

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© Коллектив авторов, 2016
УДК 617.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ИЗ ФОСФАТА КАЛЬЦИЯ И ГЕРМАНИЯ С КОСТЬЮ**

С.А. Кузьманин¹, Е.А. Назаров¹, И.Г. Веснов²

Рязанский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова, ул. Высоковольтная, 9,
390026, г. Рязань, Российская Федерация (1)
Рязанский государственный радиотехнический университет,
ул. Гагарина, 59/1, 390005, г. Рязань, Российская Федерация (2)

В эксперименте проведены биомеханические испытания по определению сил сцепления 4 групп имплантатов с костной тканью: №1 – из медицинской стали, №2 – из титанового сплава VT6 с модифицированной методом химико-термической обработки поверхностью, №3 и №4 – из титанового сплава VT6 с композиционным покрытием (кальция фосфат + 1% и 5% германий соответственно), нанесённым методом микродугового оксидирования. Имплантаты устанавливали в проксимальные отделы бедренных костей беспородных кошек (29 животных). По выведению животных из эксперимента (через 3 месяца) проведены статические испытания. Отмечено, что силы сцепления в 3 и 4 группах имплантатов с костной тканью более выражены, чем в группах 1 и 2.

Ключевые слова: *остеоинтеграция, фосфат кальция, германий, титан, химико-термическая обработка, микродуговое оксидирование.*

**COMPOSITE MATERIAL BASED ON CALCIUM PHOSPHATE
AND GERMANIUM (EXPERIMENTAL STUDY)**

S.A. Kuzmanin¹, E.A. Nazarov¹, I.G. Vesnov²

Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov,
Visocovoltynaya str., 9, 390026, Ryazan, Russian Federation (1)
Ryazan State Radioengineering University,
Gagarina str., 59/1, 390005, Ryazan, Russian Federation (2)

In the experiment conducted biomechanical tests to determine the coupling forces 4 groups of implants with the bone tissue: No. 1 was made of medical steel, No. 2 was made of titanium alloy VT6 with the modified surface by using the method of the thermo-chemical treatment. No. 3 and No. 4 were made of titanium alloy VT6 with composite coating (calcium phosphate + 1% and 5% germanium, respectively), applied by the method of micro-arc oxidation. Implants were installed in the proximal femur of purebred cats (29 animals). Upon removal of animals from the experiment (after 3 months) conducted static tests.

Noted that the bond strength in 3 and 4 groups of implants with the bone tissue is more pronounced than in groups 1 and 2.

Keywords: osseointegration, calcium phosphate, germanium, titanium, chemical heat treatment, micro-arc oxidation.

Широкая распространённость дегенеративно-дистрофических заболеваний тазобедренного и коленного суставов (ДДЗТиКС), прогрессирующий характер течения и высокий процент инвалидизации обуславливают необходимость хирургического лечения больных на поздних стадиях данной патологии [1]. В настоящее время динамично развивающимся методом лечения ДДЗТиКС является эндопротезирование (ЭП) [2]. Однако рост количества операций ЭП приводит к увеличению общего числа осложнений, среди которых наиболее грозным и мало изученным является асептическая нестабильность [3, 4]. Причина последней наряду с другими факторами состоит в недостаточной остеоинтеграции имплантата костной тканью реципиента.

Одним из способов решения этой проблемы является не только совершенствование конструкции эндопротезов, но и материалов, из которых они производятся. Идеальным является создание эндопротеза, идентичного по всем свойствам костной ткани. Достаточной механической прочностью и сходным с костью модулем упругости обладают некоторые металлы (в частности титан) и их сплавы. Вместе с тем, они недостаточно биосовместимы [5]. По химическому и фазовому составу к костной ткани близка керамика на основе кальций-фосфатных (КФ) и гидроксиапатитных (ГА) материалов [5, 6, 7]. Она биосовместима и биоактивна, но её недостатком является хрупкость, поэтому продолжают исследования по улучшению свойств КФ и ГА материалов. Отмечено, что введение атомов фтора в состав ГА покрытия повышает его сопротивление биорезорбции (фторгидроксиапатит имеет более низкое значение растворимости в водно-солевых растворах, чем обычный

ГА). Введение карбонатных групп в состав ГА увеличивает его остеоиндуктивность. Исследователи рассматривают возможность снижения хрупкости ГА-матрицы армированием неорганическими волокнами кремнийуглерода. Доказано, что введение в состав ГА таких полимеров, как желатин, хитозан, коллаген увеличивают прочность ГА-покрытия и сопротивление его на сжатие [5, 6, 7]. Таким образом, перспективным является создание композиционного покрытия для эндопротезов на основе ГА. Логичным было бы использовать в качестве одного из компонентов композита вещество, обладающее широким спектром биологических эффектов. Таким набором свойств обладает германий и его органические соединения [8]. Отмечено их противомикробное, противоопухолевое, гемопоэтическое действие, способность стимулировать фибробластическую активность [8].

Мы провели экспериментальное исследование по изучению биомеханических свойств композитных КФ покрытий, имеющих в своём составе неорганический германий.

Материалы и методы

Использовали 4 группы имплантатов (штифты круглого сечения длиной 20 мм и диаметром 4 мм) [9]. Первая группа – 11 штифтов из медицинской стали. Вторая – 11 штифтов из титанового сплава ВТ6, на поверхности которых методом химико-термической обработки образован нанослой из карбоксинитрида титана с повышенной твёрдостью. На поверхность остальных имплантатов методом микродугового оксидирования был нанесён фосфат кальция. При этом в состав электролита добавляли неметаллический германий 1%-ной концентрации (3 группа – 10 штифтов). При изготовлении 4 группы (14

штифтов) концентрацию германия довели до 5%.

В качестве лабораторных животных использовали 29 беспородных кошек мужского пола массой от 2500 до 3400 г в возрасте от 1,5 до 4 лет. Выбор вида животных обусловлен сложностями при изготовлении и установке имплантатов малого размера у лабораторных крыс, а также высокой летальностью других животных, в частности кроликов в случае проведения у них симультантных операций. Уход и содержание проводили в соответствии с требованиями «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей», рекомендациями по кормлению и содержанию лабораторных животных, Приказа МЗ СССР от 12.08.1977 № 755 и «Всемирной декларации прав животных» («Universal Declaration of Animal Rights»), принятой Международной Лигой Прав Животных 23 сентября 1977 года в Лондоне и объявленной 15 октября 1978 года в штабе ЮНЕСКО в г. Париже) [10, 11]. Вмешательства выполняли в условиях операционной вивария РязГМУ. После премедикации (атропина сульфат в дозе 0,04 мг/кг подкожно и 0,2% раствор рометара в дозе 0,1 мл/100 г массы тела) под внутримышечным наркозом (золетил в дозе 15 мг/кг) выполняли разрез кожи длиной до 1,5 см в верхней трети тазовой конечности [12, 13]. Преимущественно тупым способом обнажали вертлужную ямку. Отсюда сверлом диаметром 4 мм формировали канал в дистальном направлении кости и при помощи импактора устанавливали штифт [13]. Аналогичное вмешательство выполняли с противоположной стороны. Раны послойно ушивали викрилом №3, обрабатывали швы чеми-спреем. В раннем послеоперационном периоде проводили антибактериальную терапию. Осложнений не наблюдали. Животных выводили из опыта через 3 месяца (средние сроки сращения переломов бедренных костей у кошек) [13] с соблюдением пра-

вил биомедицинской и ветеринарной этики. Под в/м наркозом (золетил в дозе 15 мг/кг) в нижнюю полую вену вводили 20 мл 10% раствора магнезии. После прекращения жизнедеятельности изымали кости и готовили макропрепараты (всего 46), которые фиксировали в 10% растворе формалина. Проводили рентгенографию последних для уточнения местоположения штифтов. Биомеханические исследования по определению силы сцепления имплантата с костной тканью проводили в испытательной лаборатории ФБГУ ЦИТО им. Н.Н. Приорова на универсальном стенде Walter + Bay AG LFV 10-50T (д.т.н., проф. Гаврюшенко Н.С.) [14]. Испытали 45 макропрепаратов (в одном случае испытание не состоялось по техническим причинам). Полученный числовой массив (табл. 1) обрабатывали статистически в несколько этапов при помощи программного обеспечения IBM SPSS Statistics.

Результаты и их обсуждение

Выбор адекватного метода статистического анализа потребовал установления соответствия полученного числового массива данных (табл. 1) закону нормального распределения. Эта процедура проводилась в два этапа. Сначала использовался метод, основанный на вычислении отношений $|A|/m_A$ и $|E|/m_E$ абсолютных величин показателей асимметрии и эксцесса к их ошибке репрезентативности соответственно (метод Н.А. Плохинского) [15,16]. Если эти отношения не менее трёх, то принимается гипотеза о статистически значимом отличии выборочного распределения от нормального закона распределения. Если же $|A|/m_A < 3$ и $|E|/m_E < 3$, то можно приближенно считать, что данные выборки распределены нормально. Однако, строго математически, выполнение условий $|A|/m_A < 3$ и $|E|/m_E < 3$ недостаточно для того, чтобы принять гипотезу о неразличимости эмпирического и нормального законов распределения. Поэтому на втором этапе проверки нормальности использовался критерий Колмогорова-Смирнова. Он позволяет оценить ве-

роятность P того, что данные выборки принадлежат генеральной совокупности с нормально распределённым значением признака. Если $P \leq 0.05$, то данное эмпирическое распределение статистически значимо отличается от нормального закона распределения; если $P > 0.05$, то считается, что эмпирическое распределение статистически значимо не отличается от нормального закона. Результаты расчёта $|A|/m_A$, $|E|/m_E$ и P (P вычислялась в программе IBM SPSS Statistics) приведены в

таблице 2. Из таблицы 2 видно, что эмпирические распределения статистически значимо не отличаются от нормального закона распределения. Этот факт обосновывает правомерность использования формата представления данных выборочного распределения в виде $M \pm s$, где M – среднее арифметическое значение нагрузки, а s – её выборочное стандартное отклонение в ньютонах. Описательная статистика по группам в данном формате приведена в таблице 3.

Таблица 1

Абсолютные величины сил сцепления имплантатов с костной тканью в ньютонах

| Группы имплантатов | | | | | | | |
|--------------------|-------------|----------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Без покрытия | | Карбоксинитрид | | КФ + Ge 1% | | КФ + Ge 5% | |
| животное | нагрузка, Н | животное | нагрузка, Н | животное | нагрузка, Н | животное | нагрузка, Н |
| ША | 14 | ПС | 300 | IA | 438 | ПА | 322 |
| ША | 35 | ПС | 10 | IA | 225 | ПА | 272 |
| ШВ | 150 | ПД | 148 | IB | 210 | ПВ | 55 |
| ШВ | 42 | ПД | 470 | IB | 320 | ПВ | 160 |
| Э | 370 | ПЕ | 18 | IC | 158 | ПС* | ---* |
| Ю | 17 | ПЕ | 18 | IC | 300 | ПС | 192 |
| А | 80 | Е | 53 | ID | 238 | ПД | 325 |
| Б | 2 | Ж | 79 | ID | 290 | ПД | 267 |
| В | 8 | З | 170 | IE | 144 | ПЕ | 210 |
| Г | 112 | И | 82 | IE | 167 | ПЕ | 204 |
| Д | 70 | К | 62 | | | ПФ | 294 |
| | | | | | | ПФ | 305 |
| | | | | | | ПГ | 530 |
| | | | | | | ПГ | 585 |

* испытание макропрепарата не выполнено по техническим причинам

Таблица 2

Результаты расчёта отношений абсолютных величин показателей асимметрии $|A|$ и эксцесса $|E|$ к их ошибке репрезентативности и соответственно и двусторонний уровень значимости Колмогорова-Смирнова P для исследуемых групп

| Группа штифтов | $ A /m_A$ | $ E /m_E$ | P |
|------------------|-----------|-----------|-------|
| Без покрытия | 0.873 | 0.657 | 0.87 |
| КФ + германий 1% | 0.839 | 0.429 | 0.98 |
| КФ + германий 5% | 0.982 | 0.173 | 0.448 |
| Карбоксинитрид | 1.377 | 0.0003 | 0.544 |

Таблица 3

Средние арифметические сил сцепления имплантатов с костной тканью в исследуемых группах и их выборочные стандартные отклонения в ньютонах (Н)

| Группа | $M \pm s$, Н |
|------------------|---------------|
| Без покрытия | 53 ± 49 |
| КФ + германий 1% | 249 ± 90 |
| КФ + германий 5% | 286 ± 142 |
| Карбоксинитрид | 94 ± 90 |

Установление факта статистически значимого различия между средними значениями генеральных совокупностей, из которых извлечены независимые выборки (группы) проводилось на основе t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Математически корректное применение этого критерия требует не только, чтобы законы обоих выборочных распределений были близки к нормальному закону распределения (доказательство этого было проведено на первой стадии статистического анализа), но и, чтобы дисперсии обеих выборок статистически значимо не отличались друг от

друга. Проверка гипотезы о равенстве дисперсий (гомогенности или однородности) выборок на заданном уровне значимости 0.05 проводилась на основе критерия Левена (Levene's Test) с помощью программы IBM SPSS Statistics. При этом вычислялось двустороннее значение критерия P_1 . Если $P_1 \leq 0.05$, то гипотеза о равенстве дисперсий отвергается, и выборки считаются неоднородными; если $P_1 > 0.05$, то гипотеза о равенстве дисперсий принимается, и выборки считаются гомогенными. Результаты расчёта P_1 для различных пар независимых выборок представлены в таблице 4.

Таблица 4

Двусторонний уровень значимости критерия Левена для исследуемых пар независимых выборок

| Пара независимых выборок | P_1 |
|-------------------------------------|-------|
| Без покрытия – КФ + германий 1% | 0.111 |
| Без покрытия – КФ + германий 5% | 0.079 |
| Без покрытия – Карбоксинитрид | 0.175 |
| КФ + германий 1% – КФ + германий 5% | 0.413 |
| КФ + германий 1% – Карбоксинитрид | 0.895 |
| КФ + германий 5% – Карбоксинитрид | 0.371 |

Из таблице 4 видно, что все рассматриваемые пары независимых выборок являются гомогенными. Таким образом, выполнены все условия, необходимые для корректного применения t-критерия Стьюдента для независимых выборок. В таблице 5 приведены для различных пар независимых выборок результаты расчёта (с помощью программы IBM SPSS Statistics) числа степеней свободы df , эмпирического значения критерия Стьюден-

та и минимального уровня значимости P_2 , при котором можно отвергнуть нулевую гипотезу о равенстве средних двух генеральных совокупностей, из которых извлечены независимые выборки. Если $P_2 \leq 0.05$, то гипотеза о равенстве средних отвергается (достоверное различие средних); если $P_2 > 0.05$, то гипотеза о равенстве средних принимается (статистически значимое различие отсутствует). Как видно из таблице 5, статистически значимо

(достоверно) средние различаются только в следующих парах независимых выборок: 1) Без покрытия – КФ + германий 1%; 2) Без покрытия – КФ + германий 5%; 3) КФ + германий 1% – Карбоксинитрид; 4) КФ + германий 5% – Карбоксинитрид. В парах «КФ + германий 1% – КФ + германий 5%» и «Без покрытия – Карбоксинитрид» статистически значимого различия средних не выявлено.

В работе [17] было показано, что отсутствие учёта погрешности измерений данных, подвергаемых впоследствии ста-

тистическому анализу, может приводить к ошибочной интерпретации результата проверки статистической гипотезы. Относительная погрешность измерения нагрузки в наших экспериментах не превышала 0.4%. Расчёты показывают, что варьирование исходных данных по каждой из групп в пределах погрешности измерений не влияет на полученные выводы о нормальности распределения каждой из независимых выборок (групп), их гомогенности и статистической значимости различия средних в сравниваемых парах групп.

Таблица 5

Результаты расчёта степеней свободы df , эмпирического значения критерия Стьюдента и минимального значения уровня значимости P_2 для исследуемых пар независимых выборок

| Пара независимых выборок | df | | P_2 |
|-------------------------------------|------|-------|-------|
| Без покрытия – КФ + германий 1% | 18 | 6.03 | 0.001 |
| Без покрытия – КФ + германий 5% | 21 | 4.935 | 0.001 |
| Без покрытия – Карбоксинитрид | 18 | 1.265 | 0.222 |
| КФ + германий 1% – КФ + германий 5% | 21 | 0.721 | 0.479 |
| КФ + германий 1% – Карбоксинитрид | 18 | 3.847 | 0.001 |
| КФ + германий 5% – Карбоксинитрид | 21 | 3.725 | 0.001 |

Заключение

Таким образом, проведённое исследование показало статистически значимое увеличение сил сцепления имплантатов с композиционным кальций-фосфатно-германиевым покрытием и костной ткани

в сравнении с остальными группами. При этом увеличение содержания германия в покрытии не влияет на силы сцепления. Следует ожидать аналогичного результата и в клинической практике.

Работа поддержана грантом программы «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Номер контракта по I году программы: 501ГУ1/2013. Номер контракта по II году программы: 4849ГУ1/2014.

Литература

1. Миронов С.П. Состояние ортопедо-травматологической службы в Российской Федерации и перспективы внедрения инновационных технологий в травматологии и ортопедии // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2010. №4. С.10-13.
2. Назаров Е.А., Рябова М.Н. Применение отечественных имплантатов в эндопротезировании тазобедренного сустава // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2007. №2. С. 13-20.
3. Прохоренко В.М., Слободской А.Б., Мамедов А.А., Дунаев А.Г., Воронин И.В., Бадак И.С. Сравнительный анализ среднесрочных и отдаленных результатов первичного эндопротезирования тазобедренного сустава серий-

- ными эндопротезами бесцементной и цементной фиксации // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. №3. С. 21-27.
4. Слободской А.Б., Осинцев Е.Ю., Лежнев А.Г. Осложнения после эндопротезирования тазобедренного сустава // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2011. №3. С. 59-63.
 5. Попков А.В. Биосовместимые имплантаты в травматологии и ортопедии (обзор литературы) // Гений ортопедии. 2014. №3. С. 94-99.
 6. Баринов С.М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция. М.: Наука, 2005. 204 с.
 7. Баринов С.М. Керамические и композиционные материалы на основе фосфатов кальция для медицины // Успехи химии. 2010. №79. С. 15-32.
 8. Лукевиц И.Я., Гар Т.К., Игнатович Л.М., Миронов В.Ф. Биологическая активность соединений германия. Рига: Знание, 1990. 191 с.
 9. Петров В.А., Чеботарёв В.М., Сахно Н.В., Лищук А.П. Параметры штифтов для остеосинтеза костей у кошек // Ветеринария. 2005. №11. С. 57-59.
 10. Денисенко В.Л., Гаин Ю.М., Медведев М.Н., Малашенко С.В., Веремей Э.И., Журба В.А. и др. Влияние металлического саморасширяющегося TINI стента на организм животных в эксперименте // Наука молодых (Eruditio Juvenum). 2015. № 1. С. 6-17.
 11. European convention for the protection of vertebrate animals used for the experimental and other scientific purposes: Council of Europe 18.03.1986. Strasbourg, 1986. 52 p.
 12. Полатайко О.Р. Ветеринарная анестезия: практическое пособие. Киев: ВД «Перископ», 2009. 214 с.
 13. Денни Х., Батгервоф С. Ортопедия собак и кошек: пер. с англ. М.: ООО «Аквариум-Принт», 2007. 696 с.
 14. Хлусов И.А., Пичугин В.Ф., Рябцева М.А. Основы биомеханики биосовместимых материалов и биологических тканей: учебное пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. 149 с.
 15. Назаров Е.А., Веснов И.Г., Мусаева Р.Ф. Стандартизированная оценка исходов операции реваскуляризации шейки и головки бедренной кости при дегенеративно-дистрофических заболеваниях тазобедренного сустава в отдаленные сроки // Вестник травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова. 2012. № 2. С. 27-31.
 16. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Издательство Московского университета, 1970. 369 с.
 17. Веснов И.Г. О влиянии воспроизводимости клинико-биохимического метода исследования на интерпретацию результата проверки статистической гипотезы в медико-биологических исследованиях // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2010. № 2. С. 22-26.

References

1. Mironov SP. Sostoyanie ortopedo-travmatologicheskoy sluzhby v Rossijskoj Federacii i perspektivy vnedreniya innovacionnyh tekhnologij v travmatologii i ortopedii [State of orthopedic and trauma care in the Russian Federation and the prospects for the introduction of innovative technologies in traumatology and orthopedics]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova [Reporter of Traumatology and Orthopedics named Priorov]*. 2010; 4: 10-13. (in Russian)
2. Nazarov EA, Ryabova MN. Primenenie techestvennyh implantatov v ehndoprotezirovanii tazobedrennogo sustava [Application of domestic implant in hip arthroplasty]. *Rossiyskij mediko-biologicheskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald]*. 2007; 2: 13-20. (in Russian)
3. Prohorenko VM, Slobodskoj AB, Mamedov AA, Dunaev AG, Voronin IV,

- Badak IS. Sravnitel'nyj analiz sredne-srochnyh i otdalennyh rezul'tatov pervichnogo ehndoprotezirovaniya tazobedrennogo sustava serijnymi ehndoprotezami bes cementnoj i cementnoj fiksacii [Comparative analysis of medium-and long-term results of primary total hip joint endoprostheses serial cementless and cement fixation]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova [Reporter of Traumatology and Orthopedics named Priorov]*. 2014; 3: 21-27. (in Russian)
4. Slobodskoj AB, Osincev EYU, Lezhnev AG. Oslozhneniya posle ehndoprotezirovaniya tazobedrennogo sustava [Complications after hip replacement surgery]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova [Reporter of Traumatology and Orthopedics named Priorov]*. 2011; 3: 59-63. (in Russian)
 5. Popkov AV. Biosovmestimye implantaty v travmatologii i ortopedii (obzor literatury) [Biocompatible implants in traumatology and orthopedics (review)]. *Genij Ortopedii [Genius of Orthopaedics]*. 2014; 3: 94-99.
 6. Barinov SM, Komlev VS. *Biokeramika na osnove fosfatov kal'ciya [The bioceramics based on calcium phosphates]*. Moscow: Nauka; 2005. 204 p. (in Russian)
 7. Barinov SM. Keramicheskie i kompozicionnye materialy na osnove fosfatovkal'ciya dlya mediciny [Ceramic and composite materials based on calcium phosphates for medicine]. *Uspekhi himii [Russian Chemical Reviews]*. 2010; 79: 15-32. (in Russian)
 8. Lukevic IYA, Gar TK, Ignatovich LM, Mironov VF. *Biologicheskaya aktivnost' soedinenij germaniya [The biological activity of compounds of germanium]*. Riga: Znanie; 1990. 191 p. (in Russian)
 9. Petrov VA, Chebotaryov VM, Sahnov NV, Lishchuk AP. Parametry shtiftov dlya osteosinteza kostej u koshek [The settings of pins for osteosynthesis of bones in cats]. *Veterinariya [Veterinary medicine]*. 2005; 11: 57-59. (in Russian)
 10. Denisenko VL, Gain YUM, Medvedev MN, Malashenko SV, Veremej EHI, Zhurba VA et al. Vliyanie metallichesko-go samorasshiryayushchegosya TINI stenta na organizm zhivotnyh v ehksperimente [The influence of self-expanding metal TINI stent in the body of animals in the experiment]. *Nauka molodyh (Eruditio Juvenum) [Science of the young (Eruditio Juvenum)]*. 2015; 1: 6-17. (in Russian)
 11. *European convention for the protection of vertebrate animals used for the experimental and other scientific purposes: Council of Europe 18.03.1986*. Strasbourg; 1986. 52 p.
 12. Polatajko OR. *Veterinarnaya anesteziya: prakt. posobie [Veterinary anesthesia: the pract. allowance]*. Kiev: VD Periskop; 2009. 214 p. (in Russian)
 13. Denni H, Battervof S. *Ortopediya sobak i koshek [Orthopedics of dogs and cats]*. Moscow: OOO Aquarium – Print; 2005. 696 p. (in Russian)
 14. Hlusov IA, Pichugin VF, Ryabceva MA. *Osnovy biomekhaniki biosovmestimyh materialov i biologicheskikh tkanej: uchebnoe posobie [Fundamentals of biomechanics biocompatible materials and biological tissues: a tutorial]*. Tomsk: Publisher of Tomsk Polytechnic University; 2007. 149 p. (in Russian)
 15. Nazarov EA, Vesnov IG, Musaeva RF. Standartizirovannaya ocenka iskhodov operacii revaskulyarizacii shejki i golovki bedrenno jkosti pri degenerativno-distroficheskikh zabolevaniyah tazobedrennogo sustava v otdalennye sroki [Standardized measure outcomes operation neck and the femoral head revascularization with degenerative diseases of the hip joint in the long-term period]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova [Reporter of Traumatology and Orthopedics named Priorov]*. 2012; 2: 27-31. (in Russian)
 16. Plohinskij NA. *Biometriya [Biometrics]*. Moscow: Publisher Moscow University; 1970. 369 p. (in Russian)

17. Vesnov IG. O vliyaniі vosproizvodimos-ti kliniko-biohimicheskogo metoda issledovaniya na interpretaciyu rezul'tata proverki statisticheskoy gipotezy v medi-ko-biologicheskikh issledovaniyah [On the influence of the reproducibility of clinical and biochemical research method interpretation of result of check of statistical hypotheses in biomedical studies]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova* [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald]. 2010; 2: 22-26. (in Russian)

Кузьманин С.А. – аспирант кафедры травматологии, ортопедии, ВПХ ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России.

E-mail: sinnersk@yandex.ru

Назаров Е.А. – д.м.н., профессор, зав. кафедрой травматологии, ортопедии, ВПХ ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России.

Веснов И.Г. – к.ф.-м.н., доцент кафедры общей и экспериментальной физики ГБОУ ВПО РГРТУ Минобрнауки России.