

УДК 616.758:617.583]-089.843:615.462](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872021123-33>

## Внутрішньоканальна інкорпорація сухожилкового автотрансплантата передньої схрещеної зв'язки з імплантацією поліпропіленової сітки за даними МРТ

М. Л. Головаха<sup>1</sup>, О. В. Шевельов<sup>2</sup>, С. А. Бондаренко<sup>1</sup>, В. І. Перцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Запорізький державний медичний університет. Україна

<sup>2</sup> Діагностичний центр «Медікум», Запоріжжя. Україна

*Hamstring tendon graft remains one of the most popular for ACL reconstruction (ACLR). However, its disadvantage is long term ligamentation process and intracanal incorporation and delayed rehabilitation. One of the methods for stimulation of connective tissue growth is the implantation of polypropylene mesh (PPM), which are widely used in hernioplasty. Objective. To compare the MRI data dynamics of intracanal incorporation of tendon graft with implantation of PPM in bone canals. Methods. For evaluation of graft reconstruction in the femoral and tibial canals we used criteria based on the analysis of MRI images in PD FS and STIR sequences: the nature of the signal from the graft in the center of bone canal; general view of the graft; the nature of the MRI signal from the tissues around the graft on the tendons-bone border; the presence of synovial fluid in the canals and bone edema around them. Results of MRI of 75 patients who underwent «all-inside» ACLR with semitendinosus graft were analyzed. In the study group (40 patients) were compared to control group (35 patients) additionally implanted PPM around the ends of the tendon graft. Results. Intracanal graft incorporation in the group of patients with implantation of PPM occurred faster. The nature of the signal from the center of the bone canal and on the bone-tendon border progressed significantly faster in all observed terms. In the research group there was not presence of synovial fluid in the canals along the graft. Conclusions. Implantation of PPM around the ends of the ACL tendon autograft immersed in bone canals, leads, according to MRI data, to faster intra-canal incorporation. Key words. Knee joint, anterior cruciate ligament, arthroscopy.*

*Трансплантат із сухожилків згиначів гомілки залишається одним із найпопулярніших для пластики передньої схрещеної зв'язки (ПСЗ). Проте його недоліком є тривалий процес лігаментзації та внутрішньоканальної інкорпорації, що затримує реабілітацію. Одним із методів стимуляції росту сполучної тканини є імплантація поліпропіленових сіток (ПС), які широко застосовують у герніопластиці. Мета. Провести порівняльний аналіз МРТ-динаміки внутрішньоканальної інкорпорації сухожилкового трансплантата з імплантацією ПС у кісткових каналах. Методи. Для оцінювання перебудови трансплантата в каналах стегнової та великогомілкової кісток використовували критерії, засновані на аналізі зображень МРТ у PDFS і STIR послідовностях: характер сигналу від трансплантата по центру кісткового каналу; загальний вигляд трансплантата; характер МРТ-сигналу від тканин навколо трансплантата на межі «сухожилка – кістка»; наявність синовіальної рідини в кісткових каналах і кісткового набряку навколо них у стегновій і великогомілковій кістках. Проаналізовано результати МРТ 75 пацієнтів, яким виконана пластика ПСЗ методом «all-inside» автотрансплантатом із сухожилка напівсухожилкового м'яза. У групі дослідження (40 осіб) на відміну від групи порівняння (35) додатково імплантували ПС навколо кінців сухожилкового трансплантата. Результати. Внутрішньоканальна перебудова трансплантата в групі пацієнтів з імплантацією ПС відбувалася швидше. Характер сигналу по центру кісткового каналу і на межі сухожилка з кісткою прогресував достовірно швидше в усі терміни спостереження. У групі дослідження практично не реєстрували затікання рідини уздовж трансплантата в кісткові канали. Висновки. Імплантація ПС навколо кінців сухожилкового автотрансплантата ПСЗ, занурених у кісткові канали, приводить, за даними МРТ, до його швидшої внутрішньоканальної інкорпорації.*

**Ключові слова.** Колінний суглоб, передня схрещена зв'язка, артроскопія

## Вступ

Відновлення функції після реконструкції передньої схрещеної зв'язки (ПСЗ) залишається предметом численних досліджень. За даними різних авторів, питома вага рецидивів ушкодження ПСЗ коливається від 3 до 15 % у перші 2 роки після операції, а повне відновлення функції залежить від початкового стану пацієнта [1–3]. Причому частка постраждалих із повним обсягом відновлення коливається від 65 до 95 %. Результати хірургічного лікування ПСЗ залежать від різних факторів, одним з яких є інтеграція трансплантата в кісткових каналах. Його перебудова на межі «сухожилок – кістка» проходить чотири стадії [4]. Більшість авторів, які описували цей процес, вважають, що він триває до 6 міс. після операції [5–7]. На цьому засновані протоколи реабілітації після пластики ПСЗ. Численні дослідження останніх років свідчать про те, що цей процес може тривати і довше [8, 9]. У поданій роботі ми зупинимося на одній зі сторін процесу перебудови трансплантата — стимуляції внутрішньоканальної інкорпорації сухожилкового трансплантата.

Як відомо, трансплантат із сухожилків згиначів гомілки залишається одним із найпопулярніших серед ортопедів [1, 10, 11]. Серед його недоліків — тривалий процес лігаментації та внутрішньоканальної інкорпорації. Це накладає відбиток на його застосування та не дозволяє проводити агресивну і швидку реабілітацію пацієнтів. Раніше ми проаналізували результати пластики ПСЗ за допомогою магнітно-резонансної томографії (МРТ) [8]. Констатовано, що як лігаментація, так і внутрішньоканальна інкорпорація трансплантата з сухожилків згиначів гомілки не закінчується повністю до 6 міс. після операції, що йде в розріз із більшістю реабілітаційних протоколів. Тому ми звернулися до ідеї стимуляції цих процесів і провели дослідження ефекту імплантації поліпропіленової сітки в тканини колінного суглоба кролів в експерименті й відзначили стимуляцію зростання фіброзної тканини за рахунок стимуляції та пролонгації проліферативного запального процесу в зоні контакту трансплантата зі стінкою каналу [12]. Клінічний досвід імплантації поліпропіленової сітки навколо кінців сухожилка, які занурюють у кісткові канали, показав низку позитивних ефектів [13]. Подана робота присвячена вивченню динаміки МРТ-ознак внутрішньоканальної інкорпорації трансплантата з сухожилка напівсухожилкового

м'яза, зануреного в кісткові канали, кінці якого обгорнуті поліпропіленовою сіткою.

*Мета роботи:* провести порівняльний аналіз МРТ-динаміки внутрішньоканальної інкорпорації сухожилкового трансплантата з імплантацією поліпропіленової сітки в кісткових каналах.

## Матеріал і методи

Для оцінювання перебудови трансплантата в каналах стегнової та великогомілкової кісток, на основі власних спостережень і даних літератури ми запропонували критерії, засновані на аналізі МРТ-зображень у PDFS і STIR послідовностях [8, 14].

*Показник № 1. Характер сигналу від трансплантата по центру кісткового каналу.* Динаміку зміни трансплантата в кістковому каналі визначали за методикою, яку ми використали для оцінювання перебудови внутрішньосуглобової частини трансплантата ПСЗ [14]. Аналізували інтенсивність МРТ-сигналу: 1) сагітальні послідовності, зважені за протонною щільністю PDW (repetition time (TR) = 3 000 ms, echo time (TE) = 30 ms, echo train length = 8, 2 number of excitations (NEX), 320/224 matrix); 2) аксіальні T2 зважені послідовності (TR = 4000 ms, TE = 85 ms, echo train length = 12, 2 NEX, 256/192 matrix).

На цих послідовностях висока інтенсивність сигналу відповідає світлішому кольору трансплантата, а низька — темнішому. У літературі існує кілька досліджень, які описують динаміку ревазуляризації трансплантатів після різних ортопедичних втручань, проте у всіх цих працях вивчали не кількісні зміни сигналу від структур, а якісні [2, 15–17]. При цьому результати оцінювали декілька рентгенологів за класифікацією інтенсивності сигналу: гіпер-, гіпо- й ізоінтенсивний із додаванням підгруп у вигляді «помірно-інтенсивний» або «виражено-інтенсивний». Така оцінка є досить суб'єктивною. Для виключення цього чинника розроблено коефіцієнт сигнал/шум (КСШ), який обчислюють за такою формулою [18]:

$$\text{КСШ} = \frac{\text{Інтенсивність сигналу від структури}}{\text{Інтенсивність сигналу від структури порівняння}}. \quad (1)$$

У нашому дослідженні:

$$\text{КСШ} = \frac{\text{Інтенсивність сигналу від трансплантата ПСЗ}}{\text{Інтенсивність сигналу від структури порівняння}}. \quad (2)$$

Інтенсивність сигналу трансплантата ПСЗ визначали на двох послідовних сагітальних зрізах, зважених за протонною щільністю (PDW), що збільшувало ймовірність істинного вимірювання.

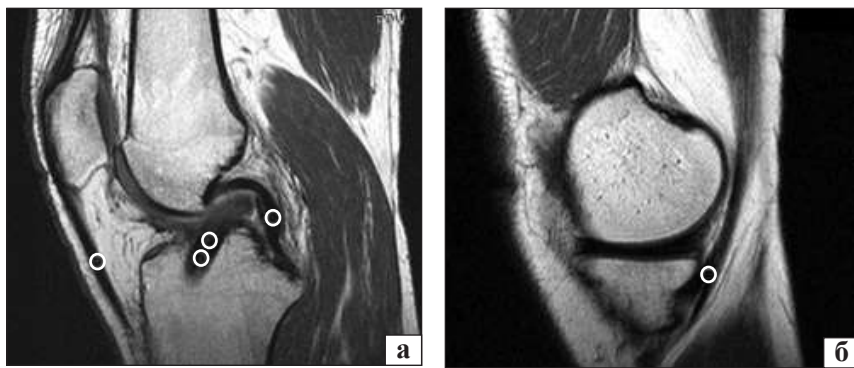
Для визначення сигналу використовували коло діаметром 4 мм у двох локалізаціях упродовж центральної частини трансплантата в каналі великогомілкової кістки (рис. 1, а), обчислювали середнє арифметичне з двох значень, яке дали застосовували в розрахунках. Для вимірювання фонової інтенсивності сигналу залучено кілька анатомічних структур колінного суглоба: сухожилок півперетинчастого м'яза (рис. 1, б), задню схрещену зв'язку (ЗСЗ) в середній третині, зв'язку наколінка в середній третині (рис. 1, а).

**Показник № 2. Загальний вигляд трансплантата.** Додатково оцінювали загальний вигляд трансплантата ПСЗ за ступенем його однорідності на послідовностях, зважених за протонною щільністю. Використовували трибальну шкалу, де 1 бал присвоювали повністю гомогенній за структурою зв'язці, 2 — незначно гетерогенній, 3 — повністю гетерогенній (рис. 2). Оцінювання проводили незалежно три ортопеда, із досвідом реконструкції ПСЗ не менше ніж 5 років. Трансплантату давали 1, 2 або 3 бали за рішенням більшості з трьох лікарів.

**Показник № 3. Характер МРТ-сигналу від тканин трансплантата на межі «сухожилок – кістка».** Аналізуючи сагітальні PDFS-послідовності визначали інтенсивність сигналу на межі «сухожилок – кістка». Повну інкорпорацію констатували в разі

сигналу низької інтенсивності або відсутності перехідної зони між сухожилком і стінкою каналу. Використовували умовно її поділ на 3 ступеня: 1-й — повна перебудова трансплантата протягом довжини всього великогомілкового каналу, низькоінтенсивний сигнал від внутрішньоканальної частини трансплантата без набряку на межі «сухожилок – кістка» (рис. 3, а); 2-й — неповна перебудова трансплантата протягом довжини великогомілкового каналу, низькоінтенсивний сигнал від внутрішньоканальної частини трансплантата з ділянками високоінтенсивного сигналу на межі «сухожилок – кістка», які свідчать про наявність набряку м'яких тканин і неповний контакт тканини сухожилка зі стінкою кісткового каналу (рис. 3, б); 3-й — значна відсутність перебудови трансплантата в кістковому каналі великогомілкової кістки, протягом більшої частини зони «сухожилок – кістка» — високоінтенсивний сигнал, що відображає наявність набряку і відсутність зрощення сухожилка зі стінками кісткового каналу (рис. 3, в).

**Показник № 4. Наявність синовіальної рідини в кісткових каналах стегнової та великогомілкової кісток.** На сагітальних і аксіальних PDFS-послідовностях (рис. 4, 5) оцінювали наявність рідини, яка візуалізується як високоінтенсивний сигнал (білий колір на МРТ-зображеннях).



**Рис. 1.** МРТ-зображення з вимірюванням інтенсивності сигналу у двох точках трансплантата ПСЗ, середній третині задньої схрещеної зв'язки та зв'язки наколінка на PDW-послідовності (а) і в зоні сухожилка півперетинчастого м'яза (б)



**Рис. 2.** Загальний вигляд трансплантата ПСЗ: а) гомогенна структура — 3 бали; б) незначно гетерогенна — 2 бали; в) гетерогенна — 1 бал

Наявність рідини в кістковому каналі навколо трансплантата свідчить про відсутність інкорпорації сухожилка з кісткою в цій зоні.

*Показник № 5. Наявність кісткового набряку навколо каналів великогомілкової та стегнової кісток.* Оцінювали сагітальні та фронтальні STIR-послідовності, кістковий набряк визначали за високоінтенсивним сигналом на фоні нормального низькоінтенсивного від кістки (ділянки білого кольору зі збереженою структурою кістки на фоні нормального темного сигналу) (рис. 6, а, б).

Клінічним матеріалом для дослідження послужили результати МРТ 75 пацієнтів, яким проведена пластика ПКС методом «all-inside» автотрансплантатом із сухожилка напівсухожилкового м'яза. Групу дослідження склали 40 хворих,

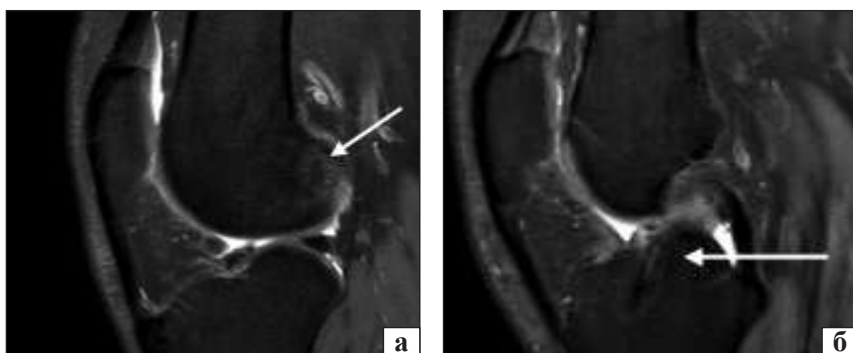
прооперованих у 2018–2019 роках з імплантацією поліпропіленової сітки навколо кінців сухожилкового трансплантата, які занурювали в кісткові канали (Сітка медична для відновлювальної хірургії. Поліпропіленова РРМ 501, 6×11 см. Біологічно інертна поліпропіленова нитка діаметром 0,1 мм. Поверхнева щільність 63 г/м<sup>2</sup>. Розмір комірок 1,3×1,0 мм). Групу порівняння склали 35 хворих, прооперованих у 2017 році. До обох груп увійшли пацієнти, яким, крім пластики ПКС, виконували видалення менісків (14 пацієнтів у групі дослідження, 18 — порівняння), шов меніска (2 особи у групі дослідження, 4 — порівняння), шейвінг хряща та мікрофрактуризацію невеликих його дефектів — не більше ніж 3 см<sup>2</sup> (10 випадків у групі дослідження, 11 — порівняння).



**Рис. 3.** Ступені перебудови трансплантата на межі «сухожилок – кістка»: а) 1-й, виділено зону інтересу; б) 2-й, стрілкою показано невелику ділянку високоінтенсивного сигналу; в) 3-й, стрілкою вказано значну ділянку високоінтенсивного сигналу



**Рис. 4.** МРТ-ознаки наявності синовіальної рідини в каналі стегнової (а) та великогомілкової (б) кісток. Стрілками вказано зони високоінтенсивного сигналу на сагітальних PDFS-послідовностях



**Рис. 5.** МРТ-ознаки відсутності синовіальної рідини в каналі стегнової (а) та великогомілкової (б) кісток. Стрілками вказано зони низькоінтенсивного сигналу на сагітальних PDW-послідовностях

Пацієнтів із супутніми ушкодженнями інших зв'язкових структур до цієї групи не включали. За статтю, віком і давністю травми обидві групи суттєво не відрізнялися (табл. 1).

Клінічні результати дослідження були опубліковані раніше [13].

МРТ проводили через 3–4, 6 і 9 міс. після операції. Виконання дослідження схвалено комісією з питань біоетики Запорізького державного медичного університету (протокол № 7 від 26.10.2016).

Для статистичної обробки використовували методи варіаційної статистики в програмах «MS Excel 2010» та «Statistica 13.0». Відмінності оцінювали як статистично значущі за  $p < 0,05$ .

### Результати та їх обговорення

Аналіз критерію № 1 — *характеру МРТ-сигналу від трансплантата по центру кісткового каналу* — наведено в табл. 2.

Результати статистичного аналізу показали, що перебудова трансплантата в кістковому каналі великогомілкової кістки в групі пацієнтів із поліпропіленовою сіткою відбулася швидше.

Візуально на МРТ це характеризується темнішим і одноріднішим виглядом трансплантата в просвіті кісткового каналу. Ми це додатково ілюструємо на діаграмах, які наведені на рис. 7–9. Найбільш показові результати отримані в разі порівняння зі зв'язкою наколінка. Через 3 міс. після операції КСШ у групі порівняння дорівнював  $5,75 \pm 0,29$ ; у групі дослідження —  $4,18 \pm 0,32$ . Достовірна різниця цих показників свідчить про те, що в групі дослідження сигнал від трансплантата менше відрізнявся від сигналу інтактної зв'язки наколінка. Через 6 міс. після операції в групі порівняння КСШ становив  $3,86 \pm 0,45$ ; а в групі дослідження —  $2,4 \pm 0,42$ . Це свідчить про швидшу інтеграцію внутрішньоканальної частини трансплантата в групі дослідження.

Таким чином, перебудова трансплантата всередині каналу великогомілкової кістки в разі імплантації поліпропіленової сітки навколо кінця трансплантата, який введений у канал, відбувалася швидше, а сигнал від трансплантата через 6 міс. показує вищу щільність тканини. Останнє свідчить про менший набряк та інфільтрацію трансплантата.



**Рис. 6.** МРТ-ознаки кісткового набряку на сагітальних STIR-послідовностях: а) тотальний кістковий набряк медіального виростка великогомілкової кістки; б) локальний кістковий набряк у зоні каналу в латеральному виростку стегнової кістки

**Розподіл пацієнтів за статтю, віком і давністю травми**

Таблиця 1

Показник	Група пацієнтів	
	порівняння	дослідження
Середній вік, роки:	34,4 роки	32,1 роки
– до 20;	4 (11,4 %)	5 (12,5 %)
– 21–30;	9 (21,7 %)	12 (30,0 %)
– 31–40;	14 (40,0 %)	15 (37,5 %)
– 41 і більше	8 (22,9 %)	8 (20,0 %)
Загалом	35 (100,0 %)	40 (100,0 %)
Стать:		
– чоловіча;	28 (80,0 %)	31 (77,5 %)
– жіноча	7 (20,0 %)	9 (22,5 %)
Давність травми:		
– до 2 міс.;	8 (22,9 %)	12 (20,0 %)
– від 2 до 6 міс.;	14 (40,0 %)	16 (40,0 %)
– від 6 міс. до року;	6 (17,1 %)	7 (17,5 %)
– від 1 до 2 років	7 (20,0 %)	5 (12,5 %)

Визначено, що найкращою фоновою структурою, з якою проведено порівняння, виявилася власна зв'язка наколінка, оскільки оцінені показники статистично значуще відрізнялися від неї на всіх термінах спостереження. Порівняння півперетинчастого м'язу і ЗСЗ виявилось недостатньо точним у термін 3 міс. після операції. Це пов'язано з тим, що півперетинчастий м'яз, імовірно, реагує на взяття трансплантата, розташованого поруч, а ЗСЗ розташована всередині суглоба і також реагує на хірургічне втручання. Тому МРТ-сигнал від них міг змінюватися після операції внаслідок реактивних змін.

У процесі аналізу другого МРТ-критерію — загального вигляду трансплантата — ми отримали дані, наведені в табл. 3.

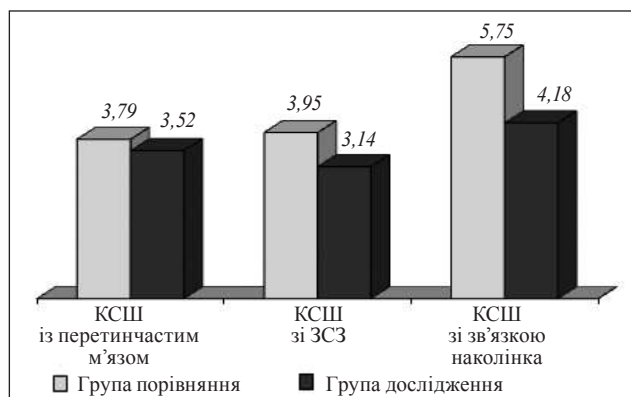
У групі порівняння в термін обстеження 3 міс. жоден із трансплантатів у великогомілкового каналі не був гомогенним, а в групі дослідження таких було 35,0 % (14 пацієнтів). Із незначною гетерогенністю трансплантата в групі порівняння були 62,9 % (22 пацієнти), а в групі дослідження — 27,5 % (15 випадків); гетерогенними були визнані 37,1 % трансплантатів (13 пацієнтів) і в 27,5 % (11) відповідно. Визначено, що в термін 3 міс. після операції відмінності між групами є суттєвими.

Таблиця 2

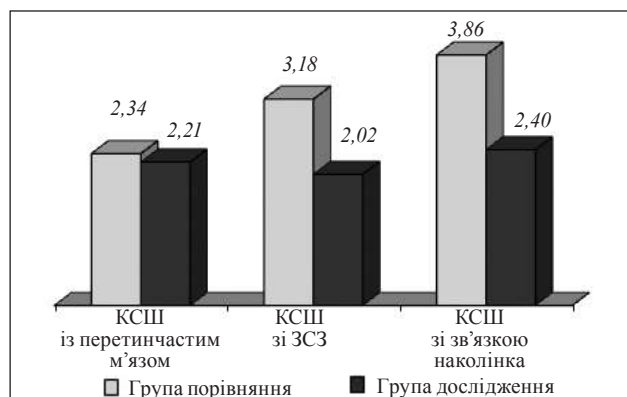
**Показники КСШ МРТ-сигналу від внутрішньоканальної частини сухожилкового трансплантата ПСЗ усередині великогомілкового каналу порівняно з фоновими структурами обох груп пацієнтів**

3 міс. після операції						
Група	КСШ із півперетинчастим м'язом		КСШ зі ЗСЗ		КСШ зі зв'язкою наколінка	
	порівняння	дослідження	порівняння	дослідження	порівняння	дослідження
Значення	3,79 ± 0,41	3,52 ± 0,34	3,95 ± 0,28	3,14 ± 0,22	5,75 ± 0,29	4,18 ± 0,32
p	> 0,05		< 0,05		< 0,05	
6 міс. після операції						
Група	КСШ із півперетинчастим м'язом		КСШ зі ЗСЗ		КСШ зі зв'язкою наколінка	
	порівняння	дослідження	порівняння	дослідження	порівняння	дослідження
Значення	2,34 ± 0,36	2,21 ± 0,25	3,18 ± 0,21	2,03 ± 0,35	3,86 ± 0,45	2,40 ± 0,62
p	> 0,05		< 0,05		< 0,05	
9 міс. після операції						
Група	КСШ із півперетинчастим м'язом		КСШ зі ЗСЗ		КСШ зі зв'язкою наколінка	
	порівняння	дослідження	порівняння	дослідження	порівняння	дослідження
Значення	2,05 ± 0,54	2,01 ± 0,42	2,80 ± 0,27	1,98 ± 0,34	3,03 ± 0,21	2,04 ± 0,42
p	> 0,05		< 0,05		< 0,05	

Примітка: p — значущість відмінностей між групами.



**Рис. 7.** Динаміка коефіцієнта сигнал/шум (КСШ) МРТ-сигналу від внутрішньоканальної частини сухожилкового трансплантата ПСЗ усередині великогомілкового каналу порівняно з фоновими структурами після пластики ПСЗ обох груп пацієнтів через 3 міс. після операції



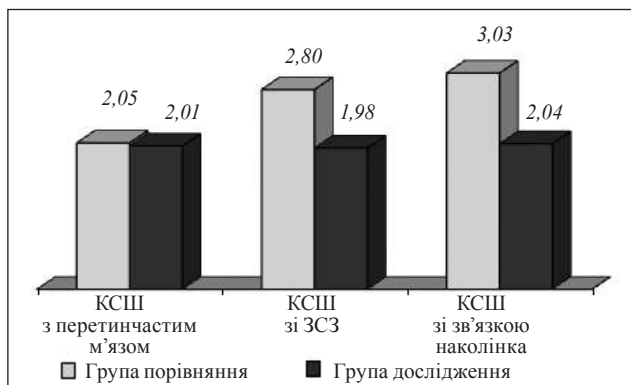
**Рис. 8.** Динаміка КСШ МРТ-сигналу від внутрішньоканальної частини сухожилкового трансплантата ПСЗ усередині великогомілкового каналу порівняно з фоновими структурами після пластики ПСЗ обох груп пацієнтів через 6 міс. після операції

Таблиця 3

## Результати оцінювання загального вигляду трансплантата в каналі великогомілкової кістки

Термін спостереження, міс.	Значення	Гомогенна структура, 3 бали		Незначно гетерогенна структура, 2 бали		Гетерогенна структура, 1 бал	
		група порівняння	група дослідження	група порівняння	група дослідження	група порівняння	група дослідження
3	%	0	35,0	62,9	37,5	37,1	27,5
	абс.	0	14	22	15	13	11
	p	< 0,05		< 0,05		< 0,05	
6	%	54,3	65,0	28,6	22,5	17,1	12,5
	абс.	19	26	10	9	6	5
	p	< 0,05		< 0,05		> 0,05	
9	%	68,5	72,5	22,9	17,5	8,6	10,0
	абс.	24	29	8	7	3	4
	p	> 0,05		> 0,05		> 0,05	

Примітка: p — значущі відмінності між групами.



**Рис. 9.** Динаміка КСШ МРТ-сигналу від внутрішньоканальної частини сухожилкового трансплантата ПСЗ усередині великогомілкового каналу порівняно з фоновими структурами після пластики ПСЗ обох груп пацієнтів через 9 міс. після операції

Через 6 міс. після операції кількість пацієнтів із гетерогенним трансплантатом в обох групах була майже однаковою, із гомогенним — більше у групі дослідження, а з незначно гетерогенним — дещо більше у групі порівняння. Це свідчить про прогресивне формування гомогенного трансплантата в каналі великогомілкової кістки пацієнтів обох груп із більшою кількістю випадків гомогенного трансплантата в групі дослідження (із поліпропіленовою сіткою, табл. 3). До 9 міс. після операції визначено приблизно однакову кількість пацієнтів із гомогенним, незначно гетерогенним і повністю гетерогенним трансплантатом у групах, що відображує завершеність процесу його перебудови.

*Показник № 3. Характер МРТ-сигналу від тканин трансплантата на межі «сухожилок – кістка».* Отримані результати наведено в табл. 4.

Через 3 міс. у групі порівняння жоден із пацієнтів не був віднесений до 1-го ступеня за запропонованою нами класифікацією, до 2-го належали 12 хворих (34,3 %), до 3-го — 23 (65,7 %). У групі дослідження відмічено значущо кращі результати — уже через 3 міс. у деяких хворих перебудова трансплантата завершилася, через 6 міс. їхня кількість істотно збільшилася. Під час аналізу МРТ-сканів у групі порівняння в режимі T2 PDFS трансплантат здебільшого був із дуже чіткими межами і повністю гомогенним усередині каналу вже до 3 міс. (67,5 % повна перебудова на краю трансплантата, рис. 10, а), а той самий трансплантат у режимі STIR також виглядав практично гомогенним без інфільтрації (рис. 10, б).

*Показник № 4.* Аналогічну тенденцію спостерігали, аналізуючи МРТ-критерії відсутності синовіальної рідини. У групі дослідження ми не виявили пацієнтів із наявністю синовіальної рідини в каналі до 6 міс. після операції (табл. 5). У групі порівняння кількість пацієнтів без синовіальної рідини в каналі збільшувалася в проміжку від 3 міс. (22,9 % — 8 хворих) до 9 міс. (88,6 % — 31).

*Показник № 5. Наявність кісткового набряку навколо каналів великогомілкової та стегнової кісток.* За цим показником не встановлено відмінностей між групами. Кількість пацієнтів із відсутністю кісткового набряку збільшується протягом усього періоду спостереження, починаючи з 34,3 % через 3 міс. після операції до 91,4 % через 9 міс. Імплантація поліпропіленової сітки не вплинула на вираженість набряку кісткової тканини навколо каналів. Цілком імовірно, цей показник не залежить від внутрішньоканальної інкорпорації трансплантата, а визначається іншими факторами.

Таблиця 4

## Результати оцінювання характеру сигналу від тканини трансплантата на межі «сухожилок – кістка»

Термін спостереження, міс.	Значення	Ступінь перебудови трансплантата					
		1-й (повна перебудова)		2-й (неповна перебудова)		3-й (значна відсутність перебудови)	
		група порівняння	група дослідження	група порівняння	група дослідження	група порівняння	група дослідження
3	%	0	12,5	34,3	57,5	65,7	30,0
	абс.	0	5	12	23	23	12
	p	< 0,05		< 0,05		< 0,05	
6	%	51,4	67,5	31,4	20,0	17,2	12,5
	абс.	18	27	11	8	6	5
	p	< 0,05		< 0,05		> 0,05	
9	%	65,7	72,5	22,9	17,5	11,4	10,0
	абс.	23	29	8	7	4	4
	p	> 0,05		> 0,05		> 0,05	

Примітка: p — статистична значущість різниці між групами.



Рис. 10. Трансплантат на МРТ-сканах пацієнта групи дослідження: режим PD\_TSE (а) та PD\_SPIR (б)

Таблиця 5

## Пацієнти з наявністю рідини всередині кісткових каналів після пластики ПСЗ

Термін спостереження, міс.	Значення	Немає		Є	
		група порівняння	група дослідження	група порівняння	група дослідження
3	%	22,9	75,0	77,1	15,0
	абс.	8	34	27	6
	p	< 0,05		< 0,05	
6	%	51,4	100,0	48,6	0,0
	абс.	18	40	17	0
	p	< 0,05		< 0,05	
9	%	88,6	100,0	11,4	0,0
	абс.	31	40	4	0
	p	< 0,05		< 0,05	

Примітка: p — статистична значущість різниці між групами.

Для ілюстрації наводимо МРТ пацієнтки через 3 міс. після пластики ПСЗ з імплантацією поліпропіленової сітки. На МРТ-сканах візуалізовано непогану для цього терміну лігаментацию та хорошу внутрішньоканальну інкорпорацію сухожилкового трансплантата ПСЗ (рис. 11, 12).

## Обговорення

Інтеграція трансплантата в кісткових каналах, або внутрішньоканальна інкорпорація, є важливим чинником відновлення функції колінного суглоба та повернення пацієнтів до колишнього рівня фізичної активності після реконструкції ПСЗ за допомогою автотрансплантатів.

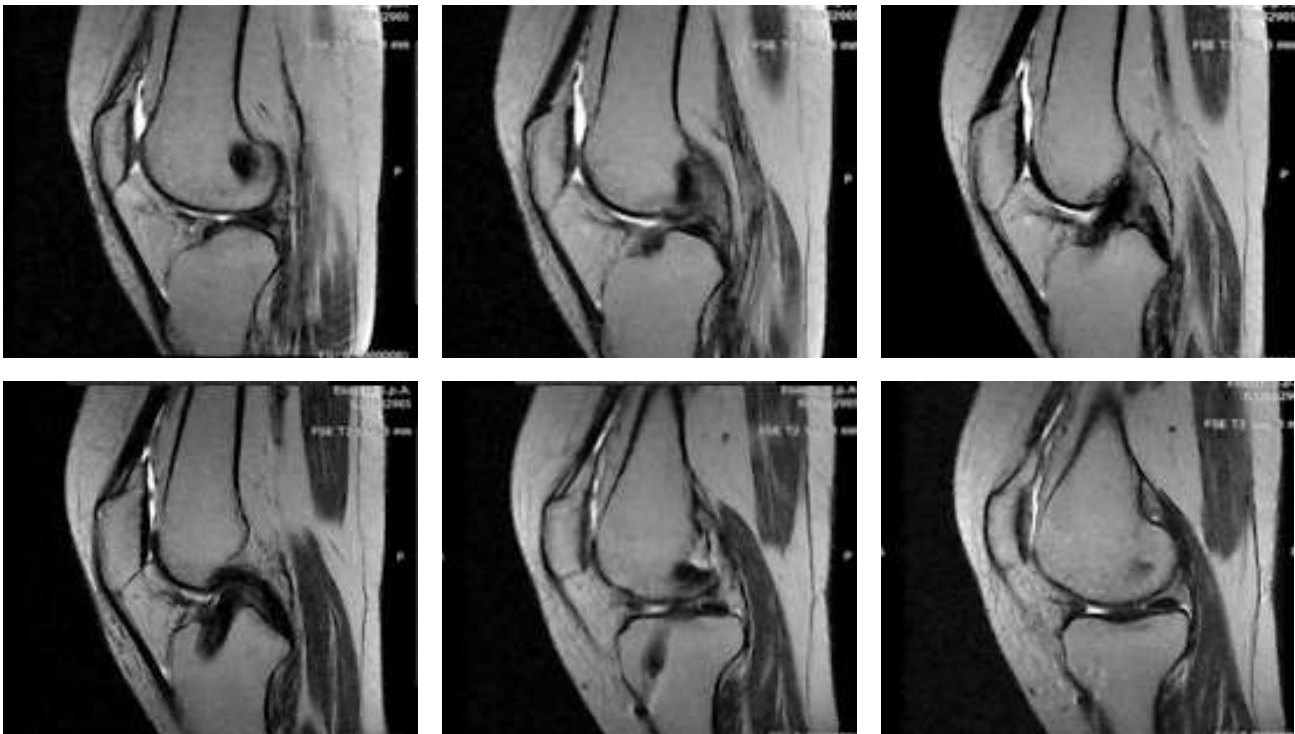


Рис. 11. Пацієнтка Б., 48 років, МРТ-скани через 3 міс. після пластики ПСЗ, FSE T2 Sag 3 mm

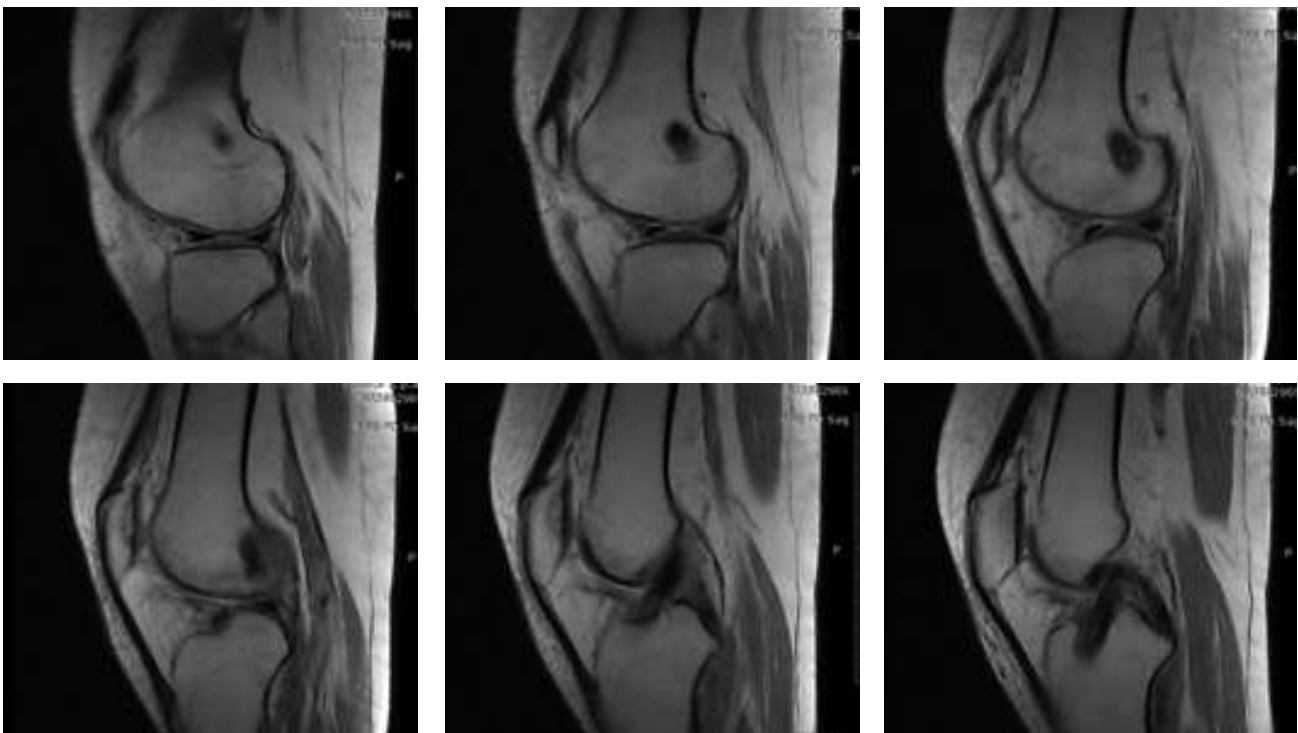


Рис. 12. Пацієнтка Б., 48 років, МРТ через 3 міс. після пластики ПСЗ, FSE PD Sag

Клінічні спостереження за пацієнтами після пластики ПСЗ з імплантацією поліпропіленової сітки навколо кінців трансплантата, що були введені в кісткові канали, показали відсутність локального запалення й обнадійливі результати відновлення функції колінного суглоба [13].

У наведеній роботі вивчення динаміки МРТ-показників виявило, що використання поліпропіленової сітки привело до швидшої внутрішньоканальної інкорпорації сухожилкового трансплантата в разі пластики передньої схрещеної зв'язки.

Для оцінювання перебудови трансплантата в каналах стегнової та великогомілкової кісток використано розроблені й апробовані нами раніше МРТ-критерії, які характеризують процес внутрішньоканальної інкорпорації трансплантата ПСЗ. Вони враховують перебудову в зоні контакту з кісткою та в центрі трансплантата за різними МРТ-ознаками.

Ідея застосування поліпропіленової сітки для стимуляції утворення сполучної тканини процесу не нова, оскільки широко використовують у герніології — розділі хірургії, який вивчає грижі. Існують дві конкурентні концепції застосування поліпропіленової сітки, які часто приводять до суперечливих дискусій. З одного боку, «важка» модель сітки з маленькими порами, яка має механічну міцність, а з іншого, — «легка» з великими порами, яка лише стимулює ріст фіброзної тканини. У своєму дослідженні ми використали «легкі» сітки. Наш вибір заснований на ідеї стимулювання зростання сполучної тканини навколо сітки в зоні її контакту з трансплантатом. Відомо, що поліпропіленова сітка спричинює тривалу запальну проліферативну реакцію та максимально стимулює утворення міцної фіброзної тканини.

У процесі порівняльного аналізу результатів виявилось, що внутрішньоканальна перебудова трансплантата в групі пацієнтів із використанням поліпропіленової сітки навколо кінця трансплантата, який занурений у канал, відбулася швидше. Такі показники, як характер сигналу по центру кісткового каналу і на межі сухожилка з кісткою прогресували суттєво швидше в усі терміни спостереження. На нашу думку, це зумовлено тим, що введення поліпропіленового сітчастого імплантата в капсулу суглоба спричинює тривале проліферативне запалення без вираженої ексудації та стимулює зростання сполучної тканини, яка швидко заповнює проміжок між трансплантатом і стінкою каналу [12]. Досить суб'єктивний показник загального вигляду трансплантата також корелював із даними вимірювання МРТ-сигналу від нього і показав швидшу внутрішньоканальну інкорпорацію. За умов імплантації поліпропіленової сітки ми практично не реєстрували затікання рідини вздовж трансплантата в кісткові канали, що може бути обумовлено стимулюванням проліферації клітин.

Однакові показники набряку кісткової тканини навколо трансплантатів в обох групах дослідження, ймовірно, обумовлені тотожним методом свердління каналів. Раніше [8] ми виявили, що сліпе малотравматичне свердління каналу за

методом «all-inside» привело до швидшої динаміки зменшення набряку у великогомілкової кістці порівняно з наскрізним свердлінням каналу під трансплантат.

## Висновки

Імплантація поліпропіленової сітки навколо кінців сухожилкового автотрансплантата передньої схрещеної зв'язки, які занурюються в кісткові канали, приводить, за даними МРТ, до його швидшої внутрішньоканальної інкорпорації.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

## Список літератури

1. Результаты восстановления передней крестообразной связки по технологии «все внутри» / М. Л. Головаха, С. Н. Красноперов, П. В. Титарчук [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2017. — № 2 (607). — С. 84–91. — DOI: 10.15674/0030-59872017284-91.
2. Gohil S. Anterior cruciate ligament reconstruction using autologous double hamstrings: a comparison of standard versus minimal debridement techniques using MRI to assess revascularization / S. Gohil, P. O. Annear, W. Breidahl // Journal of Bone and Joint Surgery. — 2007. — Vol. 89-B. — P. 1165–1171. — DOI: 10.1302/0301-620X.89B9.19339.
3. Younger age and hamstring tendon graft are associated with higher IKDC 2000 and KOOS scores during the first year after ACL reconstruction / N. Magnitskaya, C. Mouton, A. Gokeler [et al.] // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. — 2020. — Vol. 28. — P. 823–832. — DOI: 10.1007/s00167-019-05516-0.
4. Chen C. H. Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction / C. H. Chen // Sports medicine, arthroscopy, rehabilitation, therapy & technology. — 2009. — Vol. 1 (1). — Article ID: 21. — DOI: 10.1186/1758-2555-1-21.
5. Graft incorporation within the tibial bone tunnel after anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone autograft / Y. Ishibashi, S. Toh, Y. Okamura [et al.] // The American Journal of Sports Medicine. — 2001. — Vol. 29 (4). — P. 473–479. — DOI: 10.1177/03635465010290041601.
6. Difference in graft maturity of the reconstructed anterior cruciate ligament 2 years postoperatively: a comparison between autografts and allografts in young men using clinical and 3.0-T magnetic resonance imaging evaluation / H. Li, H. Tao, S. Cho [et al.] // The American Journal of Sports Medicine. — 2012. — Vol. 40. — P. 1519–1526. — DOI: 10.1177/0363546512443050.
7. Revascularization process of the bone-patellar tendon-bone autograft evaluated by contrast-enhanced magnetic resonance imaging 6 and 12 months after anterior cruciate ligament reconstruction / A. Ntoulia, F. Papadopoulou, S. Ristanis [et al.] // The American Journal of Sports Medicine. — 2011. — Vol. 39. — P. 1478–1486. — DOI: 10.1177/0363546511398039.
8. Красноперов С. Н. МРТ-признаки перестройки трансплантата передней крестообразной связки в костном канале / С. Н. Красноперов, М. Л. Головаха, А. В. Шевельов // Ортопедия, травматология и протезирование. — № 1. — 2018. — С. 34–40. — DOI: <https://doi.org/10.15674/0030-59872018134-40>.
9. Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction / M. Ekdahl, J. H. Wang, M. Ronga, F. H. Fu // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. — 2008. — Vol. 16 (10). — P. 935–947. — DOI: 10.1007/s00167-008-0584-0.
10. Colombet P. Incorporation of hamstring grafts within the tibial

- tunnel after anterior cruciate ligament reconstruction: magnetic resonance imaging of suspensory fixation versus interference screws / P. Colombet, N. Gravelleau, S. Jambou // *The American Journal of Sports Medicine*. — 2016. — Vol. 44. — P. 2838–2845. — DOI: 10.1177/0363546516656181.
11. ACL hamstring grafts fixed using adjustable cortical suspension in both the femur and tibia demonstrate healing and integration on MRI at one year / S. Putnis, T. Neri, S. Grasso [et al.] // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. — 2020. — Vol. 28 (3). — P. 906–914. — DOI: 10.1007/s00167-019-05556-6.
  12. Головаха М. Л. Експериментальне дослідження ефекту імплантації поліпропіленової сітки в дефект капсули колінного суглоба / М. Л. Головаха, С. О. Масленников // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2020. — № 3 (620). — С. 11–18. — DOI: 10.15674/0030-59872020311-18.
  13. Головаха М. Л. Результати застосування поліпропіленової сітки під час пластики передньої схрещеної зв'язки / М. Л. Головаха, С. О. Масленников, Р. В. Титарчук [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2020. — № 4. — С. 49–57. — DOI: 10.15674/0030-598720204.
  14. Перестройка трансплантата передней крестообразной связки по данным МРТ / С. Н. Красноперов, И. В. Диденко, Р. В. Титарчук [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2016. — № 4. — С. 48–54. — DOI: 10.15674/0030-59872016455-61.
  15. The «ligamentization» process in anterior cruciate ligament reconstruction: what happens to the human graft? A systematic review of the literature / S. Claes, P. Verdonk, R. Forsyth, J. Bellemans // *The American Journal of Sports Medicine*. — 2011. — Vol. 39 (11). — P. 2476–2483. — DOI: 10.1177/0363546511402662.
  16. Magnetic resonance imaging evaluation of the integration and maturation of semitendinosus-gracilis graft in anterior cruciate ligament reconstruction using autologous platelet concentrate / D. Figueroa, P. Melean, R. Calvo [et al.] // *Arthroscopy*. — 2010. — Vol. 26. — P. 1318–1325. — DOI: 10.1016/j.arthro.2010.02.010.
  17. Validation of an MRI protocol for routine quantitative assessment of tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction / S. Grasso, J. Linklater, Q. Li, D. A. Parker // *The American Journal of Sports Medicine*. — 2018. — Vol. 46 (7). — P. 1624–1631. — DOI: 10.1177/0363546518758950.
  18. Value of MRI in assessment of cruciate ligament replacement / U. Stockle, R. Hoffmann, J. Schwedtke [et al.] // *Unfallchirurg*. — 1997. — Vol. 100. — P. 212–218. — DOI: 10.1302/0301-620X.89B9.19339.

Стаття надійшла до редакції 02.01.2021

## MRI ANALYSIS OF ACL TENDON GRAFT INTRACANAL INCORPORATION WITH POLYPROPYLENE MESH IMPLANTATION

M. L. Golovakha<sup>1</sup>, O. V. Shevelyov<sup>2</sup>, S. A. Bondarenko<sup>1</sup>, V. I. Pertsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zaporizhzhia State Medical University, Ukraine

<sup>2</sup> Diagnostic Center «Midicum», Zaporizhzhia, Ukraine

✉ Maxim Golovakha, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: golovaha@ukr.net

✉ Oleksiy Shevelyov: rar4i1980@gmail.com

✉ Stanislav Bondarenko: trauma.bon.s@gmail.com

✉ Volodymyr Pertsov, MD, Prof.: profpertsov@gmail.com