

А.В. Иващенко<sup>1</sup>, А.Е. Яблоков<sup>2</sup>, Е.И. Баландин<sup>3</sup>,  
В.П. Тлустенко<sup>2</sup>, Я.Э. Антонян<sup>4</sup>

## Методики позиционирования дентальных имплантатов

<sup>1</sup>Инновационный стоматологический центр, Самара

<sup>2</sup>Самарский государственный медицинский университет, Самара

<sup>3</sup>Медицинский университет «Реавиз», Самара

<sup>4</sup>Стоматологическая поликлиника №2 Промышленного района, Самара

**Резюме.** Анализируются современные методики позиционирования дентальных имплантатов. Установлено, что длительность функционирования дентальных имплантатов зависит от точности их позиционирования. Выявлены особенности влияния человеческого фактора на результаты установки дентальных имплантатов. Показано, что методика «свободной руки» является наиболее неточным методом. Точность механических устройств накладывает отпечаток на результаты дентальной имплантации. В целом усовершенствование методик позиционирования имплантатов шло по пути устранения негативного влияния человеческого фактора на результаты операции. Для этого был предложен ряд механических устройств и методов, направленных на приближение результата операции к дооперационному плану. Таким образом, развитие методов позиционирования дентальных имплантатов прошло путь от методики «свободной руки» до роботизированных систем. Дентальные навигационные платформы развивались по пути совершенствования конструкции и повышения точности позиционирования имплантатов. В последние годы отмечается резкое замедление темпов развития дентальных навигационных систем и увеличивается количество применения роботизированных систем для установки дентальных имплантатов. При этом роль врача-имплантолога постепенно отходит на второй план, уступая главенствующее место роботизированным системам, превосходящим человека в точности позиционирования дентальных имплантатов. В целом применение механических и роботизированных устройств при дентальной имплантации позволяет добиться наилучшего результата в сравнении с методикой «свободной руки».

**Ключевые слова:** навигационная система, дентальная имплантация, позиционирование имплантата, видеотрекер, методика «свободной руки», врач-имплантолог, роботизированные системы, параллелометр.

В процессе позиционирования дентальных имплантатов применяют различные методики: классическую методику «свободной руки»; позиционирование имплантатов с применением механических устройств; установку имплантатов с использованием хирургических шаблонов, изготовленных различными способами; установку с использованием цифровых навигационных систем, а также применение полуавтоматических и роботизированных систем.

Методика «свободной руки» основана на визуальной оценке клинической ситуации и опыте врача-имплантолога. При её использовании возможны ошибки, обусловленные влиянием человеческого фактора. Серьёзным недостатком этой методики является расхождение плана оперативного вмешательства и полученного результата. Врач-имплантолог планирует будущую имплантацию, проводя клинический анализ компьютерно-томографического (КТ)-снимка, определяя место, размер и позицию будущего имплантата. Известно, что при применении данной методики ось установленного имплантата может отличаться от запланированной в среднем на  $22^{\circ}7'$  [6]. Отхождение от плана операции часто приводит к осложнениям, среди которых встречаются перфорация дна гайморовой пазухи, повреждение нижнелучкового нерва и др. [4].

Несмотря на серьёзные недостатки, методика «свободной руки» остаётся самой распространённой в клинической практике.

Усовершенствование методик позиционирования имплантатов шло по пути устранения негативного влияния человеческого фактора на результаты операции [2]. Для этого был предложен ряд механических устройств и методов, направленных на приближение результата операции к дооперационному плану.

**Механические устройства.** Для решения задачи постановки имплантатов был предложен ряд механических устройств [7]. Первой попыткой улучшить результаты имплантации было применение механических стабилизаторов инструмента врача. Данный тип устройств представляет собой внутриротовые параллелометры. Эти устройства состоят из каппы, системы балок и поворотных механизмов. Они снижают случайные угловые отклонения рабочего инструмента врача-имплантолога и позволяют удерживать запланированную ось установки имплантата. Подобного типа приборы обеспечивают точность до  $10^{\circ}$ . Они применяются для параллельной установки нескольких имплантатов. Процесс использования внутриротового параллелометра осуществляется в два этапа. Первый этап проводится в зуботехнической лаборатории и заключается в выборе оси

установки имплантата. На втором этапе с помощью лабораторного параллелометра производят анализ и разметку на диагностической модели, выбирают направление введения имплантата. Затем по этим данным настраивают внутриротовой параллелометр, который устанавливают в полость рта, и производят установку имплантатов. Недостатками данных систем являлись ненадёжная фиксация устройства в полости рта, сложность и трудоёмкость в использовании из-за большого количества узлов регулировки. В связи с этим широкого распространения устройства данного типа не получили.

Дальнейшее развитие механических систем позиционирования имплантатов проходило по двум направлениям: применение навигационных шаблонов и дентальных навигационных платформ [1].

**Хирургические шаблоны.** В последние два десятилетия в дентальной имплантологии получили широкое распространение хирургические шаблоны [3]. Шаблоны развивались по пути от простых, изготовленных ручным способом зубным техником (зуботехнические имплантационные шаблоны) в зуботехнической лаборатории, до современных, изготовленных CAD/CAM-системами [6].

**Зуботехнический имплантационный шаблон.** Первые имплантационные шаблоны изготавливались в зуботехнической лаборатории и представляли собой аналог усечённой части съёмного протеза. В зуботехнической лаборатории техник на гипсовой модели изготавливает базис протеза на месте будущей имплантации. В соответствии с дефектом зубной техник выбирает форму и размер будущих зубов, позиционирует их на базисе протеза. На лабораторном параллеломере в соответствии с продольной осью рядом стоящих зубов техник выбирает ось установки имплантатов и производит сверление канала сквозь искусственные зубы вдоль выбранной оси. В получившийся канал техник неподвижно устанавливает титановые втулки. Далее шаблон передается имплантологу, который проводит сверление ложа под имплантат через титановые втулки. При использовании таких шаблонов не требуется внутрикостных фиксирующих элементов, приводящих к дополнительной травме. Такой шаблон прост в изготовлении и использовании, однако имеет существенный недостаток – нестабильную фиксацию в полости рта, что снижает точность установки имплантата [1].

Возможность использования данных КТ-исследований в изготовлении хирургических шаблонов появилась с внедрением в стоматологическую практику CAD/CAM-систем [3]. Форма будущего шаблона определяется на трёхмерной модели КТ-снимка. По окончании этапа проектирования полученная 3D-модель хирургического шаблона передаётся на станок для дальнейшего его изготовления. Наиболее распространёнными способами CAM-изготовления являются способ прототипирования (стереолитография) и фрезерования в станке с числовым программным управлением.

Преимуществами вышеописанных способов являются высокая точность изготовленного шаблона (0,016 мм) и полное отсутствие ручного труда. Однако, несмотря на высокую точность изготовления шаблона в CAD/CAM-системах, существует проблема их позиционирования в полости рта.

В зависимости от способа фиксации, хирургические шаблоны разделяются на шаблоны с фиксацией на кость, с опорой на слизистую оболочку полости рта и с опорой на зубы и слизистую оболочку [8]. Самым надёжным способом фиксации хирургического шаблона является его фиксация на кость. При этом способе производится мобилизация слизистой оболочки полости рта, на открывшуюся костную часть альвеолярного гребня устанавливается шаблон, который неподвижно фиксируется вспомогательными винтами к кости. Однако данный способ требует обширного вскрытия слизистой оболочки, что увеличивает радикализм хирургического вмешательства, удлиняет оперативное вмешательство и провоцирует больший процент послеоперационных осложнений.

При применении различных видов шаблонов запланированное и фактическое расположение имплантата почти всегда отличаются друг от друга [9]. Погрешности при работе с шаблонами могут возникнуть и на этапе сверления воспринимающего ложа под имплантат. В процессе формирования предварительной лунки пилотным сверлом за счёт разницы диаметров сверла и втулки между ними возникает люфт, в результате ось втулки шаблона не совпадает с осью сверления пилотным сверлом.

При изготовлении шаблонов могут возникать погрешности в связи с ошибками КТ-сканирования. При томографическом исследовании всегда имеет место подвижность пациента, которую нельзя исключить. В связи с этой подвижностью возникает погрешность снимка, которая носит название «механического артефакта». Другие погрешности возникают в связи с особенностями самого рентгенологического обследования и включают артефакты, связанные с геометрией, плотностью изучаемых тканей и пороговыми значениями.

**Навигационные платформы (станции).** Научное направление по созданию дентальных навигационных платформ развивается в течение последних двадцати лет. За этот период появилось большое количество сообщений, описывающих компьютерные навигационные системы установки имплантатов. Применение навигационного оборудования снижает травматичность и количество послеоперационных осложнений. Отличие цифровых навигационных систем заключается в использовании виртуальных диагностических моделей (полученных на основе КТ-исследования и т.д.) с «живой» топографией анатомической области и точном отслеживании движений инструмента в реальном масштабе времени.

Данный вид систем позиционирования имплантатов позволяет связать в единый процесс планирование и непосредственно имплантацию, сведя все

вспомогательные операции в единую виртуальную среду, подконтрольную врачу-клиницисту. Навигационную платформу условно можно разделить на две составляющие: систему планирования и систему навигации. В системе планирования с помощью специализированных компьютерных алгоритмов производится планирование будущей имплантации в виртуальной среде на основе данных КТ. Система планирования под контролем врача-клинициста выбирает оптимальное расположение имплантата в кости. При этом учитывается множество факторов: антропометрическое строение черепа, тип костной ткани, форма, расположение и эстетические свойства будущей ортопедической реставрации. Результат такого планирования служит основой для будущей операции по имплантации. Для воплощения результатов планирования операции по имплантации служит навигационная составляющая платформы. Данная система при помощи программно-аппаратных средств следит за ходом операции, направляя и подсказывая врачу точку и направление установки имплантата. Работа навигационных платформ способна сократить время имплантации, доведя его до одного посещения пациента, с установкой временного протеза в день обращения к врачу.

В.Н. Олесова и др.[5] указывают на наличие систем, использующих КТ-данные с возможностью компьютерной навигации в режиме реального времени. Подобное оборудование работает на основе IGS-технологии (видео-хирургия). Эти системы позволяют проводить дооперационное КТ-планирование дентальной имплантации и контролировать ее в реальном времени на экране монитора во время операции. В литературе встречается несколько типов таких устройств, основанных на инфракрасных или оптических стереокамерах.

К ним относится устройство «Navident®», работающее по принципу «роботизированного зрения». Оно состоит из двух и более оптических инфракрасных стереокамер, закреплённых на штативе. До проведения имплантации КТ-снимок загружается в систему «LapDoc». Врач производит виртуальное планирование места установки имплантата и выбирает необходимый имплантат из виртуальной библиотеки. После окончания планирования полученные данные загружают в устройство для проведения имплантации. До операции в зуботехнической лаборатории изготавливают пластмассовую U-образную каппу по форме зубного ряда. На каппе в проекции фронтальных зубов фиксируют «stylus», на котором укрепляют активные или пассивные «видеотрекеры» (небольшие сферы для проведения видеослежения, покрытые краской, отображаемой только в инфракрасном спектре света). Операционную каппу неподвижно устанавливают на зубной ряд пациента. На рукоятку наконечника физиодиспенсора неподвижно устанавливают «stylus», содержащий пассивные или активные «видеотрекеры» (размером от 3 до 5 мм). Штатив располагают рядом с операционным местом для обеспечения визуального

контроля установки имплантатов. Важным условием работы данных систем является обязательное расположение «видеотрекеров» в поле видимости видеокамер. При нарушении данного условия системы указывают на недопустимый режим работы. В таком случае врачу необходимо найти позицию «видеотрекеров», при которой машинное зрение видит их. Это удлиняет ход операции и может осложнить работу врача-имплантолога. Для калибровки стоматологического инструмента относительно операционного поля сопоставляют хирургическую фрезу с каппой, и с этого момента система считает такое положение челюсти и наконечника эталонным. Любые поступательные и угловые перемещения наконечника относительно челюсти считаются устройством как движение, при этом вычисляются координаты положения наконечника относительно челюсти. Точность детектирования динамических перемещений наконечника и челюсти составляет 0,6–1 мм. К системам, использующим инфракрасные видеокамеры, также относятся «MonaDent®» и «RoboDent®». Эти системы отслеживают положение инструмента относительно головы пациента и позволяют врачу оценивать ход операции в режиме реального времени.

Главным преимуществом навигационных станций перед другими способами позиционирования имплантатов является замкнутость всей технологической цепочки операции на враче. Врач, получая КТ-снимок, самостоятельно планирует ход операции и реализует его с помощью навигационной станции. При этом не требуется привлечение САМ-систем, квалифицированных техников и расхода дорогостоящего материала. Главный недостаток дентальных навигационных платформ – это их высокая стоимость и, как результат, недоступность большинству врачей-имплантологов.

Следующим шагом в развитии навигационных станций является появление полностью автоматических хирургических систем. В последние годы в литературе отмечаются единичные сообщения о внедрении навигационных платформ с роботизированными манипуляторами в стоматологическую практику. В таких системах разработчики объединили роботизированное зрение и автоматический манипулятор в единую хирургическую систему. Эта система проводит операцию по установке имплантата в автоматическом режиме по разработанному врачом предоперационному протоколу. Перед установкой имплантатов врач планирует место, глубину и угол установки имплантата. По получившейся позиции имплантата программная среда строит карту движений механической руки в виде G-кода. Траектория движений загружается в память робота, и он приступает к работе. Во время операции роботизированный манипулятор автоматически формирует костной фрезой воспринимающее ложе под имплантат, а на завершающем этапе устанавливает его. За всем процессом установки имплантата наблюдает роботизированное зрение, которое корректирует движение манипулятора.

Таким образом, развитие методов позиционирования дентальных имплантатов прошло путь от методики «свободной руки» до роботизированных систем. Дентальные навигационные платформы развивались по пути совершенствования конструкции и повышения точности позиционирования имплантатов. В последние годы отмечается резкое замедление темпов развития дентальных навигационных систем и увеличивается количество применения роботизированных систем для установки дентальных имплантатов. При этом роль врача-имплантолога постепенно отходит на второй план, уступая главенствующее место роботизированным системам, превосходящим человека в точности позиционирования дентальных имплантатов.

### Литература

1. Аванесов, А.М. Хирургические направляющие шаблоны как инновационный инструмент оптимизации импланто-ортопедического лечения / А.М. Аванесов, Ю.Г. Седов, З.И. Ярулина // Евразийский союз ученых. – 2014. – № 4. – С. 153–154.
2. Иващенко, А.В. Экспериментальное обоснование использования навигационной системы в дентальной имплантологии / А.В. Иващенко [и др.] // Росс. стомат. журн. – 2014. – № 6. – С. 12–14.
3. Ильин, Д.В. Применение хирургических шаблонов в дентальной имплантации / Д.В. Ильин // Бюл. мед. интернет-конф. – 2013. – Т. 3, № 3. – С. 13–14.
4. Нечаева, Н.К. Осложнения дентальной имплантации / Н.К. Нечаева // Воен. мед. журн. – 2009. – № 3. – С. 39–41.
5. Олесова, В.Н. Компьютерное планирование внутрикостной дентальной имплантации / В.Н. Олесова [и др.] // Стоматология. – 2011. – № 2. – С. 43–48.
6. Потапов, И.В. Обоснование использования навигационной системы в дентальной имплантологии / И.В. Потапов [и др.] // Институт стоматологии. – 2014. – № 4. – С. 83–85.
7. Хабиев, К.Н. Методы решения неправильного позиционирования имплантата / К.Н. Хабиев // Дентальная имплантология и хирургия. – 2013. – № 3 (12). – С. 148–150.
8. Юдин, П.С. Немедленная имплантация с непосредственной нагрузкой на нижней челюсти с использованием хирургического шаблона и временной реставрации / П.С. Юдин [и др.] // Росс. вестн. дентальной имплантологии. – 2013. – № 2 (28). – С. 54–61.
9. Schneider, D.A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry / D. Schneider [et al.] // Clin. Oral Implants Res. – 2009. – Vol. 20. – P. 73–86.

A.V. Ivashchenko, A.E. Yablokov, E.I. Balandin, V.P. Tlustenko, Yu.E. Antonyan

### Techniques for dental implants positioning

**Abstract.** The modern techniques for dental implants positioning are analyzed. It is established that the duration of dental implants functioning depends on the accuracy of their positioning. The peculiarities of the influence of the human factor on the results of the installation of dental implants are revealed. It is shown that the «free hand» technique is the most inaccurate method. The accuracy of mechanical devices leaves an imprint on the results of dental implantation. Overall, the improvement of implant positioning techniques went along the way of eliminating the negative influence of the human factor on the results of the operation. For this purpose, a few mechanical devices and methods were proposed to approximate the result of the operation to the preoperative plan. Thus, the development of methods for positioning dental implants has gone from the «free hand» technique to robotic systems. Dental navigation platforms evolved along the path of improving the design and increasing the accuracy of implant positioning. In recent years there has been a sharp slowdown in the development of dental navigation systems and an increasing number of applications of robotic systems for the installation of dental implants. At the same time, the role of the implantologist gradually fades into the background, giving way to the dominant role for robotic systems that exceed the accuracy of the positioning of dental implants. In general, the use of mechanical and robotic devices in dental implantation makes it possible to achieve the best result in comparison with the «free hand» technique.

**Key words:** navigation system, dental implant, implant positioning, video tracker, the method of «free hand», implantologist, robotic systems, parallelometer.

Контактный телефон: +7-917-940-81-08; e-mail: s1131149@yandex.ru