

Основные подходы к стандартизации метода компьютерной томографии орбиты при эндокринной офтальмопатии

Д.С. Атарщиков¹Е.С. Таскина²А.Е. Егоров³Е.А. Степанова⁴В.А. Селезнев⁵Н.И. Кибалина¹

¹ АО «Группа компаний МЕДСИ»

Мичуринский просп., 56/1, Москва, 119192, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия»

Министерства здравоохранения Российской Федерации

ул. Горького, 39а, Чита, 672000, Российская Федерация

³ ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет

имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

ул. Островитянова, 1, Москва, 117513, Российская Федерация

⁴ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт

им. М.Ф. Владимирского» (ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского)

ул. Щепкина, 61/2, Москва, 129110, Российская Федерация

⁵ АО «Ильинская больница»

ул. Рублевское предместье, 2/2, Московская обл., городской округ Красногорск,

д. Глухово, 143421, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2026;23(2):335-347

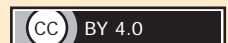
Эндокринная офтальмопатия (ЭОП) — аутоиммунное заболевание, требующее точной визуализации для диагностики, оценки тяжести/активности и планирования лечения. Отсутствие единых протоколов компьютерной томографии (КТ) орбит приводит к вариальности результатов и неоправданной лучевой нагрузке. В настоящее время практически вся КТ является мультиспиральной и характеризуется высоким разрешением, коротким временем сканирования, низким образованием артефактов и экономической эффективностью. Стандартизация КТ орбит необходима для повышения воспроизводимости, диагностической точности и минимизации рисков. **Цель исследования:** оптимизировать протокол КТ орбиты для обеспечения воспроизводимых и точных измерений при минимальной лучевой нагрузке с целью получения надежных данных для диагностики ЭОП, оценки тяжести и активности процесса, планирования и контроля лечения. В статье четко обозначены показания для проведения КТ орбиты при ЭОП, представлены стандартизованные параметры. Единая настройка ключевых технических параметров сканирования, таких как напряжение трубки и сила тока с обязательным использованием автоматической модуляции, наряду с оптимизированной толщиной среза и интервалом реконструкции обеспечивает не только высокую воспроизводимость и детализацию изображений, но и гарантирует строгое соблюдение принципа минимизации лучевой нагрузки для каждого конкретного пациента. Дана сравнительная характеристика альтернативных методов диагностики, не имеющих лучевой нагрузки (магнитно-резонансная томография и ультразвуковое исследование орбиты). Детально описаны параметры для оценки и критерии описания орбитальных структур при проведении КТ. Отмечена роль специализированного программного обеспечения и глубокого обучения для автоматизации сегментации и объемного анализа. Предложен структурированный протокол описания и заключения по выполненному исследованию врача-рентгенолога. Статья представляет комплексный подход к стандартизации КТ-исследования орбит при ЭОП с фокусом на оптимизации параметров сканирования для баланса качества изображения и дозовой нагрузки, четких критериях описания патологии и интеграции современных технологий. Это необходимо для улучшения диагностики, прогнозирования, планирования лечения (особенно декомпрессии) и минимизации рисков для пациентов.

Ключевые слова: эндокринная офтальмопатия, орбита, экстраокулярные мышцы, ретроульбарная клетчатка, диагностика, многослойная спиральная компьютерная томография

Для цитирования: Атарщиков Д.С., Таскина Е.С., Егоров А.Е., Степанова Е.А., Селезнев В.А., Кибалина Н.И. Основные подходы к стандартизации метода компьютерной томографии орбиты при эндокринной офтальмопатии. *Офтальмология*. 2026;23(2):335-347. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-2-335-347>

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.



Basic Approaches to Standardizing the Method of Orbital Computed Tomography in Thyroid Eye Disease

D.S. Atarshchikov¹, E.S. Taskina², A.E. Egorov³, E.A. Stepanova⁴, V.A. Seleznev⁵, N.I. Hibalina¹

¹ MEDSI Group of Companies
Michurinsky ave., 56/1, Moscow, 119192, Russian Federation

² Chita State Medical Academy
Gorky str., 39A, Chita, 672000, Russian Federation

³ Pirogov Russian Scientific Research Medical University
Ostrovityanova str., 1, Moscow, 117513, Russian Federation

⁴ Moscow Regional Research and Clinical Institute ("MONIKI")
Shchepkina str., 61/2, Moscow, 129110, Russian Federation

⁵ Ilyinskaya Hospital
Rublevskoye Predmestye str., 2/2, Moscow Region, Krasnogorsk Urban District,
Glukhovo Village, 143421, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2026;23(2):335–347

Thyroid Eye Disease (TED) is an autoimmune condition requiring precise imaging for diagnosis, assessment of severity/activity, and treatment planning. The lack of unified orbital Computed Tomography (CT) protocols leads to variability in results and unjustified radiation exposure. Currently, Multi-Slice Computed Tomography (MSCT) is widely used due to its high resolution, short scanning time, low artifact generation, and cost-effectiveness. Standardization of orbital CT is essential to improve reproducibility, diagnostic accuracy, and minimize risks. The aim of the study is to optimize the orbital CT protocol to ensure reproducible and accurate measurements with minimal radiation exposure, in order to obtain reliable data for diagnosing TED, assessing the severity and activity of the process, and for planning and monitoring treatment. The article clearly outlines the indications for orbital CT in TED. Standardized parameters for performing orbital MSCT are presented. A unified setup of key technical scanning parameters, such as tube voltage and current with mandatory use of automatic modulation, along with optimized slice thickness and reconstruction interval, ensures not only high reproducibility and image detail but also guarantees strict adherence to the principle of minimizing radiation exposure for each individual patient. A comparative characteristic of alternative diagnostic methods without radiation exposure (magnetic resonance imaging and ultrasound examination of the orbits) is provided. Parameters for assessment and criteria for evaluating the orbital structures during CT are described in detail. The role of specialized software and deep learning for automating segmentation and volumetric analysis is noted. A structured protocol for a radiologist's report is proposed. The article presents a comprehensive approach to standardizing orbital CT examination in TED, focusing on optimizing scanning parameters to balance image quality and radiation dose, clear criteria for describing pathology, and the integration of modern technologies. This is necessary to improve diagnosis, prognosis, treatment planning (especially decompression), and minimize risks for patients.

Keywords: thyroid eye disease, orbit, extraocular muscles, retrobulbar fat, diagnosis, multi-slice computed tomography

For citation: Atarshchikov D.S., Taskina E.S., Egorov A.E., Stepanova E.A., Seleznev V.A., Hibalina N.I. Basic Approaches to Standardizing the Method of Orbital Computed Tomography in Thyroid Eye Disease. *Ophthalmology in Russia*. 2026;23(2):335–347. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-2-335-347>

Financial Disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

There is no conflict of interests.

Эндокринная офтальмопатия (ЭОП) является аутоиммунным заболеванием орбиты, характеризующимся воспалением ретробульбарных тканей, в большинстве случаев связанным с дисфункцией щитовидной железы [1]. В основном пациенты, страдающие ЭОП, имеют двусторонние формы заболевания. Асимметричные формы встречаются в 4–14 % случаев, а односторонние — в 9–34 % [2]. По оценкам, распространенность заболевания составляет от 155 до 250 случаев на 100 тыс. населения с пиком заболеваемости в возрасте от 30 до 50 лет [3]. Тесная связь ЭОП с аутоиммунными заболеваниями щитовидной железы лежит в основе гипотезы о том, что при данном заболевании запускаются иммунные реакции, направленные против одного

или нескольких антигенов, общих для щитовидной железы и орбиты. Наиболее вероятным антигеном является рецептор к тиреотропному гормону (ТТГ), что подтверждает важную роль антител к рецептору ТТГ (АТ к рТТГ) в патогенезе и течении ЭОП. Гистопатологические изменения при ЭОП включают воспалительные изменения экстраокулярных мышц (ЭОМ) / ретробульбарной клетчатки (РБК), а также интерстициальной ткани внутри орбиты, которые приводят к увеличению объема орбитального содержимого и развитию экзофтальма [1].

Ранняя и точная диагностика ЭОП критически важна для прогноза, но затруднена из-за отсутствия универсальной классификации и преобладания субъективных методов в клинической практике [3]. Существующие

Д.С. Атаршчиков, Е.С. Таскина, А.Е. Егоров, Е.А. Степанова, В.А. Селезнев, Н.И. Кибалина

балльные системы оценки тяжести/активности, хотя и включают инструментальные данные и симптомы, не адаптированы к выраженным этническим различиям в проявлениях и течении ЭОП, что ограничивает их глобальную применимость [4].

Орбитальная визуализация играет ключевую роль в диагностике этого состояния. Компьютерная томография (КТ) является важным инструментом для оценки изменений орбиты и также полезна для прогнозирования прогрессирования заболевания и планирования хирургического вмешательства [5]. В настоящее время не существует единого протокола описания КТ орбиты при ЭОП, однако существуют общепринятые рекомендации и консенсусные мнения экспертных групп, таких как Европейская группа по орбитопатии Грейвса (European Group on Graves' Orbitopathy, EUGOGO), Европейское общество офтальмологической пластической и реконструктивной хирургии (European Society of Ophthalmic Plastic and Reconstructive Surgery, ESONT), которые формируют базис для стандартизированного подхода [6, 7]. В современной клинической практике для этих целей преимущественно применяется мультиспиральная (многослойная, мультисрезовая) компьютерная томография (МСКТ).

Цель исследования: оптимизировать протокол КТ орбит для обеспечения воспроизводимых и точных измерений при минимальной лучевой нагрузке с целью получения надежных данных для диагностики ЭОП, оценки тяжести и активности процесса, планирования и контроля эффективности лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящая работа представляет собой обзор литературы, направленный на систематизацию современных подходов к стандартизации метода КТ орбит при ЭОП. Для достижения поставленной цели был проведен целевой поиск и анализ релевантных научных публикаций в международных и российских рецензируемых журналах. Поиск осуществлялся в электронных базах данных PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Google Scholar и eLibrary.ru. Использовались ключевые слова и их комбинации на русском и английском языках: «эндокринная офтальмопатия», «орбита», «компьютерная томография», «мультиспиральная компьютерная томография», «стандартизация», «протокол», «лучевая нагрузка», «дистироидная оптическая нейропатия» (англ. thyroid eye disease, Graves' orbitopathy, orbit, computed tomography, multislice computed tomography, standardization, protocol, radiation dose, dysthyroid optic neuropathy).

В обзор были включены систематические обзоры, метаанализы, оригинальные проспективные и ретроспективные исследования, рекомендации международных экспертных сообществ (EUGOGO, ESONT), а также фундаментальные работы, освещающие технические аспекты КТ-визуализации и дозиметрии. Поиск охватывает публикации за 2015–2025 гг. и ключевые более ранние

работы, отражающие становление диагностических критериев и методологии.

Анализ данных проводился в рамках методологии нарративного обзора. Отобранные источники были критически оценены в соответствии с принципами доказательной медицины с учетом дизайна исследований, объема выборки и статистической достоверности результатов. Содержательный анализ структурирован по ключевым тематическим блокам: стандартизация технических параметров сканирования (сравнение протоколов с различной дозой нагрузки), показания к КТ, сравнительная характеристика альтернативных методов визуализации орбиты, алгоритмы оценки орбитальных структур. Для наглядности и удобства сравнительного анализа основные данные по каждому блоку систематизированы в сводных таблицах.

КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СКАНИРОВАНИЯ

Современная мультиспиральная КТ обеспечивает быструю и точную диагностику заболеваний орбит [5]. Данный метод визуализации позволяет получать ультратонкие срезы при меньшей дозе облучения, а также создавать трехмерные изображения костных и мягкотканых структур [8]. Минимальным является 16-срезовый томограф, но для лучшего разрешения и снижения артефактов предпочтительнее выполнять сканирование на 64-, 128-, 256-срезовых аппаратах [9, 10]. Односрезовая КТ орбит, крайне редко, но используемая до настоящего времени, дает существенно более высокую дозу лучевой нагрузки при худшем качестве изображения [8, 11].

При сканировании пациент лежит на спине с фиксированной головой, сканер движется вдоль длинной оси тела. Стандартный первичный взгляд прямо вперед. Применение функциональных проб в контексте КТ-исследования орбит сопряжено с ограничениями, обусловленными наличием ионизирующего излучения. Для автоматической оценки подвижности глаз Z. Liu и соавт. (2024) разработали модель искусственного интеллекта, основанную на КТ-изображениях и клинических данных пациентов с ЭОП [12].

Параметры сканирования при КТ орбит:

1. Толщина среза: наиболее оптимальная — 0,5–0,65 мм (предпочтительно для создания изотропных вокселей и качественных трехмерных реконструкций).
2. Интервал реконструкции: 50–75 % от толщины среза (например, 1,0 мм срез/0,5 мм интервал).
3. Напряжение (кВ): 100–120 кВ. Снижение до 80–100 кВ может применяться для уменьшения дозы, особенно у худых пациентов, но требует оптимизации тока.
4. Ток (мАс): диапазон 100–250 мАс (зависит от сканера и пациента, желательно наличие автоматической модуляции тока (Automatic tube current modulation, ATCM) для оптимизации лучевой нагрузки).
5. Время сканирования / скорость вращения трубки: чем быстрее вращение (менее 1 сек/оборот), тем меньше лучевая нагрузка.

6. Область сканирования: центрирована по орбитам, расположена от лобной пазухи до дна носовой полости, должна включать все прилегающие околоносовые пазухи.

7. Контрастирование: рутинно не требуется для диагностики ЭОП. Может применяться при подозрении на псевдоопухолевое воспаление, опухолевый процесс, сосудистые заболевания [8, 13, 14].

КТ орбиты не является абсолютно безопасным методом исследования из-за наличия лучевой нагрузки [11]. Пациент должен быть информирован врачом о наличии потенциальных рисков и альтернативах перед проведением исследования (принцип информированного согласия). КТ орбиты должна проводиться по четким клиническим показаниям с использованием стандартизированных протоколов, а также с соблюдением принципа минимизации дозы (As low as reasonably achievable, ALARA) [8, 15].

Основные показания для КТ орбиты при ЭОП:

1. Диагностика ЭОП: подтверждение наличия специфических изменений, характерных для данного заболевания.

2. Оценка тяжести: определение степени увеличения ЭОМ, пролапса РБК, компрессии зрительного нерва.

3. Оценка активности: некоторые признаки (выраженность отека мышц, нечеткость контуров) могут указывать на активность, а также изменение плотности тканей (воспалительный отек тканей характеризуется снижением плотности, а фиброз — увеличением).

4. Выявление осложнений: оптическая нейропатия (компрессия зрительного нерва увеличенными ЭОМ (особенно медиальной и нижней прямых) и/или РБК на вершине орбиты), выраженный проптоз с риском экспозиционной кератопатии.

5. Планирование лечения: хирургическая декомпрессия орбиты, коррекция страбизма, блефаропластика.

6. Мониторинг: оценка динамики на фоне лечения, оценка состояния стенок и содержимого орбиты перед и после декомпрессии [9, 10, 16].

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика различных протоколов сканирования по дозовой нагрузке и качеству изображения.

Таблица 1. Сравнение протоколов компьютерной томографии орбиты по дозовой нагрузке и качеству изображения

Table 1. Comparison of orbital computed tomography protocols by radiation dose and image quality

Параметр Parameter	Стандартный протокол МСКТ Standard MSCT Protocol	Низкодозный протокол МСКТ Low-Dose Protocol	Сверхнизкодозный протокол МСКТ Ultra-Low-Dose Protocol	Пошаговая КТ Sequential CT
Цель Purpose	Детальная оценка костных стенок, подозрение на объемные образования, предоперационное планирование Detailed assessment of bony walls, suspected masses, preoperative planning	Основной для ЭОП. Диагностика и мониторинг экзофтальма, утолщения мышц, состояния жировой клетчатки Primary for TED, diagnosis and monitoring of exophthalmos, muscle thickening, fat tissue status	Частый мониторинг (особенно у детей), скрининг Frequent monitoring (especially in children), screening	В настоящее время используется редко Now rarely used
Аппарат Scanner	Современный МСКТ (64+ срезов) Modern MSCT (64+ slices)	Современный МСКТ (64+ срезов)/ Modern MSCT (64+ slices)	Современный МСКТ (64+ срезов) Modern MSCT (64+ slices)	Односрезовый КТ-аппарат Single-slice CT scanner
Напряжение, кВ Voltage, kV	120–140	100–120	80–100	120–140
Сила тока, мАс Tube Current, mAs	150–250	30–80	15–40	200–350
АТМС ATCM	Да (умеренное снижение дозы) Yes (moderate dose reduction)	Да (значительное снижение дозы) Yes (significant dose reduction)	Да (максимальное снижение) Yes (maximum reduction)	Нет No
CTDIvol (мГр) / (mGy)	20–45	5–15	1,5–5,0 1.5–5.0	30–70
DLP (мГр×см) / DLP (mGy×cm)	150–300	40–100	15–40	200–500
ЭФ (м ² в) ED (mSv)	1,0–2,5 1.0–2.5	0,3–0,8 0.3–0.8	0,1–0,3 0.1–0.3	2,0–5,0 2.0–5.0
Качество изображения Image quality	Высокое High	Хорошее Good	Умеренное/ограниченное (подходит не для всех задач) Moderate/ Limited (not suitable for all tasks)	Хорошее для костей, умеренное для мягких тканей Good for bones/ Moderate for soft tissues
Преимущества Advantages	Максимальная детализация Maximum detail	Оптимальный баланс «лучевая нагрузка / качество» Optimal balance radiation dose / quality	Минимально возможная лучевая нагрузка Minimum possible radiation dose	Доступность Availability
Недостатки Disadvantages	Высокая лучевая нагрузка High radiation dose	Меньшая детализация мелких структур Less detail of small structures	Ограниченная диагностическая ценность Limited diagnostic value	Высокая лучевая нагрузка, худшее качество снимков High radiation dose, worse image quality
Рекомендация для ЭОП Recommendation for TED	Только при сложных случаях / планировании декомпрессии Only for complex cases / decompression planning	Протокол выбора Protocol of choice	Для частого контроля при известном диагнозе For frequent monitoring with established diagnosis	Не рекомендуется Not recommended

Примечание: МСКТ — мультиспиральная спиральная компьютерная томография; КТ — компьютерная томография; ЭОП — эндокринная офтальмопатия; АТМС — автоматическая модуляция тока; CTDIvol — компьютерно-томографический индекс дозы; DLP — произведение CTDIvol на длину сканирования, мГр×см; ЭД — эффективная доза.
Note: MSCT — multispiral spiral computed tomography; CT — computed tomography; TED — thyroid eye disease; ATCM — automatic tube current modulation; CTDIvol — computed tomography dose index; DLP — dose length product, mGr × cm; ED — effective dose.

Основными дозиметрическими параметрами при проведении КТ являются: объемный компьютерно-томографический индекс дозы (Computed Tomography Dose Index, CTDIvol) — измеряет дозу излучения, поглощенную во время одного полного оборота трубки; параметр Dose Length Product (DLP) — произведение CTDIvol на длину сканирования; ЭФ — эффективная доза, позволяет сравнивать риск от разных видов рентгеновских исследований, учитывая радиочувствительность облучаемых органов, и рассчитывается как произведение DLP и k-фактора. Для области голова/орбита k-фактор составляет около 0,0021 м³в/мГр×см [11, 17].

Рекомендованная частота сканирования должна быть не чаще 1 раза в год. Проведение исследования чаще возможно только по неотложным показаниям. Следует избегать необоснованно частых повторных исследований, особенно у детей и молодых пациентов. Использование АТСМ, снижение напряжения, ограничение области сканирования с фокусированием на орбитальных структурах, избегание необоснованно частых повторных ска-

нирований позволят снизить потенциальные риски отдаленных стохастических эффектов [15, 18].

Для динамического наблюдения возможно использование альтернативных методов диагностики, не имеющих лучевой нагрузки. Магнитно-резонансная томография (МРТ) орбит со специальной последовательностью с инверсией и восстановлением короткого тау-интерференционного сигнала (Short Tau Inversion Recovery, STIR) и в режиме T2 с подавлением сигнала от жировой ткани является предпочтительным методом для оценки активности воспаления мягких тканей при ЭОП (гиперинтенсивный сигнал указывает на отек/воспаление, а гипоинтенсивный — на фиброз) [19–21]. Ультразвуковое исследование (УЗИ) орбит является ценным, безопасным и доступным инструментом для скрининга и динамического наблюдения [22]. Для полной оценки течения ЭОП требуется комбинация данных методов. В таблице 2 представлена сравнительная характеристика КТ, МРТ и УЗИ орбитальных структур при ЭОП [13].

Таблица 2. Сравнительный анализ методов визуализации орбит при эндокринной офтальмопатии

Table 2. Comparative analysis of orbital imaging techniques in endocrine ophthalmopathy

Параметр Parameter	КТ/МСКТ CT/MSCT	МРТ MRI	УЗИ Ultrasound
Физический принцип Physical Principle	Ионизирующее излучение Ionizing radiation	Магнитное поле и радиочастотные импульсы Magnetic field and radiofrequency pulses	Высокочастотные ультразвуковые волны High-frequency ultrasound waves
Лучевая нагрузка Radiation Exposure	Высокая High	Отсутствует Absent	Отсутствует Absent
Визуализация ЭОМ EOM Visualization	Отличная (контуры, толщина, объем, плотность и форма ЭОМ на всем протяжении) Excellent (contours, thickness, volume, density, and shape along entire length)	Отличная (контуры, толщина, объем, структура и форма ЭОМ на всем протяжении) Excellent (contours, thickness, volume, structure, and shape along entire length)	Хорошая (толщина, эхогенность передних и средних отделов мышц) Good (thickness, echogenicity of anterior and middle parts)
Апикальная компрессия зрительного нерва Apical Optic Nerve Compression	Хорошая Good	Лучшая Best	Недоступна (структуры вершины орбиты не визуализируются) Not available (apical structures not visualized)
РБК RBF	Хорошая (объем, пролапс, плотность) Good (volume, prolapse, density)	Лучшая (объем, пролапс, структура) Best (volume, prolapse, structure)	Ограниченная (оценивает передние отделы орбиты) Limited (assesses anterior orbit)
Проптоз Proptosis	Лучшая (точное измерение проптоза) Best (precise measurement)	Хорошая (может быть менее точная из-за артефактов) Good (may be less accurate due to artifacts)	Недоступна Not available
Визуализация костных стенок орбиты Orbital Bony Walls Visualization	Лучшая (детальная оценка для хирургического планирования) Best (detailed assessment for surgical planning)	Плохая Poor	Недоступна Not available
Околоносовые пазухи Paranasal Sinuses	Отличная Excellent	Удовлетворительная Satisfactory	Недоступна Not available
Слезная железа Lacrimal Gland	Удовлетворительная (размеры) Satisfactory (size)	Хорошая (размеры, структура, сигнал) Good (size, structure, signal)	Хорошая (размеры, эхоструктура) Good (size, echo structure)
Ретракция верхнего века Upper Eyelid Retraction	Удовлетворительная Satisfactory	Хорошая Good	Хорошая Good
Динамическое наблюдение Dynamic Monitoring	Ограничено из-за лучевой нагрузки Limited due to radiation	Отличное (безопасно, оценивает активность) Excellent (safe, assesses activity)	Отличное (безопасно, быстро, дешево, оценивает активность) Excellent (safe, fast, cheap, assesses activity)
Скорость исследования Examination Speed	Очень быстрая (секунды) Very fast (seconds)	Медленная (20–40 мин) Slow (20–40 min)	Быстрая (10–15 мин) Fast (10–15 min)
Противопоказания Contraindications	Беременность, множественные исследования Pregnancy, multiple scans	Металл (импланты, стимуляторы), тяжелая клаустрофобия Metal (implants, stimulators) / severe claustrophobia	Нет абсолютных No absolute contraindications
Доступность Availability	Высокая High	Средняя Medium	Очень высокая Very high
Стоимость Cost	Средняя Medium	Высокая High	Низкая Low

Примечание: МСКТ — мультиспиральная спиральная компьютерная томография; КТ — компьютерная томография; МРТ — магнитно-резонансная томография; УЗИ — ультразвуковое исследование; ЭОМ — экстраокулярные мышцы; РБК — ретробульбарная клетчатка.

Note: MSCT — multispiral spiral computed tomography; CT — computed tomography; MRI — Magnetic Resonance Imaging; US — Ultrasound (or Ultrasonography); EOM — Extraocular Muscles; RBF — Retrobulbar Fat.

Обязательными плоскостями сканирования являются аксиальная и корональная. Аксиальная (горизонтальная) плоскость располагается параллельно франкфуртской горизонтали или орбито-меатальной линии, которая соединяет нижний край глазницы с верхним краем наружного слухового прохода (козелок). Срезы проходят горизонтально через голову пациента от под-

бородка к макушке. Данная плоскость является «золотым стандартом» для оценки КТ-проптоза, предназначена для визуализации структур, ориентированных горизонтально (медиальные и латеральные прямые ЭОМ, зрительный нерв по длинной оси), оптимальна для выявления компрессии зрительного нерва на вершине орбиты и оценки толщины медиальной и латеральной стенок орбиты [9, 23, 24].

Корональная (фронтальная) располагается перпендикулярно аксиальной плоскости, параллельно плоскости лица. Срезы проходят вертикально через голову пациента от носа к затылку. Данная проекция обеспечивает лучшую визуализацию структур, ориентированных вертикально (верхние и нижние прямые ЭОМ, леватор верхнего века), оптимальна для выявления пролапса и объема РБК, оценки толщины верхней и нижней стенок орбиты, а также положения зрительного нерва в поперечном сечении в мышечной воронке на вершине орбиты [9, 23, 24]. Комбинация аксиальной и корональной плоскостей сканирования является стандартом де-факто, обеспечивая необходимую полноту информации для диагностики, оценки тяжести, выявления осложнений и планирования лечения у пациентов с ЭОП [9, 24]. Современные КТ-сканеры позволяют получить изотропный воксель при первичном аксиальном сканировании и затем реконструировать корональные изображения [8].

Дополнительная сагиттальная (вертикальная) плоскость проходит параллельно срединной плоскости тела. Срезы проходят вертикально через голову пациента от уха к уху. Сагиттальные срезы в основном получают путем реконструкции из аксиальных данных. Данная плоскость предназначена для визуализации структур, ориентированных вертикально (верхние и нижние прямые ЭОМ, леватор верхнего века), для выявления пролапса и объема РБК, для определения КТ-проптоза, компрессии зрительного нерва на вершине орбиты, для оценки ретракции век и анализа состояния леватора верхнего века [9, 23, 24] (рис. 1).

АЛГОРИТМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ И ПОСТОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Стандартизация визуализации орбитальных структур при ЭОП охватывает критически важный этап постобработки, на котором специальные алгоритмы трансформируют данные в количественные диагностические параметры [5, 26]. Объемный анализ традиционно затруднен из-за малых размеров области, неоднородного расширения тканей и апикальной скученности [25]. Базовый анализ включает ручные 2D-измерения толщины ЭОМ, диаметра зрительного нерва и КТ-проптоза [14]. Для более полной оценки применяется трехмерная реконструкция с сегментацией и волюметрией, однако ручные 3D-методы остаются трудоемкими и субъективными [26, 27].

Стандартизированный протокол постобработки предусматривает применение двух специализированных алгоритмов реконструкции, ориентированных

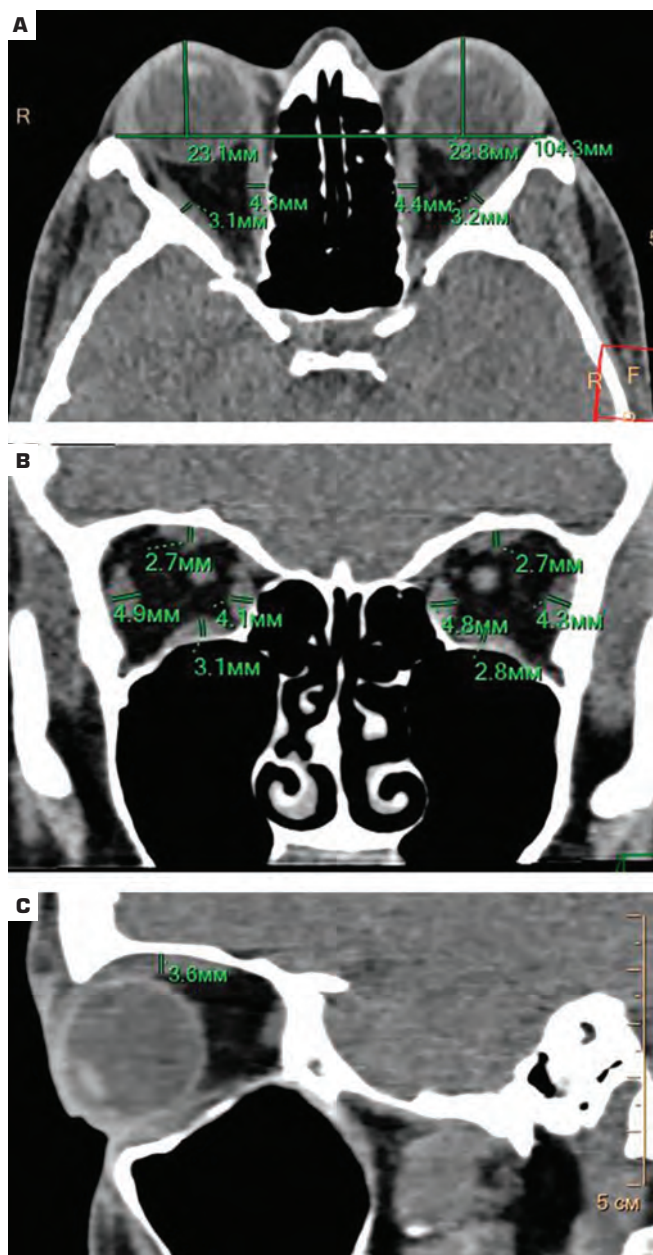


Рис. 1. Стандартные плоскости сканирования орбиты при мультиспиральной компьютерной томографии: А — аксиальная плоскость; В — корональная плоскость; С — сагиттальная плоскость. Продемонстрирована методика оценки проптоза (А) и измерения экстраокулярных мышц в мягкотканном окне (А–С)

Fig. 1 Standard orbital scanning planes on multispiral computed tomography: A — axial plane; B — coronal plane; C — sagittal plane. A technique for assessing proptosis (A) and measuring extraocular muscles in a soft tissue window (A–C) is demonstrated

на оптимальную визуализацию различных типов тканей. Для детальной оценки мягкотканых структур орбиты, таких как ЭОМ, РБК и зрительный нерв, используется режим оценки мягких тканей (WL 40/WW 400 единиц Хаунсфилда (HU)). Данный режим обеспечивает оптимальный контраст для дифференциации воспалительного отека (снижение плотности) от фиброза (повышение плотности), а также позволяет точно оценивать контуры и плотность мышц и жировой ткани. Параллельно для анализа костных структур, включая стенки орбиты, выявление их дефектов, деформаций и определения состояния прилегающих околоносовых пазух, применяется режим оценки костной ткани с более жестким зерном реконструкции и окном с другим уровнем и шириной (WL 400/WW 2000). Этот режим минимизирует «размывание» костных краев и обеспечивает высокую детализацию, необходимую для предоперационного планирования, особенно орбитальной декомпрессии [8, 9]. Использование обоих режимов реконструкции в рамках стандартизированного протокола позволяет получить комплексную информацию, критически важную для точной диагностики, оценки активности процесса и планирования лечебных мероприятий при ЭОП [23, 24].

Для оптимизации и усовершенствования постобработки данных КТ орбиты используются DICOM-просмотровщики, которые ускоряют обработку и стандартизируют измерения [5, 24]. Наиболее перспективным направлением является разработка алгоритмов на основе глубокого обучения, позволяющих полностью автоматизировать ключевые процессы [28, 29]. Эти технологии обеспечивают автоматическую сегментацию структур орбиты [28, 29]; количественный волюметрический анализ [30]; оценку активности заболевания и прогнозирование риска осложнений [25]. Современные алгоритмы анализа, особенно на основе искусственного интеллекта, становятся важнейшим компонентом стандартизированного диагностического протокола, обеспечивая объективность, воспроизводимость и эффективность обработки данных для персонализированного ведения пациентов.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ ТКАНЕЙ ОРБИТЫ ПРИ ЭНДОКРИННОЙ ОФТАЛЬМОПАТИИ

КТ-проптоз — это объективный радиологический метод количественной оценки выстояния глазного яблока (экзофтальма). Для измерения КТ-проптоза в аксиальной плоскости проводится прямая линия, соединяющая наиболее латеральные точки правой и левой скуловых костей (латеральные края орбит, где сходятся лобный отросток скуловой кости и скуловой отросток лобной кости). Измеряется перпендикулярное расстояние от самой передней точки роговицы до межскуловой линии. Данный метод широко принят в клинической практике и научных исследованиях для количественной оценки экзофтальма, а его показатели хорошо коррели-

руют с экзофтальмометрией по Гертелю [9, 24]. Значения КТ-проптоза обычно на 1–3 мм больше, чем при измерении экзофтальмометром Гертеля [31]. Метод обладает высокой воспроизводимостью и объективностью благодаря использованию стабильных костных ориентиров, что минимизирует оператор-зависимые погрешности. Стандартизация подхода позволяет сравнивать данные между различными учреждениями и делает его оптимальным инструментом для динамического мониторинга в клинической практике и научных исследованиях [9, 23, 24].

При ЭОП увеличение ЭОМ чаще всего поражает нижнюю прямую мышцу, затем медиальную прямую, верхнюю прямую, латеральную прямую, верхнюю косую и нижнюю косую (рис. 2) [10]. Однако часто вовлекается и верхний мышечный комплекс (верхняя прямая мышца, леватор верхнего века) [32, 33]. Возможно изолированное увеличение леватора, приводящее к ретракции века [34]. Гипотезы ретракции верхнего века включают: механическое воздействие (проптоз, фиброз / воспаление Мюллеровой мышцы), симпатическую гиперактивность Мюллеровой мышцы, ослабление круговой мышцы глаза и гиперфункцию леватора верхнего века [35]. Поражение косых мышц также признается и требует оценки при визуализации [10]. Согласно данным K. Rana

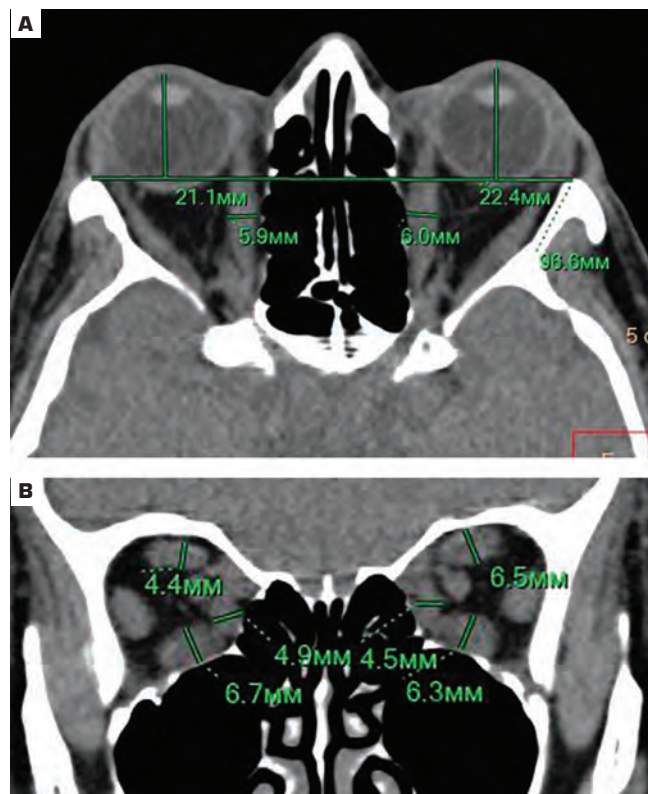


Рис. 2. Изменения экстраокулярных мышц при эндокринной офтальмопатии на мультиспиральной компьютерной томографии: А — аксиальная плоскость; В — корональная плоскость

Fig. 2. Extraocular muscle changes in thyroid eye disease on multispiral computed tomography: A — axial plane; B — coronal plane

и соавт. (2024), увеличение верхней косой мышцы на КТ наиболее ассоциировано с риском оптической нейропатии при ЭОП и может служить новым маркером [16].

Диагностика дистиреоидной оптической нейропатии по данным КТ затруднена из-за неспособности метода напрямую визуализировать патологию зрительного нерва, требуя выявления косвенных маркеров компрессии или ишемии [5]. Ключевыми КТ-маркерами риска оптической нейропатии при ЭОП являются: синдром вершины орбиты (утолщение мышц, особенно медиальной/верхней прямой, в задней трети орбиты с потерей жирового треугольника вершины орбиты и индексом Барретта $\geq 50\%$); признаки компрессии зрительного нерва (деформация, уплощение контура, смещение); значительное увеличение объема РБК (пролапс жировой ткани через верхнюю глазничную щель); расширение верхней глазной вены [9, 36, 37] (рис. 3).

Мышечный индекс Барретта — это количественный КТ-показатель, используемый для оценки выраженности увеличения ЭОМ при ЭОП, рассчитываемый в точке,



Рис. 3. Носвенные компьютерно-томографические маркеры дистиреоидной оптической нейропатии при эндокринной офтальмопатии: апикальная скученность, индекс Барретта, компрессия зрительного нерва: А — аксиальная плоскость; В — корональная плоскость

Fig. 3. Indirect computed tomography markers of dysthyroid optic neuropathy in thyroid eye disease: apical crowding, Barrett's index, optic nerve compression: A — axial plane; B — coronal plane

расположенной посередине между задним полюсом глазного яблока и вершиной орбиты [37, 38]. Индекс определяется как сумма диаметров четырех ЭОМ, измеренных на корональных КТ-срезах, отнесенная к расстоянию между латеральными стенками орбит на том же уровне и выраженная в процентах [39]. Выявление этих маркеров, особенно в сочетании, указывает на высокий риск механической компрессии зрительного нерва и обосновывает необходимость срочной оценки функции зрения и рассмотрения декомпрессии. Окончательный диагноз оптической нейропатии всегда остается клинично-функциональным и требует интеграции данных КТ с результатами офтальмологического обследования. Согласно недавнему метаанализу, проведенному Т. Srisombut и соавт. (2024), индекс Барретта и скученность верхушки глазницы, измеренные с использованием шкалы Нуджента, были определены как надежные параметры с заметной чувствительностью и специфичностью при диагностике дистиреоидной оптической нейропатии [37].

Увеличение слезной железы является частым признаком ЭОП, коррелирующим с клинической активностью [40, 41]. Согласно исследованию, проведенному К. Rana и соавт. (2022), это наблюдается примерно у 30 % пациентов с ЭОП (объем более 1,1 см³), причем 10 % случаев были асимметричными [10]. По данным С. Caltabiano и соавт. (2024), объем железы эффективнее оценивать в аксиальной и коронарной плоскостях [40]. Определение контуров, структуры и плотности слезной железы по данным КТ позволяет оценить активность воспалительного процесса при ЭОП. Однако предпочтительным методом визуализации слезных желез является T₁-взвешенная МРТ с подавлением жировой ткани и контрастным усилением, превосходящая КТ благодаря лучшей контрастности мягких тканей, пространственному разрешению и легкой дифференцировке железы (высокая интенсивность) от окружающего скопления жира (низкая интенсивность), особенно при воспалительных/опухолевых заболеваниях [40].

Область сканирования должна включать все околоносовые пазухи, так как увеличенные при ЭОП нижняя и медиальная прямые мышцы анатомически близки к решетчатой и верхнечелюстной пазухам соответственно [35]. Исследование Н.Т. Gouveris и соавт. (2009) показало высокую частоту утолщения слизистой пазух по данным КТ (29,4 % после декомпрессии орбиты) и гистологически подтвержденного риносинусита (45,5 %) у пациентов с ЭОП, что потенциально связано с действием АТ к рТТТ на экспрессирующие рецепторы ткани пазух [42]. Исследование Y. Lu и соавт. (2021) выявило при ЭОП отек слизистой оболочки пазух, пролиферацию бокаловидных клеток / сосудов и воспалительную инфильтрацию, что указывает на возможную связь синусита с орбитальным воспалением. Воспаление может распространяться из пазух в орбиту через костные дефекты или гематогенным путем, влияя на патогенез ЭОП [43].

Таблица 3. Оценочные параметры структур орбиты при компьютерной томографии**Table 3.** Assessment parameters of orbital structures on computed tomography

Анатомическая структура Anatomical Structure	Параметр Parameter	Метод оценки Assessment Method	Плоскости Planes	Критерии описания Description criteria	Клиническая значимость Clinical Significance
Глазное яблоко Globe	КТ-проптоз, мм CT-proptosis, mm	Перпендикулярное расстояние от передней точки роговицы до межскуловой линии Perpendicular distance from the anterior point of the cornea to the interzygomatic line	Аксиальная Axial	Энофтальм / норма (14–21 мм для лиц европеоидной расы, верхняя граница нормы повышена до 23–24 мм у лиц африканского происхождения; асимметрия менее 2 мм между глазами) / экзофтальм: легкий 22–24 мм, умеренный 25–27 мм, тяжелый ≥ 28 мм Enophthalmos / normal (14–21 mm for Caucasians, upper limit up to 23–24 mm for African descent; asymmetry <2 mm between eyes) / exophthalmos: mild 22–24 mm, moderate 25–27 mm, severe ≥ 28 mm	Оценка тяжести, показание к декомпрессии, мониторинг Severity assessment, indication for decompression, monitoring
Зрительный нерв Optic Nerve	Оценка компрессии Compression assessment	Оценка деформации контура увеличенными структурами (чаще медиальной и/или нижней прямой ЭОМ) на уровне вершины орбиты Evaluation of contour deformation by enlarged structures (often medial / inferior rectus EOM) at orbital apex	Аксиальная, сагитальная (на уровне вершины орбиты) Axial, Sagittal (at apex)	В норме (прямой ход, ровные контуры) / вдавление, деформация по типу «песочные часы» Normal (straight course, smooth contours) / indentation, "hourglass" deformity	Признак оптической нейропатии Sign of optic neuropathy
	Диаметр, мм Diameter, mm	Измерение поперечного диаметра в средней части канала (не рутинно, редко меняется) Measurement of transverse diameter in mid-canal (not routine, rarely changes)	Корональная Coronal	Сужение / в норме (без деформаций) / утолщение Narrowing / normal (no deformities) / thickening	Вторичное значение по сравнению с оценкой компрессии Secondary compared to compression assessment
ЭОМ EOM	Толщина, мм Thickness, mm	Оценка симметричности Assessment of symmetry	Аксиальная, корональная Axial, Coronal	В норме (асимметрия между глазами менее 1 мм) / асимметрия Normal (inter-eye asymmetry <1 mm) / asymmetry	Диагностика наличия миогенного / смешанного варианта ЭОП, оценка тяжести, оценка риска оптической нейропатии, планирование декомпрессии / страбизм-хирургии Diagnosis of myogenic / mixed TED variant / severity assessment / risk of optic neuropathy / planning decompression/strabismus surgery
		Количественная оценка (максимальный поперечный диаметр перпендикулярно длинной оси в передней трети для нижней прямой ЭОМ, в средней трети для медиальной, латеральной и верхней прямой ЭОМ, леватора верхнего века) / визуальная оценка (для верхней косой ЭОМ) Quantitative assessment (max transverse diameter perpendicular to long axis in anterior third for inferior rectus, middle third for medial, lateral, superior rectus, EOM, levator) / visual assessment (for superior oblique EOM)	Аксиальная (для медиальной и латеральной прямых ЭОМ). Корональная (для нижней и верхней прямых ЭОМ, леватора верхнего века). Аксиальная, корональная, сагитальная (для верхней косой ЭОМ) Axial (for medial/lateral rectus). Sagittal (for inferior/superior rectus, levator). Axial, Coronal, Sagittal (for superior oblique EOM)	Истончение (фиброз) / в норме (толщина нижней и медиальной прямой ЭОМ менее 4,0–4,5 мм, комплекса верхней прямой ЭОМ + леватора верхнего века менее 5,0 мм, для латеральной прямой ЭОМ менее 3,5–4,0 мм, верхняя косая ЭОМ в норме слабо визуализируется) / утолщение (преимущественно нижняя и медиальная прямые ЭОМ) Thinning (fibrosis) / normal (inferior/medial rectus < 4.0–4.5 mm, superior rectus + levator complex <5.0 mm, lateral rectus < 3.5–4.0 mm, superior oblique poorly visualized) / thickening (predominantly inferior and medial rectus)	
	Объем, см ³ Volume, cm ³	Количественная оценка (требует специального ПО, не рутинно) Quantitative assessment (requires special software, not routine)	Аксиальная, корональная, сагитальная Axial, Coronal, Sagittal	Увеличен / в норме / уменьшен Increased / normal / decreased	Увеличение объема характерно для миогенного / смешанного варианта ЭОП Increased volume characteristic of myogenic / mixed TED variant
	Плотность, HU Density, HU	Оценка плотности Density assessment	Аксиальная, корональная, сагитальная Axial, Coronal, Sagittal	Снижение плотности (отек) / в норме (от +65 до +75 HU) / увеличение плотности (фиброз) Decreased density (edema) / normal (+65 to +75 HU) / increased density (fibrosis)	Оценка активности процесса Assessment of disease activity
РБК RBF	Состояние Contour status	Оценка контуров Evaluation of contours	Аксиальная, корональная, сагитальная Axial, Coronal, Sagittal	Нечеткие контуры (отек) / четкие контуры (норма / фиброз) Indistinct contours (edema) / sharp contours (normal/fibrosis)	Оценка активности процесса/ Assessment of disease activity
	Объем, см ³ Volume, cm ³	Визуальная (субъективная) / количественная оценка (требует специального ПО, не рутинно) Visual (subjective) / quantitative assessment (requires special software, not part of routine practice)	Аксиальная, корональная, сагитальная Axial, Coronal, Sagittal	Увеличен / в норме (0,5–1,0 см ³) Increased / normal (0.5–1.0 cm ³) / decreased	Увеличение объема характерно для липогенного / смешанного варианта ЭОП Increase in volume is characteristic of the lipogenic / mixed variants of TED
	Плотность, HU Density, HU	Визуальная (субъективная оценка плотности и гомогенности) / количественная оценка (HU) Visual (subjective assessment of density and homogeneity) / quantitative assessment (HU)	Аксиальная, корональная, сагитальная Axial, Coronal, Sagittal	Гомогенная / негетогенная / снижение плотности (отек) / в норме (–110 до –90 HU) / увеличение плотности (фиброз) Homogeneous / heterogeneous / decreased density (edema) / normal (–110 to –90 HU) / increased density (fibrosis)	Оценка активности процесса Assessment of disease activity
Проплас Prolapse	Оценка выпячивания жира вперед через фиброзные перегородки Assessment of forward protrusion of fat through fibrous septa	Корональная, сагитальная Coronal, sagittal	Отсутствует / кпереди от нижней прямой мышцы / над верхней прямой мышцей / над леватором верхнего века Absent / anterior to the inferior rectus muscle / above the superior rectus muscle / above the levator oculi superioris	Косметические дефекты век, функциональные нарушения (лагофтальм) Cosmetic defects of the eyelids, functional disorders (lagophthalmos)	

Анатомическая структура Anatomical Structure	Параметр Parameter	Метод оценки Assessment Method	Плоскости Planes	Критерии описания Description criteria	Клиническая значимость Clinical Significance
Слезная железа Lacrimal Gland	Размер Size	Оценка симметричности Assessment of symmetry	Аксиальная (передне-задний размер параллельно латеральной стенке орбиты), корональная (вертикальный размер, визуализация структуры) Axial (anteroposterior size), Coronal (vertical size, structure visualization)	В норме (асимметрия между глазами менее 1–2 мм) / асимметрия Normal (inter-eye asymmetry < 1–2 mm) / asymmetry	При ЭОП увеличение обычно двустороннее (может быть асимметричным), диффузное, без деструкции кости, часто сочетается с другими типичными признаками ЭОП In TED, enlargement usually bilateral (can be asymmetric), diffuse, without bone destruction, often with other typical TED signs
		Количественная оценка (передне-задний размер параллельно латеральной стенке орбиты и вертикальный размер) / визуальная оценка Quantitative assessment (anteroposterior size parallel to lateral orbital wall and vertical size) / visual assessment		В норме (передне-задний размер: 10–20 мм, вертикальный размер в орбитальной части: ≤ 5 мм) / увеличена (чаще диффузно) / уменьшена / наличие объемных образований, кальцинатов Normal (anteroposterior size: 10–20 mm, vertical size in orbital part: ≤ 5 mm) / enlarged (often diffusely) / decreased / presence of masses, calcifications	Увеличение слезной железы — дополнительный, но не обязательный признак ЭОП Enlargement of the lacrimal gland is an additional, but not obligatory, sign of TED
	Объем, см ³ Volume, cm ³	Количественная оценка (требует специального ПО, не рутинно) Quantitative assessment (requires special software, not routine)		Увеличен / в норме (0,5–1,0 см ³) / уменьшен Increased / normal (0.5–1.0 cm ³) / decreased	Оценка активности процесса Assessment of disease activity
	Плотность, HU Density, HU	Визуальная (субъективная оценка плотности и гомогенности) / количественная оценка (HU) Visual (subjective assessment of density / homogeneity) / quantitative (HU)		Гомогенная, мягкотканая / негомогенная / снижение плотности (отек) / в норме (от +30 до +50 HU) / увеличение плотности (фиброз) Homogeneous, soft-tissue / heterogeneous / decreased density (edema) / normal (+30 to +50 HU) / increased density (fibrosis)	
	Состояние Status	Оценка контуров Evaluation of contours		Нечеткие контуры (отек) / четкие контуры (норма/фиброз) Indistinct contours (edema) / sharp contours (normal/fibrosis)	
Стенки орбиты Orbital Walls	Состояние Status	Оценка целостности Status	Аксиальная, корональная, сагиттальная Axial, Coronal, Sagittal	В норме / наличие дефектов, деформации Normal / presence of defects, deformation	Планирование хирургической декомпрессии орбиты, оценка риска осложнений, изменение костного окна после декомпрессии Planning surgical decompression / risk assessment / evaluation of bony window post-decompression
		Толщина стенок, мм Wall thickness, mm	Аксиальная, корональная Axial, Coronal	Истончение / в норме / утолщение Thinning / normal / thickening	
Околоносовые пазухи Paranasal Sinuses	Состояние Status	Оценка пневматизации / контур и толщина слизистой оболочки Assessment of pneumatization / contour and mucosal thickness	Аксиальная, корональная Axial, Coronal	В норме / наличие уровня жидкости / утолщение слизистой оболочки / полипы / мукоцеле Normal / fluid level / mucosal thickening / polyps / mucocele	Дифференциальная диагностика, планирование декомпрессии (риск инфицирования), выявление осложнений Differential diagnosis / decompression planning (infection risk) / complication detection

Примечание: HU — единицы Хаунсфилда; ПО — программное обеспечение; ЭОП — эндокринная офтальмопатия; ЭОМ — экстраокулярные мышцы; РБК — ретробульбарная клетчатка.

Note: EOM — Extraocular Muscles; RBF — Retrobulbar Fat.

Интерпретацию должен проводить рентгенолог, знакомый с нормальной и патологической анатомией орбиты и проявлениями ЭОП. Важно тесное взаимодействие с офтальмологом/эндокринологом [24, 44]. В таблице 3 представлены параметры для оценки и критерии описания орбитальных структур при проведении КТ [14, 24, 45].

С целью унификации заключений и минимизации субъективности в интерпретации данных на основе представленных выше стандартизированных параметров (табл. 3) предлагается структурированный протокол описания снимков орбиты при ЭОП. Этот подход обеспечивает полноту и последовательность анализа, облегчает коммуникацию между рентгенологом, офтальмологом и эндокринологом и способствует принятию обоснованных клинических решений.

Протокол описания снимков орбит при ЭОП:

1. Параметры сканирования: толщина среза (мм), интервал реконструкции, напряжение (кВ), сила тока (мА), плоскости сканирования (аксиальная/корональная/сагитальная), указание о выполнении реконструкций в режимах для оценки мягких и костных тканей.

2. Глазное яблоко: КТ-проптоз (мм).

3. Зрительный нерв: ход (прямой/деформированный), толщина с оболочками и без оболочек, признаки компрессии (да/нет, какой структуры, на каком уровне).

4. ЭОМ: указать толщину (мм) и плотность (НУ) всех ЭОМ, оценить контуры (четкие/нечеткие).

5. РБК: объем (в норме/увеличен), плотность (гомогенная/негомогенная, НУ), наличие и степень пролапса (отсутствует / кпереди от нижней прямой мышцы / над верхней прямой мышцей / над леватором верхнего века).

6. Слезная железа: размер (мм) и плотность (гомогенная/негомогенная, НУ), контуры (четкие/нечеткие).

7. Стенки орбиты: состояние (норма/истончение/утолщение/дефект), состояние прилегающих околоносовых пазух.

8. Заключение: резюме ключевых находок, соответствующих ЭОП, с оценкой активности и тяжести (указание на компрессию зрительного нерва, выраженный проптоз).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стандартизация метода компьютерной томографии орбиты при эндокринной офтальмопатии представляет собой критически важную задачу современной радиологии и офтальмоэндокринологии. Актуальность разработки унифицированных протоколов обусловлена необходимостью преодоления существенных ограничений, связанных с вариабельностью диагностических подходов, неоправданной лучевой нагрузкой и отсутствием объективных критериев интерпретации данных. Эндокринная офтальмопатия, являясь тяжелым аутоиммунным заболеванием с риском развития необратимых осложнений (оптическая нейропатия, экспозиционная

кератопатия), требует точной и воспроизводимой визуализации для оценки динамики, активности процесса и планирования хирургических вмешательств, таких как декомпрессия орбиты.

Внедрение стандартизированного протокола мульти-спиральной компьютерной томографии позволяет достичь оптимального баланса между высоким качеством визуализации структур орбиты и минимизацией лучевого воздействия. Ключевыми элементами стандартизации являются унификация технических параметров сканирования (толщина среза, напряжение, сила тока с применением автоматической модуляции тока), определение обязательных плоскостей реконструкции (аксиальной и корональной) с использованием двух алгоритмов реконструкции: для мягких тканей и для костных структур, а также четкие критерии описания патологических изменений в экстраокулярных мышцах, ретробульбарной клетчатке, зрительном нерве и костных стенках орбиты. Особое значение имеет дозовая оптимизация, предусматривающая выбор одного из трех протоколов (стандартный, низкодозный, сверхнизкодозный) в зависимости от клинической задачи, что обеспечивает соблюдение принципа «настолько низко, насколько разумно достижимо» (As Low As Reasonably Achievable, ALARA).

Важным дополнением стандарта является интеграция специализированного программного обеспечения и алгоритмов искусственного интеллекта на основе глубокого обучения, что существенно повышает точность и объективность количественного объемного анализа орбитальных структур, сокращает время обработки данных и минимизирует субъективизм. Предложенный структурированный протокол заключения рентгенолога обеспечивает полноту и последовательность описания, облегчая коммуникацию между специалистами (рентгенологами, офтальмологами, эндокринологами) и способствуя принятию обоснованных клинических решений. Таким образом, стандартизация исследования орбиты методом компьютерной томографии при эндокринной офтальмопатии является необходимым условием для повышения диагностической точности, оптимизации лечебной тактики, улучшения прогноза и безопасности пациентов, особенно в контексте динамического наблюдения и планирования сложных вмешательств.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Атаршиков Д.С. — концепция и дизайн, сбор и обработка материала, написание текста, научное редактирование, принятие окончательного решения о готовности рукописи к публикации;

Таскина Е.С. — концепция и дизайн, сбор и обработка материала, написание текста, научное редактирование, принятие окончательного решения о готовности рукописи к публикации;

Егоров А.Е. — научное редактирование, принятие окончательного решения о готовности рукописи к публикации;

Степанова Е.А. — научное редактирование, принятие окончательного решения о готовности рукописи к публикации;

Селезнев В.А. — научное редактирование, принятие окончательного решения о готовности рукописи к публикации;

Кибалина Н.И. — научное редактирование, принятие окончательного решения о готовности рукописи к публикации.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Bartelena L, Tanda ML. Current concepts regarding Graves' orbitopathy. *J Intern Med*. 2022;292(5):692–716. doi: 10.1111/joim.13524.
- Bartelena L, Piantanida E, Gallo D, Lai A, Tanda ML. Epidemiology, Natural History, Risk Factors, and Prevention of Graves' Orbitopathy. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2020;11:615993. doi: 10.3389/fendo.2020.615993.
- Yu CY, Ford RL, Wester ST, Shriver EM. Update on thyroid eye disease: Regional variations in prevalence, diagnosis, and management. *Indian J Ophthalmol*. 2022;70(7):2335–2345. doi: 10.4103/ijjo.2021.21.
- Muralidhar A, Das S, Tiple S. Clinical profile of thyroid eye disease and factors predictive of disease severity. *Indian J Ophthalmol*. 2020;68(8):1629–1634. doi: 10.4103/ijjo.104_20.
- Luccas R, Riguette CM, Alves M, Zantut-Wittmann DE, Reis F. Computed tomography and magnetic resonance imaging approaches to Graves' ophthalmopathy: a narrative review. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024;14:1277961. doi: 10.3389/fendo.2023.1277961.
- Schuh A, Ayzav G, Baldeschi L, Baretić M, Bechtold D, Boschi A, Brix TH, Burlacu MC, Ciric J, Covelli D, Currò N, Donati S, Eckstein AK, Fichter N, Führer D, Horn M, Jablonka-Pawlak A, Juri Mandić J, Kahaly GJ, Konuk O, Langbein A, Lanzolla G, Marcocci C, Marinò M, Miśkiewicz P, Beleslin BN, Pérez-Lázaro A, Pérez-López M, Ponto KA, Quinn A, Rudofsky G, Salvi M, Schittkowski MP, Tanda ML, Toruner F, Vaidya B, Hintschich CR. Presentation of Graves' orbitopathy within European Group On Graves' Orbitopathy (EUGOGO) centres from 2012 to 2019 (PREGO III). *Br J Ophthalmol*. 2024;108(2):294–300. doi: 10.1136/bjo-2022-322442.
- Quaranta-Leoni FM, Paridaens D, Verity D. European Society of Ophthalmic Plastic and Reconstructive Surgery (ESOPRS) recommendations for oculoplastic surgeons during the COVID-19 pandemic: a challenge for the future. *Orbit*. 2020;39(6):460–462. doi: 10.1080/01676830.2020.1808022.
- Seeram E. Computed Tomography: A Technical Review. *Radiol Technol*. 2018;89(3):279CT–302CT.
- Watanabe EM, Cavazzana RY, Ribeiro DAM, Brandao LC, Haddad AV, Corrente JE, Trindade AP, Jorge EC. Morphometric analysis of extraocular muscles and proptosis by computed tomography in Graves' orbitopathy. *Radiol Bras*. 2024;57:e20240040en. doi: 10.1590/0100-3984.2024.0040-en.
- Rana K, Juniat V, Patel S, Selva D. Extraocular muscle enlargement. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2022;260(11):3419–3435. doi: 10.1007/s00417-022-05727-1.
- Damilakis J. CT Dosimetry: What Has Been Achieved and What Remains to Be Done. *Invest Radiol*. 2021;56(1):62–68. doi: 10.1097/RLI.0000000000000727.
- Liu Z, Tan K, Zhang H, Sun J, Li Y, Fang S, Li J, Song X, Zhou H, Zhai G. CT-based artificial intelligence prediction model for ocular motility score of thyroid eye disease. *Endocrine*. 2024;86(3):1055–1064. doi: 10.1007/s12020-024-03906-0.
- North VS, Freitag SK. A Review of Imaging Modalities in Thyroid-associated Orbitopathy. *Int Ophthalmol Clin*. 2019;59(4):81–93. doi: 10.1097/IIO.0000000000000289.
- Byun JS, Moon NJ, Lee JK. Quantitative analysis of orbital soft tissues on computed tomography to assess the activity of thyroid-associated orbitopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017;255(2):413–420. doi: 10.1007/s00417-016-3538-0.
- Martin CJ, Sookpeng S. Setting up computed tomography automatic tube current modulation systems. *J Radiol Prot*. 2016;36(3):R74–R95. doi: 10.1088/0952-4746/36/3/R74.
- Rana K, Garg D, Yong LSS, Macri C, Tong JY, Patel S, Slattery J, Chan WO, Davis G, Selva D. Extraocular muscle enlargement in dysthyroid optic neuropathy. *Can J Ophthalmol*. 2024;59(5):e542–e546. doi: 10.1016/j.cjco.2023.11.015.
- Satharasinghe DM, Jayasinghithan J, Wanninayake WMNMB, Pallewatte AS. Size-specific dose estimates (SSDEs) for computed tomography and influencing factors on it: a systematic review. *J Radiol Prot*. 2021;41(4). doi: 10.1088/1361-6498/ac20b0.
- Lee HJ, Kim J, Kim KW, Lee SK, Yoon JS. Feasibility of a low-dose orbital CT protocol with a knowledge-based iterative model reconstruction algorithm for evaluating Graves' orbitopathy. *Clin Imaging*. 2018;51:327–331. doi: 10.1016/j.clinimag.2018.06.018.
- Бабаева ДМ, Бессмертная ЕГ, Тарбаева НВ, Волеводз НН, Свириденко НЮ, Мокрышева НГ. Магнитно-резонансная томография орбит в диагностике эндокринной офтальмопатии: обзор литературы. *Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии*. 2023;2:87–109.
- Babayeva DM, Bessmertnaya EG, Tarbaeva NV, Volevodz NN, Sviridenko NYu, Mokrysheva NG. Magnetic resonance imaging of the orbits in the diagnosis of endocrine ophthalmopathy: a literature review. *Bulletin of the Russian Scientific Center of X-ray Radiology*. 2023;2:87–109 (In Russ.).
- Gagliardo C, Radellini S, Morreale Bubella R, Falanga G, Richiusa P, Vadala M, Cirelli A, Midiri M, Giordano C. Lacrimal gland herniation in Graves ophthalmopathy: a simple and useful MRI biomarker of disease activity. *Eur Radiol*. 2020;30(4):2138–2141. doi: 10.1007/s00330-019-06570-5.
- Karhanova M, Civrny J, Kalitova J, Schovanek J, Paskova B, Schreiberova Z, Hubnerova P. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the orbit in the diagnosis and treatment of thyroid-associated orbitopathy — experience from practice. *A Review. Cesk Slov Oftalmol*. 2023;79(6):283–292. doi: 10.31348/2023/10.
- Karhanova M, Civrny J, Kalitova J, Schovanek J, Maluskova M, Hrevus M, Schreiberova Z. Ultrasound examination of the orbit in patients with thyroid-associated orbitopathy — examination guide and recommendations for everyday practice. *A Review. Cesk Slov Oftalmol*. 2024;80(1):3–11.
- Klingenstein A, Samel C, Garip-Kubler A, Hintschich C, Muller-Lisse UG. Cross-sectional computed tomography assessment of exophthalmos in comparison to clinical measurement via Hertel exophthalmometry. *Sci Rep*. 2022;12(1):11973. doi: 10.1038/s41598-022-16131-4.
- Xiong C, Ren Z, Li X, Jin Q, Wang S, Gan P, Wang Y, Liao H. Orbital computed tomography imaging characteristics of thyroid-associated ophthalmopathy. *Sci Rep*. 2024;14(1):28960. doi: 10.1038/s41598-024-76624-2.
- Alkhadrawi AM, Lin LY, Langarica SA, Kim K, Ha SK, Lee NG, Do S. Deep-Learning Based Automated Segmentation and Quantitative Volumetric Analysis of Orbital Muscle and Fat for Diagnosis of Thyroid Eye Disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2024;65(5):6. doi: 10.1167/iov.65.5.6.
- Chaganti S, Mundy K, DeLisi MP, Nelson KM, Harrigan RL, Galloway RL, Landman BA, Mawn LA. Assessment of Orbital Computed Tomography (CT) Imaging Biomarkers in Patients with Thyroid Eye Disease. *J Digit Imaging*. 2019;32(6):987–994. doi: 10.1007/s10278-019-00195-2.
- Yang J, Chen J, Shi B, You Y, Pi X, Zhao G, Jiang F. Effects of various extraocular muscle enlargement patterns on muscle diameter index in graves ophthalmopathy patients: a retrospective cohort study. *Sci Rep*. 2023;13(1):16939. doi: 10.1038/s41598-023-43942-w.
- Song X, Liu Z, Li L, Gao Z, Fan X, Zhai G, Zhou H. Artificial intelligence CT screening model for thyroid-associated ophthalmopathy and tests under clinical conditions. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2021;16(2):323–330. doi: 10.1007/s11548-020-02281-1.
- Lee J, Lee S, Lee WJ, Moon NJ, Lee JK. Neural network application for assessing thyroid-associated orbitopathy activity using orbital computed tomography. *Sci Rep*. 2023;13(1):13018. doi: 10.1038/s41598-023-40331-1.
- Sun R, Yin Z, Li L, Zhou H, Song X, Li Y. A novel method of measuring proptosis with computed tomography. *Acta Radiol*. 2023;64(9):2603–2610. doi: 10.1177/02841851231187859.
- Park NR, Moon JH, Lee JK. Hertel exophthalmometer versus computed tomography scan in proptosis estimation in thyroid-associated orbitopathy. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:1461–1467. doi: 10.2147/OPTH.S216838.
- Wang Y, Mettu P, Broadbent T, Radke P, Firl K, Shepherd JB 3rd, Couch SM, Nguyen A, Henderson AD, McCulley T, McClelland CM, Mokhtarzadeh A, Lee MS, Garrity JA, Harrison AR. Thyroid eye disease presenting with superior rectus/levator complex enlargement. *Orbit*. 2020;39(1):5–12. doi: 10.1080/01676830.2019.1594969.
- Park K, Li J, Wen J, Li S, Lee J, Danesh K, Malkoff N, Gokoffski K, Lerner A, Patel V, Zhang-Nunes S, Chang J. Extraocular Muscle Enlargement in Thyroid Eye Disease Using Volumetric Analysis. *Cureus*. 2024;16(7):e63843. doi: 10.7759/cureus.63843.
- Davies MJ, Dolman PJ. Levator Muscle Enlargement in Thyroid Eye Disease-Related Upper Eyelid Retraction. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2017;33(1):35–39. doi: 10.1097/IOP.0000000000000633.
- Dutton JJ. Anatomic Considerations in Thyroid Eye Disease. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2018;45(1):S7–S12. doi: 10.1097/IOP.0000000000001122.
- Cheng S, Ming Y, Hu M, Zhang Y, Jiang F, Wang X, Xiao X. Risk prediction of dysthyroid optic neuropathy based on CT imaging features combined the bony orbit with the soft tissue structures. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:936819. doi: 10.3389/fmed.2022.936819.
- Srisombut T, Arjkonharn N, Vongs N, Kanacharoen A, Kemchoknatee P. Orbital CT scan parameters in dysthyroid optic neuropathy: a systematic review and meta-analysis. *Eye (Lond)*. 2024;1734–1741. doi: 10.1038/s41433-024-03011-6.
- Kemchoknatee P, Chenkhumwongse A, Dheeradiolk T, Srisombut T. Diagnostic Ability of Barrett's Index and Presence of Intracranial Fat Prolapse in Dysthyroid Optic Neuropathy. *Clin Ophthalmol*. 2022;16:2569–2578. doi: 10.2147/OPTH.S364987.
- Barrett L, Glatz HJ, Burde RM, Gado MH. Optic nerve dysfunction in thyroid eye disease. *CT Radiology*. 1988;167(2):503–507. doi: 10.1148/radiology.167.2.3357962.
- Caltabiano C, Rana K, Beecher MB, Selva D. Radiological measurements of lacrimal gland in thyroid eye disease. *Int Ophthalmol*. 2024;44(1):11. doi: 10.1007/s10792-024-02991-4.
- Zhao RX, Shi TT, Luo S, Liu YF, Xin Z, Yang JK. The value of SPECT/CT imaging of lacrimal glands as a means of assessing the activity of Graves' orbitopathy. *Endocr Connect*. 2022;11(2):e210590. doi: 10.1530/EC-21-0590.
- Gouveris HT, Al-Homs J, Gosepath J, Mann WJ. Histological and radiological signs indicative for chronic sinus mucosal inflammation in Graves' ophthalmopathy. *Rhinology*. 2009;47(2):144–147.
- Lu Y, Wu Y, Huang Y, Fang S, Li Y, Sun J, Zhou H. Immunological Features of Paranasal Sinus Mucosa in Patients with Graves' Orbitopathy. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021;11:621321. doi: 10.3389/fendo.2020.621321.
- Limone PP, Mellano M, Ruo Redda MG, Macera A, Ferrero V, Sellari Franceschini S, Deandrea M. Graves' orbitopathy: a multidisciplinary approach. *Q J Nucl Med Mol Imaging*. 2021;65(2):157–171. doi: 10.23736/S1824-4785.21.03350-1.
- Nawas S, Lal S, Butt R, Ali M, Shahani B, Dadlani A. Computed Tomography Evaluation of Normal Lacrimal Gland Dimensions in the Adult Pakistani Population. *Cureus*. 2020;12(3):e7393. doi: 10.7759/cureus.7393.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Атаршиков Дмитрий Сергеевич
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, врач-офтальмохирург,
врач — орбитальный хирург, врач — окулопластический хирург
<https://orcid.org/0000-0003-4401-9099>

Таскина Елизавета Сергеевна
кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры офтальмологии,
врач-офтальмолог
<https://orcid.org/0000-0002-6223-8888>

Егоров Алексей Евгеньевич
доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры офтальмологии
имени академика А.П. Нестерова Института клинической медицины, врач-
офтальмолог
<https://orcid.org/0000-0003-2637-1830>

Степанова Елена Александровна
доктор медицинских наук, руководитель отдела лучевой диагностики,
заведующая кафедрой лучевой диагностики факультета
усовершенствования врачей
<https://orcid.org/0000-0002-9037-0034>

Селезнев Василий Андреевич
кандидат медицинских наук, ведущий челюстно-лицевой хирург
<https://orcid.org/0009-0008-6695-2158>

Кибалина Наталья Игоревна
врач — пластический хирург
<https://orcid.org/0000-0002-8930-6588>

ABOUT THE AUTHORS

Atarshchikov Dmitry S.
PhD, ophthalmologist, ophthalmic surgeon, orbital surgeon, oculoplastic surgeon
<https://orcid.org/0000-0003-4401-9099>

Taskina Elizaveta S.
PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ophthalmology,
ophthalmologist
<https://orcid.org/0000-0002-6223-8888>

Egorov Alexey E.
MD, Professor, Professor of the Academician A.P. Nesterov Department
of Ophthalmology, Institute of Clinical Medicine, ophthalmologist
<https://orcid.org/0000-0003-2637-1830>

Stepanova Elena A.
MD, head of the Department of Radiation Diagnostics, head of the Chair
of Radiation Diagnostics, Postgraduate Training Faculty
<https://orcid.org/0000-0002-9037-0034>

Seleznev Vasily A.
PhD, leading maxillofacial surgeon
<https://orcid.org/0009-0008-6695-2158>

Kibalina Natalia I.
plastic surgeon
<https://orcid.org/0000-0002-8930-6588>