

УДК 616.314

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ В ДІЛЯНЦІ 45 ТА 46 ЗУБІВ ПРИ БЕЗПОСЕРЕДНІЙ ДЕНТАЛЬНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ**Міца О.В.¹, Потапчук А.М.², Русин В.В.², Криванич В.М.²***Ужгородський національний університет, математичний факультет, кафедра кібернетики і прикладної математики¹; Ужгородський національний університет, факультет післядипломної освіти, кафедра стоматології², м. Ужгород*

РЕЗЮМЕ: проведено дослідження доцільності використання опорно-утримуючого стабілізатора при реставрації ендосальної опори. Показано картину напружено-деформованого стану (інтенсивність напруження) в поперечному перерізі нижньої щелепи в ділянці 45 та 46 зубів при дії навантаження до і після повної остеointegraції імплантату і кістки. Також дану картину показано і при використанні опорно-утримуючого стабілізатора. Проведений аналіз свідчить, що використання опорно-утримуючого стабілізатора дозволяє суттєво зменшити величину ділянок із високою інтенсивністю напруження.

Ключові слова: дентальна імплантація, опорно-утримуючий стабілізатор, інтенсивність напруження

Вступ. Для вирішення питань оптимального вибору ортопедичних конструкцій з опорою на дентальні імплантати і оцінки їх ефективності у процесі адаптації зубощелепної системи необхідно мати інформацію про деформований стан нижньої щелепи, перерозподіл жувального навантаження в щелепних кістках на опорах запланованого протезу. Достовірна інформація про деформований стан нижньої щелепи з врахуванням особливостей її анатомо-топографічної будови і фізично-механічних властивостей її кісток, допоможе здійснити вибір тих конструкцій дентальних імплантатів і протезів, які забезпечать найбільш фізіологічний перерозподіл жувального навантаження, забезпечить цим нормальне функціонування зубощелепної системи в цілому.

Після ортопедичної реставрації зубного ряду з використанням як опори гвинтових дентальних імплантатів при безпосередній дентальній імплантації, оклюзійні перенавантаження імплантату можуть призвести до небажаних наслідків із розвитком періімплантату. Одним із засобів запобігання такому перевантаженню може стати використання опорно-утримуючого стабілізатора.

Мета дослідження. Дослідити найбільш критичні ділянки при можливих навантаженнях після безпосередньої дентальної імплантації та спробувати зменшити інтенсивність напруження в них за допомогою використання опорно-утримуючого стабілізатора.

Матеріали та методи. Для проведення дослідження необхідно було побудувати твердотільну математичну модель нижньої щелепи людини із збереженням особливостей анатомо-топографічної будови і механічних властивостей її кісток при односторонній відсутності 45-го та 46-го зубів і цей дефект був усунений методом безпосередньої дентальної імплантації та з використанням опорно-утримуючого стабілізатора. Для роботи з даною 3D-моделлю проведення необхідного моделювання і розрахунків використовувався програм-

ний комплекс ANSYS (ANSYS, Inc). Для побудови картини напружено-деформованого стану використовувався метод скінчених елементів [1, 4, 5], який реалізований у даному програмному комплексі. Один із найбільш важливих етапів у кінцево-елементному аналізі – це побудова на моделі сітки з кінцевих елементів, тобто розділення всієї моделі на маленькі шматочки (кінцеві елементи), зв'язані між собою у вузлах. У програмному комплексі ANSYS передбачено два основні методи побудови сітки: довільної сітки і впорядкованої сітки. Слід зазначити, що взаємодія кісткових структур з різними механічними властивостями призводить до значних градієнтів напруження, що, у свою чергу, вимагає побудови відповідної конфігурації кінцевих елементів. Наприклад, в зоні з високим значенням градієнта напруги слід генерувати дрібніші кінцеві елементи. Тому найбільш оптимальним виявилось розбиття геометричної моделі нижньої щелепи з використанням довільної сітки (яка в ANSYS будується автоматично). При цьому всі елементи (кількість яких склала близько 50 тисяч), у тому числі у її зоні їх найбільшого скупчення, мали форму, близьку до тетраедра, що істотно вплинуло на ступінь збіжності обчислювального процесу.

Результати досліджень та їх обговорення. В роботі розглядалися випадки, коли здійснено безпосередню імплантацію зразу і коли процес остеointegraції уже закінчений. При дослідженні вважалось, що кожна з складових кісткових структур нижньої щелепи (компактна і губчаста речовина) є ізотропними пружними середовищами. А також, що навантажений стан нижньої щелепи розглядатимемо в тонусі стиснення з верхньою щелепою. В роботі розглядався імплантат розміром 3 x 10 мм.

Розглянемо результати розрахунків для двох описаних вище варіантів реставрації внутрішньокісткової опори спочатку на місці 45 зуба (рис. 1а-1г). Опорна частина імплантату без опорно-утримуючого

стабілізатора при дії жувального навантаження створює дві ділянки концентрації напружень: у верхньому краю імплантату та в нижній ділянці різьби (рис. 1а). Причому інтенсивність напруження у нижній ділянці різьби, особливо на кінцях, значно перевищує інтенсивність напруження у будь-якій іншій ділянці імплантату. На кінцях у нижній частині різьби інтенсивність напруження сягає $0.9\text{--}1.0\text{ кг/мм}^2$, в той час як у верхній частині різьби воно не перевищує $0.2\text{--}0.3\text{ кг/мм}^2$ (рис. 1а). В середній частині імплантату інтенсивність напруження знаходиться у межах $0.25\text{--}0.75\text{ кг/мм}^2$ і лише у верхній частині біля коронки воно є трохи більшим.

У випадку, коли процес остеоінтеграції уже завершений, навантаження на імплантат розподіляється більш рівномірно (рис. 1б). Інтенсивність напруження на різьбах уже знаходиться в межах $0.65\text{--}0.75\text{ кг/мм}^2$ при розглядуваному максимальному навантаженні. І більше того, коли остеоінтеграція імплантату і кістки близька до 100%, інтенсивність напруження у верхній частині є трохи більшою, ніж у нижній частині різьби. Найбільша концентрація напруження займає незначну ділянку біля коронки, а не на нижній частині різьби як у попередньому випадку і може досягати $0.75\text{--}0.85\text{ кг/мм}^2$.

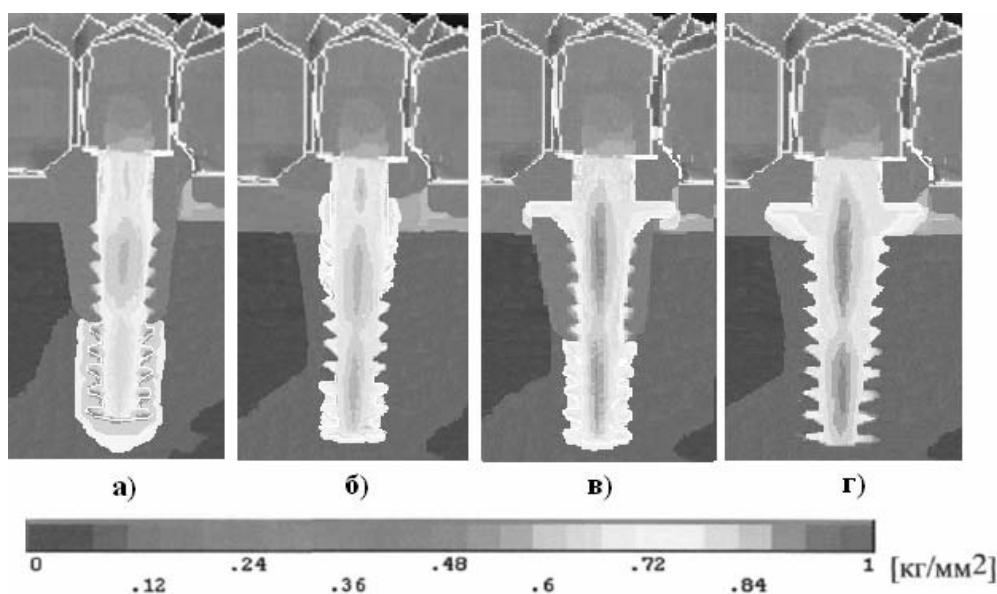


Рис. 1. Картина напружено-деформованого стану (інтенсивність напруження) в поперечному перерізі нижньої щелепи в області 45 зуба, заміненого гвинтовим дентальним імплантатом:

- а) без використання опорно-утримуючого стабілізатора; б) без використання опорно-утримуючого стабілізатора після заростання кістковою тканиною; в) з використанням опорно-утримуючого стабілізатора; г) з використанням опорно-утримуючого стабілізатора після заростання кістковою тканиною.

Розглянемо випадок із використанням опорно-утримуючого стабілізатора. Опорно-утримуючий стабілізатор разом із імплантатом утворюють одну систему. Тепер сумарне жувальне навантаження, прикладене до зуба, розподіляється між елементами системи і передається його структурним складовим у вигляді напружень пропорційно до його площі (поперечного перерізу) і жорсткості. Тобто тепер опорно-утримуючий стабілізатор розділяє з імплантатом інтенсивність напруження, яка діє на імплантат. І більше того, можна стверджувати, що утримуючий стабілізатор бере на себе немале навантаження, яке виникає при дії жувального навантаження (рис. 1б). Опорна частина імплантату з опорно-утримуючим стабілізатором при дії жувального навантаження створює три ділянки концентрації напружень: місце з'єднання опорно-утримуючого стабілізатора з імплантатом, місце дотику опорно-утримуючого стабілізатора і кістки та нижня частина різьби (рис. 1в).

Слід зауважити, що при використанні опорно-утримуючого стабілізатора, розмір критичних ділянок, в яких напруження знаходиться в межах $0.85\text{--}0.9\text{ кг/мм}^2$ є незначним при максимальному розглядуваному жувальному навантаженні прикладеному до зуба. Дане жувальне навантаження рівномірніше розподіляється, ніж у випадку без утримуючого стабілізатора. У цьому випадку навантаження на нижню частину різьби знаходиться в межах $0.75\text{--}0.85\text{ кг/мм}^2$ і, звісно, є не таким загрозливим, як у випадку без використання опорно-утримуючого стабілізатора, коли ще не пройшов процес остеоінтеграції. Після завершення процесу остеоінтеграції розподіл інтенсивності напружень буде ще рівномірнішим (рис. 1г). Тепер і верхня частина різьби буде брати участь у розподілі навантаження на зуб. Інтенсивність навантаження в системі опорно-утримуючий стабілізатор – імплантат буде знаходитись в межах $0.25\text{--}0.75\text{ кг/мм}^2$.

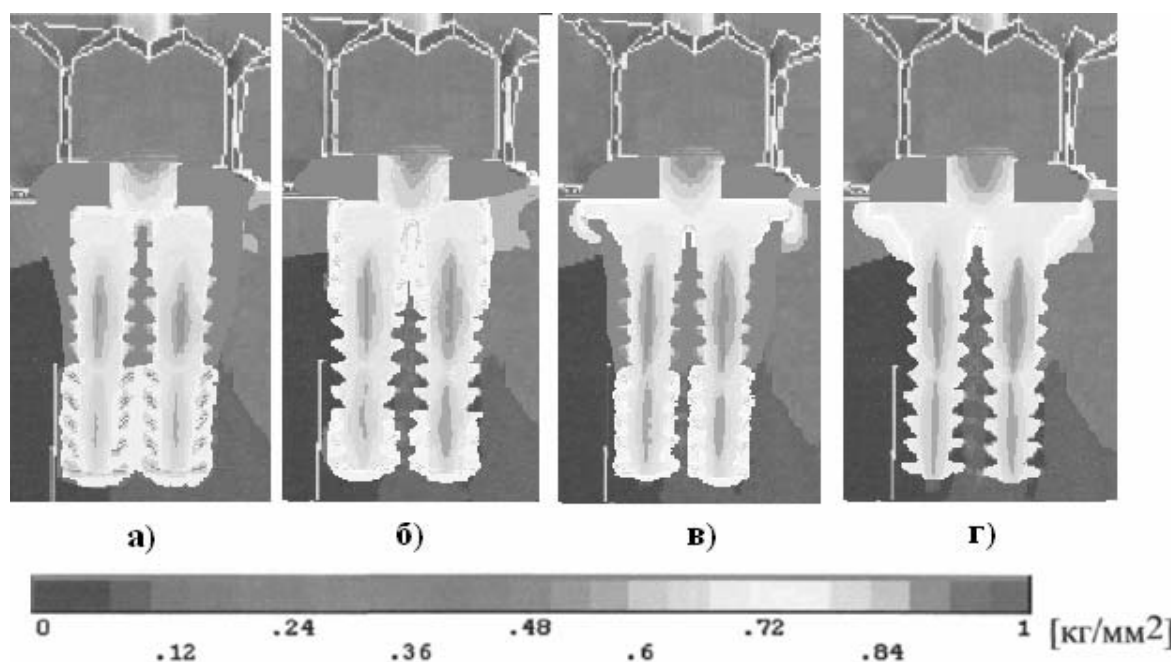


Рис. 2. Картина напружено-деформованого стану (інтенсивність напруження) в поперечному перерізі нижньої щелепи в ділянці 46 зуба, заміненого гвинтовим дентальним імплантатом:
 а) без використання опорно-утримуючого стабілізатора;
 б) без використання опорно-утримуючого стабілізатора після заростання кістковою тканиною;
 в) з використанням опорно-утримуючого стабілізатора;
 г) з використанням опорно-утримуючого стабілізатора після заростання кістковою тканиною.

Розглянемо результати розрахунків для двох описаних вище варіантів реставрації внутрішньокісткової опори спочатку на місці 46 зуба (рис. 2а-2г). Опорна частина імплантату без опорно-утримуючого стабілізатора при дії жувального навантаження створює дві ділянки концентрації напружень: у місці з'єднання імплантатів та в нижній частині різьб імплантатів (рис. 2а). Причому інтенсивність напруження у нижній частині різьб знову значно перевищує інтенсивність напруження у будь-якій іншій ділянці імплантату. Хоча відзначимо, що навантаження на нижню частину різьб імплантатів на місці 46 зуба є дещо меншим, ніж навантаження на нижню частину різьби імплантату на місці 45 зуба. Це можна пояснити тим, що хоча навантаження на 46 зуб більше на 15-20%, ніж на 45 зуб, але на місці 46 зуба це навантаження розділяють два імплантати, а на місці 45 зуба – один.

Інтенсивність навантаження на верхню частину різьб імплантатів на місці 46 зуба, як і у випадку з верхньою частиною різьби імплантату на місці 45 зуба, міститься в межах $0.2\text{--}0.3\text{ кг/мм}^2$. У середній частині імплантату інтенсивність напруження знаходиться також у межах $0.25\text{--}0.75\text{ кг/мм}^2$, але переважають ділянки з меншою інтенсивністю напруження.

Після завершення процесу остеоінтеграції (рис. 2б), величина ділянок із невеликою інтенсивністю напруження зростає. Якщо процес остеоінтеграції між імплантатами незавершений, то навантаження

на місце з'єднання двох імплантатів є досить значним і буде перевищувати 0.9 кг/мм^2 .

Використання опорно-утримуючого стабілізатора дозволяє знизити навантаження в критичних ділянках зразу після проведення імплантації (рис. 2в). Картина напружено-деформованого стану з використанням опорно-утримуючого стабілізатора близька до картини напружено-деформованого стану при безпосередній імплантації після повної остеоінтеграції імплантату і кістки (рис. 2б-2в). І після процесу остеоінтеграції опорно-утримуючого стабілізатора продовжує розділяти навантаження, яке діє на 46 зуб. На рисунку 2г видно, що в системі опорно-утримуючий стабілізатор – імплантат інтенсивність навантаження у будь-якій ділянці не перевищує 0.7 кг/мм^2 .

Звичайно, зменшити інтенсивність напруження при безпосередній імплантації можна збільшивши діаметр імплантату [3]. Але на розмір діаметра імплантату в звичайному випадку діє обмеження, що для забезпечення адекватного остеогенезу імплантат повинен бути оточений з усіх боків шаром товщиною понад $0.75\text{--}1\text{ мм}$ [2]. А у випадку ушкодження верхньої частини кісткової тканини альвеольного каналу ця товщина повинна бути ще більшою. Також індивідуальна структура альвеольного каналу ще більше може обмежити розмір діаметра імплантату. Тому існуюче обмеження на розмір діаметра імплантату призводить до проблеми виникнення значних інтенсивностей напру-

ження в ділянці з'єднання імплантату з кістковою тканиною, а особливо в місці загоєння. А, отже, одним із ефективних вирішень даної проблеми є використання опорно-утримуючого стабілізатора.

Дуже важливо і те, щоб матеріали, з яких зроблені імплантат та опорно-утримуючий стабілізатор були найбільш близькими до кісткової тканини величиною модуля Юнга, яка є дуже важливою характеристикою. При напруженій деформації кістки та імплантату подібність цієї величини

знижує ймовірність пошкодження кістки при великих навантаженнях на них, наприклад, під час жування твердої їжі.

Висновки. Проведені дослідження показали, що використання опорно-утримуючого стабілізатора дозволить суттєво зменшити величину ділянок із високою інтенсивністю напруження або навіть позбутися їх при можливих навантаженнях після дентальної імплантації з використанням гвинтових дентальних імплантатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карл М. Різні методи проведення біомеханічних вимірювань у стоматології / М. Карл, З.М. Хекманн, В. Вінтер, Ш. Хольст // Імплантологія. Пародонтологія. Остеологія. – №2(10). – Львів: КвадроДрук, 2008. – С. 88-94.
2. Параскевич В.Л. Дентальная имплантология: Основы теории и практики / В.Л. Параскевич : науч.-практ. пособие. – Мн.: Юнипресс, 2002. – 368 с.
3. Чуйко А.М. Про біомеханічну дентальну імплантацію залежно від діаметра і товщини / А.М. Чуйко // Імплантологія. Пародонтологія. Остеологія. – №4(12). – Львів : КвадроДрук, 2008. – С. 67-74.
4. Meyer C. Experimental evaluation of three osteosynthesis devices used for stabilizing condylar fractures of the mandible / C. Meyer, L. Serhir, P. Boutemi // J Craniomaxillofac Surg. – 2006. – №34. – P. 173–181.
5. Zienkiewicz O.C. The finite element method in engineering science. / O.C. Zeinkiewicz // London: MCGRAW. – 1971. – 272 p.

SUMMARY

THE RESEARCH OF THE TENSELY – DEFORMED STATE OF THE LOWER JAW IN THE AREA OF 45 AND 46 TEETH DURING THE IMMEDIATE DENTAL IMPLANTATION

Mitsa O.V., Potapchuk A.M., Rusyn V.V., Kryvanych V.M.

The research of the expedience of using the supporting-retaining stabilizer has been conducted during the restoration of the interior bone support. The research has shown the picture of the tensely deformed state (the intensity of tension) of transversal cut of the lower jaw in the area of 45 and 46 teeth at the influence of loading prior to and after the complete osteointegration of the implant and the bone. The same picture has been illustrated at the use of the supporting-retaining stabilizer. The conducted analysis testifies to the fact that the use of supporting -retaining stabilizer allows substantially to decrease the size of the areas with high intensity of tension.

Key words: the dental implantation, the supporting-retaining stabilizer, the intensity of tension