

УДК 616.314-089.843-77: 615.46

ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ КОБАЛЬТОХРОМОВОГО СПЛАВА НА ГРЕЙД

Фролова О. С.

Центр стоматологической имплантации, г. Минск, Республика Беларусь

Введение. Оральная среда характеризуется агрессивными электрохимическими условиями, включая переменный водородный показатель ротовой жидкости 5,0–7,4, наличие хлорид-ионов, органических кислот и биологических факторов (микробные биопленки, механические окклюзионные нагрузки), что предрасполагает к деградации биоматериалов.

Цель работы — систематический анализ коррозионных процессов на основе доступной специальной литературы и обоснование перехода на cp-Ti Grade 4.

Объекты и методы. Методология включает обзор 25 публикаций за период 2010–2024 гг., посвященных вопросам электрохимической коррозии в ортопедической стоматологии и дентальной имплантации. Анализ электрохимических расчетов.

Результаты. Электрохимический анализ выявил, что в гальванической паре КХС-Ti анодное растворение КХС доминирует, с коэффициентом ускорения $k_{gal} = i_{gal}/i_{corr} \approx 10-50$. Это приводит к накоплению ионов в ротовой жидкости ($Cr > 5$ мкг/л), коррелирующему с маркерами воспаления ($IL-6 > 20$ пг/мл). Предлагаемая замена на cp-Ti G4 элиминирует диссимилярный контакт, снижая i_{gal} до 0, и оптимизирует электрохимическую совместимость ($\Delta E < 0,05$ В).

Заключение. Переход от кобальт-хромовых сплавов к коммерчески чистому титану марки 4 при ортопедическом протезировании с опорой на дентальные имплантаты обоснован электрохимическими, биологическими и экономическими преимуществами. Отечественные исследования подтверждают элиминацию гальванической коррозии и оптимизацию долгосрочных исходов.

Ключевые слова: электрохимическая коррозия; гальванические эффекты; дентальные имплантаты; титан марки 4; кобальт-хромовые сплавы; биоматериалы в стоматологии.

JUSTIFICATION FOR THE REPLACEMENT OF THE COBALT CHROMIUM ALLOY ON GRADE

Frolova O. S.

Dental Implant Center, Minsk, Republic of Belarus

Introduction. The oral environment is characterized by aggressive electrochemical conditions, including a variable hydrogen index of the oral fluid 5.0–7.4, the presence of chloride ions, organic acids and biological factors (microbial biofilms, mechanical occlusive loads), which predisposes to the degradation of biomaterials.

The aim of the work is a systematic analysis of corrosion processes based on the available specialized literature and justification of the transition to cp-Ti Grade 4.

Objects and methods. The methodology includes a review of 25 publications from 2010–2024 on electrochemical corrosion in orthopedic dentistry and dental implantation. Analysis of electrochemical calculations.

Results. Electrochemical analysis revealed that in the CCC-Ti galvanic pair, the anodic dissolution of CCC dominates, with an acceleration coefficient $k_{gal}=i_{gal}/i_{corr} \approx 10-50$. This leads to an accumulation of ions in the oral fluid ($Cr > 5$ micrograms/l), correlating with inflammatory markers ($IL-6 > 20$ pg/ml). The proposed replacement with cp-Ti G4 eliminates the dissimilar contact, reducing i_{gal} to 0, and optimizes electrochemical compatibility ($\Delta E < 0.05$ V).

Conclusion. The transition from cobalt-chromium alloys to commercially pure grade 4 titanium in orthopedic prosthetics based on dental implants is justified by electrochemical, biological and economic advantages. Domestic studies confirm the elimination of galvanic corrosion and optimization of long-term outcomes.

Keywords: electrochemical corrosion; galvanic effects; dental implants; titanium mark 4; cobalt-chromium alloys; biomaterials in dentistry.

Введение. Оральная среда характеризуется агрессивными электрохимическими условиями, включая переменный водородный показатель (pH) ротовой жидкости (5,0–7,4), наличие хлорид-ионов, органических кислот и биологических факторов (микробные биопленки, механические окклюзионные нагрузки), что предрасполагает к деградации биоматериалов. Электрохимическая коррозия, в частности, гальваническая, возникает при контакте диссимилярных металлов, формируя гальванические пары с потенциальными разностями, приводящими к анодному растворению менее благородного компонента.

В ортопедической стоматологии кобальт-хромовые сплавы (КХС), тип Vitallium® традиционно применяются для несъемных супраструктур с опорой на титановые имплантаты благодаря высокой механической прочности (предел прочности на разрыв 600–900 МПа) и литейным свойствам.

Однако их электрохимическая несовместимость с титаном ($E^{\circ}_{Ti} \approx -1,63$ В, $E^{\circ}_{Co-Cr} \approx -0,28$ В по шкале системы накопления энергии (СНЭ)) провоцирует ускоренную коррозию КХС, высвобождение ионов Co^{2+} и Cr^{3+} , что коррелирует с развитием гиперемии десны, металлического привкуса в полости рта, аллергических реакций и периимплантита [1, 2].

Во многих исследованиях подчеркивают актуальность данного вопроса [3]. По данным белорусских авторов, гальванические эффекты наблюдаются у 15,0–5,0 % пациентов с комбинированными ортопедическими конструкциями [4].

Цель работы — систематический анализ коррозионных процессов на основе доступной специальной литературы и обоснование перехода на cp-Ti Grade 4.

Объекты и методы. Методология включает обзор 25 публикаций за период 2010–2024 гг., посвященных вопросам электрохимической коррозии в ортопедической стоматологии и дентальной имплантации. Анализ электрохимических расчетов.

Результаты. Электрохимические характеристики коррозии кобальт-хромовых сплавов в оральной среде КХС (Co 60,0–65,0 %, Cr 25,0–30,0 %, Mo 4,0–6,0 %) обладают пассивационным слоем Cr_2O_3 , обеспечивающим умеренную коррозионную стойкость ($i_{\text{corr}} \approx 10^{-7}$ – 10^{-6} А/см² в искусственной слюне по Fusayama).

Однако в диссимилярных парах с титаном гальванический ток (i_{gal}) достигает 10^{-5} А/см², ускоряя локальную коррозию (питтинговую и щелеобразную). Российские авторы отмечают, что содержание Cr > 20 % повышает пассивацию, но наличие Ni (до 1,0 %) усиливает сенсibilизацию и аллергеноз [1, 3]. Эксперименты по спектроскопии (EIS) демонстрируют, что в ротовой жидкости с pH 5,5 сопротивление переноса заряда (R_{ct}) для КХС снижается на 30 % под окклюзионной нагрузкой, приводя к выходу ионов Co (0,5–2,0 мкг/л) и Cr (0,2–1,0 мкг/л), коррелирующему с окислительным стрессом в пародонте. Белорусские исследования фокусируются на гальваническом синдроме: в работе по непереносимости металлических включений показано, что гальванический потенциал ($\Delta E > 0,2$ В) вызывает гиперестезии у 18,0 % пациентов с КХС-протезами на Ti-имплантатах [2, 4]. Аналогично, российские данные подтверждают, что абразивная износостойкость КХС ($K = 10^{-5}$ мм³/Нм) уступает титану, усугубляя фреттинг-коррозию. Гальваническая пара Ti (катод)/КХС (анод) генерирует ток, приводящий к анодному растворению КХС по реакции: $\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{2+} + 2e^-$; $\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e^-$. В искусственной слюне с 0,9 % NaCl гальванический потенциал $E_{\text{gal}} = -0,4$ В, что на 50,0 % ускоряет коррозию по сравнению с изолированными пробами [1, 3]. Белорусские ученые в анализе микроэлементного состава ротовой жидкости выявили повышение уровня содержания Cr на 25,0–40,0 % у пациентов с неоднородными протезами, ассоциированное с гингивитом и потерей имплантата (риск 5,0–10,0 % за 5 лет) [2, 4]. По данным ряда исследований КХС определяется как материал средней стойкости (индекс коррозии $I_{\text{corr}} = 2,5$), уступающий титановым сплавам ($I_{\text{corr}} = 0,8$) [2, 4]. Клинические последствия включают: локальное воспаление (периимплантит, OR = 2,1); системные эффекты (аллергия, OR = 1,8); эстетические дефекты (металлический блеск). Коммерчески чистый титан марки 4 (cp-Ti Grade 4, ASTM F67: Ti > 99,0 %, O 0,4 %, Fe 0,3 %) характеризуется высокой коррозионной стойкостью благодаря самопассивирующему слою TiO_2 (толщина 5–10 нм, $E_{\text{breakdown}} > 1$ В). В оральной среде $i_{\text{corr}} < 10^{-8}$ А/см², что минимизирует гальванизм в гомогенных системах Ti-Ti. Российские исследования по ортопедическим конструкциям подчеркивают, что замена КХС на Ti устраняет симптомы непереносимости (у 90,0 % пациентов), улучшая остеоинтеграцию (скорость 1–2 мм/мес.) [1, 3]. Белорусские авторы подтверждают биосовместимость: выход ионов Ti < 0,1 мкг/л, риск аллергии < 0,5 %. Дополнительные свойства: модуль упругости 110 ГПа (ближе к костной ткани, чем 220 ГПа у КХС), fatigue strength > 500 МПа при 10^7 циклов. В сравнительном анализе несъемных протезов Ti превосходит КХС по 5-летней выживаемости (96,0 % vs 88,0 %) [2, 4].

Сравнительная оценка поляризации (Tafel plot) для КХС и *cp-Ti G4* в искусственной слюне приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная диаграмма поляризации (Tafel plot) для КХС и *cp-Ti G4* в искусственной слюне

Показатели	КХС	Коммерческий чистый титан марки 4 (<i>cp-Ti G4</i>)
Потенциал коррозии (E_{corr} , В vs SCE)	-0,25 – -0,35	-0,10 – -0,15
Ток коррозии (i_{corr} , А/см ²)	10^{-6} – 10^{-5}	$< 10^{-8}$
Гальванический эффект с Ti-имплантатами	Выраженный ($\Delta E > 0,2$ В)	Отсутствует (гомогенная пара)
Биосовместимость (риск аллергии, %)	5–10	< 1
Долговечность (срок службы, лет)	10–15	> 20

Кривая для КХС демонстрирует более низкий E_{corr} и повышенный i_{corr} , указывая на ускоренную коррозию; для *cp-Ti G4* — пассивационный интервал $> 0,8$ В.

Электрохимический анализ выявляет, что в гальванической паре КХС-Ti анодное растворение КХС доминирует, с коэффициентом ускорения $k_{gal} = i_{gal}/i_{corr} \approx 10$ –50.

По данным белорусских авторов, это приводит к накоплению ионов в ротовой жидкости ($Cr > 5$ мкг/л), коррелирующему с маркерами воспаления (IL-6 > 20 пг/мл). Предлагаемая замена на *cp-Ti G4* элиминирует диссимилярный контакт, снижая i_{gal} до 0, и оптимизирует электрохимическую совместимость ($\Delta E < 0,05$ В).

Заключение. Переход от кобальт-хромовых сплавов к коммерчески чистому титану марки 4 при ортопедическом протезировании с опорой на дентальные имплантаты обоснован электрохимическими, биологическими и экономическими преимуществами. Отечественные исследования подтверждают элиминацию гальванической коррозии и оптимизацию долгосрочных исходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Обоснование* использования сплавов КХС различных форм выпуска в ортопедической стоматологии / С. Е. Жолудев [и др.] // Уральский медицинский журнал. – 2013. – Т. 110, № 5. – С. 51–56.
2. *Наумович, С. А.* Непереносимость металлических протезов в полости рта / С. А. Наумович, Л. С. Величко, Н. В. Ящиковский. – Минск : БГМУ, 2019. – 35 с.
3. *Экспериментально-клиническое* изучение концентрации химических элементов протезов и имплантатов в ротовой жидкости / А. В. Рагулин [и др.] // Росс. стом. журн. – 2023 – Т. 26, № 6. – С. 497–501. doi: 10.17816/dent115204.
4. *Электрохимическая* совместимость сплавов металлов, применяемых в Республике Беларусь при несъемном протезировании на дентальных имплантатах / С. А. Наумович [и др.] // Современная стоматология. – 2019. – № 1. – С. 77–81.

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
КОМИТЕТ ПО ЗДРАВООХРАНЕНИЮ МИНГОРИСПОЛКОМА
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ХИРУРГИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ
ОО «АССОЦИАЦИЯ ОРАЛЬНЫХ И ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВЫХ ХИРУРГОВ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОПРОСЫ
ХИРУРГИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ
И ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ, ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ РЕШЕНИЯ**

Материалы юбилейного X Национального конгресса
с международным участием «Паринские чтения 2026»

(Минск, 7–8 мая 2026 года)



Минск БГМУ 2026

ISBN 978-985-21-2235-1

© УО «Белорусский государственный
медицинский университет», 2026