

DOI: 10.26693/jmbs04.05.085

УДК 616.314-089.23:57.084.1

Старіков В. В., Куцеевляк В. І.

ДИНАМІКА ЛАБОРАТОРНИХ МАРКЕРІВ КРОВІ ЩУРІВ ПІСЛЯ ІМПЛАНТАЦІЇ МАГНІТІВ ІЗ ЗАХИСНИМ ZrN ПОКРИТТЯМ

Харківська медична академія післядипломної освіти, Україна

doctordentistortho@gmail.com

Використання ортодонтних конструкцій з магнітами для лікування патологій прикусу має ряд переваг. Найбільш перспективними магнітними матеріалами для ортодонції є сплави Sm-Co і Nd-Fe-B. Істотним недоліком магнітних матеріалів є їх невисока корозійна стійкість, яку можна запобігти шляхом нанесення на магніти захисних покриттів різного типу, що призводять до пасивації поверхні магнітного матеріалу.

Мета дослідження – провести оцінку впливу зразків магнітів із захисним ZrN покриттям та без нього на організм експериментальних щурів після підшкірної імплантації за результатами лабораторного дослідження крові.

Дослідження проводились на 49 щурах-самцях, вік тварин 3–3,5 місяці, маса тіла – 180–250 г, по 7 щурів на 3 терміни дослідження. Перша дослідна група – щури, яким імплантовано Nd-Fe-B магніт із захисним ZrN покриттям; друга – щури, яким імплантовано Nd-Fe-B магніт без захисного покриття; третя – інтактні тварини. В крові щурів на 7, 14 та 45 добу визначали кількість еритроцитів та лейкоцитів, вміст гемоглобіну і лейкограму, а також глікопротеїни, глюкозу, загальний білок, сечовину, активність АлАТ і АсАТ, вміст загального білірубину та феруму.

За результатами досліджень, показники загального клінічного аналізу крові після імплантації магнітів із захисним покриттям та без нього не змінювались порівняно з інтактними тваринами, що свідчить про відсутність токсичного впливу імплантатів на гемоцитопоез. Вміст феруму на 7, 14 та 45 добу експерименту в крові щурів, яким проводили імплантацію магнітів з покриттям, не змінювався, що зумовлено, на нашу думку, відсутністю потрапляння феруму у кровообіг завдяки нанесенню захисного ZrN покриття на поверхню імплантату. У щурів з імплантатами без покриття відбувається помірна реакція паренхіми печінки (зростання активності АлАТ) та збільшення рівня сечовини на тлі зростання концентрації феруму в крові на 7 добу, проте вже на 14 добу ці показники нормалізувались, але зберігалась запальна реакція на імплантат, яка віддзеркалювалась у підвищеному вмісті в крові глікопротеїнів – маркерів запального процесу; на 45 добу біохімічні показники крові не відрізнялись від показників у інтактних тварин. Після введення імплантатів з

покриттям та без нього, можна сказати, що ZrN захисне покриття здатне запобігати вивільненню з них феруму та знижувати токсичну реакцію організму тварин на введення магнітного імплантату.

Ключові слова: Nd-Fe-B магніти, захисне ZrN покриття, підшкірна імплантація, щури, токсичність, глікопротеїни, ферум.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконані у рамках науково-дослідної роботи Харківської медичної академії післядипломної освіти «Патогенетичні підходи до методів діагностики та лікування основних стоматологічних захворювань на основі вивчення механізмів захворювань скронево-нижньощелепного суглобу, аномалій розвитку щелеп та зубів, з використанням вітчизняних імплантатів», № державної реєстрації №0113U000975.

Вступ. Використання ортодонтних конструкцій з магнітами для лікування патологій прикусу має ряд переваг [1, 2]. У цьому випадку істотно полегшується чищення зубів за рахунок спрощення конструкції апарату, що забезпечує зменшення кількості додаткових елементів, які створюють ретенційні пункти, де можуть накопичуватися харчові залишки. Крім того, в апаратах з магнітами відбувається передача сил без тертя, а також можна з високою точністю розрахувати величину діючої сили [3]. Найбільш перспективними магнітними матеріалами для ортодонції є сплави Sm-Co і Nd-Fe-B, що демонструють високі сили міжмагнітної взаємодії, цілком достатні для ефективного переміщення зубів у разі невеликого розміру (об'єму) самих магнітів [4]. Слід також зазначити, що сучасні магнітні матеріали демонструють високу стабільність фізичних властивостей. Істотним недоліком магнітних матеріалів є їх невисока корозійна стійкість, яка веде до руйнування магніту внаслідок електрохімічної корозії в агресивному середовищі ротової порожнини [5]. Виправити ситуацію, що виникла, можна шляхом нанесення на магніти захисних покриттів різного типу, що призводять до пасивації поверхні магнітного матеріалу. Такими покриттями можуть бути оксидні або нітридні плівки на основі вентиляльних матеріалів [6], а також полімерні матеріали, що використовують у стоматології

[7]. Однак на даний час у науковій літературі спостерігається дефіцит інформації стосовно способів пасивації поверхні магнітів, що застосовуються в ортодонтичних апаратах, а також стосовно характеристики ефективності захисних покриттів, що робить наші дослідження актуальними.

Мета дослідження – провести оцінку впливу зразків магнітів із захисним ZrN покриттям та без нього на організм експериментальних щурів після підшкірної імплантації за результатами лабораторного дослідження крові.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження проводились у 2019 році на базі експериментально-біологічної клініки ДУ «Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» та Харківської медичної академії післядипломної освіти МОЗ України згідно договору про науково-практичне співробітництво. Всі експерименти на тваринах були виконані з дотриманням вимог Європейської конвенції захисту хребетних тварин, яких використовують у експериментальних та інших наукових цілях (Страсбург, 1986) та Закону України № 3447-IV від 21.02.2006 р «Про захист тварин від жорстокого поводження».

Експериментальні дослідження проводились на щурах-самцях, вік тварин на початок досліджень – 3–3,5 місяці, маса тіла – 180–250 г, загальна кількість тварин – 49, по 7 щурів на 3 терміни дослідження у 2-х дослідних групах та 1-й контрольній групі (інтактні тварини). Перша дослідна група – щури, яким імплантовано Nd-Fe-B магніт із захисним ZrN покриттям; друга – щури, яким імплантовано Nd-Fe-B магніт без захисного покриття; третя – інтактні тварини. Строки виведення з експерименту щурів дослідних груп – 7 доба, 14 та 45 доба після імплантації зразків магнітів.

В крові щурів на 7, 14 та 45 добу визначали кількість еритроцитів та лейкоцитів, вміст гемоглобіну і лейкограму [8]. В сироватці крові щурів визначали вміст глікопротеїнів, глюкози, загального білка, сечовини, активність АлАТ і АсАТ, вміст загального білірубіну та феруму за методиками, наведеними у літературі [9]. Статистичний аналіз даних проводили за допомогою непараметричного критерію Вілкоксона із розрахунками медіани (Me) і процентилів (25% та 75%) [10].

Результати дослідження та їх обговорення. У щурів, яким проводили

імплантацію магнітів із захисним ZrN покриттям або без нього, гематологічні показники не відрізнялись від показників у інтактних тварин на всіх термінах після імплантації – 7, 14 та 45 добу (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Динаміка гематологічних показників у щурів після підшкірної імплантації магнітів без захисного ZrN покриття (Me, 25% – 75%)

Показники	Інтактні щури, n=7	Термін після імплантації		
		7 доба	14 доба	45 доба
Еритроцити, Т/л	7,00 6,85 – 7,20	7,30 7,15 – 7,54	7,30 6,90 – 7,55	7,20 6,95 – 7,35
Гемоглобін, г/л	144,0 141,5–146,5	143,0 141,5–147,5	145,0 140,5–146,0	143,0 140,5–146,0
Лейкоцити, Г/л	7,00 6,25 – 7,45	7,40 6,60 – 8,35	5,30 4,80 – 6,70	7,30 6,90 – 7,40
Еозинофіли, проц.	2,0 1,0 – 2,0	1,0 1,0 – 4,0	2,0 1,0 – 2,0	2,0 2,0 – 3,0
Нейтрофіли, проц.:				
Юні	0	0	0	0
Паличко-ядерні	1,0 1,0 – 2,0	1,0 1,0 – 2,0	2,0 1,0 – 3,0	1,0 1,0 – 2,0
Сегментоядерні	21,0 20,0 – 23,0	21,0 16,0 – 27,0	21,0 19,0 – 22,0	23,0 21,0 – 24,0
Лімфоцити, проц.	69,0 67,0 – 71,0	65,0 61,0 – 69,0	69,0 67,0 – 71,0	66,0 66,0 – 70,0
Моноцити, проц.	7,0 6,0 – 8,0	9,0 5,0 – 12,0	6,0 5,0 – 9,0	7,0 6,0 – 8,0

Таблиця 2 – Динаміка гематологічних показників у щурів після підшкірної імплантації магнітів із захисним ZrN покриттям (Me, 25% – 75%)

Показники	Інтактні щури, n=7	Термін після імплантації		
		7 доба	14 доба	45 доба
Еритроцити, Т/л	7,00 6,85 – 7,20	6,80 6,70 – 7,00	7,20 6,80 – 7,20	7,10 6,95 – 7,25
Гемоглобін, г/л	144,0 141,5–146,5	140,0 139,5–143,5	141,0 133,0–143,0	145,0 140,5–146,5
Лейкоцити, Г/л	7,00 6,25 – 7,45	7,80 7,15 – 8,40	6,80 6,45 – 8,10	7,30 7,05 – 7,45
Еозинофіли, проц.	2,0 1,0 – 2,0	2,0 2,0 – 3,0	1,0 1,0 – 2,0	2,0 1,0 – 3,0
Нейтрофіли, проц.:				
Юні	0	0	0	0
Паличко-ядерні	1,0 1,0 – 2,0	3,0 2,0 – 4,0	2,0 1,0 – 3,0	2,0 1,0 – 2,0
Сегментоядерні	21,0 20,0 – 23,0	25,0 20,0 – 28,0	19,0 17,0 – 25,0	21,0 19,0 – 24,0
Лімфоцити, проц.	69,0 67,0 – 71,0	67,0 61,0 – 68,0	74,0 67,0 – 75,0	68,0 66,0 – 68,0
Моноцити, проц.	7,0 6,0 – 8,0	7,0 5,0 – 10,0	6,0 5,0 – 7,0	8,0 7,0 – 9,0

Біохімічні маркери крові щурів після підшкірної імплантації магнітів без захисного покриття частково змінювались як на 7, так і на 14 добу спостереження. Показники загального білка, активності АсАТ і загального білірубину упродовж експерименту не змінювались. Вміст глікопротеїнів в крові щурів на 7 добу після імплантації був підвищений на 27,0%, на 14 добу – на 8,7% порівняно з інтактними тваринами. При цьому вміст глікопротеїнів на 14 добу був нижче на 14,4% порівняно з показником на 7 добу (табл. 3).

Вміст глюкози в крові щурів на 7 добу був підвищений на 31,5%, проте на 14 добу рівень глікемії не був підвищений порівняно з інтактними тваринами. Це, очевидно, зумовлено гіперглікемією внаслідок стресової реакції організму наприкінці раннього післяопераційного періоду. Активність АлАТ та вміст сечовини були збільшені лише на 7 добу на 15,2% та 14,6%, на 14 добу активність ферменту знизилась до рівня у інтактних тварин. Вміст феруму був збільшений на 7 добу на 23,7% порівняно з показником у інтактних тварин, на 14 добу показник вмісту феруму знизився до рівня у інтактних щурів. Зміни у біохімічних маркерах в групі щурів, яким проводили підшкірну імплантацію магнітів без захисного покриття, вказують на запальну реакцію організму на введення імплантатів, яка віддзеркалювалась у підвищенні глікопротеїнів і мала тенденцію до зменшення з 7 та 14 доби, проте показник зберігався підвищеним наприкінці експерименту порівняно з інтактними тваринами. У щурів після імплантації магнітів з покриттям вміст глікопротеїнів в крові збільшився на 18,2% лише на 7 добу після імплантації (табл. 4).

Вміст загального білка, сечовини, загального білірубину та активність амінотрансфераз (АлАТ і АсАТ) упродовж експерименту не відрізнялись від аналогічних показників у інтактних тварин. Вміст глюкози був підвищений на 7 добу після імплантації на 20,3%, очевидно, зумовлено стресовою реакцією організму наприкінці раннього післяопераційного періоду по аналогії з щурами, яким проводили імплантацію магнітів без покриття. На 45 добу біохімічні показники в обох

групах щурів не відрізнялись від показників у інтактних тварин, що, очевидно, зумовлено, формуванням сполучнотканинної капсули навколо імплантатів, які перешкоджали розвитку реакції організму місцевого та загального характеру.

Таблиця 3 – Динаміка біохімічних показників крові щурів після підшкірної імплантації магнітів без захисного покриття (Ме, 25% – 75%)

Показники	Інтактні щури, n=7	Термін після імплантації		
		7 доба	14 доба	45 доба
Глікопротеїни, г/л	1,15 1,13 – 1,18	1,46* 1,38 – 1,58	1,25*◇ 1,23 – 1,36	1,14◇ 1,03 – 1,22
Загальний білок, г/л	71,20 69,80 – 72,30	75,60 66,05 – 80,85	68,70 65,65 – 70,40	68,30 66,95–72,2
Глюкоза, ммоль/л	5,40 5,25 – 5,60	7,10* 6,50 – 7,95	6,00 5,25 – 7,30	5,10 4,75 – 5,85
Сечовина, ммоль/л	4,10 3,90 – 4,15	4,70* 4,60 – 5,00	4,20 3,60 – 4,75	4,00 3,90 – 4,20
Активність АлАТ, U/L	66,0 64,0 – 69,5	76,0* 72,0 – 84,0	64,0 ◇ 59,5 – 68,0	67,0 63,0–72,0
Активність АсАТ, U/L	127,0 120,5– 130,5	121,0 108,0– 147,5	128,0 120,5–134,5	129,0 122,0–134,5
Загальний білірубін, мкмоль/л	4,10 3,85 – 4,15	4,20 3,70 – 4,50	4,40 3,90 – 4,80	4,20 3,95 – 4,40
Ферум, мкмоль/л	35,00 32,50 – 36,55	43,30* 40,35 – 47,00	31,40 ◇ 30,45 – 38,60	37,00 37,70–38,40

Примітки: * – вірогідно за Вілкоксоном (p<0,05) порівняно з інтактними щурами; ◇ – вірогідно за Вілкоксоном (p<0,05) порівняно з показниками на 7 добу.

Таблиця 4 – Динаміка біохімічних показників крові щурів після підшкірної імплантації магнітів із захисним покриттям (Ме, 25% – 75%)

Показники	Інтактні щури, n=7	Термін після імплантації		
		7 доба	14 доба	45 доба
Глікопротеїни, г/л	1,15 1,13 – 1,18	1,36* 1,31 – 1,42	1,12◇ 1,02 – 1,22	1,12 1,06 – 1,23
Загальний білок, г/л	71,20 69,80–72,30	67,20 65,35 – 74,35	68,30 67,05 – 69,95	71,0 69,3 – 71,9
Глюкоза, ммоль/л	5,40 5,25 – 5,60	6,50* 5,85 – 6,75	5,70◇ 5,15 – 6,05	5,65 5,30 – 5,80
Сечовина, ммоль/л	4,10 3,90 – 4,15	4,00 3,75 – 4,50	3,60 2,90 – 4,10	4,30 4,10 – 4,35
Активність АлАТ, U/L	66,00 64,00–69,50	63,00 56,00 – 66,50	62,00 59,00 – 69,00	68,5 65,5 – 71,5
Активність АсАТ, U/L	127,0 120,5–130,5	126,0 118,5–127,5	122,0 115,5–127,5	129,0 124,0–132,5
Загальний білірубін, мкмоль/л	4,10 3,85 – 4,15	4,20 4,00 – 4,50	4,30 3,95 – 5,00	4,30 3,90 – 4,40
Ферум, мкмоль/л	35,00 32,50–36,55	29,70 27,95 – 34,90	40,90 30,45 – 45,45	37,70 34,00–38,75

Примітки: * – вірогідно за Вілкоксоном (p<0,05) порівняно з інтактними щурами; ◇ – вірогідно за Вілкоксоном (p<0,05) порівняно з показниками на 7 добу.

Таким чином, слід відзначити, що вплив слини та присутність бактерій у ротовій порожнині посилює корозію магнітів. Тому є вкрай необхідним використання покриттів для магнітів з метою подальшого використання в стоматології [3]. Адже покриття демонструє в стоматологічній практиці набагато кращі біологічні властивості по відношенню до тканин та відсутності негативних морфологічних змін, таких як некроз та демінералізація кісткової тканини [6]. Очікується, що розробка покриття та його застосування допоможе значно покращити термін служби імплантату та його якості для застосування в сучасній ортодонтії.

Висновки

1. Показники загального клінічного аналізу крові після імплантації магнітів із захисним покриттям та без нього не змінювались порівняно з інтактними тваринами, що свідчить про відсутність токсичного впливу імплантатів на гемоцитопоез.
2. Вміст феруму на 7, 14 та 45 добу експерименту в крові щурів, яким проводили імплантацію магнітів з покриттям, не змінювався, що зумовлено, на нашу думку, відсутністю потрапляння феруму

у кровообіг завдяки нанесенню захисного ZrN покриття на поверхню імплантату.

3. У щурів з імплантатами без покриття відбувається помірна реакція паренхіми печінки (зростання активності АлАТ) та збільшення рівня сечовини на тлі зростання концентрації феруму в крові на 7 добу, проте вже на 14 добу ці показники нормалізувались, але зберігалась запальна реакція на імплантат, яка віддзеркалювалась у підвищеному вмісті в крові глікопротеїнів – маркерів запального процесу; на 45 добу біохімічні показники крові не відрізнялись від показників у інтактних тварин.
4. Таким чином, за результатами дослідження біохімічних маркерів крові щурів після введення імплантатів з покриттям та без нього, можна сказати, що ZrN захисне покриття здатне запобігати вивільненню з них феруму та знижувати токсичну реакцію організму тварин на введення магнітного імплантату.

Перспективи подальших досліджень. Планується провести гістологічне та морфометричне дослідження сполучної тканини, що оточує зразки магнітів Nd-Fe-B із захисним ZrN покриттям та без покриття після підшкірної імплантації щурам.

References

1. Bondemark L. A comparative analysis of distal maxillary molar movement produced by a new lingual intra-arch Ni-Ti coil appliance and a magnetic appliance. *Eur J Orthod.* 2000 Dec; 22(6): 683–95. PMID: 11212604. DOI: 10.1093/ejo/22.6.683
2. Klark UDzh. *Ortodonticheskoye lecheniye parnymi blokami.* Per s angl. M: MEDpress-inform; 2007. 384 p. [Russian]
3. Sharma N, Shrivastav S, Kamble RH, Sharma P. The Use of Magnets in Orthodontics. *World Journal of Dentistry.* 2015 January-March; 6(1): 45–8. doi: 10.5005/jp-journals-10015-1311
4. Robinson AL. Powerful new magnet material found. *Science.* 1984; 223(4639): 920–2. PMID: 17781617. DOI:10.1126/science.223.4639.920
5. Kitsugi A, Okuno O, Nakano T, Hamanaka H, Kuroda T. The corrosion behavior of Nd₂Fe₁₄B and SmCo₅ magnets. *Dent Mater J.* 1992 Dec; 11(2): 119–29. PMID: 1304968. doi: 10.4012/dmj.11.119
6. Penkov OV, Pukha VE, Starikova SL, Khadem M, Starikov VV, Maleev MV, et al. Highly wear-resistant and biocompatible carbon nanocomposite coatings for dental implants. *Biomaterials.* 2016 Sep; 102: 130–6. PMID: 27336185. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2016.06.029
7. *Terapevticheskaya stomatologiya: natsional'noye Rukovodstvo.* Pod red LA Dmitriyevoy, YuM. Maksimovskogo. M: GEOTAR-Media; 2009. 912 p. [Russian]
8. Kamyshnikov VS. *Kliniko-biokhimicheskaya laboratornaya diagnostika.* L: Interpresservis; 2003. 495 p. [in Russian]
9. Goryachkovskiy AM. *Klinicheskaya biokhimiya v laboratornoy diagnostike.* Odessa: Ekologiya; 2005. 616 p. [Russian]
10. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika.* Per s angl. M: Praktika; 1998. 459 p. [Russian]

УДК 616.314-089.23:57.084.1

ДИНАМИКА ЛАБОРАТОРНЫХ МАРКЕРОВ КРОВИ КРЫС ПОСЛЕ ИМПЛАНТАЦИИ МАГНИТОВ С ЗАЩИТНЫМ ZrN ПОКРЫТИЕМ

Стариков В. В., Куцевляк В. И.

Резюме. Использование ортодонтических конструкций с магнитами для лечения патологий прикуса имеет ряд преимуществ. Наиболее перспективными магнитными материалами для ортодонтии являются сплавы Sm-Co и Nd-Fe-B. Существенным недостатком магнитных материалов является их невысокая коррозионная стойкость, которую можно предотвратить путем нанесения на магниты защитных покрытий различного типа, приводящих к пассивации поверхности магнитного материала.

Цель исследования – провести оценку влияния образцов магнитов с защитным ZrN покрытием и без него на организм экспериментальных крыс после введения имплантатов по результатам лабораторного исследования крови. Исследования проводились на 49 крысах-самцах, возраст животных 3-3,5 месяца, масса тела – 180–250 г, по 7 крыс на 3 срока исследования. Первая опытная группа – крысы, которым имплантирован Nd-Fe-B магнит с защитным ZrN покрытием; вторая – крысы, которым имплантирован

Nd-Fe-B магнит без защитного покрытия; третья – интактные животные. В крови крыс на 7, 14 и 45 сутки определяли количество эритроцитов и лейкоцитов, содержание гемоглобина и лейкограму, а также гликопротеины, глюкозу, общий белок, мочевины, активность АлАТ и АсАТ, содержание общего билирубина и железа. По результатам исследований, показатели общего клинического анализа крови после имплантации магнитов с защитным покрытием и без него не менялись по сравнению с интактными животными, что свидетельствует об отсутствии токсического воздействия имплантатов на гемоцитопоз. Содержание железа на 7, 14 и 45 сутки эксперимента в крови крыс, которым проводили имплантацию магнитов с покрытием, не менялось, что обусловлено, по нашему мнению, отсутствием попадания железа в кровотоки благодаря нанесению защитного ZrN покрытия на поверхность имплантата. У крыс с имплантатами без покрытия происходит умеренная реакция паренхимы печени (повышение активности АЛТ) и увеличение уровня мочевины на фоне роста концентрации железа в крови на 7 сутки, однако уже на 14 сутки эти показатели нормализовались, но сохранялась воспалительная реакция на имплантат, которая отражалась в повышенном содержании в крови гликопротеинов – маркеров воспалительного процесса; на 45 сутки биохимические показатели крови не отличались от показателей у интактных животных. После введения имплантатов с покрытием и без него можно сказать, что ZrN защитное покрытие способно предотвращало высвобождение из них железа и снижало токсическую реакцию организма животных на введение магнитного имплантата.

Ключевые слова: Nd-Fe-B магниты, защитное ZrN покрытия, подкожная имплантация, крысы, токсичность, гликопротеины, железо.

UDC 616.314-089.23:57.084.1

Dynamics of Laboratory Blood Markers of Rats after Implantation of Magnets with Protective ZrN Coating

Starikov V. V., Kutseviak V. I.

Abstract. The use of orthodontic structures with magnets for the treatment of malocclusions has several advantages. The most promising magnetic materials for orthodontics are Sm-Co and Nd-Fe-B alloys. An essential disadvantage of magnetic materials is their low corrosion resistance, which can be prevented by applying protective coatings of various types to magnets that lead to passivation of the surface of the magnetic material.

The purpose of the study was to evaluate the effects of samples of magnets with protective ZrN coatings and without them on the body of experimental rats after subcutaneous implantation based on laboratory blood test results.

Material and methods. The research was conducted on 49 male rats, age of animals was 3-3.5 months, and body weight was 180-250 g. There were 7 rats for 3 terms of study in 2 experimental groups and 1 control group (intact animals). The 1st experimental group rats were implanted with Nd-Fe-B magnet with a protective ZrN coating. The 2nd group rats were implanted with an Nd-Fe-B magnet without a protective coating; the 3rd group rats were intact animals. The amount of red blood cells and leukocytes, hemoglobin and leukocyte contents, as well as glycoproteins, glucose, total protein, urea, ALT and AST activity, total bilirubin and iron were determined in blood of rats on the 7th, 14th and 45th days.

Results and discussion. According to the research results, the parameters of the general clinical analysis of blood after implantation with and without protective coatings of magnets did not change, compared with intact animals, indicating no toxic effects of implants on haemocytopoiesis. The content of the iron on the 7th, 14th and 45th days of the experiment in blood of rats implanted with coated magnets did not change. In our opinion, it happened due to the absence of penetration of the iron into the blood, and due to the application of protective ZrN coating to the surface of the implant. In rats with implants without coating, there was a moderate liver parenchyma (increased activity of ALT) and an increase in urea level on the backdrop of the increase in the concentration of iron in the blood on the 7th day. But on the 14th day these indices were normalized, but there was an inflammatory reaction to the implant, which was proved by the elevated blood level of glycoproteins – markers of the inflammation; on the 45th day biochemical blood indices did not differ from those in intact animals.

Conclusions. After analyzing the results of insertion of implants with and without the coating, we can say that ZrN protective coating is able to prevent the release of them from the iron and reduce the toxic reaction of animals to the insertion of a magnetic implant.

Keywords: Nd-Fe-B magnets, protective ZrN coating, subcutaneous implantation, rats, toxicity, glycoproteins, iron.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 04.06.2019 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування