

УДК 616.314-089.843:615.837.3

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОСТЕОИНТЕГРАЦИИ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ С ПОМОЩЬЮ  
УЛЬТРАЗВУКА**

РУБНИКОВИЧ С.П.<sup>1,2</sup>, ХОМИЧ И.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup> *Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Разработан и экспериментально обоснован метод воздействия низкочастотным ультразвуком для восстановления и формирования костной ткани при дентальной имплантации. Разработана экспериментальная модель и проведены морфологические и морфометрические исследования гистологических препаратов для определения изменений в периимплантных тканях после комбинированного воздействия низкочастотным низкоинтенсивным ультразвуком. В результате исследований установлено, что воздействие низкочастотным ультразвуком на титановые дентальные имплантаты положительно влияет на увеличение контакта кость-имплантат и остеоинтеграцию дентальных имплантатов.

**Ключевые слова:** низкочастотный ультразвук, смачиваемость поверхности, остеоинтеграция, имплантат, дентальная имплантация.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## OPTIMIZATION OF OSTEOINTEGRATION OF DENTAL IMPLANTS USING ULTRASOUND

SERGEY P. RUBNIKOVICH<sup>1,2</sup>, IL'YA S. KHOMICH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus*

<sup>2</sup> *Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Belarus*

**Abstract.** A method of exposure to low-frequency ultrasound for restoration and formation of bone tissue during dental implantation has been developed and experimentally substantiated. An experimental model was developed, and morphological and morphometric studies of histological preparations were carried out to determine changes in the peri-implant tissues after combined exposure to low-frequency, low-intensity ultrasound. As a result of the research, it has been established that exposure to low-frequency ultrasound on titanium dental implants has a positive effect on the increase in bone-implant contact and osseointegration of dental implants.

**Keywords:** low-frequency ultrasound, surface wettability, osseointegration, dental implants, dental implantology.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

### Введение

Остеоинтеграция определяется как прямое образование кости на поверхности имплантата и представляет собой функциональный анкилоз. Эта концепция была описана проф. П. И. Бранемарком и в 1977 г. им был сформулирован феномен остеоинтеграции: «Прямая структурная и функциональная связь между высокодифференцированной живой костью и несущей нагрузку поверхностью опорного имплантата, выявляемая на уровне светового микроскопа» [1].

Остеоинтеграция принадлежит к категории прямого или первичного заживления. Ее можно сравнить с прямым заживлением переломов, в котором концы фрагментов срастаются без промежуточной фиброзной или фиброзно-хрящевой ткани. Фундаментальное различие, однако, существует: остеоинтеграция объединяет не кость с костью, а кость с поверхностью имплантата. Остеоинтеграция включает в себя несколько клеточных и внеклеточных биологических процессов, которые происходят на границе кость – имплантат, и способствуют образованию кости на поверхности имплантата [2].

Непосредственно после имплантации костный матрикс контактирует с внеклеточной жидкостью, а неколлагеновые белки и факторы роста высвобождаются и активируют регенерацию кости. Клетки костного мозга путем хемотаксиса из эндокортикального пространства и эндоста кости мигрируют к месту поражения [3].

Отложение нового кальцинированного матрикса на поверхности имплантата формируется в период от 4 до 6 недель после имплантации и представляет собой грубоволокнистую кость, что обеспечивает вторичную (биологическую) стабильность имплантата [4].

Начиная со второго месяца, грубоволокнистая кость постепенно ремоделируется и замещается пластинчатой костью, которая может достигать высокой степени минерализации. Через три месяца после имплантации вокруг имплантата обнаруживается смешанная структура костной ткани и пластинчатой матрицы [5].

Последний этап остеоинтеграции состоит из ремоделирования костной ткани, начинается примерно с третьего месяца и способствует адаптации костной структуры к стрессу и механической

нагрузке. Ремоделирование кости продолжается на протяжении всей жизни, предотвращая накопление микроповреждений и усталости кости и обеспечивая долгосрочность функционирования имплантата [6].

Стремление максимально снизить процент осложнений после дентальной имплантации, минимизировать риск отторжения имплантатов и добиться максимально полноценной остеоинтеграции побуждает исследователей к постоянному поиску новых и эффективных методов обработки поверхности имплантатов, хирургических методик, физических методов воздействия на послеоперационную область и их комбинаций [7].

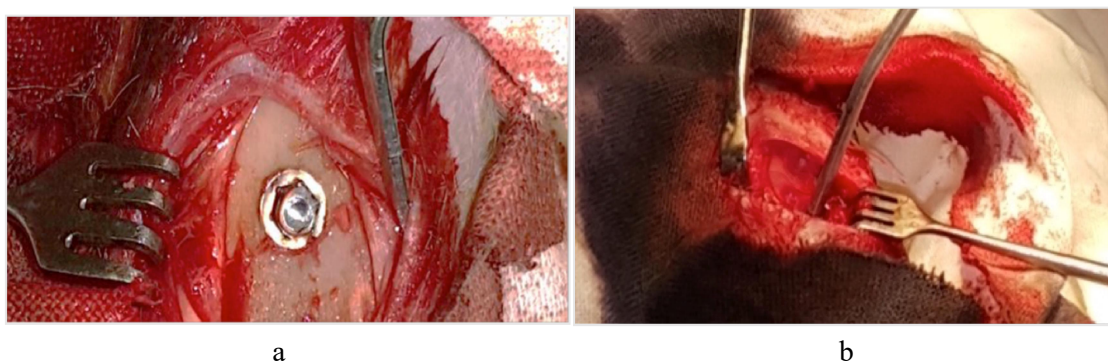
Результаты ряда исследований свидетельствуют, что импульсные ультразвуковые волны могут ускорять заживление переломов трубчатых костей и нижней челюсти. Низкоинтенсивный импульсный ультразвук имеет прямое влияние на клеточную физиологию, увеличивая включение ионов кальция в хрящевой и костной клеточных культурах и стимулируя экспрессию многочисленных генов, участвующих в процессе заживления. В дополнение к модулированию экспрессии генов ультразвук может стимулировать ангиогенез и увеличивать кровоток вокруг перелома. Помимо этого волны акустического давления облегчают ток жидкости, что увеличивает доставку питательных веществ и удаление отходов (феномен акустического течения), тем самым стимулируя пролиферацию и дифференцировку фибробластов, хондробластов и остеобластов [8, 9, 13–15].

### Цель работы

Экспериментально и клинически обосновать целесообразность и доказать эффективность применения ультразвука для восстановления и формирования костной ткани при дентальной имплантации.

### Методика проведения эксперимента

Для изучения характера морфологических изменений в периимплантной костной ткани под влиянием контактного воздействия на имплантат и периимплантные ткани низкочастотным ультразвуком проводили экспериментальные исследования на 77 кроликах породы Шиншилла обоего пола, содержащихся в стационарных условиях на полноценном стандартном пищевом рационе согласно установленным нормам в соответствии с правилами по работе с экспериментальными животными. Животных разделили на три группы: первая группа – 27 кроликов с традиционным методом имплантации, вторая – 25 кроликов с озвучиванием дентальных имплантатов, третья группа – 25 кроликов с озвучиванием дентальных имплантатов и последующим ультразвуковым воздействием на периимплантную область (рис. 1 а, б).



**Рис.1.** а – установленный дентальный имплантат, б – озвучивание дентального имплантата в большеберцовой кости кролика

**Fig. 1.** a – installed dental implant, b – sounding of the dental implant in the rabbit's tibia

По истечении срока наблюдения животных выводили из эксперимента с соблюдением принципов биоэтики (в соответствии со стандартами GLP). Изучение микропрепаратов и изготовление микрофотографий проводили на увеличении 100 и 400 с помощью микроскопов Axio Imager (Zeiss) и DMLS с программным обеспечением (Leica, Германия).

Морфометрический анализ гистологических препаратов костных образцов был проведен на увеличении 50 по всему периметру каждого микропрепарата при помощи программно-аппаратного комплекса Leica-Qwin. Определяли площадь активной остеобластической поверхности (So), площадь новообразованной (грануляционной, фиброретикулярной и костной) периимплантационной ткани (Sn) и индекс интеграции (Io).

Статистическая обработка данных выполнена в соответствии с современными требованиями к проведению медико-биологических исследований с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010 (версия 10,0, StatSoft, Inc., США) и программы Statistica 6.0.

### Результаты и их обсуждение

Результаты статистического исследования площади активной остеобластической поверхности показали, что в первой группе животных, где применяли традиционное лечение, на всех сроках эксперимента площадь костных трабекул с высокой плотностью остеогенных клеток была достоверно ниже, чем в третьей группе (с комбинированным воздействием низкочастотным ультразвуком на имплантаты и периимплантные ткани).

Площадь новообразованной ткани по периметру имплантационной полости была достоверно выше у животных второй и третьей групп с момента начала исследований и до окончания наблюдений по сравнению с таковыми показателями животных первой группы, где применяли традиционное лечение.

На основании исследуемых показателей оценки восстановления площади костных трабекул, а также комплекса проводимого лечения у животных третьей группы были получены наиболее высокие результаты. Так, комбинированное воздействие низкочастотным ультразвуком на имплантаты и периимплантные ткани имеет выраженную линейную зависимость – при комбинированном использовании низкочастотного ультразвука происходит выраженное увеличение площади активной остеобластической поверхности.

Полученные экспериментальные результаты исследований обосновывают целесообразность и преимущества комбинированного воздействия низкочастотным ультразвуком на дентальные имплантаты и периимплантные ткани для улучшения процессов остеорепаляции и остеоинтеграции.

### Заключение

Комбинированное воздействие низкочастотным ультразвуком на дентальные имплантаты и на периимплантные ткани оперированной области у животных способствует формированию костной ткани, приближенной по гистоструктуре к материнской кости, с полной и более прочной интеграцией новообразованной костной ткани с поверхностью имплантата, что проявляется в более интенсивном костеобразовании (увеличение площади остеобластической поверхности по сравнению с контролем); более быстром созревании грануляционной ткани и замещении ее фиброретикулярной на ранних стадиях репаративных процессов, формировании трабекулярной и пластинчатой кости на поздних стадиях и полной интеграцией новообразованной ткани с поверхностью имплантата [10–12].

### Список литературы

1. Branemark P.I. Osseointegration and its experimental background. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 1983; Vol. 50(3):399–410.
2. Schenk R. K., Buser D. Osseointegration: a reality. *Periodontology 2000*. 1998; Vol. 17:22–35.
3. Cooper L.F., Masuda T., Yliheikkilä P.K., Felton D.A. Generalizations regarding the process and phenomenon of osseointegration. Part II. In vitro studies. *The International journal of oral & maxillofacial implants*. 1998; Vol.13(2):163–174.
4. Franchi M., Fini M., Martini D., Orsini E., Leonardi L., Ruggeri A., Giavaresi G., Ottani V. Biological fixation of endosseous implant. *Micron*. 2015; Vol. 36(7-8):665–671. DOI: 10.1016/j.micron.2005.05.010
5. Mavrogenis A.F., Dimitriou R., Parvizi J., Babis G.C. Biology of implant osseointegration. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*. 2009; Vol. 9(2):61–71.

6. Chappard D., Aguado E., Huré G., Grizon F., Basle M.F. The early remodeling phases around titanium implants: a histomorphometric assessment of bone quality in a 3- and 6-month study in sheep. *The International journal of oral & maxillofacial implants*. 1999; Vol. 14(2):189–196.
7. Dyson M., Suckling J. Stimulation of tissue repair by ultrasound: a survey of the mechanisms involved. *Physiotherapy*. 1978; Vol. 64(4):105–108.
8. Khan Y., Laurencin C. T. Fracture repair with ultrasound: clinical and cell-based evaluation. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2008; Vol. 90:138–144.
9. Novicoff W.M., Manaswi A., Hogan M.V., Brubaker S.M., Mihalko W.M., Saleh K.J. Critical analysis of the evidence for current technologies in bone-healing and repair. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2008; Vol. 90:85–91. DOI: 10.2106/jbjs.g.01521
10. Рубникович С.П., Хомич И.С., Минченя В.Т. Использование низкочастотного ультразвука в дентальной имплантации (экспериментальное исследование). *Стоматолог*. 2015; № 4 (19):21–24.
11. Рубникович С.П., Хомич И.С., Владимирская Т.Э. Экспериментальное обоснование применения метода дентальной имплантации с использованием низкочастотного ультразвука у пациентов с частичной вторичной адентией. *Проблемы здоровья и экологии*. 2015; № 4:75–80.
12. Хомич И.С., Рубникович С.П. Лечение пациентов с частичной вторичной адентией методом дентальной имплантации с применением низкочастотного ультразвука. *Стоматолог*. 2015; № 4 (19):25–29.
13. Leung K.S., Cheung W.H., Zhang C., Lee K.M., Lo H.K. Low intensity pulsed ultrasound stimulates osteogenic activity of human periosteal cells. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2004; No 418:P. 253–259. DOI: 10.1097/00003086-200401000-00044
14. Pounder N.M., Harrison A.J. Low intensity pulsed ultrasound for fracture healing: A review of the clinical evidence and the associated biological mechanism of action. *Ultrasonics*. 2008; Vol. 48(4):330–338.
15. Tobita K., Ohnishi I., Matsumoto T., Ohashi S., Bessho M., Kaneko M., Matsuyama J., Nakamura K. Effect of low-intensity pulsed ultrasound stimulation on callus remodelling in a gap-healing model: Evaluation by bone morphometry using three-dimensional quantitative micro-CT. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*. 2011; Vol. 93(4):525–530.

#### References

1. Branemark P.I. Osseointegration and its experimental background. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 1983; Vol. 50(3):399–410.
2. Schenk R. K., Buser D. Osseointegration: a reality. *Periodontology 2000*. 1998; Vol. 17:22–35.
3. Cooper L.F., Masuda T., Yliheikkilä P.K., Felton D.A. Generalizations regarding the process and phenomenon of osseointegration. Part II. In vitro studies. *The International journal of oral & maxillofacial implants*. 1998; Vol.13(2):163–174.
4. Franchi M., Fini M., Martini D., Orsini E., Leonardi L., Ruggeri A., Giavaresi G., Ottani V. Biological fixation of endosseous implant. *Micron*. 2015; Vol. 36(7-8):665–671. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2005.05.010>
5. Mavrogenis A.F., Dimitriou R., Parvizi J., Babis G.C. Biology of implant osseointegration. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*. 2009; Vol. 9(2):61–71.
6. Chappard D., Aguado E., Huré G., Grizon F., Basle M.F. The early remodeling phases around titanium implants: a histomorphometric assessment of bone quality in a 3- and 6-month study in sheep. *The International journal of oral & maxillofacial implants*. 1999; Vol. 14(2):189–196.
7. Dyson M., Suckling J. Stimulation of tissue repair by ultrasound: a survey of the mechanisms involved. *Physiotherapy*. 1978; Vol. 64(4):105–108.
8. Khan Y., Laurencin C. T. Fracture repair with ultrasound: clinical and cell-based evaluation. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2008; Vol. 90:138–144.
9. Novicoff W.M., Manaswi A., Hogan M.V., Brubaker S.M., Mihalko W.M., Saleh K.J. Critical analysis of the evidence for current technologies in bone-healing and repair. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2008; Vol. 90:85–91.
10. Rubnikovich S.P., Khomich I.S., Minchenya V.T. Use of low-frequency ultrasound in dental implantation (experimental study). *Stomatolog= Stomatologist*. 2015; № 4 (19):21–24. (In Russ.)
11. Rubnikovich S.P., Khomich I.S., Vladimirskaya T.E. Experimental substantiation of the use of the method of dental implantation using low-frequency ultrasound in patients with partial secondary adentia. *Problemy zdorov'ya i ekologii=Health and environmental issues*. 2015; № 4:75–80. (In Russ.)

12. Khomich I.S., Rubnikovich S.P. Treatment of patients with partial adentia method of dental implantation with the use of low frequency ultrasound. *Stomatolog= Stomatologist*. 2015; № 4 (19):25–29.

13. Leung K.S., Cheung W.H., Zhang C., Lee K.M., Lo H.K. Low intensity pulsed ultrasound stimulates osteogenic activity of human periosteal cells. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2004; No 418:P. 253–259. DOI: 10.1097/00003086-200401000-00044

14. Pounder N.M., Harrison A.J. Low intensity pulsed ultrasound for fracture healing: A review of the clinical evidence and the associated biological mechanism of action. *Ultrasonics*. 2008; Vol. 48(4):330–338.

15. Tobita K., Ohnishi I., Matsumoto T., Ohashi S., Bessho M., Kaneko M., Matsuyama J., Nakamura K. Effect of low-intensity pulsed ultrasound stimulation on callus remodelling in a gap-healing model: Evaluation by bone morphometry using three-dimensional quantitative micro-CT. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*. 2011; Vol. 93(4):525–530.

#### **Вклад авторов**

Рубникович С.П. – 50%, Хомич И.С. – 50%.

#### **Authors contribution**

Rubnikovich S.P. – 50%, Khomich I.S. – 50%.

#### **Сведения об авторах**

Рубникович С.П., доктор медицинских наук, профессор, ректор учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет», заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии государственного учреждения образования «Белорусская медицинская академия последипломного образования».

Хомич И.С., кандидат медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии, Белорусская медицинская академия последипломного образования.

#### **Адрес для корреспонденции**

220030, Республика Беларусь,  
Минск, переулок Казарменный 3,  
Белорусская медицинская академия последипломного образования  
+375296372156; e-mail: rubnikovichs@mail.ru  
Рубникович Сергей Петрович

#### **Information about the authors**

Rubnikovich S.P., Doctor of Medical Sciences, Professor, Rector of The Educational Institution "Belarusian State Medical University", Head of The Department of Prosthodontics and Orthodontics with Course of Pediatric Dentistry of The State Educational Institution Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education.

Khomich I.S., Doctor of Philosophy, Associate Professor of The Department of Prosthodontics and Orthodontics with Course of Pediatric Dentistry, Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education.

#### **Address for correspondence**

220030, Republic of Belarus,  
Minsk, Kazarmenny alley 3,  
Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education  
+375296372156; e-mail: rubnikovichs@mail.ru  
Rubnikovich Sergey Petrovich