DOI 10.37539/2949-1991.2026.46.11.004

Алиев Али Умаханович,
Кандидат медицинских наук, ассистент института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова»
Aliev Ali Umakhanovich,
Candidate of Medical Sciences, Assistant at the Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov

Геграев Руслан Алимович,
Ассистент института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова»
Gegraev Ruslan Alimovich,
Assistant at the Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov

Узденов Рустам Ахматович,
Ассистент института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова»
Uzdenov Rustam Akhmatovich,
Assistant at the Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov

Карданова Лариса Владимировна,
Кандидат медицинских наук, ассистент института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.Бербекова»
Kardanova Larisa Vladimirovna,
Candidate of Medical Sciences, Assistant at the Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov

Эристов Имирлан Хазретович , Ординатор, Ставропольский государственный медицинский университет
Eristov Imirlan Khazretovich**,** Physician Resident, Stavropol State Medical University

ПРИМЕНЕНИЕ СУЛЬФАТА БАРИЯ ПРИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ С МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИМИ ОРТОПЕДИЧЕСКИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ
APPLICATION OF BARIUM SULFATE IN RADIOLOGICAL EXAMINATION OF DENTAL PATIENTS WITH METAL-CONTAINING PROSTHETIC RESTORATIONS

Аннотация. В последние годы цифровые технологии занимают все более важное место в стоматологической практике. Широкое распространение получили конусно-лучевая

компьютерная томография (КЛКТ), внутриротовое сканирование и CAD/CAM-технологии, позволяющие проводить комплексную диагностику и планирование ортопедического лечения. Однако наличие металлосодержащих ортопедических конструкций в полости рта пациента может приводить к возникновению металлических артефактов на томографических изображениях, что снижает качество визуализации анатомических структур и затрудняет совмещение данных КЛКТ с цифровыми моделями зубных рядов. В связи с этим актуальным является поиск материалов, способных использоваться в качестве рентгеноконтрастных ориентиров при проведении диагностических исследований. Особый интерес представляют материалы на основе сульфата бария, обладающие высокой рентгеноконтрастностью и биологической инертностью. Целью настоящей статьи является анализ современных литературных данных, посвященных проблеме металлических артефактов в стоматологии и перспективам применения материалов на основе сульфата бария в качестве рентгеноконтрастных ориентиров при обследовании пациентов с металлосодержащими ортопедическими конструкциями.

Abstract. Digital technologies have become increasingly important in modern dental practice. Cone-beam computed tomography (CBCT), intraoral scanning and CAD/CAM technologies are widely used for diagnosis and treatment planning. However, the presence of metal-containing prosthetic restorations may lead to the formation of metal artifacts on tomographic images, reducing image quality and complicating the integration of CBCT data with digital dental models. Therefore, the search for radiopaque materials suitable for use as diagnostic reference markers remains highly relevant. Materials based on barium sulfate are considered promising due to their high radiopacity and biological inertness. The aim of this article is to review current literature regarding metal artifacts in dentistry and to assess the prospects of using barium sulfate-based materials as radiopaque reference markers in patients with metal-containing prosthetic restorations.

Ключевые слова: Сульфат бария, конусно-лучевая компьютерная томография, металлические артефакты, цифровая стоматология, CAD/CAM, ортопедическая стоматология.

Keywords: Barium sulfate, cone-beam computed tomography, metal artifacts, digital dentistry, CAD/CAM, prosthetic dentistry.

Введение: Современная стоматология переживает этап активной цифровой трансформации. В клиническую практику широко внедряются технологии конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), внутриротового сканирования и автоматизированного проектирования ортопедических конструкций с использованием CAD/CAM-систем [5, 6].

Особое значение цифровые технологии приобрели в ортопедической стоматологии и дентальной имплантологии. Использование цифровых моделей зубных рядов совместно с данными КЛКТ позволяет врачу получать комплексное представление о состоянии твердых тканей зубов, костных структур и особенностях окклюзионных взаимоотношений [5, 6].

Одним из важнейших этапов цифрового планирования является совмещение данных КЛКТ в формате DICOM с цифровыми моделями зубных рядов, полученными при внутриротовом сканировании в формате STL [1, 2].

Вместе с тем значительная часть стоматологических пациентов имеет металлосодержащие ортопедические конструкции, включая металлокерамические коронки, мостовидные протезы, культевые вкладки и дентальные имплантаты. Наличие металлических элементов в полости рта приводит к появлению специфических артефактов на томографических изображениях [3, 4]. Подобные артефакты проявляются в виде полос, затемнений и участков искажения изображения, что существенно затрудняет визуализацию анатомических структур и снижает точность цифровой регистрации данных [3, 4].

В современных исследованиях все больше внимания уделяется разработке методов уменьшения влияния металлических артефактов [1-4]. Одним из перспективных направлений является использование рентгеноконтрастных ориентиров, позволяющих повысить точность совмещения цифровых данных даже при наличии выраженных искажений изображения [1, 2].

В качестве компонентов подобных ориентиров особый интерес представляют материалы на основе сульфата бария ($BaSO_4$), характеризующиеся высокой рентгеноконтрастностью, химической стабильностью и биологической инертностью.

Цель исследования: Провести анализ современных литературных данных, посвященных проблеме металлических артефактов при конусно-лучевой компьютерной томографии и оценить перспективы применения материалов на основе сульфата бария в качестве рентгеноконтрастных ориентиров при обследовании стоматологических пациентов с металлосодержащими ортопедическими конструкциями.

Задачи исследования:

1. Изучить проблему металлических артефактов при КЛКТ.
2. Рассмотреть влияние артефактов на цифровое планирование ортопедического лечения.
3. Проанализировать возможности применения рентгеноконтрастных материалов в стоматологии.
4. Оценить перспективность использования материалов на основе сульфата бария в качестве рентгеноконтрастных ориентиров.

Материалы и методы: Проведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных проблеме металлических артефактов при конусно-лучевой компьютерной томографии, цифровому планированию стоматологического лечения и применению рентгеноконтрастных материалов в стоматологии. Для поиска публикаций использовались научные базы данных PubMed, Google Scholar, а также публикации по лучевой диагностике, цифровой стоматологии и ортопедической стоматологии. В обзор включались работы, посвященные влиянию металлических конструкций на качество КЛКТ, методам совмещения цифровых данных и использованию рентгеноконтрастных ориентиров.

Результаты и обсуждение: Металлические артефакты как проблема современной стоматологической диагностики. Конусно-лучевая компьютерная томография является одним из наиболее информативных методов лучевой диагностики в стоматологии [5, 6]. Однако наличие металлических конструкций в полости рта пациента способно существенно снижать качество получаемых изображений [3, 4].

Металлокерамические коронки, мостовидные протезы, культевые вкладки, ортодонтические аппараты и дентальные имплантаты вызывают образование артефактов вследствие интенсивного поглощения рентгеновского излучения [3, 4]. Артефакты проявляются в виде светлых и темных полос, участков потери информации и геометрических искажений изображения [4]. Это затрудняет визуализацию окружающих тканей, снижает диагностическую ценность исследования и осложняет дальнейшее цифровое планирование лечения [3, 4].

Совмещение данных КЛКТ и внутриротового сканирования. Одним из ключевых этапов современного цифрового протокола лечения является объединение данных КЛКТ и внутриротового сканирования [1, 2]. Полученные данные используются для виртуального планирования лечения в специализированных CAD/CAM-системах, включая Exocad [1, 2].

Наличие металлических конструкций существенно осложняет процесс регистрации данных. Артефакты приводят к искажению поверхности зубов и окружающих тканей, вследствие чего программное обеспечение испытывает затруднения при автоматическом сопоставлении объектов [1, 2]. Снижение точности совмещения может приводить к ошибкам при проектировании ортопедических конструкций, изготовлении хирургических шаблонов и планировании имплантологического лечения [1, 2].

Рентгеноконтрастные ориентиры как перспективный способ повышения точности регистрации. В последние годы внимание исследователей привлекают методы использования специальных рентгеноконтрастных ориентиров для улучшения качества совмещения цифровых данных [1, 2].

В качестве ориентиров могут использоваться специальные метки, регистрационные шаблоны и окклюзионные накладки, содержащие рентгеноконтрастные компоненты [1]. Наличие подобных ориентиров позволяет значительно упростить процесс регистрации данных даже при наличии выраженных металлических артефактов [1, 2].

Перспективы применения материалов на основе сульфата бария. Среди различных рентгеноконтрастных материалов особый интерес представляют материалы на основе сульфата бария ($BaSO_4$). Благодаря высокой рентгеноконтрастности, химической стабильности и биологической инертности они широко используются для придания рентгеноконтрастных свойств медицинским изделиям.

В условиях активного внедрения цифровых технологий в стоматологическую практику особую значимость приобретает обеспечение точного совмещения данных конусно-лучевой компьютерной томографии и внутриротового сканирования. Наличие металлосодержащих ортопедических конструкций нередко сопровождается возникновением выраженных артефактов, затрудняющих визуализацию анатомических ориентиров и снижающих точность цифровой регистрации [1- 4].

В связи с этим перспективным направлением представляется использование материалов на основе сульфата бария в качестве рентгеноконтрастных ориентиров. Благодаря высокой рентгеноконтрастности и биологической инертности данные материалы потенциально могут применяться при изготовлении диагностических шаблонов и вспомогательных конструкций, обеспечивающих более точное совмещение данных КЛКТ и цифровых моделей зубных рядов.

Кроме того, использование таких материалов потенциально может повысить воспроизводимость цифровых протоколов лечения и улучшить качество проектирования ортопедических конструкций в CAD/CAM-системах. Однако для окончательной оценки эффективности подобных решений необходимы дальнейшие экспериментальные и клинические исследования.

Выводы:

1. Металлосодержащие ортопедические конструкции являются одной из основных причин возникновения артефактов при проведении конусно-лучевой компьютерной томографии.
2. Металлические артефакты ухудшают качество визуализации анатомических структур и затрудняют совмещение данных КЛКТ с цифровыми моделями зубных рядов.
3. Использование рентгеноконтрастных ориентиров является перспективным направлением повышения точности регистрации цифровых данных в стоматологии.
4. Материалы на основе сульфата бария обладают высокой рентгеноконтрастностью и биологической инертностью, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных компонентов рентгеноконтрастных ориентиров для применения в цифровой стоматологии.
5. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку и клиническую оценку барийсодержащих рентгеноконтрастных систем для применения в цифровой стоматологии.

Список литературы:

1. Biun J., Dudhia R., Arora H. The in-vitro accuracy of fiducial marker-based versus markerless registration of an intraoral scan with a cone-beam computed tomography scan in the presence of restoration artifact // Clinical Oral Implants Research. 2023. Vol. 34, № 11. P. 1257-1266.

2. Biun J., Dudhia R., Arora H. The influence of metal artifact reduction on the trueness of registration of a cone-beam computed tomography scan with an intraoral scan in the presence of severe restoration artifact // Journal of Prosthodontics. 2024. Vol. 33, № 7. P. 700-705.

3. Wajer R., Wajer A., Kazimierczak N., Wilamowska J., Serafin Z. The Impact of AI on Metal Artifacts in CBCT Oral Cavity Imaging // Diagnostics. 2024. Vol. 14, № 12. doi: 10.3390/diagnostics14121280. PMID: 38928694; PMCID: PMC11203150.

4. Schulze R., Heil U., Groß D., Bruellmann D., Dranischnikow E., Schwanecke U., Schoemer E. Artefacts in CBCT: A Review // Dentomaxillofacial Radiology. 2011. Vol. 40, № 5. P. 265-273.

5. Gaêta-Araujo H., Leite A.F., de Faria Vasconcelos K., Jacobs R. Two Decades of Research on CBCT Imaging in Dentomaxillofacial Radiology - An Appraisal of Scientific Evidence // Dentomaxillofacial Radiology. 2021. Vol. 50.

6. Dawood A., Patel S., Brown J. Cone Beam CT in Dental Practice // British Dental Journal. 2009. Vol. 207. P. 23-28.