УДК: 616.314-089.28-74

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИМПЛАНТАТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ И КЛИНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ

Отажонова Хилола Илхомжон кизи *— ассистент, соискатель кафедры факультетской ортопедической стоматологии Ташкентского государственного медицинского института*
khilola_otajonova@mail.ru
Акбаров Авзал Нигматуллаевич *— профессор, д.м.н., заведующий кафедрой факультетской ортопедической стоматологии Ташкентского государственного медицинского института*
Avzal@rambler.ru

Аннотация. Цель исследования: комплексная оценка влияния точности позиционирования дентальных имплантатов, достигнутой при использовании ИИ-ассистированного цифрового планирования и навигационных хирургических шаблонов, на биологическую стабильность, состояние периимплантатных тканей и функционально-эстетические результаты имплантационного лечения.

Материалы и методы: исследование выполнено с участием 60 пациентов с частичной адентией. В группе I (n=30) применялось цифровое планирование с использованием программного обеспечения RealGuide и навигационных шаблонов, в группе II (n=30) — стандартный протокол лечения. Оценка биологической стабильности включала анализ динамики маргинальной костной ткани по данным КЛКТ в сроки 3, 6 и 12 месяцев. Дополнительно проводилась оценка состояния периимплантатных тканей (глубина зондирования, кровоточивость при зондировании, индекс гигиены). Функционально-эстетические результаты оценивались на ортопедическом этапе лечения.

Заключение: Повышение точности позиционирования имплантатов при использовании ИИ-ассистированного планирования приводит к снижению маргинальной костной резорбции на 45% в течение первого года наблюдения. Применение цифровых технологий обеспечивает улучшение состояния периимплантатных тканей, что проявляется снижением глубины зондирования на 20,0%, кровоточивости на 75% и индекса гигиены на -40%. Точность имплантации напрямую влияет на эффективность ортопедического этапа, обеспечивая повышение совпадения оси имплантата с ортопедической конструкцией до 90,0% и снижение необходимости коррекций более чем в 2 раза. Комплексное использование ИИ и навигационных шаблонов повышает предсказуемость и клиническую эффективность дентальной имплантации и может рассматриваться как перспективное направление развития современной стоматологии.

Ключевые слова: дентальная имплантация, маргинальная костная резорбция, периимплантатные ткани, искусственный интеллект, навигационная хирургия, ортопедический этап.

Annotatsiya. Tadqiqot maqsadi: sun'iy intellekt (SI) yordamida raqamli rejalashtirish va navigatsion jarrohlik shablonlaridan foydalanish orqali erishilgan dental implantlarni joylashtirish aniqligining biologik barqarorlikka, peri-implant to'qimalarining holatiga hamda implantatsion davolashning funksional-estetik natijalariga ta'sirini kompleks baholash.

Materiallar va usullar: tadqiqot qisman adentiya bilan og'rigan 60 nafar bemor ishtirokida o'tkazildi. I guruhda (n=30) RealGuide dasturiy ta'minoti va navigatsion shablonlardan foydalangan holda raqamli rejalashtirish qo'llanildi, II guruhda (n=30) esa

standart davolash protokoli qo‘llanildi. Biologik barqarorlik 3, 6 va 12 oy muddatlarda konus-nurli kompyuter tomografiyasi (KKT) ma’lumotlari asosida marginal suyak to‘qimasidagi o‘zgarishlar dinamikasini tahlil qilish orqali baholandi. Qo‘shimcha ravishda peri-implant to‘qimalarining holati zondlash chuqurligi, zondlash vaqtida qonash va gigiyena indeksi bo‘yicha baholandi. Funksional-estetik natijalar davolashning ortopedik bosqichida baholandi.

Xulosa: sun’iy intellekt yordamida rejalashtirishdan foydalanish implantlarni joylashtirish aniqligining oshishiga va kuzatuvning birinchi yilida marginal suyak rezorbsiyasining 45% ga kamayishiga olib keldi. Raqamli texnologiyalardan foydalanish peri-implant to‘qimalarining holatini yaxshiladi, bu zondlash chuqurligining 20,0% ga, zondlash vaqtida qonashning 75% ga va gigiyena indeksining 40% ga kamayishi bilan namoyon bo‘ldi. Implantlarni joylashtirish aniqligi ortopedik bosqich samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatib, implant o‘qi bilan ortopedik konstruksiya o‘rtasidagi moslikni 90,0% gacha oshirdi hamda korreksion muolajalarga ehtiyojni ikki martadan ko‘proq kamaytirdi. Sun’iy intellekt va navigatsion shablonlardan kompleks foydalanish dental implantatsiyaning bashorat qilinuvchanligi va klinik samaradorligini oshiradi hamda zamonaviy stomatologiyaning istiqbolli yo‘nalishi sifatida qaralishi mumkin.

Kalit so‘zlar: dental implantatsiya, marginal suyak rezorbsiyasi, peri-implant to‘qimalari, sun’iy intellekt, navigatsion jarrohlik, ortopedik bosqich.

Abstract. Research objective: to comprehensively evaluate the impact of dental implant positioning accuracy achieved through AI-assisted digital planning and navigational surgical templates on biological stability, peri-implant tissue condition, and the functional and aesthetic outcomes of implant treatment.

Materials and methods: the study included 60 patients with partial edentulism. In Group I (n=30), digital planning was performed using RealGuide software and navigational templates, whereas Group II (n=30) received a standard treatment protocol. Biological stability was assessed by analyzing the dynamics of changes in marginal bone tissue based on cone-beam computed tomography (CBCT) data at 3, 6, and 12 months. In addition, peri-implant tissue condition was assessed according to probing depth, bleeding on probing, and the hygiene index. Functional and aesthetic outcomes were evaluated at the prosthetic stage of treatment.

Conclusion: the use of AI-assisted planning to improve implant positioning accuracy resulted in a 45% reduction in marginal bone resorption during the first year of follow-up. The use of digital technologies improved peri-implant tissue condition, as demonstrated by a 20.0% reduction in probing depth, a 75% reduction in bleeding on probing, and a 40% reduction in the hygiene index. Implant positioning accuracy directly influenced the effectiveness of the prosthetic stage, increasing the correspondence between the implant axis and the prosthetic restoration to 90.0% and reducing the need for corrective procedures by more than twofold. The combined use of AI and navigational templates improves the predictability and clinical effectiveness of dental implant treatment and may be considered a promising direction in modern dentistry.

Keywords: dental implantation, marginal bone resorption, peri-implant tissues, artificial intelligence, navigational surgery, prosthetic stage.

В последние годы дентальная имплантология характеризуется стремительным внедрением цифровых технологий, направленных на повышение точности, предсказуемости и биологической безопасности лечения. Одним из ключевых факторов, определяющих долгосрочный успех имплантации, является точность позиционирования имплантата, поскольку даже минимальные отклонения от запланированного положения способны приводить к нарушению распределения функциональной нагрузки, развитию

микротравмы костной ткани и формированию воспалительных изменений в периимплантатной зоне.

Согласно современным представлениям, физиологическая ремоделировка костной ткани после установки имплантата сопровождается умеренной маргинальной резорбцией, которая в норме не превышает 0,2-0,5 мм в первые 6 месяцев и до 1,0 мм в течение первого года функционирования. Однако при нарушении пространственной ориентации имплантата и отклонении от принципов протезно-ориентированного планирования данный показатель может увеличиваться на 40-80%, что негативно отражается на стабильности остеоинтеграции и увеличивает риск развития периимплантита [8,4].

Патогенетической основой данных процессов является комплексное взаимодействие биомеханических и микроциркуляторных факторов. Избыточная нагрузка в зоне шейки имплантата приводит к формированию участков гиперкомпрессии и ишемии, сопровождающихся нарушением микроциркуляции, снижением перфузии тканей и активацией остеокластической резорбции. В условиях эндотелиальной дисфункции, которая может наблюдаться у пациентов с метаболическими нарушениями, данные изменения приобретают более выраженный характер, что подчёркивает необходимость обеспечения максимальной точности хирургического этапа имплантации [10,7].

Особое значение в формировании благоприятного клинического прогноза имеет состояние периимплантатных мягких тканей. Глубина зондирования, уровень кровоточивости при зондировании и индекс гигиены являются важными клиническими маркерами, отражающими степень воспалительной реакции и устойчивость мягкотканного барьера. Установлено, что увеличение глубины зондирования более 3 мм и повышение индекса кровоточивости более 15% ассоциируются с повышенным риском развития периимплантита и нарушением долгосрочной стабильности имплантатов [6,9].

Внедрение цифровых технологий, включая использование программных платформ планирования, таких как RealGuide, а также применение навигационных хирургических шаблонов, позволяет существенно повысить точность позиционирования имплантатов. Дополнительное использование алгоритмов искусственного интеллекта обеспечивает автоматизированный анализ КЛКТ-данных, сегментацию анатомических структур и оптимизацию положения имплантата с учётом ортопедических и биомеханических требований [1,5].

Важным аспектом является влияние точности имплантации на последующие этапы лечения, включая ортопедическую реабилитацию. Несоответствие положения имплантата протезному плану приводит к необходимости использования индивидуальных или угловых абатментов, увеличению числа лабораторных этапов и снижению эстетических показателей. В свою очередь, высокая точность позиционирования обеспечивает реализацию протезно-ориентированного подхода, улучшает профиль прорезывания, снижает ретенцию зубного налёта и способствует формированию стабильного десневого контура [1,2].

Несмотря на активное развитие цифровых технологий, вопрос комплексной оценки влияния точности имплантации на биологические, функциональные и эстетические результаты лечения остаётся недостаточно изученным. В частности, требует уточнения степень взаимосвязи между точностью позиционирования имплантатов, уровнем маргинальной костной резорбции, состоянием периимплантатных тканей и показателями ортопедического этапа лечения.

В связи с этим целью настоящего исследования явилась комплексная оценка влияния точности позиционирования дентальных имплантатов, достигнутой при

использовании ИИ-ассистированного цифрового планирования и навигационных хирургических шаблонов, на биологическую стабильность, состояние периимплантатных тканей и функционально-эстетические результаты имплантационного лечения.

Материалы и методы. Исследование выполнено с участием 60 пациентов с частичной адентией. В группе I (n=30) применялось цифровое планирование с использованием программного обеспечения RealGuide и навигационных шаблонов, в группе II (n=30) - стандартный протокол лечения.

Оценка биологической стабильности включала анализ динамики маргинальной костной ткани по данным КЛКТ в сроки 3, 6 и 12 месяцев. Дополнительно проводилась оценка состояния периимплантатных тканей (глубина зондирования, кровоточивость при зондировании, индекс гигиены). Функционально-эстетические результаты оценивались на ортопедическом этапе лечения.

Результаты и их обсуждение. Анализ динамики маргинальной костной ткани показал, что в обеих группах наблюдалась физиологическая резорбция, однако её выраженность существенно различалась.

Таблица 1. Динамика убыли маргинальной костной ткани (мм, M±SD)

Срок наблюдения	Группа I (ИИ + навигация), мм	Группа II (стандарт), мм
3 месяца	0,22 ± 0,09**	0,38 ± 0,12
6 месяцев	0,36 ± 0,10**	0,63 ± 0,16
12 месяцев	0,48 ± 0,15***	0,88 ± 0,23

Примечание. Данные представлены в виде M±SD. ** - p<0,01; *** - p<0,001. Показатели отражают уровень маргинальной костной резорбции (мм).

Снижение костной резорбции в основной группе составило 42,1% через 3 месяца, 42,9% через 6 месяцев и 45,5% через 12 месяцев (p<0,01-0,001), что свидетельствует о более стабильной остеоинтеграции.

Анализ состояния периимплантатных тканей показал, что в основной группе показатели были ближе к физиологической норме (контроль: глубина зондирования 1,8±0,3 мм; BOP 3,3%; OHI-S 0,6±0,2). Глубина зондирования в основной группе снижалась до 1,9±0,3 мм к 12 месяцам, тогда как в группе сравнения сохранялась на уровне 2,4±0,4 мм (p<0,01). Кровоточивость снижалась до 3,3% против 10,0% (p<0,05), индекс гигиены - до 0,6±0,2 против 1,0±0,3 (p<0,05).

Функционально-эстетические результаты также были статистически значимо выше в основной группе. Совпадение оси имплантата с ортопедической конструкцией достигало 90,0% против 73,3%, необходимость ортопедических корректировок снижалась с 26,7% до 10,0%, а окклюзионные интерференции - с 20,0% до 6,7% (p<0,05). Высокий эстетический результат и удовлетворённость пациентов составили 93,3% против 80,0%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что повышение точности позиционирования имплантатов обеспечивает более равномерное распределение функциональной нагрузки, снижает воспалительные изменения и способствует сохранению маргинальной костной ткани.

Выводы. Повышение точности позиционирования имплантатов при использовании ИИ-ассистированного планирования приводит к снижению маргинальной костной резорбции на 45% в течение первого года наблюдения.

Применение цифровых технологий обеспечивает улучшение состояния периимплантатных тканей, что проявляется снижением глубины зондирования на 20,0%, кровоточивости на 75% и индекса гигиены на -40%.

Точность имплантации напрямую влияет на эффективность ортопедического этапа, обеспечивая повышение совпадения оси имплантата с ортопедической конструкцией до 90,0% и снижение необходимости коррекций более чем в 2 раза.

Комплексное использование ИИ и навигационных шаблонов повышает предсказуемость и клиническую эффективность дентальной имплантации и может рассматриваться как перспективное направление развития современной стоматологии.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апресян С.В., Степанов А.Г., Варданян Б.А. Цифровой протокол комплексного планирования лечения с применением дентальных имплантатов // Стоматология. - 2021. - Т. 100, №6. - С. 45-52.
2. Закаев Ч.Т., Гаджиева М.А., Курбанов С.Х. Компьютерная навигация в хирургии дентальной имплантации: обзор и перспективы // Клиническая стоматология. - 2023. - №2. - С. 30-37.
3. Khaohoen A., Yodsuwan R., Sirimaharaj V. Accuracy of static, dynamic and robotic computer-assisted implant surgery: systematic review // BMC Oral Health. - 2024. - Vol. 24, No. 1. - P. 77.
4. Pellegrino G., Taraschi V., Andrea P., Ferri A. Dynamic navigation in implant dentistry: systematic review and meta-analysis // International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. - 2021. - Vol. 36, No. 6. - P. e121-e140.
5. Sanz M., Cecchinato D., Ferrus J., Pjetursson B.E. Soft tissue management at implant sites // Clinical Oral Implants Research. - 2021. - Vol. 32, Suppl 21. - P. 157-165.
6. Shi Y., Wang J.K., Ma C., Shen J., Dong X., Lin D. A systematic review of the accuracy of digital surgical guides for dental implantation // International Journal of Implant Dentistry. - 2023. - Vol. 9, No. 1. - Article 38.
7. Tahmaseb A., Wismeijer D., Coucke W., Derksen W. The accuracy of static computer-aided implant surgery: a systematic review and meta-analysis of clinical studies // Clinical Oral Implants Research. - 2018. - Vol. 29, Suppl 16. - P. 416-435.
8. Wismeijer D., Joda T., Degidi M., Wittneben J.G., Wennerberg A. Group 5 ITI Consensus Report: Digital technologies // Clinical Oral Implants Research. - 2018. - Vol. 29, Suppl 16. - P. 426–432.
9. Xu Z., Wang F., Huang X. Accuracy of dental implant placement using different guidance modalities // NPJ Digital Medicine. - 2024. - Vol. 7. - P. 65.
10. Yu X., Zhou X., Wu Y., Li J. Accuracy of dynamic navigation for dental implant placement: systematic review // Journal of Dentistry. - 2023. - Vol. 137. - P. 104917.