



УДК 621.373.

## ТЕРАГЕРЦОВЫЙ ИМИДЖИНГ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ В МЕДИЦИНЕ

*А.С. Никогосян<sup>1</sup>, М.Ю. Тунян<sup>2</sup>, М.А. Казарян<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Ереванский Государственный университет  
Республика Армения, 0025, Ереван, ул. Алека Манукяна, д. 1  
Тел.: (37410) 55-52-40, факс: (37410) 55-46-41, e-mail: info@ysu.am.

<sup>2</sup>Ереванский Государственный медицинский университет им М. Гераци  
Республика Армения, 0025, Ереван, ул. Корюна, д. 2  
Тел./факс: (+374 10) 58-25-32, e-mail: info@ysmu.am

<sup>3</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
119991 Москва, Ленинский пр., д. 53  
Тел.: +7-499-135-78-90, e-mail: kazarmishik@yahoo.com

Заключение совета рецензентов: 05.06.13 Заключение совета экспертов: 08.06.13 Принято к публикации: 10.06.13

Рассматривается возможность развития ТГц визуализирующей диагностики для разработки и внедрения приборного варианта и ускорения его применения в терапевтической хирургической и ортопедической стоматологии. Показана сравнительная медицинская и экологическая безопасность метода среди других аналогичных в лучевом отношении. Обсуждаются адекватные программы эпидемиологических исследований и диспансерных динамических наблюдений.

Ключевые слова: терагерцовое излучение, ТГц спектроскопия, ТГц имиджинг, диагностика в медицине, хирургическая и ортопедическая стоматология.

## THz WAVE IMAGING IN MEDICAL DIAGNOSTICS

*A.S. Nikogosyan<sup>1</sup>, M.Yu. Tunyan<sup>2</sup>, M.A. Kazaryan<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Yerevan State University  
1 A.Manukyan str., Yerevan, 0025, Armenia  
Tel.: (37410) 55-52-40, fax: (37410) 55-46-41, e-mail: info@ysu.am.

<sup>2</sup>Yerevan State Medical University after M. Geraci  
2 Koryun str., Yerevan, 0025, Armenia  
Tel./fax: (+374 10) 58-25-32, e-mail: info@ysmu.am

<sup>3</sup>P.N. Lebedev Physical Institute of RAS  
53 Leninsky ave., Moscow, 119991, Russia  
Tel.: +7-499-135-78-90, e-mail: kazarmishik@yahoo.com

Referred: 05.06.13 Expertise: 08.06.13 Accepted: 10.06.13

The possibility of the development of THz imaging diagnostics for the development and implementation of instrumentation options and accelerate its use in therapeutic, surgical and prosthetic dentistry is considered. Shows the relative health and environmental safety of the method, among other similar, in respect of the ray. The appropriate program of epidemiological research and dispensary observation are discussed.

Keywords: terahertz radiation; THz spectroscopy, THz imaging, diagnostics in medicine, surgical and orthopedic stomatology.

Роль рентгенологических исследований в современной медицине, наиболее часто в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, неуклонно растет. Параллельно тенденции к расширению применения лучевой диагностики увеличивается частота воздействия ионизирующего излучения на больных. Вследствие этого возникает необходимость разработки и внедрения в повседневную практику медицинских

клиник новых, неинвазивных визиографических методов исследования и оценки информативности этих методик [1, 2]. Неинвазивный визиографический метод необходимо использовать как для выявления и уточнения природы заболеваний, так и для определения результатов консервативного и хирургического лечения, оценки динамики течения патологических процессов и степени реконвалесценции [3, 4].

Если рентгеновское излучение применяется в медицине на протяжении десятков лет, то свойства ТГц излучения (диапазон электромагнитных волн между 100 ГГц и 30 ТГц) только в последнее десятилетие позволяют ему занять новую нишу в медицине. Это связано с тем, что энергия кванта ТГц излучения гораздо меньше, чем энергия кванта рентгеновского излучения. Вследствие этого ТГц излучения не создают ионизационной опасности для биологических тканей. Основным преимуществом ТГц диагностики является возможность визуализации исследуемого объекта посредством регистрации ее показателя преломления и поглощения в широком диапазоне частот, от гигагерц до десятков ТГц. Анализ данных этих измерений предоставляет информацию о химическом составе образца, о составе его поверхности и молекулярной структуре. Кроме этого, более короткие длины волн в спектре ТГц излучения обеспечивают большое пространственное разрешение.

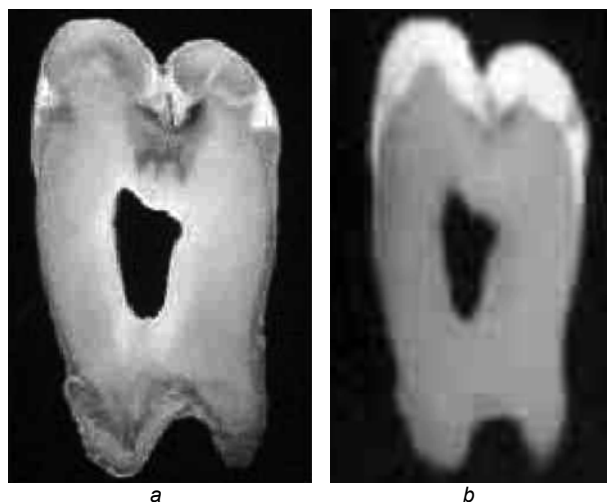
Определяя показания к исследованию методом неинвазивной ТГц визуализации подлежащих тканей различных отделов зубочелюстной системы, следует исходить из ряда факторов. В первую очередь, более 50% площади зубов при внешнем осмотре не видны и могут быть изучены только рентгенологически (рис. 1, *b*), что не исключает искажения изображения, не говоря уже о побочном действии рентгеновского ионизирующего излучения на организм в целом [5-9]

Изображение зуба на нескольких частотах ТГц излучения (измеренные в лабораторных условиях) показаны на рис. 2. Рисунок демонстрирует увеличение степени пространственного разрешения с увеличением частоты ТГц излучения, проходящего через зуб. Изображение четко разрешает области эмали и дентина, коронку и даже поверхность цементного слоя. Метод спектрального изображения зуба имеет следующие преимущества: во-первых [10], можно управлять пространственным разрешением, а во-вторых, классифицировать найденные несоответствия между зубом и соответствующими нарушениями в спектроскопических данных. Эта информация используется для отображения местоположения патологического процесса в образце. Механизмы, влияющие на контраст, в основном связаны с изменением комплексного показателя преломления (коэффициент поглощения и показатель преломления), с частотой. Они четко определяют области различных содержаний в тканях зуба.

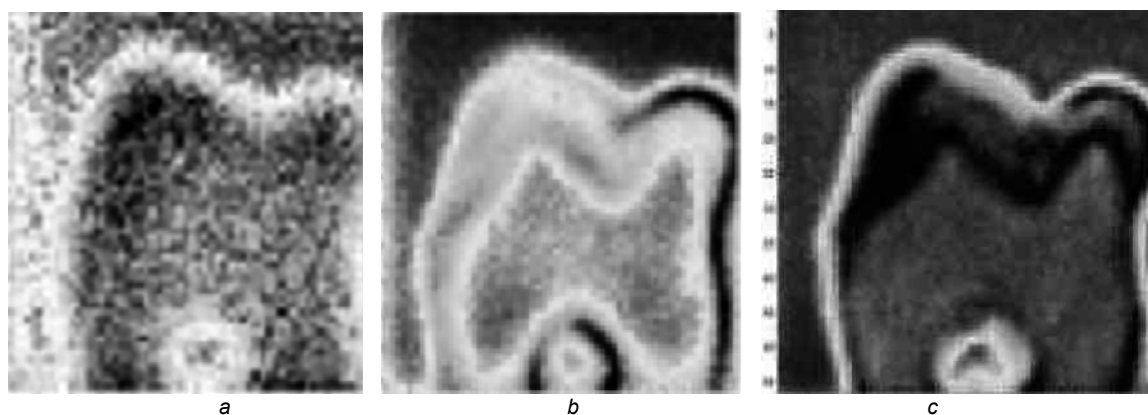
Следует отметить, что диапазон изменения сигнала, обеспечивающего контрастность изображения между различными областями здорового зуба и различными тканями зуба, как правило, небольшой и обычно находится в пределах 10-20%. Это, однако, является достаточным для достижения высокого качества резкого ТГц изображения, особенно на высоких частотах (рис. 2, *c*). Спектральный диапазон ТГц частот, используемый для получения изображения, зависит от выбора ТГц источника и может простирается на несколько десятков ТГц [11].



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



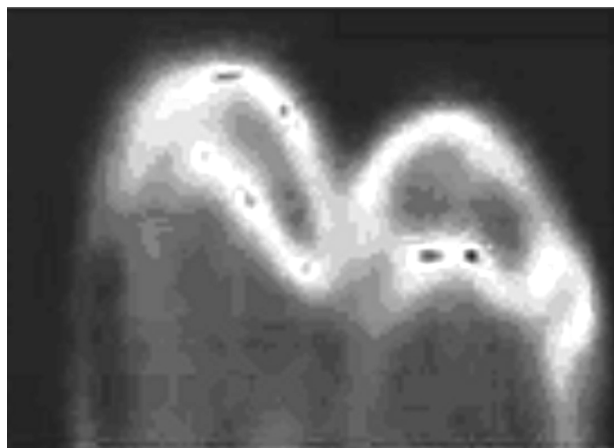
**Рис. 1.** Фотография среза зуба (*a*) и его рентгеновское изображение с высоким разрешением (*b*)  
**Fig. 1.** The photograph of the tooth section (*a*) and its X-ray diagram with high resolution (*b*)



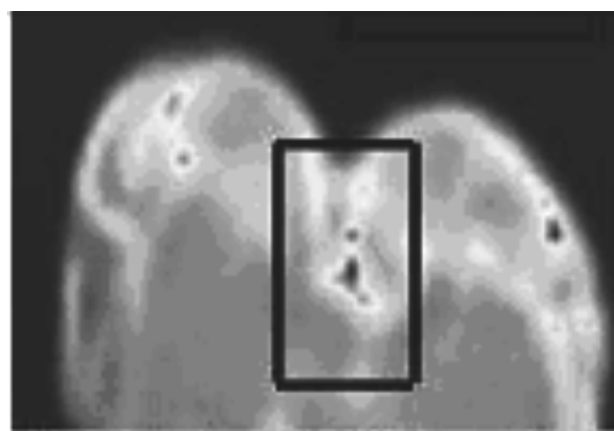
**Рис. 2.** Изображение здорового зуба на частотах 0,21 ТГц (*a*); 0,6 ТГц (*b*) и 1,49 ТГц (*c*).  
 Число пикселей 56х56, величина пикселя 180 мкм

**Fig. 2.** Images of a healthy tooth displayed for several frequencies: 0.21 THz (*a*), 0.6 THz (*b*) and 1.49 THz (*c*).  
 The number of pixels 56×56, the pixel size is 180 μm

Изображения, полученные от зуба с кариесом, показаны на рис. 3. В этом случае мы наблюдаем поразительный результат – полосу поглощения в спектре ТГц излучения [12] (в пределах определенной полосы частот) в районе, пострадавшем от кариеса, с сильным пространственным разрешением (сравните ТГц изображения на рис. 3, *a, b* с цифровым фото рис. 1, *a*). Локализацию кариеса в ТГц изображении можно обнаружить только в пределах этого диапазона частот. Любопытно, что рентгеновское изображение с высоким разрешением едва показывает любые аномалии в этой области (рис. 1, *b*).



*a*



*b*

**Рис. 3.** Изображения зуба с выявленными аномалиями: диаграммы (а) и (b) показывают ТГц визуализацию на двух частотах: 0,64 ТГц и 1,065 ТГц соответственно: здесь размер изображения 80×115, а размер пикселя 100 мкм. Прямоугольная рамка на диаграмме *b* выделяет место патологии, т.е. кариеса

**Fig. 3.** Images of a tooth with detected abnormality: the diagrams (a) and (b) show THz images at two frequencies, 0.64 THz and 1.065 THz respectively: here the image size is 80×115, the pixel size is 100 μm. The rectangular frame in the diagram (b) surround the spot of abnormality – caries

Из экспериментальных данных следует, что при низких частотах, до 0,5 ТГц, патология в тканях зуба не обнаруживается [12]. В полосе частот с шириной ~ 0,7 ТГц, расположенной около частоты 1 ТГц, по-

глощение ТГц излучения становится существенным в связи с наличием кариеса. Отметим, что в том же зубе рентгеновский снимок никаких признаков для обнаружения кариеса не показывает. Эти результаты дают ясное доказательство высокого диагностического эффекта ТГц-спектральной техники визуализации и ее превосходства перед рентгеновской диагностикой. Изображение, полученное с помощью регистрации ТГц излучения, прошедшего через объект, в нашем случае через зуб, предоставляет огромное количество данных о конкретных характеристиках зуба: спектральный и химический состав, структуру и состав ткани, различные виды патологии тканей.

Таким образом, методика ТГц визуализации позволяет с высокой степенью достоверности исследовать самое распространенное заболевание твердых тканей зубов – кариес. Она выявляет аппроксимальные и поддесневые кариозные поражения, развитие вторичного кариеса под пломбами, вкладками, искусственными коронками. Она дает ценные в диагностическом отношении сведения о взаимоотношении кариозного дефекта и полости зуба, о глубине полости, что очень важно не только при фиссурном кариесе, но и при иных локализациях процесса.

Данные спектральной терагерцовой диагностики также облегчают осуществление всех видов лечебных процедур, выявляя состояние корневых каналов, наличие заместительного дентина. Она важна и для контроля качества эндодонтического лечения непосредственно в динамике инструментальной обработки каналов и их последующей полноценной obturации.

При осложнениях кариеса – пульпите и периодонтите – ТГц визуализация необходима для определения наличия характера и распространенности поражений периапикальной костной ткани. Следует учитывать, что периодонтит может развиваться и при частично витальном пульпите в отсутствие клинической картины пульпита. Следовательно, необходимо рекомендовать применение терагерцовой диагностики для изучения периодонта, так как это способствует выбору правильной тактики лечения осложненного кариеса.

Очевидно, что без предварительного ТГц исследования больного не может осуществляться достоверная диагностика заболевания тканей пародонта. Показанием к нему является не только детальная первичная диагностика, но и оценка результатов лечения и дальнейшего течения процесса в динамике, которая требует периодического ТГц визуализирующего контроля.

Исследование пораженных тканей в терагерцовом спектральном диапазоне должно широко использоваться в ортопедической стоматологии и ортодонтии для получения достоверных данных о состоянии протезного ложа, сохранившихся зубов, альвеолярных отростков, периапикальных тканей, пародонта, височно-нижнечелюстных суставов.



На основании данных ТГц визуализации пораженных тканей определяется возможность проведения дентальной имплантации при полной или частичной адентии и осуществляется контроль за состоянием костной ткани альвеолярных отростков челюстей в зоне имплантата, степень остеоинтеграции.

При ортодонтическом лечении, только на основании данных ТГц визуализации, может быть получено полное представление о состоянии временных молочных зубов, положении и степени прорезывания постоянных зубов, оценены и определены особенности формирования и гармоничность развития челюстей и всего лицевого скелета.

Метод ТГц изображения пораженного участка является важнейшим способом активного выявления скрытых очагов одонтогенной инфекции на ранних доклинических стадиях заболевания и в силу своей неинвазивности – безопасности может широко использоваться и в детской стоматологии.

В сферу внимания клинической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии входят травматические повреждения, воспалительные поражения, опухоли, опухолеподобные заболевания, кисты, деформации и системные поражения костей черепа. При всех перечисленных патологических состояниях метод ТГц изображения является ведущим способом уточненной первичной диагностики, при оценке эффективности лечебных мероприятий, полноты обратного развития процесса и его динамики, своевременного выявления осложнений. Все перечисленные заболевания и патологические состояния являются прямым показанием к тщательному динамическому и в ряде случаев неоднократному исследованию безопасным методом ТГц визуализации.

Даже краткий перечень показаний свидетельствует, что ТГц визуализация дополняет рентгенологические данные, без которых клинические исследования не могут считаться полными ни в одном из разделов стоматологии и, следовательно, в других областях медицины.

Таким образом, возможности ТГц визуализирующей диагностики являются основанием не только для разработки и внедрения прибора [12], но и ускорения

его применения в терапевтической, хирургической и ортопедической стоматологии и включение метода как наиболее безопасного в лучевом отношении в некоторые программы эпидемиологических исследований и диспансерных наблюдений.

### Список литературы

1. Аболмасов Н.Н. Системный подход к диагностике, комплексному лечению и профилактике заболеваний пародонта (Клинико-рентгенологическое исследование). Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. СПб., 2005. С. 37.
2. Васильев Л.Ю., Воробьев Ю.И., Трутень В.П. Лучевая диагностика в стоматологии. М.: Медика, 2007. С. 496.
3. Жулев Е.Н. Челюстно-лицевая ортопедическая стоматология. М., 2008.
4. Bhaskar S. Radiographic interpretation for the dentist. London, Toronto, St Louis, p.291, (1979).
5. Петрикас А.Ж., Малинин А.Н. Внутривитровые рентгеновские аппараты вчера и сегодня // Маэстро стоматол. 2002. 2.;7:С. 110-113.
6. Alattar M., Baughmann R., Collett W. A survey of panoramic radiographs for evaluation of normal and pathologic findings // Oral Surg. 1980. Vol. 50. P. 472-476.
7. Holland R., Valle G., Taintor J., Ingle J. Influence of bone resorption on endodontic treatment // Oral. Surg. 1983. Vol. 55, No. 2. P. 191-203.
8. O'Brien R. Dental radiography. Philadelphia, London, Toronto, 1982, p.195.
9. Poyton H.G. Pral radiology. London, p.396, (1982).
10. Crawley D., Longbottom C., Wallace V.P., Cole B., Arnone D., Pepper M. Three-dimensional terahertz pulse imaging of dental tissue // J. Biomed. Optics, 8, 303-30, (2003).
11. Han P.Y. and Zhang X.-C. Free-space coherent broadband terahertz time-domain spectroscopy // Meas. Sci. Technol. 12, 1747-1756, (2001).
12. Zinov'ev N.N., Nikoghosyan A.S. and Chamberlain J.M. Applications of Terahertz Spectral Imaging-Diagnostics in Dentistry // Proceedings of SPIE, V. 6257, Pp. 62570P1- 62570P8, (2006).

