

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-1394.2024-1.1>

УДК 616.311.2:616.314-089.28/.29-089.843-092.4/.9

В.Ю. Вовк, кандидат медичних наук, доцент, кафедра хірургічної та ортопедичної стоматології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, вул. Пекарська 69, м. Львів, Україна, індекс 79010, dr.vovk1987@gmail.com

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛІНІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ТКАНИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ ЕНДОСАЛЬНИХ ІМПЛАНТАТІВ ПРИ АКСІАЛЬНОМУ ТА ПАРААКСІАЛЬНОМУ ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ (ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ)

У сучасних діагностично-лікувальних протоколах проведення дентальної імплантації акцентується увага на врахуванні як морфологічних, так і функціональних факторів для досягнення довготривалої клінічної результативності цієї технології лікування. Відсутність забезпечення функціонально орієнтованого позиціонування дентальних імплантатів (ДІ) і протезних конструкцій призводить у клінічній практиці до частих ускладнень при хірургічних втручаннях, які важко піддаються корекції, а результати застосованого протезування негативно змінюють функціональну витривалість періімплантного тканинного оточення з ранньою експлантацією ДІ. З огляду на це багато зусиль фахівців спрямовано на експериментальне дослідження особливостей розподілу функціонального навантаження ДІ в оточуючій кістковій тканині зі спробою екстраполяції отриманих даних у клінічну практику для оптимізації розташування застосовуваних при цьому протезних конструкцій. Проведені дослідження дисфункціонального впливу навантаження в ділянках похилих площин оклюзійних поверхонь протезних конструкцій довели зростання концентрованої горизонтальної складової навантаження ДІ, внаслідок чого збільшуються компресійні та розтягуючі деформаційні сили, які спричинюють резорбцію альвеолярної кісткової тканини щелеп. Встановлено, що підвищення векторів бічних навантажень на межі кістка-імплантат виникає при імплантації безпосередньо після видалення зубів. При цьому репарація кісткової тканини призводить до втрати маргінального рівня і. У результаті цього коронки на ДІ виготовляються більшими за коронки наявних зубів, що вторинно може зумовити зростання шкідливого впливу деформаційних векторів.

У зв'язку з наявністю контраверсійних тлумачень щодо результатів тривалого впливу функціонального навантаження ДІ на стан інтерфейсу періімплантних тканин констатується необхідність проведення сучасного експериментального морфологічного, рентгенографічного та гістоморфометричного аналізу показників інтерфейсу ДІ, розташованих в аксіальному та парааксіальному положеннях по периметру контакту з оточуючою кісткою.

Ключові слова: дентальний імплантат, інтерфейс «імплантат – кісткова тканина», аксіальне та неаксіальне функціональне навантаження імплантатів.

V.Yu. Vovk, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Oral Surgery and Prosthetic Dentistry, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, 69 Pekarska str, Lviv, Ukraine, postal code 79010, dr.vovk1987@gmail.com

THE RESULTS OF THE EXPERIMENTAL-CLINICAL STUDY OF THE STATE THE TISSUE INTERFACE OF ENDOOSTEAL IMPLANTS IN AXIAL AND NON-AXIAL FUNCTIONAL LOADING (OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM)

In modern diagnostic and treatment protocols for dental implantation, attention is focused on taking into account both morphological and functional factors to achieve long-term clinical effectiveness of this treatment technology. The lack of ensuring functionally oriented positioning of dental implants (DI) and prosthetic



structures leads to frequent complications in clinical practice with surgical interventions, which are difficult to correct, and the results of applied prosthetics negatively change the functional endurance of the peri-implant tissue environment with early explantation of DI. In this regard, many efforts of specialists are directed to the experimental study of the features of the distribution of the functional load of the DI in the surrounding bone tissue with an attempt to extrapolate the obtained data into clinical practice to optimize the location of the prosthetic structures used in this cases. Studies of the dysfunctional impact of the load in the areas of the inclined planes of the occlusal surfaces have been carried out of prosthetic structures proved the presence of an increase in the concentrated horizontal component of the DI load, as a result of which compressive and tensile deformation forces increase, which cause resorption of the alveolar bone tissue of the jaws. It has been established that an increase in lateral load vectors at the bone-implant interface occurs during implantation immediately after tooth extraction. At the same time, bone tissue repair leads to a loss of the marginal level, and as a result, crowns on DI are made larger than the crowns of existing teeth, which can secondarily involve growth harmful effects of deformation vectors.

In connection with the existence today of controversial interpretations regarding the results of the long-term influence of the functional load of the DI on the state of the peri-implant tissue interface, the need for modern experimental morphological, x-ray graphic and histomorphometric analysis of the indicators of the DI interface located in axial and paraaxial positions along the perimeter of contact with the surrounding bone.

Key words: dental implant, implant-bone tissue interface, axial and non-axial functional loading of implants.

Постановка проблеми та її методологічний і експериментально-клінічний аналіз на основі даних сучасних літературних джерел.

Кісткова тканина щелеп, отримуючи механічне навантаження, адаптує свою міцність до прикладеного функціонального впливу завдяки природній послідовності процесів її формування та ремоделювання [1]. Безпосередній механічний вплив на кісткову тканину щелеп, наприклад у зв'язку з навантаженням дентальних імплантатів (далі – ДІ), призводить до її деформації і характеризується утворенням різної кількості кісткової тканини у доквіллі ендосальної частини імплантатів. Помірне перевантаження кістки компенсується утворенням її більшої кількості, оптимальне навантаження зумовлює адаптацію і стабілізацію остеогенетичних процесів, а коли функціональне навантаження знижується, відбувається послаблення кісткоутворення. Формування кісткової тканини щелеп відбувається внутрішньомембранозним шляхом та ініціюється мезенхімальними стовбуровими клітинами (МСК). Вони об'єднуються в групи і перетворюються на остеогенні клітини, які виробляють позаклітинний кістковий матрикс. Інші МСК перетворюються на остеобласти та створюють остеїд, що містить переважно колаген першого типу, з яким об'єднуються кісткові тканини, утворюючи сплетену кістку. Під час процесу дозрівання сплетена кістка заміню-

ється пластинковою кісткою шляхом резорбції остеокластів і виробництва остеобластів. Ремодельовання кісткової тканини відноситься до процесу резорбції та формування кісткової тканини, необхідного для підтримки кісткової тканини та мінерального гомеостазу [2]. Цей процес еквівалентний морфологічній зміні кістки без порушення її структури.

Зрозуміло, що частково мінералізована кістка слабша за повністю мінералізовану. Відомо, що на клітинному рівні формування кістки відбувається через зміщення балансу між остеокластами, які резорбують кальцинований матрикс, і остеобластами, які синтезують новий кістковий матрикс. Добре організована та більш мінералізована пластинчаста кістка міцніша за неорганізовану змішану зі сполучною тканиною остеїдну тканину. Доцільно пам'ятати, що жорсткість ДІ з титану, цирконію, або їх сплавів у декілька разів перевищує жорсткість кортикальної кістки [3; 5; 9]. При цьому навантаження на інтерфейс між двома різнорідними матеріалами буде найбільш значимим у цій локації, де обидва біоматеріали мають перший контакт. Для ендосальних імплантатів навантаження поширюється на усе тканинне доквілля. Окрім цього, конструкція (наприклад, гвинтовий, циліндричний) і конфігурація поверхні ДІ може впливати на розподіл напруги в кістці на



межі кістки та імплантату. В експериментальному дослідженні [5] встановлено, що гістологічні та гістоморфометричні показники після 18 місяців функціонального навантаження вказують на те, що гвинтові імплантати мають більше контактів із кісткою, ніж циліндричні імплантати. Згідно з дослідженнями [6; 7] клінічно-рентгенологічна маргінальна втрата кісткової тканини спостерігається впродовж 4 років спостереження. Виявлено також, що вона є більшою у ДІ з V-подібною різьбою, ніж у імплантів з квадратною різьбою, поверхня яких оброблена піскоструминно з наступною кислотною протравкою.

Міцність кістково-імплантного інтерфейсу зростає від початку навантаження після хірургічного втручання і до кінця першого року функціонування як через те, що кістка стає більш щільною, так і через збільшення вмісту у її складі мінеральних компонентів [4; 8; 9]. Отже, функціональне навантаження протягом першого року загоєння може бути достатнім, щоб спричинити локальні пошкодження кістки в оточенні ДІ. Слід також зазначити, що при негайному навантаженні ДІ величина і локалізація навантаження мають узгоджуватися з фізіологічними закономірностями функціонування стоматогнатичної системи. Незначне навантаження на кістку, що загоюється, скорочує цей процес, а не подовжує його. Експерименти на тваринах, проведені авторами [10; 11], доводять, що, навантажуючи ДІ, миттєво можна досягти їх повноцінної остеоінтеграції при ретельному дотриманні контролю за функціональним силовим впливом на вісь розташування ДІ [12; 13]. У зв'язку із цим вивчалися впливи осьових та неосьових навантажень ДІ. Дослідження авторів [14] дозволило експериментально установити, що довкола ендосальної частини ДІ із переважно аксіальним навантаженням спостерігалось гістологічно неактивне ремоделювання, яке поступово зменшувалося від маргінального рівня до верхівки ДІ, а неаксіальне навантаження призвело до більш динамічного ремоделювання навколишньої кортикальної і, зокрема, трабекуляр-

ної кісткової тканини. Було також доведено, що неосьове навантаження не є шкідливішим для ДІ, ніж осьове навантаження. Натепер експериментально встановлено, що як осьові, так і параосьові (кутові) сили надмірного функціонального навантаження послаблюють структурні остеоінтегративні процеси межового інтерфейсу «кісткова тканина – імплантат», особливо в кристалній (пришийковій) ділянці [15]. Морфо-функціональні дослідження авторів [20] засвідчують, що локалізовані механічні навантаження у ділянках альвеолярних відростків щелеп викликають біохімічні ланцюгові реакції, що ініціюють каскад біологічних і фармакологічних подій, які спотворюють трофометаболічні процеси у кістковій тканині. Встановлено при цьому, що протягом лише кількох хвилин локалізованого біомеханічного перевантаження суттєво порушується локальний кровообіг, що призводить до зниження парціального тиску кисню та вивільнення простагландинів і цитокінів. Спотворення клітинного функціонування та гіпоксія зумовлюють ініціацію процесів, які у кінцевому результаті спричиняють розвиток стану, відомого як асептичне запалення. Його формування опосередковане сигнальними протеїнами, які зазвичай парціально зосереджені внутрішньоклітинно та приховані від розпізнавання імунною системою за нормальних умов. Однак за обставин надмірного клітинного навантаження ці молекули вивільняються у позаклітинне середовище, запускаючи запальну ланцюгову реакцію, включаючи реалізацію тканинного впливу простагландинів та циклооксигеназ [20]. Якщо цей процес триває протягом кількох годин, метаболічні зміни і, як наслідок, їх вторинні месенджери, такі як циклічний аденозинмонофосфат (ц-АМФ), підвищують регуляцію цитокінів у сімействі фактора некрозу пухлини (α -TNF), який включає рецептор-активатор ядерного фактора транскрипції/рецепторного активатора (RANK/RANKL) і молекул системи остеопротегерину (OPG), що стимулює ремоделювання, або резорбцію, кісткової тканини [20].



У спеціальних дослідженнях встановлено, що при осьовому векторі навантаження спостерігається симетрична кісткова резорбція, в той час як при параосьовому (неосьовому) біомеханічному впливі виявлено асиметричний результат резорбції. Крім того, відомо, що в разі параосьового навантаження резорбція кістки розпочинається раніше, а об'єм втраченої кісткової тканини є більшим довкола ДІ порівняно з осьовим навантаженням. Вертикальне навантаження вздовж тіла ДІ більше спричинює появу компресійного навантаження на кісткову тканину, ніж деформацію розтягнення або поперекового зсуву. Поперечні деформаційні впливи зростають з кутом навантаження до еносальних поверхонь ДІ і в подальшому впливають на фізіологічну межу міцності на стиснення та розрив кістки в різних ділянках імплантно-кісткового інтерфейсу [21]. Разом із цими даними вивчено біомеханічний вплив на міцність інтерфейсу ДІ. Ці експериментальні дослідження доводять діаметрально протилежні висновки, які дозволяють стверджувати відсутність резорбції періімплантної кістки, індукованої параосьовим навантаженням [16; 17]. Низка авторів обґрунтовано демонструє, що при кутовому навантаженні ДІ виникають механічні порушення окремих протезних складових і поверхонь абатментів [18; 19; 20].

У стоматологічній імплантологічній практиці зазвичай вважається, що ДІ мають розташовуватися перпендикулярно до оклюзійної площини [10; 22]. У подібній ситуації доведено, що неаксіальні оклюзійні навантаження можуть генерувати розкручування імплантних гвинтів та призводити до переломів протезних компонентів або навіть до втрати остеоінтеграції [26]. Вперше Н.Л. Page [23] у 1952 р. довів, що положення оклюзійних поверхонь зубів нижньої щелепи є фізіологічним при їх перпендикулярності до дотичної колової траєкторії руху нижньої щелепи. Авторами публікації [24] було клінічно встановлено, що розподіл оклюзійного навантаження на зубний ряд нижньої щелепи є найбільш фізіологічним при відповідності траєкторії руху зубів до дотичної траєкторії руху щелепи. При

цьому обґрунтовано, що загальна вісь цього руху повинна узгоджуватися з напрямком осьового навантаження зубів [25]. Цю аксіому було застосовано при врахуванні навантаження ДІ для протистояння статичним та динамічним силам оклюзійного впливу. Біомеханічна мета цих підтверджуючих досліджень полягає в тому, щоби довести закономірність ситуативних протезних проблем у клінічній імплантологічній практиці, що слід вирівняти досягнути при протезуванні на ДІ вісь системи «імплантат-протез» з ідеальною віссю біомеханічного навантаження ДІ, уведених у кісткову тканину щелепи у місці втраченого зуба з індивідуалізованим кутовим положенням до оклюзійної площини згідно з функціональним законом тангенса [25]. Можливість використання правильно розрахованого кутового нахилу ДІ в одному блоці протезної конструкції теж була експериментально підтверджена [26] під час дослідження *in vitro* розподілу навантаження в періімплантному оточенні за допомогою методу скінченних елементів. Окрім цього, авторами [28] встановлено, що при використанні в розрахунках функціонального закону тангенса горизонтальна складова розподілу векторів оклюзійного навантаження усувається або мінімізується, що дозволяє уникнути травматичного впливу надмірної площі та тривалості оклюзійних контактів у положенні максимальної інтеркуспідації [24].

Відомо про клінічні переваги експериментально встановленого функціонального кутового розташування ДІ. Зокрема, параосьове позиціонування ДІ альтернативно застосовується у клінічних випадках, коли показана аугментація кісткової тканини щелеп, підняття верхньощелепової пазухи, що суттєво спрощує методику лікування, його тривалість, фінансові витрати та приводить до значно комфортнішого післяопераційного періоду для пацієнтів. Застосування неаксіального позиціонування ДІ дозволяє максимально використати наявну кістку та розмістити у бічних ділянках ДІ з мінімальними консольними подовженнями супраструктур, де висота кістки та близькість судинно-нервових магі-



стральних пучків не дозволяють аксіальне розміщення імплантатів [27; 28].

Комбіноване використання уведених ДІ аксіально і під кутом формує можливу альтернативу лікування при повній втраті зубів [29; 30; 31; 32; 33; 34]. Кут нахилу ДІ повинен бути ретельно спланований хірургом-стоматологом, щоб не пошкодити важливі анатомічні структури. При відповідному куті уведення ДІ довші імплантати оптимально використовують доступну кісткову пропозицію, що сприяє повноцінній первинній стабільності імплантатів [35]. Більша відстань між ДІ дозволяє зменшити дистальну довжину і досягти оптимального розподілу біомеханічного навантаження. У багатьох випадках це може дозволити здійснити негайне протезування на ДІ [25].

У проведених експериментально-клінічних дослідженнях стверджується, що втрата кісткової тканини альвеолярного гребеня навколо ДІ після одного року функціонування становить від 0,43 до 1,13 мм для аксіально позиціонованих ДІ та від 0,34 до 1,14 мм для кутових імплантатів. Положення імплантату (верхня чи нижня щелепа), час навантаження (негайне чи відтерміноване), тип реставрації (часткова чи повна) та план дослідження (проспективний чи ретроспективний) не мали істотного впливу на крайову втрату кісткової тканини [36]. Клінічно-експериментальні дослідження, проведені незалежними експертами [37; 38], дозволили встановити, що ніяких істотних відмінностей у маргінальних рівнях зміни кісткової тканини щелеп між кутовим і осьовим розташуванням ДІ протягом 5 років спостереження не виявлено.

Дослідження наукової групи [39] в ході ретроспективного аналізу дозволили виявити потенційний вплив нахилу ДІ на втрату кісткової тканини у 42 хворих з фіксованими протезними конструкціями. При врахуванні авторами нахилу ДІ були визначені як аксіально розташовані (у середньому 2.41° , діапазон 0° до $4,1^\circ$), так і неаксіально розташовані ДІ (у середньому 17.11° , діапазон 11° – $30,1^\circ$). У результаті п'ятирічного клінічно-рентге-

нологічного дослідження встановлено, що середня зміна рівня кістки склала 0,4 мм (SD 0,97) для осьового і 0,5 мм (0,95) для параосьового позиціонуванням ДІ ($p > 0,05$). Усі вищезазначені дані свідчать про те, що ДІ, розташовані під кутом, можуть забезпечити той самий клінічний результат, що й ДІ, встановлені вертикально. Таким чином, сьогодні відсутні абсолютні докази щодо шкідливого впливу кутового навантаження на остеоінтеграцію, контраверсійними є також посилення на пошкоджуючий ефект дії на мезо- та супраструктурні складові ДІ [40; 41].

З огляду на це ми припускаємо, що при різновекторному функціональному навантаженні ДІ найбільш суттєві морфологічні кількісно-якісні зміни повинні проявлятися як у маргінальних, так і в серединних та приверхівкових локаціях периметру ендосальних поверхонь мезіальних та дистальних ділянок ДІ. Оцінити їх структурно-функціональні особливості можна при безпосередньому функціональному навантаженні ДІ, уведених аксіально та неаксіально у післяекстракційні ділянки видалених кутніх зубів протягом загальноприйнятих при подібних експериментальних дослідженнях 1–1,5-річних спостереженнях на основі аналізу остеоформуєчих та остеоремоделюєчих явищ status quo інтерфейсу «кістка – імплантат», і їх порівнянні з інтактною кістковою тканиною щелепової кістки.

Виходячи з вищенаведених результатів вивчення сучасного стану проблеми у царині експериментально-клінічної імплантології, ми встановили мету нашого подальшого наукового пошуку і досліджень. Ми спрямуємо наукові зусилля на проведення візуального експериментально-клінічного та рентгенографічного аналізу положення ДІ у зв'язку з гістоморфологічними даними, які планується дослідити, використовуючи гістологічні препарати зрізів в одній площині із залученням ДІ, кістки щелепи з оточуючими слизово-окісними тканинами, які є у нашому науково-практичному ресурсі. Такий аналіз планується провести за допомогою новітньої інноваційної цифрової



технології флюорисцентного мікроскопування тканинного контенту по периметру кістково-імплантного інтерфейсу ендосальних мезіально-дистальних поверхонь ДІ, розташованих у аксіальному та парааксіальному положеннях.

Висновки, які отримані при аналізі сучасних літературних джерел з питань дослідження стану тканинного інтерфейсу ендосальних імплантатів при вертикальному та тангенціальному функціональному навантаженні, є такими.

1. Вплив функціонального навантаження слід розглядати як з морфологічної, так і з функціональної точки зору, оскільки його значення може спричинити суттєві зміни в локаціях кісткового загоєння та кісткоформування.

2. Функціональне навантаження по-різному впливає на кісткову тканину щелеп, яка входить до складу стоматогнатичної системи, приводячи до змін щільності її внутрішніх структур та перебудови морфології альвеолярного відростка щелепи. Встановлено, що при біомеханічному навантаженні в межах фізіологічного діапазону кісткова тканина зберігає інтактний стан, а незначні локальні мікродеформації навіть стимулюють її утворення. При зростанні цих деформацій адаптаційна рівновага порушується і відбувається гальмування кісткоформування. Якщо біомеханічне навантаження підвищується і виходить за межі компенсаційних спроможностей, кісткова тканина резорбується.

3. Процес функціонального перевантаження спричинює порушення балансу ремоделювання кістки в бік остеокластогенезу, венозного тромбозу, збільшення інфільтрату імунних клітин та апоптозу кісткових клітин.

4. Доведено, що широко застосовувані в сучасній стоматологічній практиці ДІ більш

чутливі до дії функціонального навантаження, ніж природні зуби. У сучасних дослідженнях виявлено, що при біомеханічному навантаженні ДІ резорбція кістки розпочинається в ділянці маргінального відділу періімплантної кортикальної кістки і далі може досягати губчатої речовини кістки, радикально змінюючи кістково-імплантний інтерфейс і порушуючи остеointegraцію ДІ.

5. В уже проведених експериментальних дослідженнях чітко сформульовано, що парасьове функціональне навантаження може бути пов'язане з втратою ДІ, однак переконливого причинно-наслідкового зв'язку між цими структурно-функціональними подіями не встановлено.

6. Нормалізація функціонального навантаження ДІ в аксіальному та парааксіальному положеннях необхідна для досягнення послідовного кісткового формування, ремоделювання та регенерації довкілля кісткотканинного інтерфейсу з ендосальними поверхнями ДІ.

7. У межах нашого короткого аналітичного огляду проблеми, пов'язаної зі станом кістково-імплантного інтерфейсу, при безпосередньому функціональному навантаженні ДІ було встановлено, що рівень засвоєння функціонального впливу періімплантними тканинами суттєво не відрізняється при кутовому та вертикальному положенні ДІ. Однак для підтвердження цих висновків необхідно провести ретельний експериментальний аналіз гістоморфометричних показників у поєднанні з клінічними макроскопічними та рентгенографічними дослідженнями за допомогою цифрових технологій, що надасть можливість отримати відповіді на дискусійні питання у царині остеointegraційного статусу ДІ.

Література:

1. Flemming I. Influence of forces on peri-implant bone (2006). *Clinical Oral Implants Research* 17 (Suppl. 2), 8–18.
2. Degidi M., Scarano A., Piattelli M., Perrotti V., Piattelli A. (2005). Bone remodeling in immediately loaded and unloaded titanium dental implants: a histologic and histomorphometric study in humans. *Journal of Oral Implantology*, 31, 18–24.
3. Manea A., Bran S., Cristian D., Rotaru H., Barbur I., Crisan B., Armencea G., Onisor F., Lazar M., Ostas D., Baciut M., Vacaras S., Mitre I., Liana C.,



- Muresan O., Roman R., Baciut G. (2019). Principles of biomechanics in oral implantology, *Medecine and pharmacy reports.*, 92 (Suppl.), 3, 14–19.
4. Misch C.E., Suzuki J.B., Misch-Dietsh F.M., Bidez M.W. (2005). A positive correlation between occlusal trauma and peri-implant bone loss: literature support. *Implant Dentistry*, 14, 108–116.
 5. Kitamura E., Stegaroiu R., Nomura S. & Miyakawa O. (2004). Biomechanical aspects of marginal bone resorption around osseointegrated implants: considerations based on a three-dimensional finite element analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 15, 401–412.
 6. Watzak G., Zechner W., Ulm C., Tangl S., Tepper, G. & Watzek G. (2005). Histologic and histomorphometric analysis of three types of dental implants following 18 months of occlusal loading: a preliminary study in baboons. *Clinical Oral Implants Research*, 16, 408–416.
 7. Zechner W., Trinkl N., Watzak G., Busenlechner D., Tepper G., Haas R., Watzek G. (2004). Radiologic follow-up of peri-implant bone loss around machine-surfaced and rough-surfaced interforaminal implants in the mandible functionally loaded for 3 to 7 years. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 1(19), 216–221.
 8. Roberts W.E., Turley P.K., Brezniak N. & Fielder P.J. (1987). Implants: bone physiology and metabolism. *Journal of the California Dental Association*, 15, 54–61.
 9. Podaropoulos L., Veis A.A., Trisi P.; Papadimitriou S., Alexandridis C., Kalyvas D. (2016). Bone reactions around dental implants subjected to progressive static load: An experimental study in dogs. *Clin. Oral Implants Res.*, 27(3), 910–917.
 10. Duyck J., Vrielinck, L., Lambrechts I., Abe Y., Schepers S., Politis C. Naert I. (2005). Biologic response of immediately versus delayed loaded implants supporting ill-fitting prostheses: an animal study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7, 150–158.
 11. Quinlan P., Nummikoski P., Schenk R., Cagna D., Mellonig J., Higginbottom, F., Lang K., Buser D. Cochran D. (2005). Immediate and early loading of SLA ITI single-tooth implants: an in vivo study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 20, 360–370.
 12. Buchter A., Wiechmann D., Koerdts S., Wiesmann H.P., Piffko J. Meyer U. (2005). Load-related implant reaction of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Clinical Oral Implants Research*, 16, 473–479.
 13. Duyck J., Vandamme K., Geris L., Van Oosterwyck H., De Cooman M., Vander Sloten J., Puers R., Naert I. (2006). The influence of micro-motion on the tissue differentiation around immediately loaded cylindrical turned titanium implants. *Archives of Oral Biology*, 51, 1–9.
 14. Вовк Ю.В., Вовк В.Ю. (2017). Експериментальне дослідження стану кісткової тканини при впливі тривалого функціонального навантаження на дентальні імплантати, уведені з різностороннім нахилом. *Новини стоматології*, 2 (91), 62–70.
 15. Decker AM, Sheridan R., Lin G.H., Sutthiboonyan P., Carroll W., Wang H.L. (2015). Prognosis System for Periimplant Diseases. *Implant Dentistry*, 24(4), 416–421.
 16. Roberts W.E., Smith R.K., Zilberman Y., Mozsary P.G., Smith R.S. (1984). Osseous adaptation continuous loading of rigid endosseous implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 86, 95–111.
 17. Stahl, E., Keilig, L., Abdelgader, I., Jager, A., Bouraue, I.C. (2009). Numerical analyses of biomechanical behaviour of various orthodontic anchorage implants. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 70, 115–127.
 18. Wilmes B., Su Y.Y., Drescher D. (2008). Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants. *Angle Orthodontics*, 1(78), 1065–1070.
 19. van Staden R.C., Guan H., Johnson N.W., Loo Y.C., Meredith, N. (2008). Step-wise analysis of the dental implant insertion process using the finite element technique. *Clinical Oral Implants Research*, 19, 303–313.
 20. Chrcanovic B. R., Albrektsson T., Wennerberg A. (2015). Tilted versus axially placed dental implants: A meta-analysis *Review Journal of Dentistry*, 43(2), 149–170.
 21. Vidyasagar, L. Apse, P. (2003). Biological response to dental implant loading/overloading. *Implant overloading: empiricism or science?* *Stomatologija*, 5(3), 83–89.
 22. Roberts W.E., Smith R.K., Zilberman, Y., Mozsary P.G., Smith R.S. (1984). Osseous adaptation continuous loading of rigid endosseous implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 86, 95–111.
 23. Page H.L. (1952). The occlusal curve. *Dental digest.*, 3, 19–22.
 24. Orthlieb J.-D. (1997). The curve Spee: understanding the sagittal organization of mandibular teeth. *The Journal of Craniomandibular Practice*, 4, 333–34.
 25. Ré J.-Ph., Foti B., Glise J.-M., Orthlieb J.-D. (2015). Optimal placement of the two anterior implants for the mandibular All-on-4 concept *J. Prosthet Dent.*, 114, 17–21.



26. Krekmanov L., Kahn M., Rangert B., Lindstrom H. (2000). Tilting of posterior mandibular and maxillary implants of improved prosthesis support. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, 15(2), 405–414.
27. Sebaoun J.D., Kantarci A., Turner J.W., Carvalho R.S., Van Dyke T.E., Ferguson D.J. (2008). Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *J. Periodontol.*, 79(9), 1679–1688.
28. Chun H.J., Shin H.S., Han C.H., Lee S.H. (2006). Influence of implant abutment type on stress distribution in bone under various loading conditions using finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 21(2), 195–202.
29. Calandriello R, Tomatis M. (2005). Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: a prospective 1-year clinical study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7, 1–12.
30. Capelli M, Zuffetti F, Del Fabbro M, Testori T. (2007). Immediate rehabilitation of the completely edentulous jaw with fixed prostheses supported by either upright or tilted implants: a multicenter clinical study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 22, 639–644.
31. Maló P, de Araújo Nobre M, Lopes A. (2007). The use of computer-guided flapless implant surgery and four implants placed in immediate function to support a fixed denture: preliminary results after a mean follow-up period of thirteen months. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 97, 26–34.
32. Agliardi EL, Francetti L, Romeo D, Taschieri S, Del Fabbro M. (2021). Immediate loading in the fully edentulous maxilla without bone grafting: the V-II-V technique. *Minerva Stomatologica*, 57(2), 59–63.
33. Francetti L, Agliardi E, Testori T, Romeo D, Taschieri S, Del Fabbro M. (2008). Immediate rehabilitation of the mandible with fixed full prosthesis supported by axial and tilted implants: interim results of a single cohort prospective study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 10(2), 255–263.
34. Tealdo T., Bevilacqua M., Pera F., Menini M., Ravera G., Drago C. (2008). Immediate function with fixed implant-supported maxillary dentures: a 12-month pilot study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 99, 351–360.
35. Testori T., Del Fabbro M., Capelli M., Zuffetti F., Francetti L., Weinstein R. (2010). Immediate occlusal loading and tilted implants for the rehabilitation of the atrophic edentulous maxilla: 1-year interim results of a multicenter prospective study. *Clinical Oral Implants Research*, 19(2), 227–232.
36. Chrcanovic B. R., Albrektsson T., Wennerberg A. (2015). Bruxism and Dental Implants: A Meta-Analysis, 243(5), 505–516.
37. Krekmanov L., Kahn M., Rangert B., Lindström H. (2000). Tilting of posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support. *Oral Maxillofac Implants*, 15(3), 405–414.
38. Calandriello R, Tomatis M. (2005). Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: a prospective 1-year clinical study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7, 1–12.
39. Koutouzis T., Wennstrom J.L. (2007). Bone level changes at axial- and non-axial-positioned implants supporting fixed partial dentures. A 5-year retrospective longitudinal study. *Clinical Oral Implants Research*, 18, 585–590.
40. Kawasaki T., Komatsu K., Tsuchiya R. (2011). Tilted placement of tapered implants using a modified surgical template. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69, 1642–1650.
41. Cavalli N., Barbaro B., Spasari D., Azzola F., Ciatti A., Francetti L. (2012). Tilted implants for full-arch rehabilitations in completely edentulous maxilla: a retrospective study. *International Journal of Dentistry Article*, ID 180379, 6.

References:

1. Flemming I. Influence of forces on peri-implant bone (2006). *Clinical Oral Implants Research* 17 (Suppl. 2), 8–18.
2. Degidi M., Scarano A., Piattelli M., Perrotti V., Piattelli A. (2005). Bone remodeling in immediately loaded and unloaded titanium dental implants: a histologic and histomorphometric study in humans. *Journal of Oral Implantology*, 31, 18–24.
3. Manea A., Bran S., Cristian D., Rotaru H., Barbur I., Crisan B., Armencea G., Onisor F., Lazar M., Ostas D., Baciut M., Vacaras S., Mitre I., Liana C., Muresan O., Roman R., Baciut G. (2019). Principles of biomechanics in oral implantology, *Medecine and pharmacy reports.*, 92 (Suppl.), 3, 14–19.
4. Misch C.E., Suzuki J.B., Misch-Dietsh F.M., Bidez M.W. (2005). A positive correlation between occlusal trauma and peri-implant bone loss: literature support. *Implant Dentistry*, 14, 108–116.
5. Kitamura E., Stegaroiu R., Nomura S. & Miyakawa O. (2004). Biomechanical aspects of marginal bone resorption around osseointegrated implants: considerations based on a three-dimensional finite



- element analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 15, 401–412.
6. Watzak G., Zechner W., Ulm C., Tangl S., Tepper, G. & Watzek G. (2005). Histologic and histomorphometric analysis of three types of dental implants following 18 months of occlusal loading: a preliminary study in baboons. *Clinical Oral Implants Research*, 16, 408–416.
 7. Zechner W., Trinkl N., Watzak G., Busenlechner D., Tepper G., Haas R., Watzek G. (2004). Radiologic follow-up of peri-implant bone loss around machine-surfaced and rough-surfaced interforaminal implants in the mandible functionally loaded for 3 to 7 years. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 1(19), 216–221.
 8. Roberts W.E., Turley P.K., Brezniak N. & Fielder P.J. (1987). Implants: bone physiology and metabolism. *Journal of the California Dental Association*, 15, 54–61.
 9. Podaropoulos L., Veis A.A., Trisi P.; Papadimitriou S., Alexandridis C., Kalyvas D. (2016). Bone reactions around dental implants subjected to progressive static load: An experimental study in dogs. *Clin. Oral Implants Res.*, 27(3), 910–917.
 10. Duyck J., Vrielinck, L., Lambrichts I., Abe Y., Schepers S., Politis C. Naert I. (2005). Biologic response of immediately versus delayed loaded implants supporting ill-fitting prostheses: an animal study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7, 150–158.
 11. Quinlan P., Nummikowski P., Schenk R., Cagna D., Mellonig J., Higginbottom, F., Lang K., Buser D. Cochran D. (2005). Immediate and early loading of SLA ITI single-tooth implants: an in vivo study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 20, 360–370.
 12. Buchter A., Wiechmann D., Koerdt S., Wiesmann H.P., Piffko J. Meyer U. (2005). Load-related implant reaction of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Clinical Oral Implants Research*, 16, 473–479.
 13. Duyck J., Vandamme K., Geris L., Van Oosterwyck H., De Cooman M., Vander Sloten J., Puers R., Naert I. (2006). The influence of micro-motion on the tissue differentiation around immediately loaded cylindrical turned titanium implants. *Archives of Oral Biology*, 51, 1–9.
 14. Vovk Yu.V., Vovk V.Yu. (2017). Eksperymentalne doslidzhennya stanu kistkovoyi tkanyny pry vplyvi tryvalogo funktsionalnogo navantazhennya na dentalni implantaty, uvedeni z riznostoronnim nahylom. *Novyny stomatologiyi*, 2 (91), 62–70.
 15. Decker AM, Sheridan R., Lin G.H., Sutthiboonyan P., Carroll W., Wang H.L. (2015). Prognosis System for Periimplant Diseases. *Implant Dentistry*, 24(4), 416–421.
 16. Roberts W.E., Smith R.K., Zilberman Y., Mozsary P.G., Smith R.S. (1984). Osseous adaptation continuous loading of rigid endosseous implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 86, 95–111.
 17. Stahl, E., Keilig, L., Abdelgader, I., Jager, A., Bouraue, I.C. (2009). Numerical analyses of biomechanical behaviour of various orthodontic anchorage implants. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 70, 115–127.
 18. Wilmes B., Su Y.Y., Drescher D. (2008). Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants, *Angle Orthodontics*, 1(78), 1065–1070.
 19. van Staden R.C., Guan H., Johnson N.W., Loo Y.C., Meredith, N. (2008). Step-wise analysis of the dental implant insertion process using the finite element technique. *Clinical Oral Implants Research*, 19, 303–313.
 20. Chrcanovic B. R., Albrektsson T., Wennerberg A. (2015). Tilted versus axially placed dental implants: A meta-analysis *Review Journal of Dentistry*, 43(2), 149–170.
 21. Vidyasagar, L. Apse, P. (2003). Biological response to dental implant loading/overloading. *Implant overloading: empiricism or science?* *Stomatologija*, 5(3), 83–89.
 22. Roberts W.E., Smith R.K., Zilberman, Y., Mozsary P.G., Smith R.S. (1984). Osseous adaptation continuous loading of rigid endosseous implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 86, 95–111.
 23. Page H.L. (1952). The occlusal curve. *Dental digest.*, 3, 19–22.
 24. Orthlieb J.-D. (1997). The curve Spee: understanding the sagittal organization of mandibular teeth. *The Journal of Craniomandibular Practice*, 4, 333–334.
 25. Ré J.-Ph., Foti B., Glise J.-M., Orthlieb J.-D. (2015). Optimal placement of the two anterior implants for the mandibular All-on-4 concept *J. Prosthet Dent.*, 114, 17–21.
 26. Krekmanov L., Kahn M., Rangert B., Lindstrom H. (2000). Tilting of posterior mandibular and maxillary implants of improved prosthesis support. *Int. J. Oral. Maxillofac. Implants*, 15(2), 405–414.
 27. Sebaoun J.D., Kantarci A., Turner J.W., Carvalho R.S., Van Dyke T.E., Ferguson D.J. (2008). Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *J. Periodontol.*, 79(9), 1679–1688.
 28. Chun H.J., Shin H.S., Han C.H., Lee S.H. (2006). Influence of implant abutment type on stress distribution in bone under various loading



- conditions using finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 21(2), 195–202.
29. Calandriello R, Tomatis M. (2005). Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: a prospective 1-year clinical study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7, 1–12.
30. Capelli M, Zuffetti F, Del Fabbro M, Testori T. (2007). Immediate rehabilitation of the completely edentulous jaw with fixed prostheses supported by either upright or tilted implants: a multicenter clinical study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 22, 639–644.
31. Maló P, de Araújo Nobre M, Lopes A. (2007). The use of computer-guided flapless implant surgery and four implants placed in immediate function to support a fixed denture: preliminary results after a mean follow-up period of thirteen months. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 97, 26–34.
32. Agliardi EL, Francetti L, Romeo D, Taschieri S, Del Fabbro M. (2021) Immediate loading in the fully edentulous maxilla without bone grafting: the V-II-V technique. *Minerva Stomatologica*, 57(2), 59–63.
33. Francetti L, Agliardi E, Testori T, Romeo D, Taschieri S, Del Fabbro M. (2008). Immediate rehabilitation of the mandible with fixed full prosthesis supported by axial and tilted implants: interim results of a single cohort prospective study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 10(2), 255–263.
34. Tealdo T., Bevilacqua M., Pera F., Menini M., Ravera G., Drago C. (2008). Immediate function with fixed implant-supported maxillary dentures: a 12-month pilot study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 99, 351–60.
35. Testori T., Del Fabbro M., Capelli M., Zuffetti F., Francetti L., Weinstein R. (2010). Immediate occlusal loading and tilted implants for the rehabilitation of the atrophic edentulous maxilla: 1-year interim results of a multicenter prospective study. *Clinical Oral Implants Research*, 19(2), 227–32.
36. Chrcanovic B. R., Albrektsson T., Wennerberg A. (2015). Bruxism and Dental Implants: A Meta-Analysis, 243(5), 505–516.
37. Krekmanov L., Kahn M., Rangert B., Lindström H. (2000). Tilting of posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support. *Oral Maxillofac Implants*, 15(3), 405–14.
38. Calandriello R, Tomatis M. (2005). Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: a prospective 1-year clinical study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 7, 1–12.
39. Koutouzis T., Wennstrom J.L. (2007). Bone level changes at axial- and non-axial-positioned implants supporting fixed partial dentures. A 5-year retrospective longitudinal study. *Clinical Oral Implants Research*, 18, 585–590.
40. Kawasaki T., Komatsu K., Tsuchiya R. (2011). Tilted placement of tapered implants using a modified surgical template. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69, 1642–1650.
41. Cavalli N., Barbaro B., Spasari D., Azzola F., Ciatti A., Francetti L. (2012). Tilted implants for full-arch rehabilitations in completely edentulous maxilla: a retrospective study. *International Journal of Dentistry Article*, ID 180379, 6.