

Е.А. Тюхай <sup>1</sup>, Б.Г. Пушкарев <sup>2</sup>, А.Ю. Сафронов <sup>1</sup>, А.В. Кашевский <sup>1</sup>, И.В. Усольцев <sup>2</sup>,  
О.А. Гольдберг <sup>2</sup>, А.И. Плахов <sup>3</sup>, Н.П. Судаков <sup>2</sup>, В.Л. Таусон <sup>4</sup>, С.Б. Никифоров <sup>2</sup>

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИМПЛАНТАТА ДЛЯ ОСТЕОСИНТЕЗА

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет» (Иркутск)

<sup>2</sup> Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН (Иркутск)

<sup>3</sup> ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздравсоцразвития РФ (Иркутск)

<sup>4</sup> ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск)

*В статье представлен сравнительный анализ электрохимических характеристик биметаллических имплантатов в эксперименте.*

**Ключевые слова:** пара металлов, потенциометрия, биологические среды

## ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIMETALLIC IMPLANT FOR OSTEOSYNTHESIS

Е.А. Tyukhay <sup>1</sup>, B.G. Pushkarev <sup>2</sup>, A.Yu. Safronov <sup>1</sup>, A.V. Kashevskiy <sup>1</sup>, I.V. Usoltsev <sup>2</sup>,  
O.A. Goldberg <sup>2</sup>, A.I. Plakhov <sup>3</sup>, N.P. Sudakov <sup>2</sup>, V.L. Tauson <sup>4</sup>, S.B. Nikiforov <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State University, Irkutsk

<sup>2</sup> Scientific Center of Reconstructive and Restorative Surgery SB RAMS, Irkutsk

<sup>3</sup> Irkutsk State Medical University, Irkutsk

<sup>4</sup> Institute of Geochemistry named after A.P. Vinogradov SB RAS, Irkutsk

*The article presents experimental results of electrochemical characteristics of bimetallic implants in experiment.*

**Key words:** pair of metals, potentiometry, biological fluids

Экспериментальные исследования и клинические наблюдения показывают, что различные современные имплантационные материалы не только восполняют дефицит костной ткани, стабилизируя фрагменты кости, но и участвуют в регуляции репаративного остеогенеза как путем оптимизации условий для проявления эндогенного остеогенного потенциала, так и посредством его стимуляции, реализуемой за счет экзогенных источников [3]. В то же время классические исследования в области электростимуляции остеогенеза и электрохимических процессов, протекающих на границе имплантата и поврежденной костной ткани, остаются актуальными. Это обусловлено нерешенностью ряда вопросов оценки влияния свойств различных металлов на механизмы остеогенеза с инициацией фундаментальных процессов остеоиндукции и остеокондукции.

Известно, что в электрофизиологии костной ткани выделяют два вида активного электрогенеза: статический электрический потенциал (потенциал покоя, стресса, активного роста, регенерации) и деформационный динамический потенциал (пьезоэлектрический, перемещение среды, пьроэлектрический). Предполагается, что наряду с генетической, нервной и гуморальной регуляцией статические и динамические электрические потенциалы являются информационными (или другими) триггерами для биологических тканей, ориентированных на процесс регенерации [4]. Установлено, что различия интенсивности течения

остеорепарации при стимуляции указывают на доминирующую роль клеточных источников [1, 8, 9, 11, 14, 15]. Триггерным механизмом остеогенеза является чувствительность клеток к восприятию регуляторных сигналов из микроокружения. Последующая внутриклеточная трансдукция этих сигналов сопровождается изменением биосинтетической активности клеток, определяющей их остеопродуктивные свойства [2, 6, 7, 10, 12, 13].

В ранее проведенных авторами исследованиях было показано, что биметаллический имплантат (титан/платина) представляет собой коррозионную пару, при этом платина заряжается положительно, а титан – отрицательно. Разность потенциалов между ними составляет около 600 мВ. На поверхности платиновой части из раствора могут адсорбироваться протоны, а на титановой части должен происходить более интенсивный рост оксидных пористых пленок (TiO<sub>2</sub>) [5]. При этом были получены объективные морфологические данные по стимуляции остеогенеза в эксперименте (приоритетная справка о выдаче патента РФ от 19.04.2012 № 2012115863 «Способ проведения стабильного остеосинтеза при повреждениях костной ткани»). Это послужило основанием для продолжения исследований электрохимических характеристик биметаллических имплантатов из группы благородных металлов (золото и серебро) в сочетании с титаном.

**Цель исследования:** изучить электрохимические параметры биметаллического имплантата из титана в комбинации с золотом и серебром, оценив

их электрокинетические, электростатические и потенциометрические характеристики.

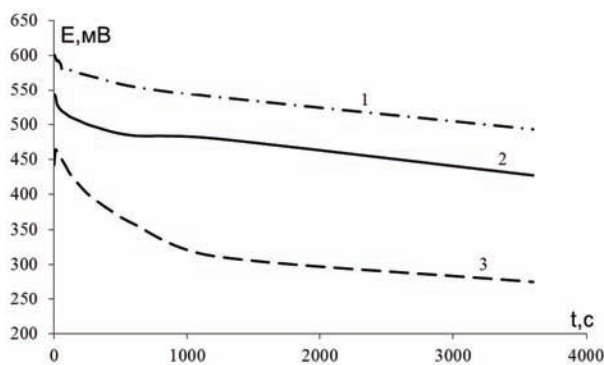
**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В экспериментальных исследованиях были использованы полнотельные титановые имплантаты и имплантаты из пары металлов (титан/платина, титан/золото, титан/серебро). Диаметр электродов – составляющих частей имплантатов – 1,5 мм. Потенциометрические измерения проводили на универсальном вольтметре-электрометре марки В7-30. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод ЭВЛ 1. В работе применялся фосфатно-щелочной буферный раствор на основе  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (х.ч., перекристаллизованный) и  $\text{NaOH}$ , pH 7,4, адаптированный по составу к естественным биологическим средам организма. Статистический анализ полученных данных проводили с использованием критерия Манна – Уитни.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

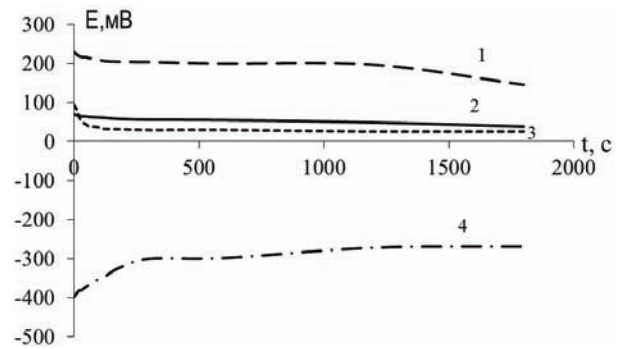
Для оценки гальванических составляющих и коррозионных характеристик исследуемых в работе пар металлов (титан/золото и титан/серебро) на указанных электродных материалах в фосфатно-щелочном буферном растворе со значением pH 7.4 проведены потенциометрические измерения.

Результаты измерения падения разности потенциалов между различными сочетаниями металлов – составляющих частей биметаллических имплантатов в условиях, когда один из исследуемых металлов (титан) служил «назначенным» электродом сравнения, представлены на рисунке 1. Данные свидетельствуют о том, что разность как начальных, так и конечных потенциалов, уменьшается в ряду  $\text{Pt}/\text{Ti} > \text{Au}/\text{Ti} \gg \text{Ag}/\text{Ti}$ , что вполне прогнозируемо и соответствует теоретической зависимости поведения для стандартных характеристик приведенных металлов в указанных парах.



**Рис. 1.** Падение потенциалов платинового (1), золотого (2) и серебряного (3) электродов, измеренных относительно основного (титанового) электрода в фосфатно-щелочном буферном растворе, pH 7.4.

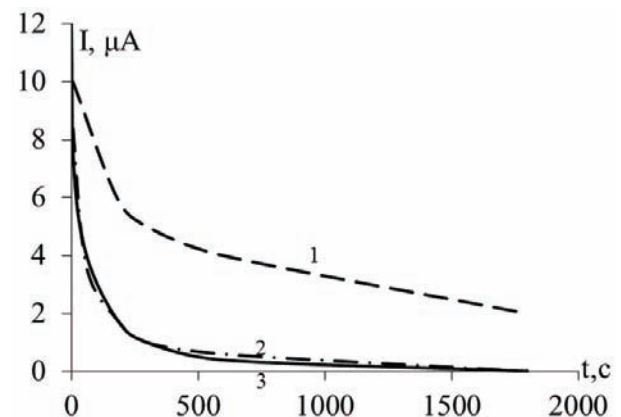
Для прецизионной оценки величины потенциалов на исследуемых моделях биметаллических имплантатов, потенциометрические измерения были проведены индивидуально для каждого металла относительно стандартного хлорсеребряного электрода сравнения. Результаты этих измерений представлены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Изменения во времени величин потенциалов на платиновом (1), серебряном (2), золотом (3) и титановом (4) электродах – составных частях имплантатов, измеренные в фосфатно-щелочном буферном растворе (pH 7,4) относительно хлорсеребряного электрода сравнения.

Из полученных данных следует, что титан (кривая 4) как катодная составляющая биметаллической пары находится отдельно в приведенном сочетании, в то время как в анодной части рисунка также отдельно располагается платина, начальный потенциал на которой существенно выше, чем на золоте и серебре.

При погружении биметаллического имплантата в электролит образуется гальваническая пара, а при контакте этих металлов в растворе создаются условия для разряда этого гальванического элемента, сопровождающегося протеканием собственного коррозионного тока. Замыкая указанный элемент через низкоомный амперметр, можно оценить величину этого тока, что представлено на рисунке 3. Установлено, что сила тока быстро уменьшается со временем, тем не менее, даже по истечении 15 минут ток не падает до нуля. В то же время если в случае титаново-платиновой пары величина тока по истечении указанного времени значима, а падение тока происходит с заметной задержкой, то для пар титан/золото и титан/серебро падение тока практически заканчивается за 500 секунд, а величина тока после 15 минут близка к фоновой.



**Рис. 3.** Падение коррозионного тока в биметаллическом имплантате на основе титана в сочетании с платиной (1), серебром (2) и золотом (3).

Учитывая важность фундаментальных процессов, протекающих на поверхности титана, который является большей и непосредственно контакти-

рующей с костной тканью частью имплантата, обеспечивающего остеоинтеграционные процессы, с использованием методов рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа и спектроскопии авторским коллективом инициировано дальнейшее исследование поляризованной поверхности титана и явлений, происходящих на ней под влиянием различных физико-химических и физиологических факторов.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, из полученных данных следует, что из трех исследованных комбинаций биметаллов в имплантатах по изученным параметрам сочетание титан/платина обладает самыми высокими гальваническими и коррозионными показателями и, следовательно, представляет собой самую эффективную из изученных гальваническую пару.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьян А.С., Воложин А.И., Агапов В.С. и др. Остеопластическая эффективность различных форм гидроксиапатита по данным экспериментально-морфологического исследования // *Стоматология*. — 2000. — № 3. — С. 4–8.
2. Зуев В.П., Панкратов А.С. Остеорепарация посттравматических дефектов нижней челюсти под воздействием гидроксиапатита ультравысокой дисперсности // *Стоматология*. — 1999. — № 1. — С. 37–41.
3. Корж Н.А., Кладченко Л.А., Малышкина С.В. Имплантационные материалы и остеогенез. Роль стимуляции и оптимизации в реконструкции кости // *Ортопедия, травматология и протезирование*. — 2008. — № 4. — С. 5–14.
4. Ткаченко С.С., Рущкий В.В. Электростимуляция остеорепарации. М.: Медицина, 1989. — 207 с.
5. Усольцев И.В., Е.А. Животова, А.Ю. Сафронов, А.В. Кашевский и др. Оценка электрохимических характеристик биметаллического имплантата в биологических средах как метод исследования костной регенерации // *Бюлл. ВСНЦ СО РАМН*. — 2011. — № 3. — С. 165–168.
6. Хлусов И.А., Карлов А.В., Суходоло И.В. Генез костной ткани на поверхности имплантатов для остеосинтеза // *Гений ортопедии*. — 2003. — № 3. — С. 16–26.
7. Arnold U., Lindenhayn K., Perka C. *In vitro* cultivation of human periosteum derived cells in bioresorbable polymer-TCP-composites // *Biomaterials*. — 2002. — Vol. 23. — P. 2303–2310.
8. Anselme K. Osteoblast adhesion on biomaterials // *Biomaterials*. — 2000. — N 21. — P. 667–681.
9. Einhorn T.A. Enhancement of fracture — healing // *J. Bone Jt Surg*. — 1995. — Vol. 77A, N 6. — P. 940–957.
10. Hing K.A. Bioceramic bone graft substitutes: influence of porosity and chemistry // *Int. J. Appl. Ceram. Technol*. — 2005. — Vol. 2, N 3. — P. 184–199.
11. Helm G.A., Dayoub H., Jane J.A. Bone graft substitutes for the promotion of spinal arthrodesis // *Neurosurg. Focus*. — 2001. — Vol. 10, N 4. — P. 1–5.
12. Lieberman J.R., Daluiski A., Stevenson Sh. et al. The effect of regional gene therapy with bone morphogenetic protein-2-producing bone-marrow cells on the repair of segmental femoral defects in rats // *J. Bone Jt Surg*. — 1999. — Vol. 81A, N 7. — P. 905–917.
13. Nakagawa T., Tagawa T. Ultrastructural study of direct bone formation induced by BMPs — collagen complex implanted into an ectopic site // *Oral Disease*. — 2000. — N 6. — P. 172–179.
14. Solheim E. Osteoinduction by demineralised bone // *Intern. Orthop*. — 1998. — Vol. 22, N 5. — P. 335–342.
15. Solheim E. Growth factors in bone // *Intern. Orthop*. — 1998. — Vol. 22, N 6. — P. 410–416.

### Сведения об авторах

**Тюхай Елена Анатольевна** — магистрант 2 года обучения химического факультета ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет» (664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1; тел.: 8 (3952) 52-10-81; e-mail: etuhay@gmail.com)

**Пушкарев Борис Георгиевич** — доктор медицинских наук, старший научный сотрудник отдела экспериментальной хирургии с виварием Научного центра реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН (664079, г. Иркутск, мкр. Юбилейный, 100; тел.: 8 (3952) 40-76-67; e-mail: baykmed@mail.ru)

**Усольцев Иван Владимирович** — аспирант Научного центра реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН (664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1; тел.: 8 (3952) 29-03-44; e-mail: ivu38@mail.ru)

**Судаков Николай Петрович** — кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экспериментальной хирургии с виварием Научного центра реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН (664079, г. Иркутск, мкр. Юбилейный, 100; тел.: 8 (3952) 40-76-67)

**Никифоров Сергей Борисович** — доктор медицинских наук, старший научный сотрудник отдела экспериментальной хирургии с виварием Научного центра реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН (664079, г. Иркутск, мкр. Юбилейный, 100; тел.: 8 (3952) 40-76-67)

**Сафронов Александр Юрьевич** — доктор химических наук, профессор, почётный член Королевского химического общества, заведующий кафедрой общей и неорганической химии ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет» (664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1; тел.: 8 (3952) 52-10-79)

**Кашевский Алексей Валерьевич** — кандидат химических наук, PhD (chemistry), доцент кафедры общей и неорганической химии ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет» (664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1; тел.: 8 (3952) 52-10-81)

**Плахов Алексей Игоревич** — врач-ординатор 1 года обучения кафедры травматологии и ортопедии ФГОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздравсоцразвития РФ (664003, г. Иркутск, ул. Красного Восстания, 1; тел.: 8 (3952) 24-38-25)

**Гольдберг Олег Аронович** — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории патоморфологии Научного центра реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН (664079, г. Иркутск, мкр. Юбилейный, 100; тел.: 8 (3952) 40-76-67)

**Таусон Владимир Львович** — доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (664033, г. Иркутск, ул. Фаворского 1а; тел: 8 (3952) 51-14-62, факс: 8 (3952) 42-70-50)