nici în timpul inserării și nici după. Majoritatea pacienților percep o senzație de presiune în timpul inserției și până la 24 de ore după, poate apărea un nivel scăzut de durere.

Complicații

1. La nivelul țesuturilor moi

Cea mai frecventă complicație la nivelul țesuturilor moi este inflamarea acestora în jurul mini-implantului. Acest lucru se întâmplă dacă inserția este într-o zonă cu mucoasă mobilă sau dacă presează prea tare pe mucoasa fixă. Dacă această inflamație nu se remite prin măsuri de igienă, sau dacă îi cauzează pacientului disconfort, atunci ar trebui îndepărtat

2. Migrarea mini-implantului

1.2.6. Considerații anatomice

Factorii care trebuie luați în considerare pentru inserarea mini-implantelor:

- Structurile anatomice din vecinătatea sitului de inserare
- Calitatea osului
- Grosimea țesutului moale
- Confortul pacientului

1.3.Factorii care influențează rata de succes a mini-implantelor ortodontice

1.3.1. Factori dependenți de pacient

1.3.2. Factori dependenți de mini-implant

1.3.3. Factori dependenți de tehnica operatorie

1.4. Computer tomografia cu fascicul conic (CBCT)

1. PARTEA SPECIALĂ

1. EVALUAREA GROSIMII OSULUI CORTICAL ȘI EFECTELE ACESTEIA ASUPRA RATEI DE SUCCES A MINI-IMPLANTELOR ORTODONTICE, UTILIZÂND CBCT-UL

1.1. Context

Multe variabile care afectează stabilitatea mini-implantelor ortodontice nu sunt pe deplin înțelese. Scopul acestui studiu a fost de a determina locurile de inserție ideale pentru inserarea mini-implantelor, atât la nivelul maxilarului cât și al mandibulei, măsurând grosimea osului cortical și corelând-o cu alți factori care influențează rata de succes.

1.2. Material și metodă

Pentru acest studiu s-a utilizat un lot de 10 pacienți care urmau să beneficieze de tratament ortodontic. Selecția pacienților s-a făcut pe baza următoarelor criterii de includere: prezența tuturor unităților dentare în zonele investigate, absența patologiei apicale de cauză endodontică sau parodontală, fără antecedente medicale care ar putea afecta țesutul osos (utilizarea de bisfospozați), fără asimetrii faciale sau dentare severe, lipsa pierderii osoase atât în plan vertical cât și orizontal. S-au realizat investigații 3D (CBCT) utilizând Cranex Sordex iar scanările au fost importate în soft-ul de analiză OnDemand3App cu 3D Dentar. Grosimea osului cortical a fost măsurată în patru zone: între incisivul lateral și canin, între premolarul prim și secund, între premolarul secund și molarul prim, și între primul și al doilea molar. Aceste situri reprezintă cele mai utilizate zone pentru inserarea mini-implantelor ortodontice. Distanța dintre marginea externă și cea internă a osului cortical, la mijlocul distanței inter-radiculare dintre doi dinți adiacenți, a fost măsurată atât vestibular cât și oral. Măsurătorile s-au realizat la 4 mm apical de creasta alveolară, aceasta reprezentând aproximativ nivelul joncțiunii muco-gingivale.

1.3. Rezultate

La nivelul mandibulei se găsește o cantitate mai mare de os cortical comparativ cu maxilarul. Osul mandibular vestibular a fost regiunea cu grosimea cea mai mare a corticalei. Grosimea osului cortical mandibular în zona vestibulară crește dinspre anterior spre posterior.

Cea mai mare grosime a osului cortical vestibular, la nivelul maxilarului, a fost între premolarul prim și secund (1.6 mm). La nivelul mandibulei, cea mai mare grosime a osului cortical a fost între molarul prim și secund (2.5 mm).

1.4. Discuții

Se recomandă evitarea inserării mini-implantelor în regiunea anterioară (maxilar și mandibulă) având în vedere grosimea insuficientă a osului cortical, un nivel redus de gingie atașată și de cele mai multe ori o distanță inter-radiculară redusă. O investigație CBCT a pacientului oferă informații cu privire la grosimea corticalei osoase la locul de inserție anticipând torque-ul necesar pentru inserarea mini-implantului. În funcție de grosimea corticalei și implicit valoarea torque-ului, se va alege tehnica de inserare: directă sau indirectă. Dacă grosimea corticalei poate oferi un torque ideal, tehnica de inserție va fi una directă fără a necesita o pregătire a locului de inserție. Dacă grosimea corticalei este crescută și torque-ul necesar va fi excesiv, pre-forajul osului cortical va fi necesar înaintea momentului inserției, astfel valorile torque-ului vor scădea.

1.5. Concluzii

Locul optim pentru inserarea mini-implantelor în regiunea anterioară, la nivelul mandibulei, este între incisivul lateral și canin. În regiunea posterioară se recomandă inserarea acestora între premolarul secund și molarul prim și între molarul prim și secund atât la maxilar cât și la mandibulă

2. CORELAREA DINTRE BIOTIPUL GINGIVAL ȘI GROSIMEA OSULUI CORTICAL, FACTORI CARE INFLUENȚEAZĂ RATA DE SUCCES A MINI-IMPLANTELOR ORTODONTICE - UN STUDIU PILOT

2.1. Context

Grosimea osului cortical este considerată a fi un factor decisiv care influențează rata de succes a mini-implantelor. Creșterea grosimii osului cortical, atât la maxilar cât și la mandibulă, va determina o creștere a stabilității primare. Se recomandă ca mini-implantul să se insereze la nivelul gingiei cheratinizate, adiacent de joncțiunea muco-gingivală, atât la nivelul arcadei superioare cât și a celei inferioare. Grosimea gingiei atașate are valori variabile în diferite zone ale cavității orale. Dacă se utilizează mini-implante cu o lungime constantă, în diferite zone ale cavității orale, cu grosimi diferite ale țesutului moale, lungimea porțiunii mini-implantului inserată în os va varia. Astfel țesutul moale poate să fie unul dintre factorii cheie care să influențeze rata de succes.

Scopul acestui studiu este de a corela acești doi factori care influențează rata de succes a mini-implantelor și de a găsi o legătură între biotipul gingival și grosimea osului cortical.

2.2. Material și metodă

În acest studiu pilot s-au analizat doi pacienți: unul cu un biotip gros și unul cu un biotip gingival subțire utilizând tehnica TRAN. Dacă sonda parodontală transpare prin marginea gingivală, biotipul gingival este subțire, iar dacă aceasta nu transpare atunci biotipul este gros.

Măsurătorile s-au făcut în siturile cele mai comune pentru inserarea mini-implantelor ortodontice: între primul și al doilea premolar, între premolarul secund și molarul prim și între primul și al doilea molar, atât pentru țesutul moale cât și pentru grosimea osului cortical.

Măsurători clinice

Grosimea țesutului moale a fost evaluată utilizând metoda directă: cu sonda parodontală și stoperul endodontic. Măsurătorile au fost făcute la nivelul joncțiunii muco-gingivale, fiind deja demonstrat că inserarea la nivelul gingiei cheratinizate prezintă un risc redus pentru hipertrofie gingivală și inflamație.

Măsurători radiologice

Pentru a evalua grosimea osului cortical, s-au folosit investigațiile de tip CBCT (Cranex Sordex). Scanările 3-D au fost importate într-un soft de analiză tridimensională (OnDemand 3D), iar grosimea osului cortical a fost măsurată la același nivel ca și măsurătorile clinice ale țesutului moale.

2.3. Rezultate și discuții

Biotipul subțire, caracterizat printr-o grosime redusă a țesutului moale a fost asociat cu o grosime redusă a osului cortical, iar biotipul gros a fost asociat cu o grosime crescută a osului cortical. Grosimea țesutului moale la locul de inserție trebuie luată în considerare atunci când se alege lungimea potrivită a mini-implantelor, având în vedere variațiile cu privire la grosimea țesutului moale cât și a corticalei. Stabilitatea mini-implantelor depinde de cantitatea și calitatea osului cortical. Obiectivul principal al unui mini-implant ortodontic este să obțină stabilitate maximă, inserându-l în zone cu o corticală groasă (pentru retenție mecanică) și în țesut moale subțire și cheratinizat (pentru a evita inflamația).

Înainte de a selecta mini-implantul, grosimea țesutului moale la locul de inserție ar trebui măsurată, iar această manoperă presupune realizarea unei anestezii locale, astfel încât alegerea tipului de mini-implant se amână până înaintea procedurii de inserare.

2.4. Concluzii

Corelația dintre biotipul gingival și grosimea osului cortical permite clinicianului să aleagă designul optim pentru mini-implant pentru a avea un rezultat predictibil.

3. DETERMINAREA PRECISĂ A LOCULUI DE INSERȚIE A MINI-IMPLANTELOR FOLOSIND GHIDURILE CHIRURGICALE ȘI CBCT-UL

3.1. Context

Ghidurile chirurgicale se utilizează pentru o inserție precisă și predictibilă a mini-implantelor ortodontice. Tehnica de inserare trebuie să fie ușor de realizat, fără riscuri pentru structurile anatomice înconjurătoare. În funcție de locul de inserție, nivelul de risc poate să fie mai mare sau mai mic. Unul dintre factorii care influențează rata de succes a mini-implantelor este reprezentat de corecta poziționare a acestora. Inserarea mini-implantelor într-un mod cât mai predictibil asigură creșterea ratei de succes.

3.2. Obiective

Scopul acestui studiu este de a sintetiza datelor din literatură cu evidențierea ultimelor metode de realizare a ghidurilor chirurgicale în funcție de design, materiale și tehnică. Un al doilea scop a fost exemplificarea etapelor de realizare și utilizare clinică a ghidurilor chirurgicale convenționale versus cele realizate digital.

3.3. Material și metodă

S-a realizat o căutare online în biblioteca electronică PubMed utilizând următorii termeni: surgical guides (ghiduri chirurgicale), orthodontic surgical guides (ghiduri chirurgicale ortodontice), orthodontic surgical guides for mini-implants (ghiduri chirurgicale pentru mini-implante), orthodontic surgical guides for TADS (ghiduri chirurgicale pentru dispozitive temporare de ancoraj). Căutarea a inclus studii din 1968 până în 2016. Ulterior s-a realizat o căutare manuală în jurnale care abordează aceste subiecte: ghiduri chirurgicale și mini-implante ortodontice.

Criterii de includere și excludere

Pentru cele două variabile studiate (materialul din care este confecționat ghidul chirurgical și acuratețea inserării mini-implantelor), s-au selectat studii: in vitro, pe cadavru sau animale, cât și studii clinice. S-au selectat doar studiile care au oferit informații exacte cu privire la acești parametri.

3.4. Rezultate

Prima căutare a generat 414 rezultate. După evaluarea acestor titluri s-a redus numărul acestora la 30. Din cele 30 de rezultate doar 10 articole au conținut informații cu privire la variabilele studiate: material și acuratețe. În tabelul 1 sunt prezentate rezultatele cu privire la materialul folosit în realizarea ghidului chirurgical pentru inserarea mini-implantelor ortodontice.

Materialele din care se realizează ghidurile chirurgicale pentru inserarea mini-implantelor ortodontice sunt diverse în funcție de complexitatea cazului. O analiză a literaturii de specialitate a reunit diversele tipuri de materiale, de la variantele convenționale până la ultimele descoperiri în domeniu.

În funcție de designul de realizare, ghidurile chirurgicale se clasifică în trei categorii: cu design limitativ, cu design parțial limitativ, cu design complet limitativ.

3.5. Discuții

Utilizarea unui ghid chirurgical reprezintă cel mai sigur mod pentru inserarea mini-implantelor. Există situații clinice unde ghidurile chirurgicale clasice nu se pot utiliza, de exemplu: dinții vecini rotați, maxilar îngust, unde accesul este dificil sau cazurile în care sunt necesare mai multe mini-implante. În aceste situații se recomandă utilizarea ghidurilor realizate prin stereolitografie.

3.6. Concluzii

O inserție precisă reduce riscul eșecului mini-implantului și afectării structurilor anatomice de vecinătate. De asemenea este posibilă inserarea mai multor mini-implante utilizând același ghid chirurgical.

4. EFECTUL UNGHIULUI DE INSERTIE ȘI A GROSIMII OSULUI CORTICAL ASUPRA DISTRIBUȚIEI STRESULUI - UN STUDIU IN VIVO ȘI IN VITRO

4.1. Introducere

Stabilitatea primară reprezintă unul dintre cele mai importante criterii pentru a evalua rata de succes a mini-implantelor ortodontice, fiind determinată de numeroși factori: cantitatea și calitatea osului cortical, tehnica operatorie și diametrul mini-implantului. Din punct de vedere biomecanic pentru a obține o stabilitate primară bună, între spiarele mini-implantului și os trebuie să existe o suprafață de contact cât mai întinsă, controlând forțele de compresie de la nivelul osului. Unghiul de inserție influențează mărimea suprafeței de contact dintre osul cortical și mini-implant.

Pe lângă stabilitatea primară, rata de succes a mini-implantelor ortodontice este în strânsă legătură cu structura chimică a materialului din care acesta este alcătuit, în special aspecte care țin de bio-compatibilitate și non-citotoxicitatea acestuia. Este esențială evaluarea bio-compatibilității materialului din care mini-implantul este fabricat, utilizând metode clasice de evaluare a cito-toxicității: bromură de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolium (MTT) și metoda de eliberare a lactat dehidrogenazei (LDH), acestea fiind cele mai utilizate metode în acest scop. Mai mult de atât, pentru a evalua profilul biologic complet al mini-implantului se pot utiliza protocoale in vivo evaluând reacția unor sisteme biologice complexe. Utilizarea testului membranei coriolantoide (a oului de găină) (HET-CAM), reprezintă o metodă simplă și versatilă, fiind o alternativă la testarea pe animale.

Scopul acestui studiu este de a evalua stabilitatea unui mini-implant nou, utilizând metoda elementelor finite și de a valida profilul biologic cu fibroblaști gingivali umani primari oferind date preliminare pentru viitoare aplicații in vivo.

4.2. Material și metode

După o scanare 3D a maxilarului, s-a realizat reproducerea cu elemente finite tridimensionale a acestuia. Prin segmentare manuală modele segmentate ale osului cortical și spongios împreună cu coroanele dinților 2.4, 2.5, 2.6 și 2.7 au fost importate în ANSYS Space Claim 2017.1. Utilizând softul FreeCad 0.18 s-a realizat designul unui mini-implant conic și autoînfiletat. Caracteristicile de design ale mini-implantului sunt: diametrul de 1.7 mm, lungime de 8 mm, distanța dintre spiare de 0.8 mm, adâncimea spirei de 0.32 mm iar forma capului este preluată de la firma Forestadent (Ortho Easy, Pforzheim, Germany).

Mini-implantul a fost inserat în cel mai popular loc de inserție: inter-dentar între premolarul secund (2.5) și molarul prim (2.6). Osului cortical a fost modelat cu o grosime de 1 mm pentru primul set de simulări, ulterior grosimea acestuia a fost crescută la 1.5 și 2 mm pentru următoarele simulări. Mini-implantele au fost inserate la 30°, 60°, 90° și 120°. iar testul de tracțiune în ax a fost simulat până când deplasarea axială a mini-implantului a fost de 0.01 mm. S-a aplicat o forță de tracțiune ortodontică de 2N la nivelul capului mini-implantului atât în direcție orizontală cât și verticală pentru a simula re tracți a în masă și intruzia.

Pentru analiza de forță, a doua condiție a fost aplicarea forței, inițial pe axa Y și ulterior pe axa Z. S-a realizat un total de 24 de simulări variind grosimea corticalei, valoarea unghiului de inserție și schimbând direcția de aplicare a forței (orizontal și vertical). După rularea fiecărei simulări s-au extras valorile stresului von Mises. Pentru testul de smulgere în ax s-a determinat valoarea forței de reacție variind grosimea corticalei și unghiul de inserție. Pentru a determina stresul de la nivelul mini-implantului cât și de la nivelul osului înconjurător s-au înregistrat valorile von Mises, variind grosimea osului cortical, valoarea unghiului de inserție și direcția forței.

4.2.1. Modelul in vitro

Linia celulară utilizată în acest studiu este reprezentată de fibroblaști gingivali umani primari furnizați de American Type Culture Collection (ATCC® PCS-201-018™, Manassas, VA, USA), împreună cu mediul de cultură (ATCC® PCS-201-030™) și suplimentele acestuia (Fibroblast Growth Kit-Low Serum (ATCC® PCS-201-041™) și 0.1% Penicillin-Streptomycin-Amphotericin B Solution (ATCC® PCS-999-002™). Celulele au fost cultivate în condiții sterile, în atmosferă modificată, îmbogățită cu dioxid de carbon la o concentrație de 5% (Steri-Cycle i160 incubator; Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). mini-implantul a fost scufundat în mediul de cultură și expus unor vibrații intermitente pentru 24h. Ulterior acesta a fost îndepărtat iar mediul de cultură rezultat (mediul de extracție) a fost utilizat pentru tratarea fibroblaștilor la anumite intervale orare.

4.2.2. Evaluarea morfologiei celulare

Posibilele modificări morfologice ale fibroblaștilor rezultate în urma expunerii la mediul de extracție, au fost evaluate comparând fotografiile grupului control (celule ne-stimulate) cu cele expuse mediului de extracție.

4.2.3. Evaluarea in vitro

S-a realizat utilizând testul bromurii de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolium (MTT) și metoda de eliberare a lactat dehidrogenazei (LDH). Pe scurt, protocolul a constatat în a cultiva celule cu o densitate de 10^4 celule/godeu în plăci cu 96 de godeuri, ulterior acestea fiind incubate pe perioada nopții. A doua zi, aceste celule au fost tratate cu mediul de extracție pentru anumite intervale de timp (24h, 48h, 72h). La finalul fiecărui interval de stimulare, s-a aplicat protocolul MTT/LDH. Densitatea optică a fiecărei plăci a fost determinată utilizând spectrofotometrul.

4.2.4. Evaluarea in vivo a bio-compatibilității / toxicității vasculare utilizând modelul HET-CAM

Mediul de extracție a fost evaluat utilizând un protocol HET-CAM ușor modificat. Ouăle fertilizate au fost incubate la 37 ° și o umiditate de 60% fiind pregătite conform protocolului standard. În a noua zi de incubație, s-a perforat coaja oului, iar 200 μL din mediul de extracție a fost inoculat vaselor CAM. Efectul asupra capilarelor de neo-formație a fost evaluat monitorizând apariția hemoragiei, a lizei sau a coagulării. Ulterior, s-a calculat indicele de iritație.

În grupurile control pozitive s-a folosit: lauril-sulfat de sodiu (SLS 0.5%) ca iritant standard, în timp ce apa distilată s-a utilizat în grupul control negativ. S-a realizat monitorizare acestor loturi la 20 h și 48 h după inoculare.

4.3. Rezultate

Unghiul de inserție și grosimea osului cortical au un impact semnificativ statistic asupra valorii forței de reacție ($p < 0.05$). Când grosimea osului cortical crește (de la 1 la 1.5 mm, 1 la 2 mm sau 1.5 la 2 mm) valoarea forței de reacție crește de asemenea.

Graficele valorilor medii și prelucrările testului Scheffe arată modificări semnificativ statistice în valoarea forței de reacție atunci când se schimbă valoarea unghiului de inserție. Valoarea forței de reacție scade gradual atunci când crește valoarea unghiului de inserție (30° la 60° la 90°), și crește din nou odată cu creșterea valorii unghiului de inserție (90° la 120°).

Valoarea unghiului de inserție, grosimea osului cortical și direcția forței au un impact semnificativ statistic asupra valori stresului de la nivelul mini-implantului și de la nivelul osului cortical. Schimbând direcția forței din orizontal în vertical rezultă o scădere a stresului de la nivelul mini-implantului. Există modificări semnificativ statistice în nivelul stresului atât de la nivelul mini-implantului cât și la nivelul osului spongios atunci când crește grosimea osului cortical. Efectul combinat al direcției forței cu unghiul de inserție, unghiul de inserție cu grosimea osului cortical, sunt semnificativ statistice atât la nivelul mini-implantului cât și la nivelul osului spongios.

Prelucrările testului Scheffe arată că atunci când unghiul de inserție este modificat de la 30° la 60°, 90° sau 120° toate modificările sunt semnificative statistic.

Stresul scade la nivelul mini-implantului atunci când unghiul de inserție crește de la 30°, 60° la 90° dar crește din nou atunci când unghiul de inserție este de 120° iar direcția forței este orizontală.

Stresul de la nivelul osului cortical a avut cea mai mică valoare atunci când unghiul de inserție a fost de 30° și cea mai mare valoare a fost atunci când mini-implantul a fost inserat la 120° având o grosime a osului cortical de 1 mm.

Stresul de la nivelul osului cortical a avut cea mai mică valoare atunci când unghiul de inserție a fost de 90° și cea mai mare valoare atunci când mini-implantul a fost inserat la un unghi de 30° iar grosimea osului cortical a fost de 2 mm, independent de direcția forței.

A existat o concentrare semnificativă a stresului la nivelul vârfului spirelor care au fost în contact cu osul cortical.

4.4. Profilul biologic in vitro

Fibroblaștii prezintă o populație viabilă după expunerea la mediul de extracție, celulele având o viabilitate dependentă de timpul de expunere: viabilitatea >98% după 24h de la stimulare, aproximativ 90% după o expunere de 48h și o populație viabilă de aproximativ 87% la 72h după expunere. Metoda LDH a arătat rezultate similare cu cele obținute prin metoda MTT. Atunci când vorbim despre toxicitate, moartea celulară de asemenea a crescut într-un tipar dependent de timpul de expunere astfel: rata de toxicitate la 24h după expunere a fost de aproximativ 7%, a crescut la 9% după 48h, iar în final la 72h după expunere rata de toxicitate a fost de 10.61%.

4.5. Integritatea vasculară pe membrana corioalantoică

Comparativ cu grupul control pozitiv, căruia i s-a indus o alterare severă la nivelul arhitecturii structurilor vasculare cu un scor de iritație crescut, aliajul mini-implantului a avut un efect asemănător cu cel al grupului control negativ (IS=O) la nivel vascular. La 24h și 48h după inserarea probei nu s-a evidențiat niciun semn de toxicitate, iar embrionii au arătat o rată de viabilitate crescută. Patul capilar s-a dezvoltat în condiții normale iar procesul angiogenic a fost în continuare activ.

4.6. Discuții

În acest studiu s-au generat modele cu elemente finite pentru maxilar și mini-implantul ortodontic. S-au simulat forțe ortodontice pentru retractorul în masă, intruzie și s-a efectuat testul de smulgere, evaluându-se distribuția stresului generat de inserția mini-implantelor, utilizând diverse unghiuri de inserție și diferite grosimi ale osului cortical.

Cu privire la bio-compatibilitatea mini-implantului ortodontic, s-au efectuat testări utilizând un model in vitro bazat pe fibroblaști gingivali umani primari. Acest tip de celule a fost expus unei posibile eliberări a ionilor prezenți în materialul mini-implantului, datorită faptului că sunt principalele celule generatoare de țesut moale care înconjoară mini-implantul ortodontic.

4.7. Concluzii

Rezultatele acestui studiu recomandă inserția oblică atunci când grosimea osului cortical este redusă. Distribuția stresului de la nivel osos a fost crescută în osul cortical și o cantitate redusă de stres a fost transmisă în osul spongios. În plus, a existat o concentrare semnificativă a stresului la nivelul vârfului spirelor care au fost în contact cu osul cortical.

Când grosimea osului cortical este redusă (1mm), se recomandă inserția oblică (30°) pentru a crește suprafața zonei de contact dintre mini-implant și osul cortical. Cu toate acestea trebuie avut în vedere faptul că va crește lungimea brațului de forță și numărul de spire expuse. Cu privire la acest aspect, sunt necesare viitoarele studii care să evalueze corelația dintre lungimea mini-implantului, numărul de spire expuse și unghiul de inserție.

Când grosimea osului cortical este optimă (2mm), se recomandă inserția perpendiculară, deoarece o inserție la 30° generează o cantitate crescută de stres care poate cauza micro-fracturi și necroză în osul cortical, ducând la eșec.

Cu privire la profilul de biocompatibilitate, evaluarea in vitro și in vivo arată că expunerea la mediul de extracție nu a indus niciun fel de modificare în morfologia celulară a fibroblaștilor umani expuși.

5. PROTOCOL PENTRU INSERAREA MINI-IMPLANTELOR ORTODONTICE

1. Stabilirea diagnosticului, a planului de tratament și planificarea ancorajului
2. Investigații clinice și paraclinice
 - Realizarea investigațiilor radiologice (radiografie retro-alveolară, OPG, CBCT)
 - Determinarea locului de inserție
 - Realizarea ghidului chirurgical (unde se indică)
3. Instrumentar
 - Selectarea dimensiunilor mini-implantului
 - Mâner surubelniță – cap drept (scurt, mediu, lung)
 - Piesa contra-unghi (20:1) – cap contra-unghi (scurt, mediu, lung)
 - Freza pentru perforarea corticalei (unde se indică)
 - Sterilizarea kitului de inserare
4. Inserarea implantului
 - Anestezie superficială - ischemierea mucoasei
 - Verificarea ghidului chirurgical
 - Determinarea și marcarea locului de inserare
 - Perforarea corticalei - unde există această indicație
 - Inserarea mini-implantelor
 - Testarea dinților adiacenți pentru a determina apropierea de rădăcini
5. După inserare
 - Instrucțiuni post-operatorii
 - Se recomandă aplicarea unei forțe lejere în primele săptămâni
6. Dezinserarea
 - Se rotește în sens invers acelor de ceasornic până la îndepărtarea completă

IV. CONCLUZII FINALE

Scopul acestui proiect de cercetare a constatat în evaluarea factorilor anatomici, a factorilor care țin de tehnica operatorie și a factorilor structurali care influențează rata de succes a mini-implantelor ortodontice precum și elaborarea unor protocoale simple pentru integrarea aceste dispozitive medicale în practica de zi cu zi.

Grosimea osului cortical, biotipul gingival și distanța inter-radiculară reprezintă factorii anatomici fundamentali care te influențează alegerea tipului de mini-implant precum și tehnica operatorie utilizată. Se recomandă inserarea mini-implantelor în zone cu o grosime minimă a osului cortical de 1 mm și maxim de 2 mm, cu o distanță inter-radiculară de 3 mm, utilizând tehnica directă. Locurile de inserție care prezintă aceste caracteristici sunt: între premolarul secund și molarul prim atât la nivelul maxilarului cât și al mandibulei. În cazurile în care grosimea osului cortical este mai mare de 2 mm se recomandă utilizarea unei freze pentru perforarea corticalei, astfel scade riscul pentru necroza osoasă și supraîncălzire reducându-se și riscul de eșec. Pentru a reduce la minim rata de eșec, se recomandă alegerea sitului de inserție ideal, conform parametrilor descriși anterior, ulterior construindu-se biomecanica ortodontică în funcție de locul de inserție, și nu invers.

Corelarea dintre grosimea osului cortical și biotipul gingival permite obținerea unui rezultat predictibil, astfel măsurând grosimea corticală, utilizând investigații de tip CBCT, se obțin informații cu privire la grosimea țesutului moale. Acest lucru permite alegerea tipului de mini-implant în funcție de grosimea țesutului moale fără a aștepta până în momentul intervenției, această evaluare clinică necesitând realizarea unei anestezii. Se recomandă inserarea acestor dispozitive la nivelul țesutului moale cheratinizat pentru a evita inflamația.

Utilizând tehnologia actuală se simplifică procedurile tradiționale în tratamentul ortodontic, iar utilizarea unui ghid chirurgical reprezintă cea mai sigură și predictibilă metodă pentru inserarea mini-implantelor. O inserție precisă reduce riscul eșecului mini-implantului precum și afectarea structurilor anatomice de vecinătate. Protocolul digital ortodontic presupune utilizarea unor modele digitale, softuri ortodontice și imprimante 3-D care permit o evaluare mai precisă și mai rapidă. Tehnologiile 3D reprezintă viitorul ortodonției reducând riscurile, timpul petrecut în cabinet iar în același timp obținându-se planul de tratament ideal pentru pacient. Se recomandă utilizarea ghidurilor chirurgicale atunci când există riscul atingerii structurilor anatomice de vecinătate sau spațiul inter-radicular este redus. În cazul inserării mini- implantelor la nivelul palatului utilizând aparate cu care realizează disjuncție, mezializare sau distalizare este necesară poziționarea paralelă a acestora astfel încât dispozitivul să intre pasiv fără a exista fricțiune. În aceste cazuri de asemenea se recomandă utilizarea unei tehnici ghidate.

Cu privire la tehnica de inserare acestor dispozitive, rezultatele obținute în cadrul acestui proiect de cercetare recomandă o inserție oblică (30°) atunci când grosimea osului cortical este redusă (1 mm) pentru a crește suprafața zonei de contact dintre mini-implant și osul cortical. Atunci când grosimea osului cortical este optimă (2mm), se recomandă o inserție perpendiculară, pentru a evita riscul de necroza și de micro-fracturi. Distribuția stresului a fost cea mai mare la nivelul osului cortical existând o concentrare semnificativă a stresului la nivelul vârfului spirelor.

V. CONTRIBUȚII PROPRII

- Evaluarea principalilor factori anatomici care influențează rata de succes a mini-implantelor ortodontice: grosimea osului cortical, biotipul gingival și distanța inter-radiculară.
- Realizarea unui design personalizat pentru un mini-implant ortodontic având parametri structurali ideali și evaluarea distribuției stresului atât la nivelul osului cât și la nivelul mini-implantului.
- Validarea profilului biologic pentru mini-implantul personalizat utilizând cele mai noi tehnici: metoda membranei coriolantoide, metoda LDH, MTT
- Evaluarea factorilor care țin de tehnica de inserție pentru a contribui la scăderea ratei de eșec: unghiul de inserție în funcție de grosimea osului cortical și utilizarea ghidurilor chirurgicale
- Descrierea unui protocol de inserare a mini-implantelor utilizând metoda de inserție ghidată (prezentarea diverselor tipuri de ghiduri chirurgicale) și metoda de inserție liberă