

Шимон В.М.¹, Алфелдй С.П.¹, Шимон М.В.¹, Карпінський М.Ю.², Карпінська О.Д.²,
Суббота І.А.²

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет» МОН України, м. Ужгород, Україна

²ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків, Україна

Експериментальне дослідження міцності кісток щурів із дефектом, заповненим біосклом

Резюме. Актуальність. Одним з перспективних матеріалів для заміщення кісткових дефектів є біоскло — активний матеріал, що складається зі склоподібної матриці й мікрокристалів. Біоактивне скло належить до класу кераміки, що здатна взаємодіяти з тканинами організму. Але навіть при доволі значному поширенні біоскла вплив його на міцнісні характеристики кістки після заміщення дефекту мало вивчений. **Мета:** вивчити в експерименті механічну міцність кісток лабораторних щурів із дефектом, заповненим біосклом. **Матеріали та методи.** Матеріалом дослідження були 40 самок щурів віком 3 місяці. У першій групі кістковий дефект заповнювали біосклом, у другій — склокерамікою. Тварин виводили з експерименту через 1, 2, 4 і 12 тижнів після операції, по 5 щурів із кожної групи. Як групу контролю використовували контралатеральні неоперовані кінцівки тварин. **Результати.** Проведений аналіз показав, що при заповненні кісткового дефекту склом міцність оперованої та інтактною кісток статистично не відрізняються ($p = 0,171$), у той же час кістки з дефектами, заповненими склокерамікою, були за міцністю значущо гіршими ($p = 0,010$), ніж інтактні. Аналогічна динаміка простежується і на термін спостереження 2 тижні, тобто кістки з дефектами, заповненими склом, хоч і мали меншу міцність (142 ± 50 Н), ніж інтактні (200 ± 29 Н), але різниця була статистично не значущою ($p = 0,063$). Міцність кісток із дефектами, заповненими склокерамікою, на 2-й тиждень експерименту (146 ± 49 Н) була статистично значущо меншою ($p = 0,010$), ніж міцність інтактних кісток (200 ± 41 Н). Через 1 місяць після операції спостерігали інверсію процесу, тобто міцність імплантованих кісток перевищила показники інтактних препаратів і становила 44 ± 31 Н. При цьому для препаратів із дефектом, заповненим склом, різниця з інтактними кістками була статистично значущою ($p = 0,035$). Препарати з дефектами, заповненими склокерамікою, хоча й витримували більш високе навантаження, ніж інтактні кістки, у середньому 28 ± 56 Н, але різниця не набувала статистичної значущості ($p = 0,332$). Аналогічна тенденція зберігалася й через 12 тижнів після операції. **Висновки.** Використання біоскла й склокераміки для заповнення кісткових дефектів дозволяє у відділеному періоді статистично значимо підвищити міцність такої кістки до показників, більших за показники інтактною кістки.

Ключові слова: механічна міцність кісток; біоскло; навантаження

Вступ

Сучасні технології заміщення кісткових дефектів дозволяють значно покращити й прискорити процес загоєння ушкоджень. Сьогодні в медичній практиці застосовують велику кількість матеріалів заміщення — від алокістки до різноманітних штучних матеріалів, таких як метал [1, 2], вуглець [3–8], полімери [9, 10] та інше [11–15].

Одним з перспективних матеріалів для заміщення кісткових дефектів є біоскло. Це біологічно активний матеріал, що складається зі склоподібної

матриці й мікрокристалів. Біоактивне скло належить до класу кераміки, що здатна взаємодіяти з тканинами організму. Але навіть при доволі значному поширенні біоскла вплив його на міцнісні характеристики кістки після заміщення дефекту мало вивчений.

Великий досвід вивчення механічної взаємодії кісткової тканини зі штучними матеріалами після заповнення дефектів має лабораторія біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» (ІПХС) [1–15].

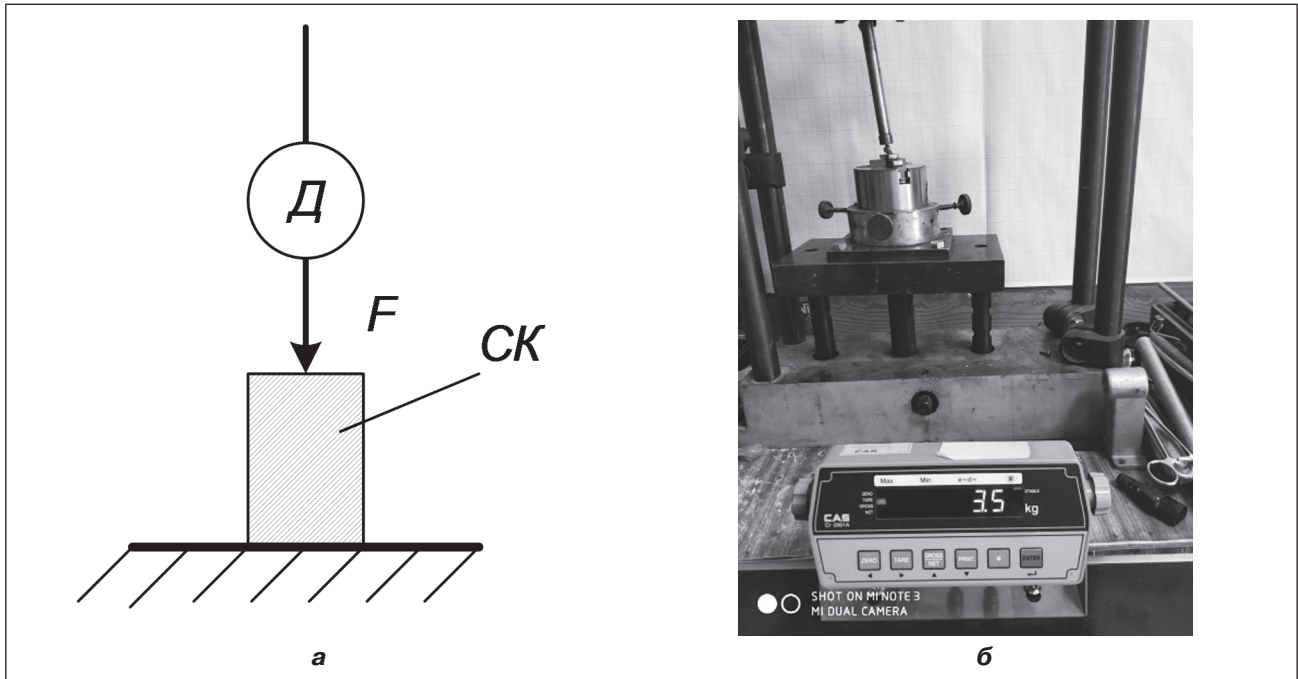


Рисунок 1. Експериментальні дослідження: а) схема навантаження; б) стенд для біомеханічних досліджень

Мета: вивчити в експерименті механічну міцність кісток лабораторних щурів із дефектом, заповненим біосклом.

Матеріали та методи

У лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» були проведені експериментальні дослідження міцності стегнових кісток лабораторних щурів популяції ІПХС із модельованим остеопорозом після заповнення кісткового дефекту штучним матеріалом. Матеріалом дослідження були 40 самок щурів віком 3 місяці. Усім тваринам під загальним наркозом за допомогою стоматологічного бору створювали дефект у проксимальному відділі лівої стегнової кістки, після чого дефект заповнювали штучним матеріалом, а рану ушивали.

Усі тварини були поділені на дві групи, по 20 тварин у кожній. У першу групу увійшли щури, у яких кістковий дефект заповнювали біосклом, у другу — ті, яким його заповнювали склокерамікою. Тварин виводили з експерименту через 1, 2, 4 і 12 тижнів після операції, по 5 щурів із кожної групи. Як групу контролю використовували контралатеральні неоперовані кінцівки тварин.

Препарати стегнових кісток щурів випробували на міцність під впливом стискаючого осьового навантаження. Схеми навантаження наведено на рис. 1.

Препарат стегнової кістки закріплювали в кулачковому патроні за діафізарну частину нижче від рівня дефекту. Навантаження прикладали за допомогою металевого штоку до головки й великого вертлюга. Навантаження здійснювали до руйнування прокси-

мального відділу стегнової кістки. Навантаження, при якому здійснювалося руйнування препарату, вимірювали за допомогою тензометричного датчика SBA-100L, результати фіксували пристроєм реєстрації CAS типу CI-2001A (рис. 2).

Дані експерименту були оброблені статистично. Для порівняння даних різних груп використовували Т-тест для незалежних вибірок, для порівняння даних контралатеральних кінцівок використовували Т-тест для парних вибірок. Для порівняння трьох груп (скло, склокераміка, інтакт) використовували однофакторний дисперсійний аналіз ANOVA з апостеріорним тестом Дункана. Порівняння динаміки процесів для різних імплантатів проводили за допомогою загальної лінійної моделі для повторних вимірювань [16].

Результати та обговорення

У результаті проведених експериментальних досліджень були отримані дані щодо величин максимальних навантажень, які могли витримати препарати стегнових кісток лабораторних щурів, із дефектами, заповненими штучними матеріалами, у різні терміни після проведення оперативного втручання. Усі дані були оброблені методами описової статистики. Результати статистичної обробки наведені в табл. 1.

Проведений аналіз показав, що при заповненні кісткового дефекту склом міцність оперованої та інтактною кісток статистично не відрізняється ($p = 0,171$), у той же час кістки з дефектами, заповненими склокерамікою, були за міцністю значущо

гіршими ($p = 0,010$), ніж інтактні. Аналогічна динаміка простежується й на термін спостереження 2 тижні, тобто кістки з дефектами, заповненими склом, хоч і мали меншу міцність (142 ± 50 Н), ніж інтактні (200 ± 29 Н), але різниця також була статистично не значущою ($p = 0,063$). Міцність кісток із дефектами, заповненими склокерамікою, на 2-й тиждень експерименту (146 ± 49 Н) була статистично значущо меншою ($p = 0,010$), ніж міцність інтактних кісток (200 ± 41 Н).

Через 1 місяць після операції спостерігали інверсію процесу, тобто міцність кісток з імпланта-

том перевищила показники інтактних препаратів і становила 44 ± 31 Н. При цьому для препаратів із дефектом, заповненим склом, різниця з інтактними була статистично значущою ($p = 0,035$). Препарати з дефектами, заповненими склокерамікою, хоч і витримували більш високе навантаження, ніж інтактні кістки, у середньому (28 ± 56 Н), але різниця не набувала статистичної значущості ($p = 0,332$). Аналогічна тенденція зберігалася й через 12 тижнів після операції.

Наступний крок — ми порівняли результати випробувань оперованих кісток обох груп піддослідних тварин на предмет того, чи не є отримані дані результатом невдалого моделювання остеопору або різних умов утримання тварин. Результати порівняльного аналізу наведено в табл. 2.

Більш наочно порівняти результати аналізу міцності оперованих кісток між групами піддослідних тварин можна за допомогою діаграми, що наведена на рис. 3.

Результати порівняльного статистичного аналізу величин максимальних навантажень, при яких руйнуються оперовані кістки щурів з модельованим остеопорозом, залежно від тривалості експерименту показали, що на всіх етапах дослідження статистично значущої різниці між препаратами першої і другої груп не спостерігалось. Це свідчить про те, що за критерієм міцності кісткової тканини обидві групи були ідентичними. Тому для подальшого дослідження всі дані препаратів оперованих кісток були об'єднані в одну групу.

Для порівняння міцності кісток — інтактних і з імплантатами — склом й склокерамікою було прове-



Рисунок 2. Пристрій для реєстрації величини навантаження CAS типу CI-2001A з тензометричним датчиком SBA-100L

Таблиця 1. Результати статистичного аналізу даних експерименту

Дослідна група	Термін спостереження	Кістка	Навантаження, Н		
			M ± SD	Т-тест парний	
				M ± SD	T, p
Скло	1 тиждень	Імплантат	134 ± 36	-34 ± 45	t = -1,667 p = 0,171
		Інтакт	168 ± 16		
	2 тижні	Імплантат	142 ± 50	-58 ± 50	t = -2,558 p = 0,063
		Інтакт	200 ± 29		
	4 тижні	Імплантат	258 ± 08	44 ± 31	t = 3,143 p = 0,035
		Інтакт	214 ± 27		
	12 тижнів	Імплантат	290 ± 42	64 ± 27	t = 5,297 p = 0,006
		Інтакт	226 ± 54		
Склокераміка	1 тиждень	Імплантат	132 ± 32	-56 ± 27	t = -4,635 p = 0,010
		Інтакт	188 ± 13		
	2 тижні	Імплантат	146 ± 49	-54 ± 27	t = -4,323 p = 0,012
		Інтакт	200 ± 41		
	4 тижні	Імплантат	246 ± 50	28 ± 56	t = 1,103 p = 0,332
		Інтакт	218 ± 80		
	12 тижнів	Імплантат	260 ± 76	28 ± 66	t = 0,947 p = 0,397
		Інтакт	232 ± 46		

Таблиця 2. Результати порівняльного аналізу міцності оперованих кісток між групами піддослідних тварин

Термін спостереження	Дослідна група	n	Навантаження, Н	
			M ± SD	Т-тест (незалежний)
1 тиждень	Скло	5	168 ± 16	t = -2,132 p = 0,066
	Склокераміка	5	188 ± 13	
2 тижні	Скло	5	200 ± 29	t = 0,000 p = 1,000
	Склокераміка	5	200 ± 40	
4 тижні	Скло	5	214 ± 27	t = -0,316 p = 0,760
	Склокераміка	5	218 ± 08	
12 тижнів	Скло	5	226 ± 54	t = -0,189 p = 0,855
	Склокераміка	5	232 ± 46	

дено однофакторний дисперсійний аналіз ANOVA з апостеріорним тестом Дункана. Як показали статистичні дослідження, експеримент можна розділити на 2 частини. Перша — коли міцність прооперованих кісток менша за інтактну кістку (табл. 3), і друга — коли кістка з імплантатом стає міцнішою за інтактну (табл. 4).

Як показав апостеріорний порівняльний аналіз через 1 і 2 тижні після операції, міцність оперованих кінцівок із дефектами, заповненими як склом,

так і склокерамікою, статистично значимо (на рівні $p = 0,05$) нижча за міцність інтактних кісток, про що свідчить їх розташування в окремих підмножинах. Препарати стегнових кісток із дефектами, заповненими склом і склокерамікою, статистично значимо не відрізнялися між собою ($p = 0,898$ через 1 тиждень, $p = 0,870$ через 2 тижні), у результаті чого вони потрапили в одну підмножину. Наочно це показано на рис. 4. На діаграмі наведено розподіл препаратів за міцністю на 1-му і 2-му тижні спостереження.

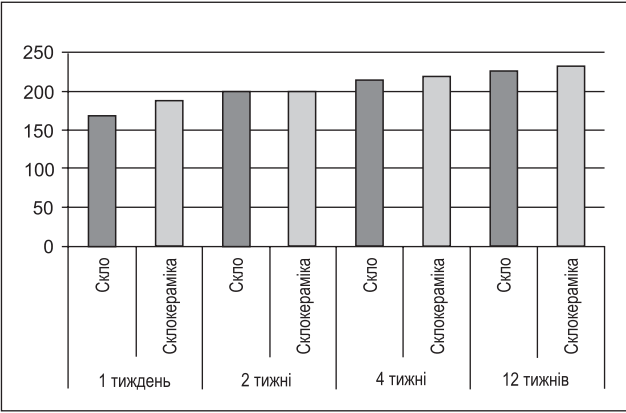


Рисунок 3. Діаграма міцності оперованих кісток у групах піддослідних тварин

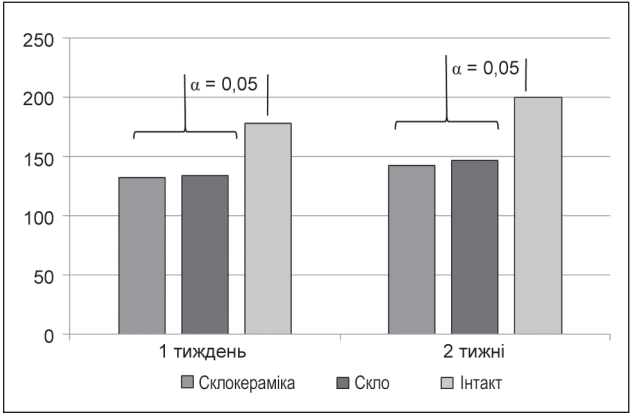


Рисунок 4. Діаграма порівняння міцності оперованих та інтактних кісток на 1-му і 2-му тижні спостереження

Таблиця 3. Результати дисперсійного аналізу ANOVA (апостеріорний тест Дункана) порівняння міцності інтактних та оперованих кісток у групах препаратів стегнових кісток щурів із дефектами, заповненими склом і склокерамікою, через 1 і 2 тижні після операції

Дослідна група	n	1 тиждень		2 тижні	
		Підмножина для альфа = 0,05			
		1	2	1	2
Склокераміка	5	132		142	
Скло	5	134		146	
Інтакт	10		178		200
Значущість, <i>p</i>		0,898	1,000	0,870	1,000

Таблиця 4. Результати дисперсійного аналізу (ANOVA, апостеріорний тест Дункана) міцності інтактних та оперованих кісток у групах препаратів стегових кісток щурів із дефектами, заповненими склом і склокерамікою, через 4 і 12 тижнів після операції

Дослідна група	n	4 тижні		12 тижнів	
		Підмножина для альфа = 0,05			
		1	2	1	2
Інтакт	10	216		229	
Склокераміка	5	246	246	260	260
Скло	5		258		290
Значущість, p		0,082	0,470	0,083	0,181

Результати апостеріорного множинного порівняння ANOVA для препаратів у термін 4 і 12 тижнів після операції наведено в табл. 4.

На 4-й тиждень після операції спостерігається перевищення міцності кісток із заповненням дефектом порівняно з інтактними препаратами. Однак препарати з дефектами, заповненими склокерамікою, не мали статистично значущих (p = 0,082) відмінностей від інтакт-

тних препаратів, у результаті чого потрапили з ними в одну підмножину 1. Ці препарати також розташовані в одній підмножині 2 з препаратами стегових кісток, у яких дефект заповнений склом. Це є доказом відсутності статистично значущої різниці (p = 0,470) між ними. Отже, потрапляння інтактних кісток і препаратів із заповненням дефектів склом до різних підмножин дозволяє зробити висновок про наявність значущої статистичної (на рівні p = 0,05) різниці між ними. На діаграмі (рис. 5) показане співвідношення міцності кісток дослідних тварин на 4-й і 12-й тиждень спостереження.

Проведене статистичне моделювання за алгоритмом загальної лінійної моделі для визначення ступеня різниці розвитку динамічного процесу зміни міцності кісток при різних видах імплантату й зміни міцності інтактних кісток упродовж спостереження (табл. 5).

За результатами проведеного аналізу було доведено, що з часом міцність кісток статистично значущо змінюється, це стосується як інтактних, так і кісток з імплантатом. Отже, всі тести показали, що кістки з часом зміцнюються незалежно від умов проведення експерименту.

Порівняння кривих динаміки зміцнення кісток (табл. 6) показало, що тип імплантату не впливає на процес регенерації кісток у часі.

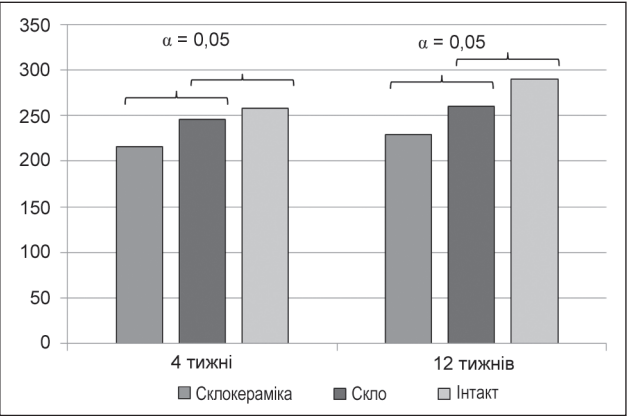


Рисунок 5. Порівняння міцності оперованих та інтактних кісток на 4-му й 12-му тижні спостереження

Таблиця 5. Результати за даними загальної лінійної моделі для повторних вимірювань

Ефект		Значення	F	Знч.
Час • вид імплантату	Слід Піллая	0,710	2,935	0,021
	Лямбда Уїлкса	0,297	4,173	0,004
	Слід Хотеллінга	2,343	5,466	0,001
	Найбільший корінь Роя	2,333	12,440	0,001

Таблиця 6. Результати апостеріорного тесту Даннетта — порівняння динаміки процесів зміни міцності кісток у часі

Пара дослідження		Різниця середніх M ± SE	Статистична значущість різниці
Скло	Інтакт	0,00250 ± 0,09396	1,000
Склокераміка	Інтакт	-0,09750 ± 0,09396	0,510

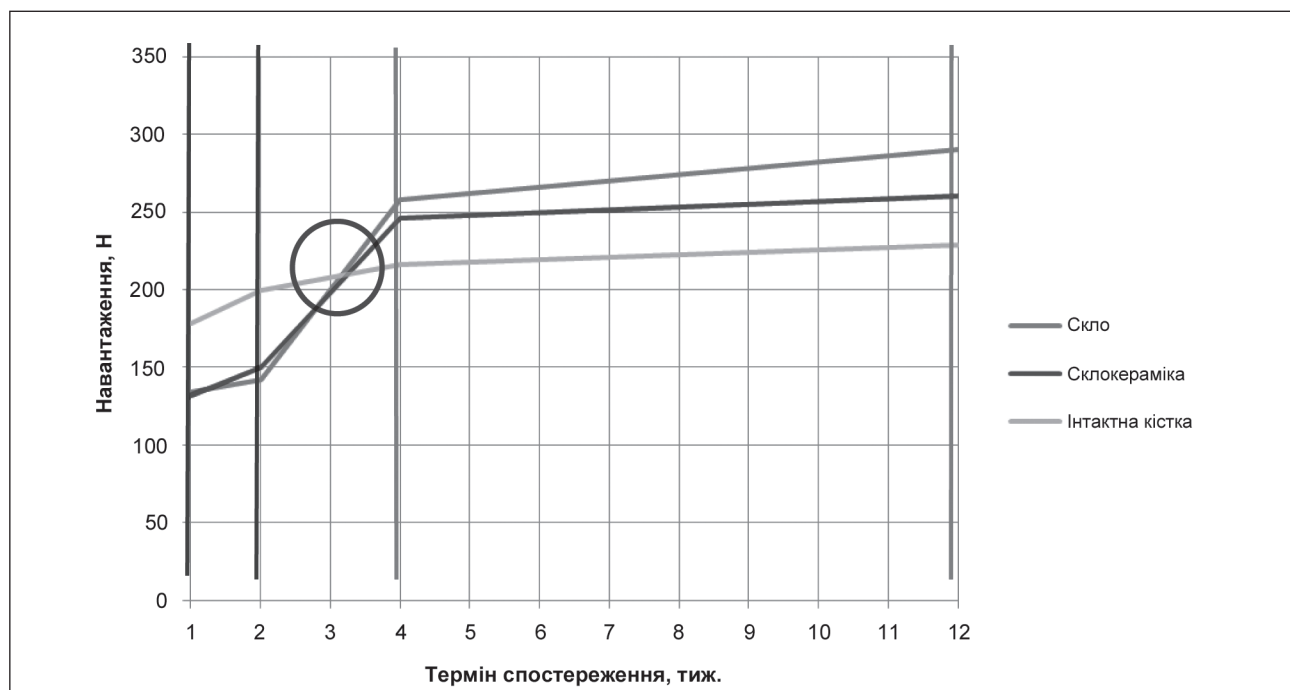


Рисунок 6. Графік зміни міцності стегнових кісток щурів після заповнення кісткових дефектів штучними матеріалами

У даному розрахунку проводиться аналіз усереднених динамічних кривих. З даних аналізу можна зробити висновок, що динаміка зміцнення кісток є однаковою, тобто не існує статистичної різниці ($p > 0,05$) між видами імплантованого матеріалу й інтактом. Для наочного уявлення процесу зміни міцності стегнових кісток щурів після заповнення кісткових дефектів штучними матеріалами подано графік (рис. 6).

Як видно на графіку (рис. 6), у перші 2 тижні після операції міцність оперованих кісток нижча за міцність інтактних, що обумовлено наявністю порожнинного дефекту в них і слабким зрощенням штучного матеріалу з кістковою тканиною. У термін 4 тижні після операції спостерігається перевищення міцності оперованих кісток над інтактними. Екстраполяція графіків зміни міцності інтактних і оперованих кісток дозволяє зробити припущення про те, що вирівнювання міцності оперованих і неоперованих кісток відбувається на третій тиждень після операції. Стрибок міцності оперованих кісток у термін між другим і четвертим тижнями після операції, можливо, пов'язаний з активним процесом регенерації кісткової тканини. Надалі процес кісткоутворення уповільнюється, і міцність препаратів набуває максимально можливого значення. Зміни міцності інтактних кісток, скоріше за все, обумовлені віковими змінами в організмі тварин. Перевищення міцності оперованих кісток над інтактними можна пояснити ефектом бетону, колі в м'який цемент додають більш міцний щебінь, що підвищує його міцність.

Висновки

Використання біоскла й склокераміки для заповнення кісткових дефектів дозволяє у відділеному періоді статистично значимо підвищити міцність такої кістки до показників, більших за показники інтактної кістки.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів і власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Філіпенко В.А., Карпінський М.Ю., Бондаренко С.Є., Жигун А.І., Танькут В.О., Аконджом М. Міцність кістково-металевого блоку для різних типів поверхонь імплантатів за умов нормального стану кісткової тканини та при моделюванні остеопору в експерименті на щурах. *Травма*. 2016. № 4. С. 60-65. DOI: 10.22141/1608-1706.4.17.2016.77491.
2. Філіпенко В.А., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Танькут В.О., Аконджом М., Бондаренко С.Є. Міцність кістково-металевого блоку для різних типів поверхонь імплантатів за умов нормального стану кісткової тканини та остеопору в щурів. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2016. № 1. С. 72-77. DOI: 10.15674/0030-59872016172-77.
3. Климовицький В.Г., Хадрі Вадид, Гончарова Л.Д., Гурін І.В., Тяжелов О.А., Карпинский М.Ю., Суббота І.А. Обґрунтування використання нового імплантаційного матеріалу для фіксації метафізарних переломів. *Травма*. 2009. Т. 10. № 4.
4. Климовицький В.Г., Хадрі Вадид, Гончарова Л.Д., Гурін І.В., Тяжелов О.А., Суббота І.А. Обґрунтування вико-

ристання нового імплантатного матеріалу для фіксації метафізарних переломів. *Травма*. 2010. Т. 11. № 1. С. 27-30.

5. Іванов Г.В., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Пошелок Д.М., Федак В.І. Вивчення впливу матеріалу імплантатів на деструктивні процеси у хребцевих сегментах. *Зб. наукових праць XV з'їзду ортопедів-травматологів України*. Дніпропетровськ, 16–18 вересня 2010 р. С. 95.

6. Іванов Г.В., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Пошелок Д.М., Федак В.І., Суббота І.А. Вивчення змін у суміжних хребцевих сегментах при імплантації різних матеріалів: *Зб. наукових праць XV з'їзду ортопедів-травматологів України*. Дніпропетровськ, 16–18 вересня 2010 р. С. 96.

7. Ашукіна Н.О., Іванов Г.В., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Суббота І.А., Тяжелов О.А., Хадрі Вадід. Вивчення реакції шкіри та кісткової тканини на введення вуглецевого імплантату. *Зб. наукових праць XV з'їзду ортопедів-травматологів України*. Дніпропетровськ, 16–18 вересня 2010 р. С. 97.

8. Дедех Н.В., Чжоу Лу, Малышкина С.В. Регенерация и механическая прочность кости в условиях имплантации углеродного материала. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2016. № 3. С. 41-47. DOI: 10.15674/0030-59872016341-47.

9. Хвсюк О.М., Павлов О.Д., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д. Дослідження тривалості збереження жорсткості фіксації кісткових уламків біодеградуєчими накістковими пластинами на основі полілактиду. *Травма*. 2018. Т. 19. № 5. С. 102-109. DOI: 10.22141/1608-1706.5.19.2018.146652.

10. Стойко И.В., Бэц Г.В., Бэц И.Г., Карпинский М.Ю. Исследование механических свойств материалов для

функциональной стабилизации при переломе пилон. *Клінічна хірургія*. 2014. С. 45-48.

11. Продан А.И., Грунтовский Г.Х., Попов А.И., Карпинская Е.Д., Суббота И.А. Биомеханическое обоснование оптимального состава композитного материала для чрескожной вертебропластики. *Хирургия позвоночника*. 2006. № 2.

12. Дегтярь В.А., Зацепин А.В., Карпинский М.Ю., Карпинская Е.Д., Суббота И.А. Экспериментальное исследование прочности костной ткани после заполнения костного дефекта биоимплантатами тупопласт. *Медицина и...* 2007. № 3-4(18). С. 31-35.

13. Карпинский М.Ю., Суббота И.А., Карпинская Е.Д., Попов А.И. Экспериментально-теоретическое обоснование состава композитного материала для заполнения костных дефектов. *Медицина и...* 2008. № 3 (21).

14. Карпинский М.Ю., Суббота И.А., Карпинская Е.Д., Зацепин А.В. Механические свойства метафизарной кости после заполнения дефекта имплантатом Тупопласт. *Медицина и...* 2008. № 3(21).

15. Карпинский М.Ю., Нехлопочин А.С., Нехлопочин С.Н., Карпинская Е.Д., Ярьсько А.В. Особенности напряженно-деформированного состояния шейного отдела позвоночника при замещении тел позвонков искусственными имплантатами разных конструкций. *Травма*. 2016. № 3. С. 22-23

16. Наследов А. SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2011. 400 с.

Отримано/Received 04.09.2019

Рецензовано/Revised 12.09.2019

Прийнято до друку/Accepted 12.10.2019 ■

Шимон В.М.¹, Алфелдий С.П.¹, Шимон М.В.¹, Карпинский М.Ю.², Карпинская Е.Д.², Суббота И.А.²

¹ГВУЗ «Ужгородский национальный университет» МОН Украины, г. Ужгород, Украина

²ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко НАМН Украины», г. Киев, Украина

Експериментальное исследование прочности костей крыс с дефектом, заполненным биостеклом

Резюме. Актуальность. Одним из перспективных материалов для замещения костных дефектов является биостекло — активный материал, состоящий из стекловидной матрицы и микрокристаллов. Биоактивное стекло относится к классу керамики, которая способна взаимодействовать с тканями организма. Но даже при довольно широком распространении биостекла влияние его на прочностные характеристики кости после замещения дефекта мало изучено. **Цель:** изучить в эксперименте механическую прочность костей лабораторных крыс с дефектом, заполненным биостеклом. **Материалы и методы.** Материалом исследования были 40 самок крыс в возрасте 3 месяца. В первой группе костный дефект заполняли биостеклом, во второй — стеклокерамикой. Животных выводили из эксперимента через 1, 2, 4 и 12 недель после операции, по 5 крыс из каждой группы. В качестве группы контроля использовали контралатеральные неоперированные конечности животных. **Результаты.** Проведенный анализ показал, что при заполнении костного дефекта стеклом прочность оперируемой и интактной костей статистически не отличается ($p = 0,171$), в то же время кости с дефектами, заполненными стеклокерамикой, были по прочности значительно хуже ($p = 0,010$), чем интактные. Аналогичная динамика прослеживается и на срок наблюдения 2 недели,

то есть кости с дефектами, заполненными стеклом, хотя и имели меньшую прочность (142 ± 50 Н), чем интактные (200 ± 29 Н), но разница также была статистически не значимой ($p = 0,063$). Прочность костей с дефектами, заполненными стеклокерамикой, на 2-ю неделю эксперимента (146 ± 49 Н) была статистически значимо меньше ($p = 0,01$), чем прочность интактных костей (200 ± 41 Н). Через 1 месяц после операции наблюдали инверсию процесса, то есть прочность имплантированных костей превысила показатели интактных препаратов и составляла $44,0 \pm 3,1$ Н. При этом для препаратов с дефектом, заполненным стеклом, разница с интактными была статистически значима ($p = 0,035$). Препараты с дефектами, заполненными стеклокерамикой, хотя и выдерживали более высокую нагрузку, чем интактные кости, в среднем 28 ± 56 Н, но разница не приобретала статистической значимости ($p = 0,332$). Аналогичная тенденция сохранялась и через 12 недель после операции. **Выводы.** Использование биостекла и стеклокерамики для заполнения костных дефектов позволяет в отдаленном периоде статистически значимо повысить прочность такой кости до показателей, превышающих показатели интактной кости.

Ключевые слова: механическая прочность костей; биостекло; нагрузка

V.M. Shimon¹, S.P. Alfeldiy¹, M.V. Shimon¹, M.Yu. Karpinsky², E.D. Karpinskaya², I.A. Subbota²

¹Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

²State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Experimental study of rat bone strength with a defect filled with bioglass

Abstract. Background. One of the promising materials for replacement of bone defects is bioglass, an active material consisting of a glassy matrix and microcrystals. Bioactive glass belongs to the class of ceramics, which is able to interact with body tissues. But even with fairly wide use of bioglass, its effect on the strength characteristics of the bone after defect replacement is poorly understood. The purpose was to study experimentally the mechanical strength of the bones of laboratory rats with a defect filled with bioglass. **Materials and methods.** The study material was 40 female rats at the age of 3 months. In the first group, the bone defect was filled with bioglass, in the second one — with glass ceramics. Animals were sacrificed 1, 2, 4 and 12 weeks after surgery, 5 rats from each group. The contralateral non-operated limbs of animals were used as a control group. **Results.** The analysis showed that when filling a bone defect with glass, the strength of the operated and intact bones did not differ statistically ($p = 0.171$), while bones with defects filled with glass ceramics had significantly lower strength ($p = 0.010$) than intact ones. A similar dynamics can be observed for the observation period of 2 weeks, that

is, bones with defects filled with glass, although they had less strength (142 ± 50 N) than intact ones (200 ± 29 N), but the difference also was not statistically significant ($p = 0.063$). The strength of bones with defects filled with glass ceramics on week 2 of the experiment (146 ± 49 N) was statistically significantly lower ($p = 0.010$) than the strength of intact bones (200 ± 41 N). One month after the operation, there was an inversion of the process, that is, the strength of the implanted bones exceeded the indices of intact preparations and was 44 ± 3.1 N. Moreover, for preparations with a defect filled with glass, the difference with intact ones was statistically significant ($p = 0.035$). Preparations with defects filled with glass ceramics could withstand a higher load than intact bones, on average $28 \pm \pm 56$ N, but the difference was statistically significant ($p = 0.332$). A similar trend was observed for 12 weeks after surgery. **Conclusions.** The use of bioglass and glass ceramics for filling bone defects allows us to increase statistically significantly the bone strength to indicators larger than those of intact ones in the long-term period.

Keywords: mechanical strength of bones; bioglass; load