

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2014

УДК 616.314-007.4-073.585

Селектор О.Н.<sup>1</sup>, Осинцев А.В.<sup>2</sup>, Косырева Т.Ф.<sup>1</sup>**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЗУБОВ ПРИ ТОРТОАНОМАЛИИ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**<sup>1</sup>ГБОУ ВПО «Российский университет дружбы народов», 117198, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; <sup>2</sup>Научно-исследовательский ядерный университет МИФИ, 115409, г. Москва, Каширское ш., 31*Описана рабочая модель для изучения процесса перемещения зубов с помощью метода двухэкспозиционной голографической интерферометрии. Определены основные закономерности перемещения зубов при использовании нитиноловых дуг для нормализации положения ротируемого зуба.*

Ключевые слова: тортоаномалия; голографическая интерферометрия.

Selektor O.N.<sup>1</sup>, Osintsev A.V.<sup>2</sup>, Kosyрева T.F.<sup>1</sup>**DEFINITION OF TOOTH ROTATION BY HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY**<sup>1</sup>Peoples' Friendship University of Russia (117198, Moscow Miklukho-Maklaya str. 6); <sup>2</sup>National Research Nuclear University "MEPhI" (Kashirskoye shosse 31, Moscow, 115409, Russian Federation)*Described a working model for the study of tooth movement by using the double-exposure holographic interferometry. Obtained the basic laws of tooth movement using nitinol arch wires to normalize the situation rotate the tooth.*

Key words: tooth rotation, holographic interferometry.

Тортоаномалия – наиболее часто встречаемая аномалия положения зубов, в связи с чем возникает необходимость изучения процесса нормализации положения ротируемых зубов, а также его влияния на соседние зубы. В эксперименте для определения перемещений зубов использовали метод голографической интерферометрии, позволяющий определять величину и характер перемещений исследуемых зубов с высокой точностью. Этот метод часто применяют для решения задач в стоматологии [1–5].

**Материал и методы**

Экспериментальные исследования проводили на кафедре физики прочности Научно-исследовательского ядерного университета МИФИ и кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии Российского университета дружбы народов.

Для исследования был изготовлен стоматологический типодонт, состоящий из модели верхней челюсти, отлитой в силиконовой форме из пластмассы холодной полимеризации «Протакрил-М» с установленными в нее искусственными зубами и имитатором тканей периодонта. Корневую часть исследуемого зуба моделировали усеченным конусом в пересчете на среднюю площадь корней для данного зуба [6] (Патент на полезную модель № 2013131685/14(047352) от 29.08.2013).

На пластмассовые зубы фиксировали брекет-систему ортодонтическую дугу, исследуемый зуб устанавливали в положении тортоаномалии. Далее модель на жестком основании (рис. 1 на вклейке) фиксировали в оптической схеме голографического интерферометра.

Для регистрации голографических интерферограмм при изучении процессов восстановления ротируемых зубов с помощью различных брекет-систем использовали оптическую схему, показанную на рис. 2 на вклейке. Выбор этой схемы регистрации интерферограмм был обусловлен поставленной задачей регистрации углов наклона и поворота опорных и исследуемого зубов под действием силы ортодонтической дуги.

Это классическая двулучевая схема Лейта–Упатниекса в сходящихся пучках. Луч от источника когерентного излучения лазера 1 (ЛТН-402,  $\lambda = 0,530$  мкм, мощность 250 мВт) падает на светоделитель 2. Прошедший через него луч,

ражаясь от зеркала 3, меняет направление и расширяется микрообъективом 4, освещая объект исследования 5. Далее световая волна 6, отраженная от исследуемого объекта, падает на фотопластинку 7, образуя предметную волну. Отраженный от светоделителя 2 луч зеркалом 8 направляется на микрообъектив 9 и после его расширения образует опорную волну 10.

Регистрацию двухэкспозиционных голографических интерферограмм осуществляли на фотопластинки ВРП-03, время одной экспозиции – 10 с. Использование в качестве источника излучения мощного твердотельного лазера и высокочувствительных фотопластинок позволило существенно сократить время экспозиции и повысить качество регистрируемых интерферограмм.

Голографическая интерферометрия включает получение, наблюдение и интерпретацию интерференционных картин, образованных волнами, из которых по крайней мере одна записана и восстановлена голограммой. Наиболее распространенным методом получения голографических интерферограмм является метод двух экспозиций [7], который заключается в последовательной регистрации на одной фотопластинке двух голограмм различного состояния поверхности тела, например до и после ротации. Одновременно восстанавливаясь, волны, являющиеся копиями объектных волн, существовавших в разное время, интерферируют [8].

Одно из важнейших применений голографической интерферометрии связано с определением перемещений точек поверхности деформируемого тела (рис. 3 на вклейке). В отличие от обычной интерферограммы голографическая интерферограмма [9] несет информацию о полных векторах перемещений точек поверхности тела.

**Методика определения перемещений ротируемого и опорных зубов**

Для данной брекет-системы с использованием дуги 0,016" NiTi дуги и ротируемого зуба с углом поворота 45° осуществляли регистрацию голографических интерферограмм методом двойной экспозиции в следующем порядке:

- на модель верхней челюсти устанавливали пластмассовые зубы на воск, причем исследуемый зуб фиксировали с заданным углом поворота;

- модель верхней челюсти крепили на нагружающем устройстве и устанавливали в оптическую схему интерферометра;

- после выдержки 15–20 мин осуществляли регистрацию исходного состояния зубов верхней челюсти в исследуемой области (1-я экспозиция фотопластинки);

- при активации процесса восстановления тканей периодонта делали перемещение исследуемого зуба на заданную величину, которую выбирали по условию получения разрешимого количества интерференционных полос;

- после выдержки 10–15 мин осуществляли регистрацию ротации исследуемого зуба (2-я экспозиция фотопластинки);

- экспонированную фотопластинку подвергали фотохимической обработке и пересъемке.

На рис. 4, на вклейке представлена типичная картина интерференционных полос, характеризующая перемещение первого премоляра и соседних зубов.

Анализируя полученные картины голографических интерференционных полос, зарегистрированных при изучении перемещений исследуемых зубов на различных брекет-системах, можно сделать вывод о характере смещений ретированного и опорных зубов.

На зарегистрированных интерферограммах наблюдается практически одинаковая закономерность перемещения зубов. Вертикальный характер наблюдаемых интерференционных полос на исследуемых зубах свидетельствует об их повороте. На опорных зубах, как правило, имеются наклонные полосы, что говорит об их наклоне разного знака и частичном повороте в разные стороны. Опорные зубы имеют разные площади корней [6, 10], поэтому их перемещения различны.

Интерференционные картины представляют собой полосы равного шага и различной ориентации в плоскости экрана. В связи с этим можно считать, что в общем случае имеет место наклон  $\varphi$  изучаемого зуба относительно горизонтальной оси X и поворот  $\psi$  относительно вертикальной оси зуба Y.

Для пояснения алгоритма вычисления величин наклона и поворота зуба рассмотрим рис. 5 на вклейке.

Пусть ось X является горизонтальной осью, относительно которой осуществляется наклон восстанавливаемого зуба, проходящий через центр сил зуба, а ось Y – вертикальная ось, она же продольная ось зуба. Расположим систему координат в центре сил зуба.

На голографических интерферограммах, полученных при использовании различных брекет-систем разных групп зубов, наблюдаем практически прямые интерференционные полосы равного шага. Это подтверждает факт наклона опорных и исследуемого зубов и поворота относительно их продольной оси.

Аппроксимируем интерференционные полосы прямыми линиями (на рис. 5 на вклейке это белые пунктирные линии). Зная линейные размеры зубов и учитывая масштаб пересъемки изображения, можно определить шаг интерференционных полос вдоль оси X –  $S_x$  и шаг полос вдоль оси Y –  $S_y$ . Учитывая, что между ближайшими интерференционными полосами имеет место изменение оптической длины пути на  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  – длина волны когерентного источника излучения (в нашем случае  $\lambda = 0,53$  мкм), а оптическая схема интерферометра имеет вектор чувствительности практически параллельный вектору перемещений, мы будем иметь следующие формулы для определения величин наклонов  $\varphi$  и поворотов  $\psi$ :

$$\varphi = \lambda/2S_y$$

и

$$\psi = \lambda/2S_x$$

После обработки подобным образом голографических интерферограмм были получены величины наклонов  $\varphi$  и поворотов  $\psi$  зубов.

Использование метода голографической интерферометрии позволило достаточно просто определить величины углов наклона и поворота, однако открытым остался вопрос о направлении углов наклона и поворота, которые определялись исходя из расположения исследуемого зуба и характера изгиба нитиноловой дуги.

## Выводы

1. Создана рабочая модель, позволяющая изучать процесс перемещения зубов под действием ортодонтических дуг.

2. Для изучения перемещения исследуемых зубов успешно применялся метод двухэкспозиционной голографической интерферометрии.

3. Определены основные закономерности перемещения зубов при использовании нитиноловых дуг для нормализации положения ретированного зуба.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Франсон М. *Оптика спектров*: пер. с англ. Островского Ю.И., ред. М.: Мир; 1980.
4. Парунов В.А., Казиева К.О., Осинцев А.В., Лебеденко И.Ю. Оценка возможных деформаций каркасов металлокерамических зубных протезов на основе золота, спаянных сплавом-припоем Голпайдент (Супер-ВП), методом голографической интерферометрии. *Российский стоматологический журнал*. 2013; 1: 15–7.
6. Митчелл Л. *Основы ортодонтии*: пер. с англ. Малыгина Ю.М., ред. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2010.
7. *Голографические неразрушающие исследования*. Эрф Р.К., ред. М.: Машиностроение; 1979.
8. Вест Ч. *Голографическая интерферометрия*. М.: Мир; 1982.
9. Островский Ю.И., Щепинов В.П., Яковлев В.В. *Голографические интерференционные методы измерения деформаций*. М.: Наука; 1988.
10. Проффит У.Р. *Современная ортодонтия*: пер. с англ. Персина Л.С., ред. М.: МЕДпресс-информ; 2006.

## REFERENCES

1. Franson M. *Optics spectra*: translated from English under redits. Moscow: Mir; 1980 (in Russian).
2. Dermaut L.R., van der Bulcke M.M. Evaluation of intrusive mechanics of the type segmented arch on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry. *Am. J. Orthodont.* 1986; 89: 251–63.
3. Matsumoto T., Fujita T., Nagata R. et al. Measurement of deformations of teeth and mandibles due to guard occlusal forces. *Springer ser. optic. Sci.* 1979; 18: 70–6.
4. Parunov V.A., Kaziyeva K.O., Osintsev A.V., Lebedenko I.Yu. Assessment of possible deformations frameworks of metal-ceramic dental prostheses made of gold, welded alloy solder Golpaygani (Super-EAP), method of holographic interferometry. *Rossiyskiy stomatologicheskii zhurnal*. 2013; 1: 15–7 (in Russian).
5. Dortheide J., Hoyer H. Holografische schwingungsun tersuchungen am menschlichem senadell. *Unfallheilkunde*. 1981; 84: 345–9.
6. Mitchell L. *Fundamentals of orthodontics*. Lane from English. Ed. Yu.M. Malygin. Moscow: GEOTAR-Media; 2010 (in Russian).
7. *Holographic nondestructive examination*. Ed. Erf R.K. Moscow: Mashinostroeniye; 1979 (in Russian).
8. West Ch. *Holographic interferometry*. Moscow: Mir; 1982 (in Russian).
9. Ostrovskiy Yu.I., Schepinov V.P., Yakovlev V.V. *Holographic interference methods of measurement of deformations*. Moscow: Nauka; 1988 (in Russian).
10. Proffit U.R. *Modern orthodontics*. Lane from English. Ed. Persin L.S. Moscow: Medpress-inform; 2006 (in Russian).

Поступила 31.01.14  
Received 30.01.14