

ISSN 0130-9420

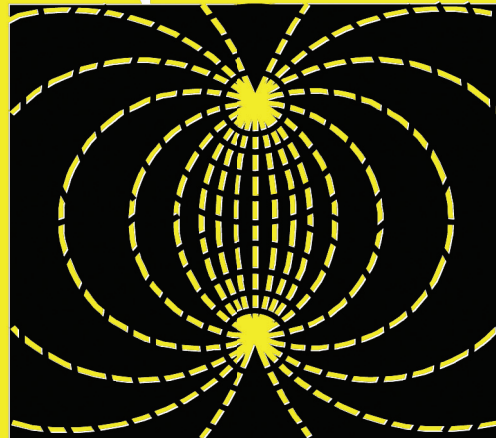
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНИХ ПРОБЛЕМ МЕХАНІКИ І МАТЕМАТИКИ
ім. Я.С.ПІДСТРИГАЧА

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ФІЗИКО- МЕХАНІЧНІ ПОЛЯ

66, № 1-2

ISSN 0130-9420. Мат. методи та фіз.-мех. поля, 2023. Том 66, № 1-2. С. 1-274.



2023

MATHEMATICAL METHODS AND PHYSICOMECHANICAL FIELDS

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Р. М. Кушнір

ЗАСТ. ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

О. Р. Гачкевич

В. О. Пелих

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Ю. В. Токовий

О. Є. Андрейків	П. І. Каленюк	В. В. Панасюк
М. І. Андрійчук	Я. І. Кунець	В. М. Петричкович
В. Л. Богданов	М. В. Кутнів	А. К. Прикарпатський
Д. І. Боднар	Л. М. Лобанов	Я. Д. П'янило
О. Я. Григоренко	І. О. Луковський	П. О. Савенко
В. Т. Грінченко	Р. М. Мартиняк	М. М. Симолюк
Я. О. Жук	М. В. Марчук	Г. Т. Сулим
А. В. Загороднюк	В. В. Михаськів	Є. Я. Чапля
М. М. Зарічний	О. Р. Місьонг	І. М. Черевко

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Г. Е. Багдасарян (Вірменія)	С. Матисяк (Польща)
В. Є. Бербюк (Швеція)	В. Нагурко (Польща)
Ц.-Ф. Гао (Китай)	Д. Натрошвілі (Грузія)
Ч.-З. Жанг (Німеччина)	М. Остоя-Старжевські (США)
Я. Кубік (Польща)	В. Я. Підстригач (Німеччина)
О. В. Лопушанський (Польща)	Ю. З. Повстенко (Польща)
Ц.-Ц. Ма (Тайвань)	А. К. Чате (Латвія)

Адреса редакції: Інститут прикладних проблем
механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
вул. Наукова, 3-б,
79060, Львів

Тел.: (032) 258-51-66, (032) 263-72-00, 098-67-64-611

Е-mail: mmpf@iapmm.lviv.ua

Керівник редакції О. Р. Місьонг

В. Л. Богданов¹, О. Я. Григоренко^{1✉}, В. О. Маланчук², В. Г. Сороченко²,
М. М. Тормахов¹, І. М. Голубева², О. І. Остапко²

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПЛОЩІ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ДЕНТАЛЬНИХ ІМПЛАНТАТІВ

Проведено порівняльний аналіз величин площі зовнішньої поверхні дентальних імплантатів, яка містить різьбу та кільцеві канавки різного профілю. Показано, що для імплантатів з різьбою та канавками однакового трикутного профілю площа поверхні одно- та двозахідної різьби перевищує відповідно на 0.05 % та на 0.1% площу поверхні з кільцевими канавками. Згідно з розрахунками площа поверхні, перш за все, залежить від кроку та висоти профілю канавок. Чим менший крок і більша висота профілю, тим більша площа поверхні. Порівняння площі поверхонь імплантатів з подібними за формою профілями канавок показало, що поверхні з малими канавками при однаковому зовнішньому діаметрі мають більшу площу поверхні, ніж поверхні з великими канавками. При однакових зовнішньому та внутрішньому діаметрах і кроці поверхні з канавками заокругленого профілю мають в середньому на $10.2 \pm 5.7\%$, а прямокутного – на $30.5 \pm 10.6\%$ більшу площу поверхні, ніж поверхні з канавками трикутного профілю.

Ключові слова: дентальні імплантати, площа зовнішньої поверхні, профіль, різьба, кільцеві канавки, порівняльний аналіз.

Вступ. Сучасним трендом стоматології є використання імплантатів у ролі опори для протезів. Найпоширенішими є імплантати у вигляді тіл обертання з різьбою та кільцевими канавками на зовнішній поверхні, які одночасно слугують опорою для протезів та інструментом для нарізання різьби в кістці [6, 19, 28, 35]. Для встановлення імплантатів у щелепі виконують отвір необхідного діаметра, в який потім вкручують імплантат. Потім починається процес його остеointegraції, тобто відкладання кісткової тканини на поверхні імплантату. Процес базування протезів на імплантати виконують відразу або через 3÷6 місяців після встановлення імплантату.

На якість імплантації (тривалість роботи, надійність, відсутність ускладнень тощо), крім стану здоров'я пацієнта та його зубощелепної системи, впливають також форма та розміри імплантатів [20, 25, 26]. Вплив форми та розмірів імплантатів досліджували *in vitro* за допомогою математичного моделювання [2–4, 7], причому найчастіше використовують метод скінченних елементів [8, 15, 21–23, 31, 33]. До методів *in vivo* можна віднести статистичний аналіз результатів протезування [1, 17, 18, 34], досліді над тваринами [12, 16] та частотно-резонансне обстеження [13, 24, 27, 30, 32, 36, 29], яке полягає у визначенні резонансної частоти коливань системи імплантат – кістка і характеризує якість процесу остеointegraції імплантатів.

Згадані дослідження показали важливість врахування величини механічних напружень, що виникають у кістці в околі імплантату під дією функціональних зусиль з боку протезів. Перевищення допустимих значень механічних напружень в околі імплантату викликає некроз кісткової тканини та втрату імплантату [11].

Різьба імплантату, що контактує з кістковою тканиною, може мати різний профіль та розміри. У [21–23] досліджено вплив форми профілю різьби на якість імплантації та показано, що менші механічні напруження в кістці щелепи виникають при застосуванні прямокутного профілю різьби, а більші – при використанні заокругленого профілю різьби. Показано, що форма профілю різьби сильніше впливає на якість протезування, коли базування

✉ ayagrigorenko1991@gmail.com

протезу здійснюється відразу після імплантації, і слабше, коли це відбувається через 3÷6 місяців після імплантації [22]. У [12, 27, 29] зроблено висновок про швидшу остеоінтеграцію імплантатів великого діаметра порівняно з імплантатами малого діаметра, але в [13, 24] такий висновок не був підтверджений. У [33] відмічено більший вплив діаметра імплантату, ніж його довжини, на величину напружень у кістці. Про малу стабільність коротких імплантатів порівняно з довшими імплантатами повідомлено в [12, 34]. Аналогічний висновок отримано в [16] внаслідок довготривалих спостережень за результатами ортопедичного лікування з використанням імплантатів. Автори [16, 17] не виявили впливу довжини імплантатів на стабільність їхнього перебування у кістці щелеп. У [15, 23] відмічено значний вплив діаметра шийки імплантату на величину його мікрорухів і концентрацію напружень у кортикальному шарі кістки.

Усі згадані вище дослідження свідчать про вплив величини механічних напружень у кістці в околі імплантату на якість протезування. Оскільки величина механічних напружень залежить від площі контакту кістки з імплантатом, то величина площі є суттєвим фактором, що впливає на якість протезування. Наявність достатньої площі контакту кістки з імплантатом є особливо важливою тоді, коли внаслідок деградації кісткової тканини відсутня можливість використання імплантатів достатньо великого діаметра та довжини.

Метою дослідження є визначення величини площі контакту з кісткою стоматологічних імплантатів.

Об'єктом дослідження є імплантати, які використовуються в лікувальній практиці стоматологічних клінік України.

На рис. 1 наведено зображення імплантатів, які отримано за допомогою скануючого електронного мікроскопа JSM-6490LV виробництва JEOL Ltd (Японія) при збільшенні в 10÷15 разів [5, 14]. Імплантат на рис. 1а виконано з різьбою та кільцевими канавками, профіль яких є близьким до трикутного (див. рис. 2а). Різьба імплантату на рис. 1б має заокруглений профіль (див. рис. 2б), а профіль імплантату на рис. 1в складається з прямокутної вершини та заокругленої западини.

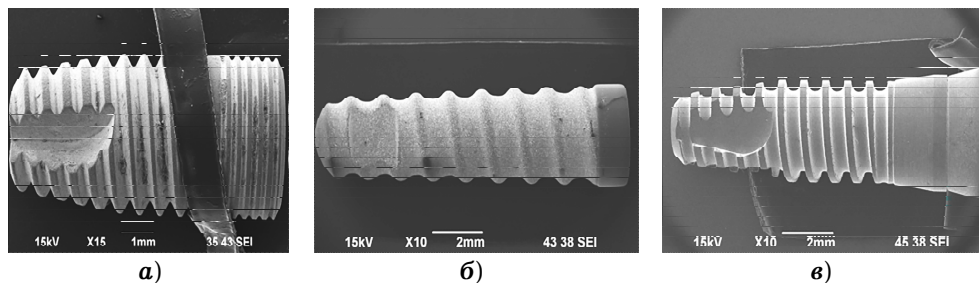


Рис. 1. Зовнішній вигляд імплантатів.

Визначимо, яку площу контакту з кісткою мають різьба та кільцеві канавки трикутного, заокругленого та прямокутного профілів (див. рис. 2). Розрахунки виконано для чотирьох профілів кільцевих канавок і різьби з однаковим зовнішнім діаметром $D = 4$ мм та різними внутрішнім діаметром d , кроком t та кількістю n заходів різьби.

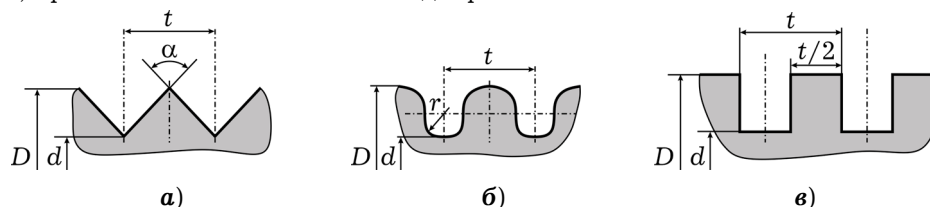


Рис. 2. Профілі канавок імплантатів.

Кільцеві канавки мають форму поверхонь обертання. Поверхня канавки трикутного профілю складається з двох поверхонь зрізаного конуса висоти $t/2$ та діаметрами основ D і d . Площа поверхні однієї кільцевої канавки визначається за формулою [9, с. 48]

$$S_{\text{TK1}} = 0.5\pi(D + d)[(D - d)^2 + t^2]^{0.5}.$$

На ділянці довжини 5 мм площа поверхні з канавками трикутного профілю S_{TK} становить

$$S_{\text{TK}} = 5S_{\text{TK1}} / t.$$

Поверхня різьби трикутного профілю є поверхнею косою гелікоїда, яка утворюється поступально-обертальним рухом твірної, що перетинає вісь імплантату під кутом $(\pi - \alpha)/2$. Параметричне рівняння косою гелікоїда має вигляд

$$x = \rho \cos \varphi, \quad y = \rho \sin \varphi, \quad z = \rho \operatorname{tg}(\alpha/2) + k\varphi,$$

де ρ , φ – полярні координати точки поверхні косою гелікоїда, $k = nt/(2\pi)$ – коефіцієнт, що характеризує хід різьби, n – кількість заходів різьби.

Коефіцієнти першої квадратичної форми для косою гелікоїда визначаються таким чином [9, с. 525]:

$$E(\rho, \varphi) = \left(\frac{\partial x}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \rho}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \rho}\right)^2 = 1 + \operatorname{tg}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right),$$

$$F(\rho, \varphi) = \frac{\partial x}{\partial \rho} \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right) + \frac{\partial y}{\partial \rho} \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right) + \frac{\partial z}{\partial \rho} \left(\frac{\partial z}{\partial \varphi}\right) = k \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right),$$

$$G(\rho, \varphi) = \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \varphi}\right)^2 = \rho^2 + k^2.$$

Площа поверхні різьби косою гелікоїда на довжині одного витка дорівнює

$$S_{\text{TP1}} = \int_{d/2}^{D/2} \int_0^{2\pi} \sqrt{EG - F^2} \, d\rho \, d\varphi = \pi\rho \sqrt{k^2 + \frac{\rho^2}{\cos^2(\alpha/2)}} + \pi k^2 \cos(\alpha/2) \ln \left| \frac{\rho}{\cos(\alpha/2)} + \sqrt{k^2 + \frac{\rho^2}{\cos^2(\alpha/2)}} \right| \Bigg|_{d/2}^{D/2}.$$

Площу S_{TP} гвинтової поверхні з трикутним профілем на ділянці довжини 5 мм визначаємо з рівності

$$S_{\text{TP}} = 10S_{\text{TP1}} / t.$$

У табл. 1 подано величини площ кільцевих канавок і гвинтових поверхонь на довжині 5 мм для чотирьох розмірів трикутних профілів.

Таблиця 1. Площа поверхні кільцевих канавок та різьби з трикутним профілем.

Номер профілю різьби та канавки	D , мм	t , мм	α , град	Площа поверхні S_{TK} , мм ² , кільцевих канавок на довжині 5 мм	Площа поверхні різьби S_{TP} , мм ² , на довжині 5 мм	
					$n = 1$	$n = 2$
1	3.8	0.3	112.6	73.627	73.633	73.654
2	3.4	0.3	53.1	129.959	129.994	130.098
3	3.8	0.1	53.1	136.984	136.988	136.998
4	3.4	0.1	18.9	353.527	353.540	353.578

З результатів, наведених у табл. 1, бачимо, що площа поверхні однозахідної різьби перевищує площу поверхні з кільцевими канавками не більше ніж на 0.05 %, а площа двозахідної – на 0.1 %. Близькість величин площ канавок та різьби трикутного профілю дозволяє оцінювати величини площі поверхонь різьби за площею поверхонь із кільцевими канавками також для інших профілів.

Площа поверхні імплантату із заокругленим профілем канавок на довжині кроку t складається з площ половин поверхонь тора S_{K1} , S_{K2} та двох площ кільцевих поверхонь S_{K3} . Поверхні тора утворені обертанням кола радіуса r по колових траєкторіях із радіусами $0.5D - r$ і $0.5d + r$. Площу поверхонь S_{K1} , S_{K2} обчислювали за формулами [9, с. 48]

$$S_{K1} = \pi^2(D - 2r)r, \quad S_{K2} = \pi^2(d + 2r)r.$$

Площа кілець S_{K3} , що обмежені радіусами $0.5D - r$ і $0.5d + r$, дорівнює

$$S_{K3} = 0.25\pi(D + d)(D - d - 4r).$$

Площа поверхні імплантату із заокругленим профілем канавок на довжині 5 мм дорівнює

$$S_K = 5(S_{K1} + S_{K2} + 2S_{K3})/t.$$

Дані для площі поверхні кільцевих канавок заокругленого профілю чотирьох розмірів подано в табл. 2.

Таблиця 2. Площа поверхні кільцевих канавок заокругленого профілю.

Параметри профілю	Номер профілю канавок			
	1	2	3	4
t , мм	0.3	0.3	0.1	0.1
D , мм	3.8	3.4	3.8	3.4
R , мм	0.075	0.075	0.025	0.025
S_K , мм ²	75.8	149.4	157.5	381.9

Площа поверхні імплантату з канавками прямокутного профілю на довжині одного кроку t складається з площ $S_{П1}$, $S_{П2}$ поверхонь двох циліндрів висоти $t/2$ і діаметрами D і d та двох площ $S_{П3}$ кілець з діаметрами D і d . Площі цих поверхонь обчислювали за формулами [9, с. 48]

$$S_{П1} = 0.5\pi t D, \quad S_{П2} = 0.5\pi t d, \quad S_{П3} = 0.25\pi(D^2 - d^2).$$

Площа поверхні імплантату з кільцевими канавками прямокутного профілю на довжині 5 мм дорівнює

$$S_{П} = 5(S_{П1} + S_{П2} + 2S_{П3})/t.$$

Таблиця 3. Площа поверхні імплантату з кільцевими канавками прямокутного профілю.

Параметри профілю	Номер профілю канавок			
	1	2	3	4
t , мм	0.3	0.3	0.1	0.1
D , мм	3.8	3.4	3.8	3.4
$S_{П}$, мм ²	102.1	174.4	183.8	406.8

З даних табл. 1 – табл. 3 бачимо, що профілі канавок другого та третього номерів подібні за формою, але мають різні розміри. Порівнюючи площі поверхонь з кільцевими канавками цих профілів, бачимо, що при однаковому зовнішньому діаметрі D імплантати з меншим за розміром профілем мають більшу площу поверхні.

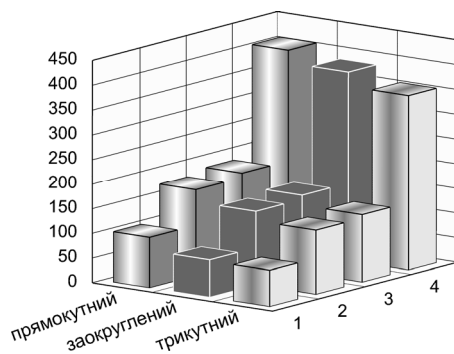


Рис. 3. Площа поверхні канавок прямокутного, заокругленого та трикутного профілів для номерів профілю 1–4.

Вплив форми та розмірів канавок на площу їхніх поверхонь ілюструє рис. 3. Найменшу площу при однакових зовнішньому та внутрішньому діаметрах та кроці мають імплантати з кільцевими канавками трикутного профілю, а найбільшу – прямокутного профілю. Імплантати з кільцевими канавками заокругленого профілю в середньому по чотирьох номерах профілю мають на $10.2 \pm 5.7\%$ більшу площу поверхні, а імплантати з кільцевими канавками прямокутного профілю – на $30.5 \pm 10.6\%$, ніж імплантати з кільцевими канавками трикутного профілю. Довірчий інтервал для середнього був обчислений при ймовірності, що дорівнює 0.95 [10, с. 52].

Висновки. Якість дентальної імплантації істотно залежить від величини механічних напружень у кістці в околі імплантату, які виникають під дією функціональних навантажень з боку протезних пристроїв. Оскільки величина механічних напружень залежить від площі контакту кістки з імплантатом, то ця площа є важливим фактором якості протезування. Було проведено порівняльний аналіз імплантатів, які використовуються в лікувальній практиці стоматологічних клінік України.

На зовнішній поверхні імплантати містять різьбу та кільцеві канавки різного профілю. Було обчислено площу поверхні з різьбою та кільцевими канавками трикутного, заокругленого та прямокутного профілів. Кільцеві канавки мають форму поверхонь обертання, а поверхня різьби утворюється поступально-обертальним рухом твірної, що перетинає вісь імплантату.

Із результатів розрахунку площ поверхонь з різьбою та кільцевими канавками трикутного профілю можна зробити висновок, що площа поверхні імплантатів з однозахідною різьбою перевищує площу поверхні з кільцевими канавками не більше як на 0.05 %, а з двозахідною – на 0.1 %. Близькість величин цих площ для поверхонь з канавками та різьбою трикутного профілю дає підставу для оцінювання величини площ поверхонь з різьбою по площі поверхонь з кільцевими канавками для інших профілів.

Розрахунки показали, що площа поверхні імплантатів з канавками, в першу чергу, залежить від кроку канавок і висоти профілю. Чим менший крок і більша висота профілю, тим більшою є площа поверхні. Порівняння площ поверхонь імплантатів з канавками подібних за формою, але різних за розмірами профілів, показало, що поверхні з меншими за розмірами канавками мають при однаковому зовнішньому діаметрі більшу площу поверхні, ніж поверхні з канавками більших профілів. Згідно з обчисленнями, найменшу площу мають поверхні з канавками трикутного профілю, а найбільшу – прямокутного. Поверхні з канавками заокругленого профілю мають в середньому на $10.2 \pm 5.7\%$, а з канавками прямокутного профілю – на $30.5 \pm 10.6\%$ більшу площу поверхні, ніж поверхні з канавками трикутного профілю.

На основі проведеного порівняльного аналізу для досягнення необхідної якості протезування можна рекомендувати використовувати імплантати з різьбою та канавками малого кроку і великої висоти прямокутного профілю. Особливо важливою ця рекомендація є у випадках протезування щелеп з деградованим об'ємом кісткової тканини в місці встановлення імплантату, коли неможливо застосувати імплантати достатньо великих розмірів.

1. Богданов В. Л., Вишемирська Т. А., Григоренко О. Я., Фліс П. С., Тормахов М. М. Взаємозв'язок між параметрами зубощелепного апарату й органів дихання при ортодонтчному лікуванні // Укр. стомат. альманах. – 2021. – № 2. – С. 87–94. – <https://doi.org/10.31718/2409-0255.2.2021.16>.
2. Богданов В. Л., Григоренко О. Я., Маланчук В. О., Сороченко Г. В., Тормахов М. М. Опорні реакції частково-знімних протезів // Прикл. механіка. – 2022. – № 2. – С. 31–38.
Te same: Bogdanov V. L., Grigorenko O. Ya., Malanchuk V. O., Sorochenko G. V., Tormakhov M. M. Support reactions of removable partial dentures // Int. Appl. Mech. – 2022. – № 2. – P. 147–153. – <https://doi.org/10.1007/s10778-022-01141-6>.
3. Богданов В. Л., Григоренко О. Я., Маланчук В. О., Тормахов М. М. Механіко-математичне моделювання форми зубних дуг при ортогнатичній оклюзії // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2021. – № 2. – С. 123–129.
Te same: Bogdanov V. L., Grigorenko O. Ya., Malanchuk V. O., Tormakhov M. M. Mechanical-mathematical modeling of the shape of dental arches for orthognathic occlusion // J. Math. Sci. – 2023. – № 1. – P. 145–152. – <https://doi.org/10.1007/s10958-023-06822-2>.
4. Богданов В. Л., Григоренко А. Я., Сороченко Г. В., Тормахов Н. Н. Влияние формы и геометрических параметров кламмеров на прочность и удерживающее усилие съёмных ортопедических протезов // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2020. – № 1. – С. 173–180.
Te same: Bogdanov V. L., Grigorenko A. Ya., Sorochenko G. V., Tormakhov N. N. Influence of the shape and geometric parameters of clasps on the strength and holding force of removable orthopedic dentures // J. Math. Sci. – 2023. – № 1. – P. 205–213. – <https://doi.org/10.1007/s10958-023-06341-0>.
5. Богданов В. Л., Григоренко О. Я., Чепков І. Б., Одноралов І. В., Кременицький В. В., Сперкач С. О., Трачевський В. С. Аналіз фізико-хімічних властивостей металевих фрагментів корпусів артилерійських снарядів на основі експериментального підходу // Озброєння та військова техніка. – 2022. – № 1. – С. 43–57.
6. Григоренко А. Я., Лось В. В., Маланчук В. А., Тормахов Н. Н. Напряженное состояние резьбового соединения в системе дентальной имплантат – кость // Прикл. механіка. – 2020. – № 1. – С. 44–51.
Te same: Grigorenko A. Ya., Los' V. V., Malanchuk V. A., Tormakhov N. N. Stress state of a threaded joint in a dental implant – bone system // Int. Appl. Mech. – 2020. – № 1. – P. 33–39. – <https://doi.org/10.1007/s10778-020-00994-z>.
7. Григоренко А. Я., Плиска Е. Н., Сороченко Г. В., Тормахов Н. Н. Применение методов численного анализа для изучения механических процессов в биомеханике // Прикл. механіка. – 2018. – № 3. – С. 136–144.
Te same: Grigorenko A. Ya., Pliska E. N., Sorochenko G. V., Tormakhov N. N. Application of methods of numerical analysis for studying mechanical processes in biomechanics // Int. Appl. Mech. – 2018. – № 3. – P. 366–372. – <https://doi.org/10.1007/s10778-018-0888-9>.
8. Дашевский И. Н., Шушпанников П. С. Влияние характеристик резьбы на первичную стабильность дентальных имплантатов // Рос. журн. биомех. – 2018. – № 3. – С. 361–377. – <https://doi.org/10.15593/RZhBiomech/2018.3.07>.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – Москва: Наука, 1974. – 831 с.
Te same: Korn G. A., Korn T. M. Mathematical handbook for scientists and engineers: Definitions, theorems, and formulas for reference and review. – New York: Dover Publ. Inc., 2000. – 1151 p.
10. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – Москва: Высш. шк., 1988. – 239 с.

11. Чуйко А. Н, Шинчуковский И. А. Биомеханика в стоматологии. – Харьков: Форт, 2010. – 468 с.
12. Akhtar K., Khan S. A., Khan S. B., Asiri A. M. Scanning electron microscopy: principle and applications in nanomaterials characterization // Handbook of materials characterization / S. K. Sharma (ed.). – Cham: Springer, 2018. – P. 113–145.
– https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_4.
13. Bischof M., Nedir R., Szmukler-Moncler S., Bernard J. P., Samson J. Implant stability measurement of delayed and immediately loaded implants during healing // Clin. Oral. Implants Res. – 2004. – **15**, No. 5. – P. 529–539.
– <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2004.01042.x>.
14. Block M. S., Delgado A., Fontenot M. G. The effect of diameter and length of hydroxylapatite-coated dental implants on ultimate pullout force in dog alveolar bone // J. Oral. Maxillofac Surg. – 1990. – **48**, No. 2. – P. 174–178.
– [https://doi.org/10.1016/S0278-2391\(10\)80206-X](https://doi.org/10.1016/S0278-2391(10)80206-X).
15. Chou I. Ch., Lee Sh. Y., Jiang Ch. P. Effects of implant neck design on primary stability and overload in a type IV mandibular bone // Int. J. Numer. Method Biomed. Eng. – 2014. – **30**, No. 11. – P. 1223–1237.
– <https://doi.org/10.1002/cnm.2653>.
16. Chowdhary R., Halldin A., Jimbo R., Wennerberg A. Evaluation of stress pattern generated through various thread designs of dental implants loaded in a condition of immediately after placement and on osseointegration – An FEA Study // Implant Dentistry. – 2013. – **22**, No. 1. – P. 91–96.
– <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e31827daf55>.
17. Douglass G. L., Merrin R. L. The immediate dental implant // J. Calif. Dent. Assoc. – 2002. – **30**, No. 5. – P. 362–372.
– <https://doi.org/10.1080/19424396.2002.12223284>.
18. Eckert S. E., Koka S., Wolfinger G., Choi Y. G. Survey of implant experience by prosthodontists in the United States // J. Prosthodont. – 2002. – **11**, No. 3. – P. 194–201. – <https://doi.org/10.1053/jopr.2002.127768>.
19. Esposito M., Ardebili Y., Worthington H. V. Interventions for replacing missing teeth: different types of dental implants (Review) // Cochrane Database Syst. Rev. – 2014. – No. 7. – Art. No.: CD0038157. – 95 p.
– <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003815.pub4>.
20. Geng J. P., Tan K. B. C., Liu G. R. Application of finite element analysis in implant dentistry: A review of the literature // J. Prosthet. Dent. – 2001. – **85**, No. 6. – P. 585–598. – <https://doi.org/10.1067/mpr.2001.115251>.
21. González-García R, Monje F, Moreno-García C. Predictability of the resonance frequency analysis in the survival of dental implants placed in the anterior non-atrophied edentulous mandible // Med. Oral. Patol. Oral. Cir. Bucal. – 2011. – **16**, No. 5. – P. 664–669. – <https://doi.org/10.4317/medoral.16982>.
22. Hansson S., Werke M. The implant thread as a retention element in cortical bone: the effect of thread size and thread profile: a finite element study // J. Biomech. – 2003. – **36**, No. 9. – P. 1247–1258.
– [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(03\)00164-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(03)00164-7).
23. Huang Y. M., Chou I. Ch., Jiang Ch. P., Wu Y. S., Lee Sh. Y. Finite element analysis of dental implant neck effects on primary stability and osseointegration in a type IV bone mandible // Bio-Med. Mater. Eng. – 2014. – **24**, No. 1. – P. 1407–1415. – <https://doi.org/10.3233/BME-130945>.
24. Ivanoff C. J., Sennerby L., Johansson C., Rangert B., Lekholm U. Influence of implant diameters on the integration of screw implants. An experimental study in rabbits // Int. J. Oral. Maxillofac Surg. – 1997. – **26**, No. 2. – P. 141–148.
– [https://doi.org/10.1016/s0901-5027\(05\)80837-9](https://doi.org/10.1016/s0901-5027(05)80837-9).
25. Lee J. H., Frias V., Lee K. W., Wright R. F. Effect of implant size and shape on implant success rates: A literature review // J. Prosthet. Dent. – 2005. – **94**, No. 4. – P. 377–381. – <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.04.018>.
26. Lyakhov P. A., Dolgalev A. A., Lyakhova U. A., Muraev A. A., Zolotayev K. E., Semerikov D. Y. Neural network system for analyzing statistical factors of patients for predicting the survival of dental implants // Front. Neuroinform. – 2022. – **16**. – P. 01–15. – <https://doi.org/10.3389/fninf.2022.1067040>.
27. Miyamoto I., Tsuboi Y., Wada E., Suwa H., Iizuka T. Influence of cortical bone thickness and implant length on implant stability at the time of surgery – clinical, prospective, biomechanical, and imaging study // Bone. – 2005. – **37**, No. 6. – P. 776–780. – <https://doi.org/10.1016/j.bone.2005.06.019>.

28. *Natali A. N.* Dental biomechanics. – London: Taylor & Francis, 2003. – 304 p.
29. *Östman P. O., Hellman M., Wendelhag I., Sennerby L.* Resonance frequency analysis measurements of implants at placement surgery // *Int. J. Prosthodont.* – 2006. – **19**, No. 1. – P. 77–83.
30. *Pagliani L., Sennerby L., Petersson A., Verrocchi D., Volpe S., Andersson P.* The relationship between resonance frequency analysis (RFA) and lateral displacement of dental implants: an in vitro study // *J. Oral. Rehabil.* – 2013. – **40**, No. 3. – P. 221–227. – <https://doi.org/10.1111/joor.12024>.
31. *Taylor M., Prendergast P. J.* Four decades of finite element analysis of orthopaedic devices: Where are we now and what are the opportunities? // *J. Biomech.* – 2015. – **48**, No. 5. – P. 767–778. – <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.12.019>.
32. *Trisi P., Perfetti G., Baldoni E., Berardi D., Colagiovanni M., Scogna G.* Implant micromotion is related to peak insertion torque and bone density // *Clin. Oral. Implants Res.* – 2009. – **20**, No. 5. – P. 467–471. – <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01679.x>.
33. *Ueda N., Takayama Y., Yokoyama A.* Minimization of dental implant diameter and length according to bone quality determined by finite element analysis and optimized calculation // *J. Prosthodont. Res.* – 2017. – **61**, No. 3. – P. 324–332. – <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.12.004>.
34. *Winkler S., Morris H. F., Ochi S.* Implant survival to 36 months as related to length and diameter // *Ann. Periodontol.* – 2000. – **5**, No. 1. – P. 22–31. – <https://doi.org/10.1902/annals.2000.5.1.22>.
35. *Worthington P., Branemark P.* Advanced osseointegration surgery: Applications in the maxillofacial region. – Chicago: Quintessence Publ. Co., 1992. – 403 p.
36. *Wyatt C. C., Zarb G. A.* Treatment outcomes of patients with implant-supported fixed partial prostheses // *Int. J. Oral Maxillofac Implants.* – 1998. – **13**, No. 2. – P. 204–211.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE AREA OF THE EXTERNAL SURFACE OF DENTAL IMPLANTS

A comparative analysis of the area of the outer surface of dental implants, which contain threads and annular grooves of different profiles, is carried out. It is shown that for implants with a thread and grooves of the same triangular profile, the surface area of one- and two-way threads exceeds the surface area with annular grooves by 0.05% and 0.1%, respectively. According to the calculations, the surface area primarily depends on the pitch and height of the groove profile. The smaller the step and the higher the height of the profile, the larger is the surface area. A comparison of the surface areas of implants with similar groove profiles showed that for the same external diameter, surfaces with small grooves have larger surface areas than surfaces with large grooves. With the same outer and inner diameters and pitch, surfaces with grooves of a rounded profile have a larger surface area on average by $10.2 \pm 5.7\%$, and rectangular ones by $30.5 \pm 10.6\%$, than surfaces with grooves of a triangular profile.

Key words: dental implants, external surface area, profile, thread, annular grooves, comparative analysis.

¹ Ін-т механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України, Київ,

² Нац. мед. ун-т ім. О. О. Богомольця, Київ