

Напружено-деформований стан системи щелепа-імплантат при статичному навантаженні

О.С. Мусянко¹; В.В. Парій²; О.І. Моргун¹

1 - КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

2 - Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна

Анотація. В роботі представлені результати досліджень напружено-деформованого стану системи щелепа-імплантат при статичному навантаженні. Проведено моделювання та розрахунки для чотирьох різних кутів встановлення імплантату: 0° , 7° , 15° та 22° . Тривимірну модель сегмента нижньої щелепи та модель імплантату було створено в програмному середовищі *Spaceclaim*, а розрахунки напружень проведені з використанням *ANSYS Workbench*. Отримані результати дослідження вказують на вплив кута встановлення імплантату на розподіл напружень в щелепі та імплантаті. Аналіз отриманих даних дозволить забезпечити оптимальне функціонування та тривалість використання дентальних імплантатів.

Ключові слова: напружено-деформований стан; щелепа; дентальний імплантат; напруження, деформація.

Вступ. Сучасний розвиток стоматології дозволяє лікарям-спеціалістам запобігти появі та розвитку зубощелепних деформацій, використовуючи дентальні імплантати. Останні дедалі частіше використовуються в повсякденній практиці в порівнянні з мостоподібними протезами оскільки мають ряд переваг [1]. Проте разом з частішим використанням дентальних імплантатів, виникає високий рівень вторинних ускладнень, пов'язаних з їхнім функціонуванням у системі коронка-імплантат. На сьогоднішній день особлива увага приділяється біомеханічним аспектам лікування з метою забезпечення допустимих рівнів навантаження на дентальні імплантати [2].

Швидкий розвиток цифрових навігаційних технологій дозволяє спланувати коронку перед встановленням дентального імплантату, що є актуальним завданням. Дослідження розподілу навантаження на систему коронка-імплантат-кістка призначено для використання цих знань з метою збільшення тривалості функціонування імплантатів в порожнині рота пацієнта.

Метою даного дослідження є вивчення напружено-деформованих станів у ділянці імплантат-кістка при статичному навантаженні за різних кутів встановлення імплантатів.

Об'єкт дослідження. Дослідження проводили на сегменті нижньої щелепи з встановленим в нього імплантатом (рис. 1) [3, 4] Модель виготовлена в програмному комплексі *Spaceclaim*. Для зручності фіксації, ділянку щелепи було встановлено за допомогою платформи, від якої вимагалась висока жорсткість порівняно з іншими компонентами системи. Щелепа розглядалась як двошарове тіло: зовнішній шар – кортикальна кісткова тканина, а внутрішній – губчаста. Для спрощення розрахунків було зроблено припущення про лінійну пружну ізотропну поведінку матеріалів кістки [3]. В розрахунках використовувалась спрощена геометрична модель імплантата. Механічні властивості розглянутих матеріалів вказані в Таблиці 1 [3, 5].



Рис. 1. а - досліджувана ділянка щелепи; б - геометрична модель досліджуваного об'єкта

Таблиця 1

Механічні властивості матеріалів розрахункової моделі

Об'єкт	Матеріал	E, ГПа	μ	σ , МПа
Зовнішній шар кісткової тканини	Кортикальна кістка	11	0,3	170–190
Внутрішній шар кісткової тканини	Губчаста кістка	0,78	0,3	5
Імплантат	Титановий сплав Ti-6Al-4V	111,2	0,3387	918
Платформа	Конструкційна сталь	200	0,3	215

Розглядалось 4 варіанти встановлення імплантата в щелепу: вертикально, під кутом 7° до вертикальної осі, під кутом 15° до вертикальної осі та під кутом 22° до вертикальної осі (рис. 2).

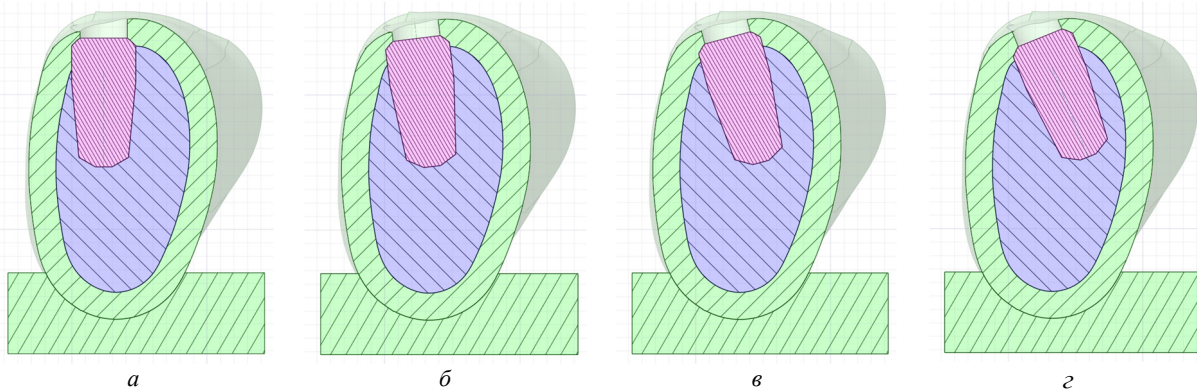


Рис. 2 а - імплантат розташований вертикально; б - імплантат розташований під кутом 7° до вертикальної осі; в - імплантат розташований під кутом 15° до вертикальної осі; з - імплантат розташований під кутом 22° до вертикальної осі

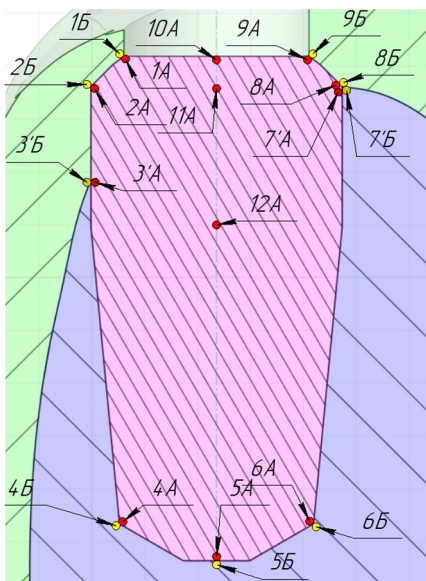


Рис. 3. Точки фіксування значень напружень у моделі

Експериментальні дослідження по визначенню НДС систем є складним та трудомістким, тому для дослідження проблематики даної роботи, використовується FEM аналіз за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench [6, 7, 8].

Для порівняння напружено-деформованих станів системи “кістка-імплантат” при різних кутах встановлення імплантату було обрано точки фіксування значень напружень (рис. 3) [9]. Індекс “А” вказує, що точка лежить в імплантаті, індекс “Б” - що точка лежить в кістковій тканині, а індекс «'» - що точка знаходиться на межі кортикальної і губчастої кісток.

Крайові умови. Для обмеження переміщень системи “кістка-імплантат” нижня грань платформи була жорстко зацмелена і до верхньої грані імплантата прикладено вертикальну силу величиною 200Н. Контакти встановлено жорсткими.

Аналіз результатів. Після обчислення отримано розподіл напружень в системі “Кістка-імплантат” (рис. 4).

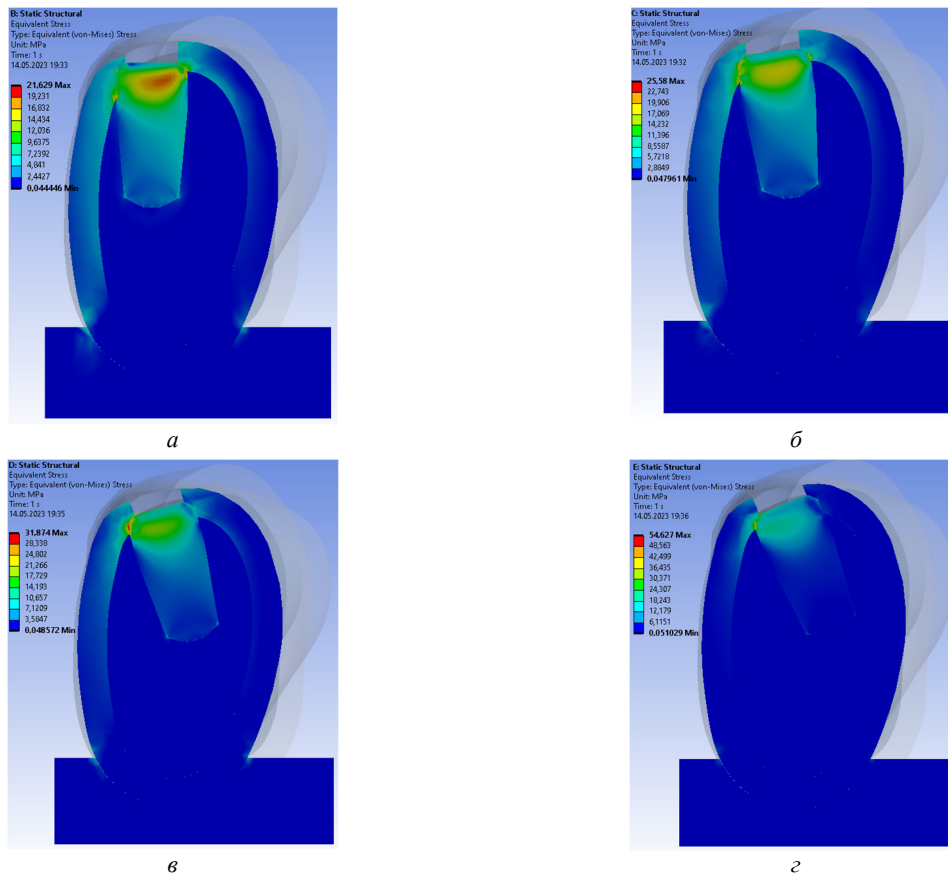


Рис. 4. *а* - НДС моделі з вертикально розташованим імплантатом; *б* - НДС моделі з імплантатом розташованим під кутом 7° до вертикальної осі; *в* - НДС моделі з імплантатом розташованим під кутом 15° до вертикальної осі; *г* - НДС моделі з імплантатом розташованим під кутом 22° до вертикальної осі

Значення напружень для чотирьох варіантів встановлення імплантатів у розглянутих точках (рис. 3) представлені в Таблиці 2.

Таблиця 2

Напруження в розглянутих точках

№ точки	Імплантат вертикально		Імплантат під кутом 7°		Імплантат під кутом 15°		Імплантат під кутом 22°	
	А, МПа	Б, МПа	А, МПа	Б, МПа	А, МПа	Б, МПа	А, МПа	Б, МПа
1	9,6156	6,0549	18,425	8,0188	19,721	13,996	23,732	20,589
2	14,807	8,9418	23,138	14,257	30,442	20,912	54,361	30,22
К3	20,274	17,117	21,713	18,584	24,272	21,466	40,5	30,37
4	6,5947	2,9321	8,641	2,8039	7,6119	3,2553	7,9962	3,4456
5	3,5213	0,9	3,3459	0,875	3,2371	0,8346	3,045	0,811
6	10,222	3,5012	7,4617	3,3478	7,9868	3,0143	6,5372	2,7986
К7	21,628	14,15	14,442	11,164	7,9419	7,0324	5,2006	5,6775
8	21,628	14,177	25,58	12,647	11,475	8,7521	11,179	5,0351
9	13,716	9,1337	18,142	5,9598	11,36	4,3272	13,102	1,973
10	5,4177	-	7,7565	-	11,742	-	15,278	-
11	12,622	-	12,501	-	12,879	-	13,601	-
12	8,3326	-	8,7063	-	8,516	-	8,2932	-

Можна побачити, що розподіл напружень в системі нерівномірний: найбільші напруження виникали в імплантаті, а найменші – в губчастій кістковій тканині. Максимальні напруження в системі збільшуються при збільшенні кута нахилу імплантата, при цьому вони менше за границі міцності матеріалів (для титану $\sigma_{\max} = 54,36\text{МПа}$, для кортикальної кісткової тканини $\sigma_{\max} = 30,37\text{МПа}$ і для губчастої - $\sigma_{\max} = 3,5\text{МПа}$).

Висновки

За результатами дослідження отримано поля розподілу напружень та визначено максимальні напруження в системі. Виявлено залежність величини напружень від кута встановлення імплантата. Також доведено, що максимальні напруження не перевищують допустимих. Отже, використання цих даних допоможе при виборі оптимального кута встановлення імплантата.

Список літератури

1. Дмитренко І. А. Особливості стану зубощелепної системи у хворих із середніми і великими дефектами зубних рядів / І. А. Дмитренко, З. Р. Ожоган // Український стоматологічний альманах. - 2014. № 4. С. 27–31
2. Sahin S., Çehreli M. C. The Significance of Passive Framework Fit In Implant Prosthodontics: Current Status. *Implant Dentistry*. 2001. Vol. 10, no. 2. pp. 85–92. URL: <https://doi.org/10.1097/00008505-200104000-00003>.
3. The influence of implant diameter and length on stress distribution of osseointegrated implants related to crestal bone geometry: A three-dimensional finite element analysis / L. Baggi et al. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2008. Vol. 100, no. 6. pp. 422–431. URL: [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(08\)60259-0](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(08)60259-0)
4. Importance of diameter-to-length ratio in selecting dental implants: a methodological finite element study / V. Demenko et al. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. 2012. Vol. 17, no. 4. pp. 443–449. URL: <https://doi.org/10.1080/10255842.2012.688110>
5. Evaluation of Design Parameters of Dental Implant Shape, Diameter and Length on Stress Distribution: A Finite Element Analysis / M. Mohammed Ibrahim et al. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2011. Vol. 11, no. 3. pp. 165–171. URL: <https://doi.org/10.1007/s13191-011-0095-4>
6. Дослідження впливу компоновки стрижнів апарату зовнішньої фіксації на жорсткість системи fem аналізом / О.Мусієнко, Д. Фам, О. Моргун, Р. Діденко. // Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій. 2022. С. 76–78.
7. Influence of implant length and diameter on stress distribution: A finite element analysis / L. Himmlová et al. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2004. Vol. 91, no. 1. pp. 20–25. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2003.08.008>
8. Копчак А. В. Розподіл напружень у системі “фіксатор-кістка” при проведенні остеосинтезу нижньої щелепи накістковими міні-пластинами / А. В. Копчак, М. Г. Крішук. // Український журнал хірургії. 2014. №1. С. 44–49.
9. Біда В.І. Аналіз розподілу жувального навантаження за допомогою методу скінчених елементів незашинованих зубів фронтальної ділянки нижньої щелепи та зубів, зашинованих універсальною розбірною пародонтологічною шиною / В. І. Біда, П. О. Гурин, Г. І. В'юн. // Сучасна стоматологія. 2018. №2. С. 64–68.

Stress-strain state of the mandible-implant system under static loading

O.S. Musiienko, V.V. Parii, O.I. Morhun

Abstract. The paper represents the results of research of the stress-strain state of the mandible-implant system under static loading. Simulations and calculations were carried out for four different implant installation angles: 0°, 7°, 15° and 22°. The three-dimensional model of the mandibular segment and the implant model were created in the Spaceclaim software environment, and stress calculations were performed using ANSYS Workbench. The obtained results of the study show the influence of the angle of installation of the implant on the distribution of stresses in the mandible and the implant. The analysis of the received data will ensure the optimal functioning and duration of use of dental implants.

Keywords: stress-strain state; mandible; dental implant; stress, deformation.