


ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ  
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ

СОГЛАСОВАНО

Главный внештатный специалист  
по лучевой и инструментальной  
диагностике Департамента  
здравоохранения города Москвы

  
Ю. А. Васильев  
«17» июня 2024 г.

РЕКОМЕНДОВАНО

Экспертным советом по науке  
Департамента здравоохранения  
города Москвы № 11

  
  
«15» июня 2024 г.

СЕГМЕНТАЦИЯ АРТЕРИАЛЬНЫХ СОСУДОВ НА ОСНОВАНИИ  
ДАННЫХ КТ-АНГИОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПРОГРАММЫ 3D SLICER

Методические рекомендации № 39

Москва  
2024

УДК 611.13+616-073.75  
ББК 53.6  
С 28

Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»

Основана в 2017 году

**Организация-разработчик:**

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»

**Авторы-составители:**

**Коденко М. Р.** – младший научный сотрудник отдела научных медицинских исследований ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Васильев Ю. А.** – канд. мед. наук, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике ДЗМ, директор ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Владимирский А. В.** – д-р мед. наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Омелянская О. В.** – руководитель по управлению подразделениями дирекции «Наука» ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Ясакова Е. П.** – канд. мед. наук, заведующая отделением № 5 Референс-центра ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», научный сотрудник отдела научных медицинских исследований ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Бобровская Т. М.** – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

**Решетников Р. В.** – канд. физ.-мат. наук, руководитель отдела научных медицинских исследований ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

С 28 Сегментация артериальных сосудов на основании данных КТ-ангиографии с использованием программы 3D Slicer / авт.-сост. М. Р. Коденко, Ю. А. Васильев, А. В. Владимирский [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 138. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2024. – 64 с.

**Рецензенты:**

**Синицын Валентин Евгеньевич** – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины МГУ имени М. В. Ломоносова, заведующий отделом лучевой диагностики МНОЦ МГУ имени М. В. Ломоносова

**Есаков Юрий Сергеевич** – канд. мед. наук, заведующий онкологическим отделением № 3 Онкоцентра № 1 филиала ГКБ им. С. С. Юдина, доцент кафедры хирургии факультета фундаментальной медицины МГУ им. М. В. Ломоносова

Методические рекомендации адресованы врачам-рентгенологам, врачам-ангиологам, врачам – сосудистым хирургам, специалистам по обработке медицинских данных с целью подготовки наборов данных для повышения информативности компьютерно-томографических ангиографических исследований, а также подготовки наборов данных для обучения и тестирования алгоритмов искусственного интеллекта.

Данные методические рекомендации разработаны в ходе выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка программного обеспечения для автоматического формирования наборов данных КТ-исследований

сердечно-сосудистой системы с подавлением контрастирования для обучения и тестирования алгоритмов на основе искусственного интеллекта»

*Данный документ является собственностью Департамента здравоохранения города Москвы, не подлежит тиражированию и распространению без соответствующего разрешения*

**ISSN**

© Департамент здравоохранения города Москвы, 2024

© ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2024

© Коллектив авторов, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки .....	5
Термины и определения .....	6
Обозначения и сокращения .....	7
Введение .....	8
Общие вопросы .....	12
Глава 1. Установка и знакомство с интерфейсом 3D Slicer .....	15
Глава 2. Работа с исследованием. Базовые инструменты .....	19
Глава 3. Сегментация: базовые принципы .....	23
Глава 4. Сегментация: полуавтоматические методы.....	28
Глава 5. Сегментация: постобработка маски .....	37
Глава 6. Сохранение результатов .....	42
Глава 7. Дополнительные инструменты и масштабирование методики .....	45
Заключение .....	61
Список использованных источников .....	62

## **НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы (стандарты):

– Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных».

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Сегментация медицинских изображений** – это процесс выделения на изображении группы пикселей, принадлежащих отдельным объектам.

**Метаданные** – это совокупность персональных данных пациента, технических данных исследования, а также данных о медицинской организации, в которой было проведено исследование лучевой диагностики.

**Набор данных** – это структурированная совокупность данных, прошедших специализированную обработку, например сегментацию.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем документе применены следующие обозначения и сокращения:

**ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»** – Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (Центр диагностики и телемедицины)

**ЕРИС ЕМИАС** – Единый радиологический информационный сервис Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы

**ИИ** – искусственный интеллект

**КТ** – компьютерная томография

**КТА** – компьютерно-томографическая ангиография

**ЛКМ** – левая клавиша мыши

**ОБП** – органы брюшной полости

**ПК** – персональный компьютер

**ПКМ** – правая клавиша мыши

**ПО** – программное обеспечение

## ВВЕДЕНИЕ

Компьютерно-томографическая ангиография (КТА) – неинвазивный метод, используемый для визуализации сосудистой системы с помощью йодсодержащего контрастного вещества [1]. В процессе КТА пациенту вводят контрастное вещество внутривенно. Затем, в процессе постобработки полученных при сканировании данных, создают трехмерные изображения сосудов. Это позволяет врачу получить детальные и точные снимки сосудов и обнаружить возможные патологии. КТА и КТ с контрастным усилением являются основными методами диагностики патологий сосудов: аневризм, стеноза, тромбоза, сосудистых мальформаций, травм, опухолей, разрывов и др. [2]. КТА часто используется для ранней диагностики расслоения брюшной аорты и тромбоэмболии легочной артерии [3]. Основные преимущества КТА перед другими методами визуализации включают высокую доступность, повышенную диагностическую точность и быстрое время получения высококонтрастных изображений [3]. Этот метод диагностики является быстрым и эффективным, поскольку позволяет получить детальные изображения сосуда и может быть использован для планирования хирургических или эндоваскулярных процедур по лечению обнаруженных патологий.

Отсегментированные из КТА трехмерные модели сосудов могут быть использованы в различных областях медицины и исследований для решения ряда задач:

1. Диагностика патологий артериальных сосудов.
2. Планирование сложных хирургических вмешательств на сосудах. Хирурги могут использовать 3D-модели, сегментированные изображения, измерения, протяженность выявленных патологических состояний: дилатаций, аневризм, стенозов аорты, взаиморасположение сосудистых структур для предварительного изучения анатомии и планирования оптимального пути доступа к пораженным сосудам, что помогает улучшить точность и безопасность операций.
3. Навигация и визуализация во время процедур эндоваскулярного лечения. Модели помогают врачам лучше понять вариантную анатомию пациента, степень поражения аорты или других сосудов, толщину пристеночных тромботических масс, процент стенозирования просвета и определить наиболее эффективный путь для достижения пораженных сосудов.

4. Обучение студентов медицинских учебных заведений, ординаторов и других специалистов в медицине. Модели обеспечивают более наглядное представление анатомии сосудов, а также могут быть использованы для учебных презентаций и демонстраций.

5. Исследования и анализ поражений сосудов, изучение специфических патологий и разработка новых методов диагностики и лечения. Модели позволяют исследователям более детально изучать сосудистые структуры и анализировать их изменения.

6. Разработка наборов данных (НД) для обучения и тестирования алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ). Активное внедрение алгоритмов ИИ в автоматизацию поиска сосудистых патологий на КТА неразрывно связано с подготовкой НД, содержащих экспертную разметку целевого органа или структуры [4].

Существуют различные способы получения трехмерных отсегментированных моделей сосудов из КТА-данных. Выбор конкретного метода зависит от требуемого уровня точности, доступных ресурсов и опыта пользователя:

1. Ручная сегментация: этот метод включает в себя ручное выделение сосудистых структур на каждом срезе КТА-исследования с использованием специализированного программного обеспечения. Ручная сегментация дает возможность детально контролировать процесс сегментации, но может быть очень трудоемкой и ассоциирована с высокими рисками ошибок разметчика.

2. Полуавтоматическая сегментация: этот метод использует алгоритмы компьютерного зрения для помощи в процессе сегментации. Начальная сегментация может быть выполнена компьютером, а затем пользователь может внести коррективы в модель. Это упрощает и ускоряет процесс сегментации, но по-прежнему предполагает наличие ручных операций.

3. Автоматическая сегментация: этот метод полностью автоматизирует процесс сегментации с помощью специальных алгоритмов, которые распознают и выделяют сосудистые структуры в КТА-скане. Этот метод обычно основан на обучении нейронных сетей или алгоритмах машинного обучения. Автоматическая сегментация может быть очень быстрой, но недостаточно точной в некоторых случаях.

4. Комбинированный подход: некоторые методы комбинируют ручную, полуавтоматическую и автоматическую сегментацию для достижения наилучших результатов. Например, можно использовать

автоматическую сегментацию в качестве начального шага, а затем добавить ручную доработку для корректировки модели.

Сегментацию сосудов проводят с использованием специализированного программного обеспечения (ПО).

Традиционно подобные приложения входят в функционал т. н. «рабочих станций» врача-рентгенолога – специализированных аппаратно-программных комплексов, поставляемых вендорами томографического оборудования. Безусловными достоинствами такого ПО являются быстрая обработка данных, высокая точность сегментации, удобство использования. Однако использование ПО является коммерческим и предполагает наличие специализированного оборудования. Примерами могут служить VesselIQ Xpress [5] – ПО от Philips Healthcare, которое предоставляет возможность автоматической сегментации и визуализации сосудов на КТА-данных, полученных на томографах Philips, и MIM Software [6] – ПО от GE Healthcare, которое предназначено для обработки медицинских изображений, включая сегментацию сосудов на КТА-данных, полученных на оборудовании GE.

Впрочем, растущий спрос на подготовку данных такого типа привел к появлению ПО сегментации сосудов на КТА для использования на обычных персональных компьютерах. На сегодняшний день существуют платные и бесплатные приложения с различным функционалом. Распространенным является использование нейросетевой обработки данных и узкая специализация ПО, например Segmath [7] – программное обеспечение для визуализации церебральных сосудов или Pulmonary Vascular Extraction Algorithm [8] – ПО для сегментации легочных сосудов. Существуют также бесплатные продукты открытого доступа. Согласно данным обзора [9] бесплатного ПО для аннотации цифровых диагностических изображений (3D Slicer, MITK, ITK-SNAP, Medseg, CVAT и Supervisely), наиболее полным функционалом обладает 3D Slicer – приложение открытого доступа, результат многолетней работы мультидисциплинарной команды под руководством Рона Кикинса, Стива Пипера и Жан-Кристофа Фийон-Робина (Ron Kikins, Steve Pieper, Jean-Christophe Fillion-Robin) [10].

С учетом вышесказанного в настоящих методических рекомендациях описаны операции по разметке сосудистой системы на данных КТА с использованием ПО открытого доступа 3D Slicer. Среди основных его недостатков следует отметить невысокое быстродействие и сложности освоения данного инструмента [9], несмотря на большое число обучающих материалов, представленных на специализированном портале разработчика [11]. Причиной такого несоответствия, на наш взгляд, является

невозможность изначально предусмотреть все сценарии работы с данными, что актуализирует задачу разработки методических пособий под конкретные запросы. Оптимальное решение – это всегда результат проб и ошибок, обобщения практического опыта в предметной области. Использование методических рекомендаций способствует обучению и стандартизации, позволяя улучшить уровень подготовки и снизить вариабельность результатов, что особенно важно при работе с медицинскими изображениями и анализе данных. Настоящее издание – пример такого обобщения для конкретной задачи сегментации сосудов на данных КТА органов брюшной полости. Наши методические рекомендации помогут оптимизировать процесс сегментации, что позволит сэкономить время и улучшить результаты. Указания о методах и техниках сегментации, подходах к обработке изображений и выборе параметров помогут пользователям более эффективно использовать доступные инструменты и достичь наилучших результатов.

Цель настоящих методических рекомендаций – предоставление наглядных инструкций по рациональной и эффективной полуавтоматической сегментации различных участков сосудистой системы на данных КТА органов брюшной полости с использованием широкодоступного инструмента.

В рамках работы применен метод последовательного усложнения. Предложенные подходы к сегментации сосудов продемонстрированы для наиболее крупного сосуда – аорты, рассмотрены случаи нормального просвета и наиболее распространенных патологий: аневризмы и кальциноза аорты, а также наличия тромботических масс в просвете. Затем на примерах изложены принципы масштабирования методик для случаев сегментации других сосудов в области сканирования.

Настоящее руководство направлено на оптимизацию процесса подготовки создания трехмерных моделей сосудистой системы по данным КТА и КТ органов брюшной полости с контрастным усилением.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Работа с данными, представленная в настоящих методических рекомендациях, организована в соответствии с принципами, изложенными в соответствующем учебно-методическом пособии [12]. Форматы данных, использованных в настоящем издании, включают в себя: DICOM (расширение файла «.dcm» [13]) для диагностических исследований, NIfTI (расширение файла «.nii» [14]) и/или NRRD (расширение файла «.nrrd» [15]) для обработки, хранения и обмена данными. Необходимость использования нескольких форматов обусловлена оптимизацией процесса работы с данными. Формат DICOM предназначен для работы с двумерными срезами и хранения метаданных исследования с помощью т. н. «тегов»: данные о пациенте, медицинской организации, томографе, протоколе сканирования и т. п. Каждая серия лучевого исследования представляет собой набор срезов, сохраненных в виде отдельных dcm-файлов, что удобно при составлении рентгенологического описания, но существенно увеличивает время сегментации одного исследования. 3D Slicer, как и многие другие ПО такого типа, конвертирует DICOM-исследование в сокращенный за счет метаданных формат NIfTI (или NRRD), преобразуя серию исследования в единый файл.

Метаданные исследования требуются на этапе отбора данных для сегментации, но для самой процедуры обработки они не нужны. Более того, часть метаданных исследования, содержащая персональные данные пациентов, должна быть удалена – исследование должно быть деперсонализировано согласно Федеральному закону от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных». Наличие персональных данных пациента, необходимых для медицинского специалиста и недоступных для простых пользователей, является причиной разделения источников данных открытого и ограниченного доступа.

Примером источника ограниченного доступа может служить Единый радиологический информационный сервис Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС), аккумулирующий результаты лучевых исследований медицинских учреждений государственного здравоохранения мегаполиса на единой цифровой платформе [16]. Доступ к данным имеет ограниченный круг лиц, непосредственно задействованный в решении научно-практических задач в сфере здравоохранения. Работа с данными пациентов при проведении научных исследований строго регламентирована этическими нормами и действующим законодательством РФ. Часто для работы с такими данными в научно-исследовательских целях требуется их деперсонализация. Такая

опция встроена в большинство приложений для визуализации медицинских исследований: ПО Vidar Dicom viewer [17], Инобитек DICOM-Просмотрщик [18].

Для пользователей, не имеющих возможности взаимодействовать с данными ограниченного доступа, существуют открытые источники медицинских данных. Li и соавт. систематизировали информацию примерно о 300 наборах данных, опубликованных в период с 2007 по 2020 год [19]: источники и характеристики НД стратифицированы по различным признакам, даны ссылки на соответствующие ресурсы. К основным недостаткам существующих наборов данных открытого доступа можно отнести: отсутствие данных о квалификации разметчиков (а следовательно, о достоверности данных), отсутствие некоторых типов исследований или патологий в них. В связи с этим, прежде чем использовать подобный НД, следует всегда внимательно изучить соответствие дизайна подготовки этих данных требуемым в рамках вашего исследования.

В рамках методических рекомендаций были использованы данные открытого доступа, представленные на сайте Центра диагностики и телемедицины [20]. Данный ресурс является отечественным репозиторием данных лучевой диагностики [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. НД структурированы, каждый из них снабжен популяционными данными и информацией относительно целевого признака либо патологии. НД, представленные на сайте ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» в открытом доступе, являются деперсонализированными. В разделе «Наборы данных» представлено большое число различных типов исследований в DICOM-формате. Для удобства можно воспользоваться фильтрами, расположенными слева (рис. 1).

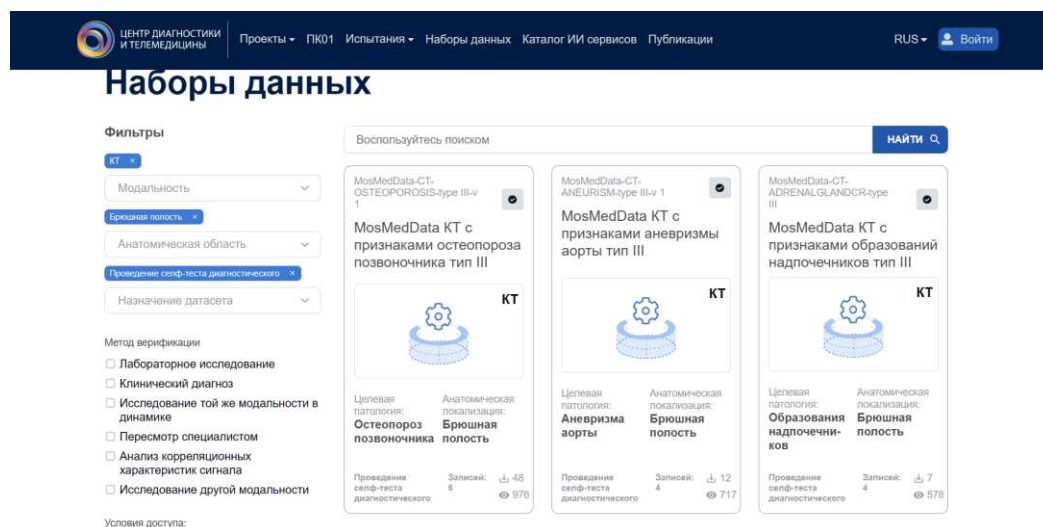
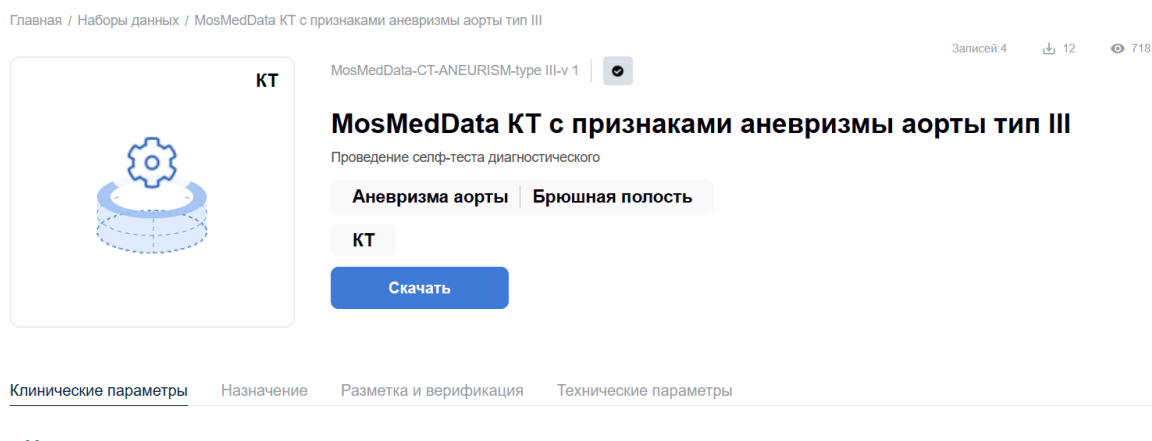


Рисунок 1 – Поисковая система НД на сайте Центра диагностики и телемедицины

В рамках настоящих методических рекомендаций был использован набор данных «КТА с признаками аневризмы брюшного отдела аорты, тип III: Проведение селф-теста диагностического» [21] (рис. 2). Наборы, название которых содержит формулировку «тип III», являются публичными и доступны для выгрузки на любой персональный компьютер (ПК). Параметры каждого набора указаны в виде карточки на соответствующих вкладках.



*Рисунок 2 – Набор данных КТА с признаками аневризмы брюшного отдела аорты*

## ГЛАВА 1. УСТАНОВКА И ЗНАКОМСТВО С ИНТЕРФЕЙСОМ 3D SLICER

На первом этапе необходимо провести установку 3D Slicer (далее – ПО) на персональный компьютер. Актуальная версия установочного файла доступна на сайте производителя [10] (рис. 3). После загрузки файла с расширением «.exe» его необходимо запустить на ПК (потребуется права администратора) и, следуя указаниям менеджера установки, установить приложение<sup>1</sup>. Все представленные в наших методических рекомендациях результаты были получены с использованием ПО версии 5.0.2.

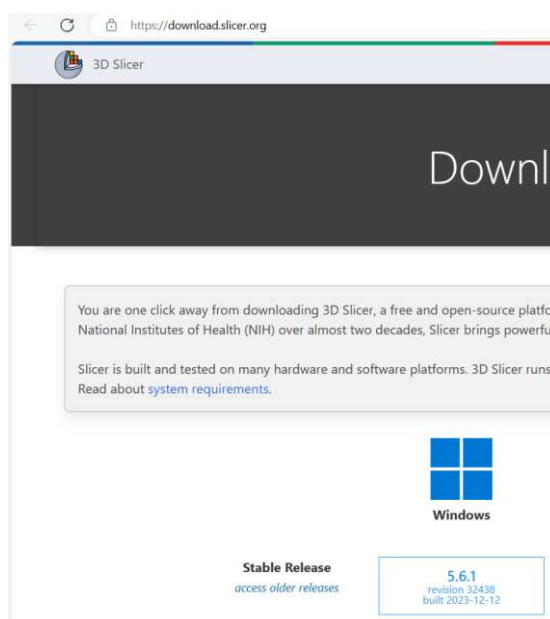


Рисунок 3 – Загрузка и установка приложения 3D Slicer

### Запуск приложения

При запуске приложения по умолчанию открывается приветственная страница «Welcome». Она содержит основное рабочее поле, которое занимает всю правую часть окна, и поле инструментов, расположенное слева (рис. 4). В верхней части окна находится двухуровневая панель значков, каждый из которых предназначен для быстрого доступа к наиболее популярным инструментам. В рамках настоящих методических рекомендаций будет подробно изложено описание использованных инструментов. С их полным перечнем можно ознакомиться на сайте производителя, там же можно найти обучающие материалы, позволяющие освоить как базовый, так и продвинутый уровень пользователя [11].

<sup>1</sup> NB! Рекомендуем устанавливать стабильную версию (stable release).

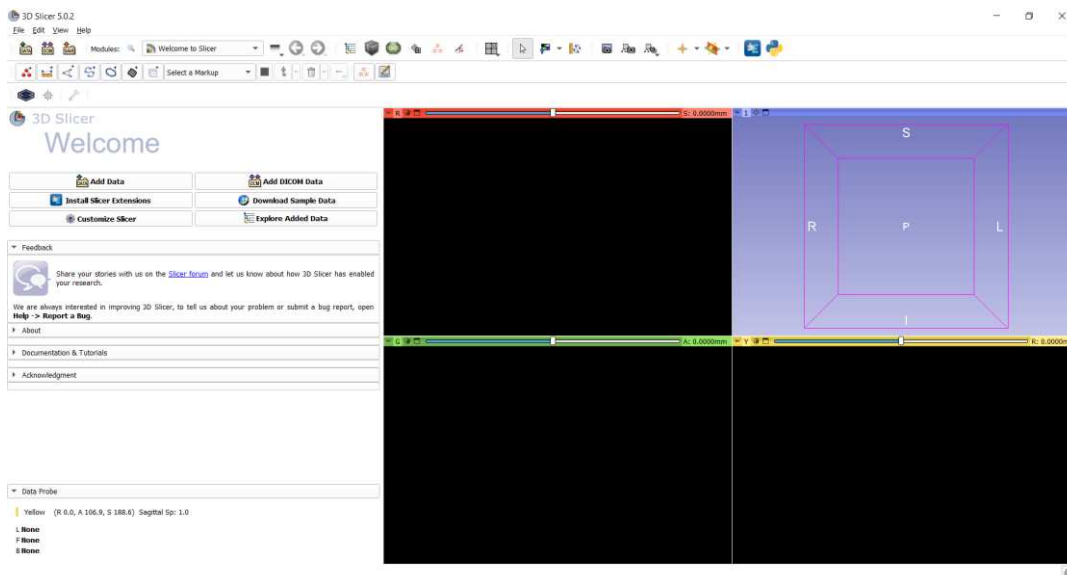



Рисунок 4 – Начальная страница работы программы

### Загрузка данных

Для того чтобы начать работу с данными, нужно загрузить их из соответствующей папки проводника либо воспользоваться менеджером загрузки в программе 3D Slicer. В этом случае нужно нажать клавишу  в верхней левой части рабочего окна приложения 3D Slicer, после чего в открывшемся окне выбрать путь к файлу с данными с помощью клавиши «Choose directory to add» (рис. 5). После того как нужная папка будет выбрана и отобразится в активном поле окна, нужно нажать кнопку «ОК» для начала загрузки.

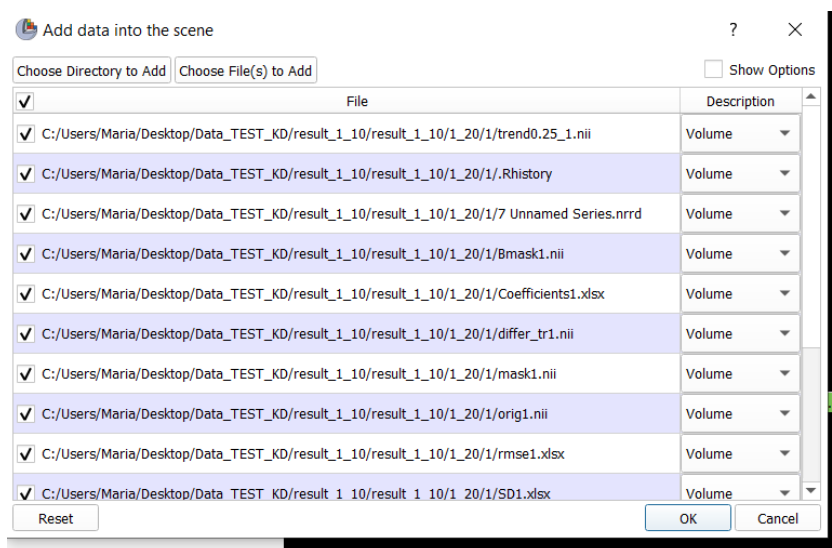




Рисунок 5 – Загрузка файлов любого типа

Следует отметить, что данная процедура предназначена для загрузки файлов любого типа. Тем не менее при загрузке DICOM-серий

рекомендуется использовать специально предназначенный инструмент. Для этого слева сверху на вкладке выбрать значок , далее нажать  и выбрать папку, содержащую необходимую серию или исследование.

Выбранные данные предварительно анализируются, и затем в основном окне отобразится исследование, причем в верхнем секторе будет представлена общая информация о пациенте, в среднем – об исследовании, в нижнем – об имеющихся в исследовании сериях. Отметим, что однократное нажатие левой клавишей мыши (ЛКМ) выделяет файл для загрузки. Так, например, можно выбрать все исследование целиком или только какую-то конкретную фазу сканирования. После того как нужный файл выбран (активный файл будет подсвечен синим цветом), необходимо нажать кнопку «Load» в нижней части рабочего окна, и процесс загрузки отобразится во всплывающем окне (рис. 6).

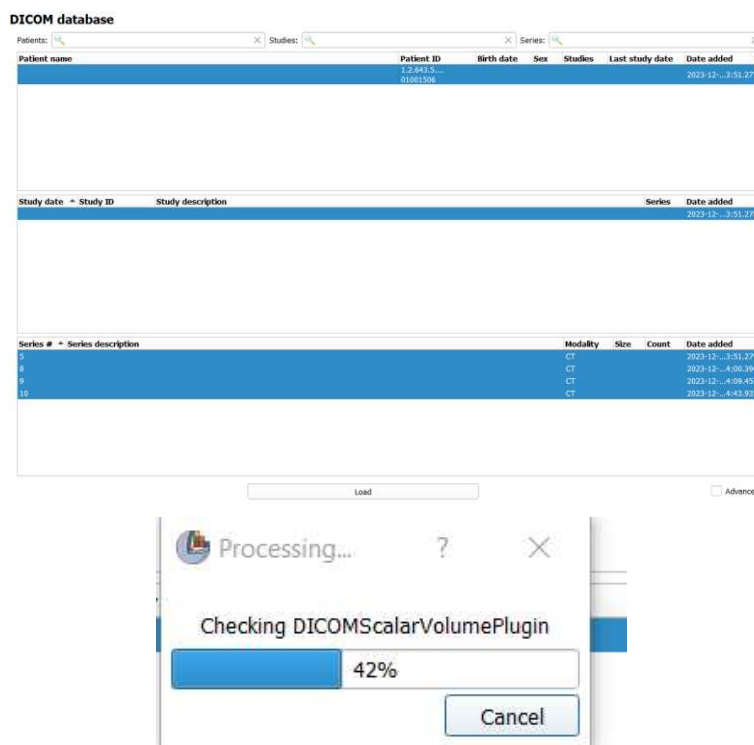
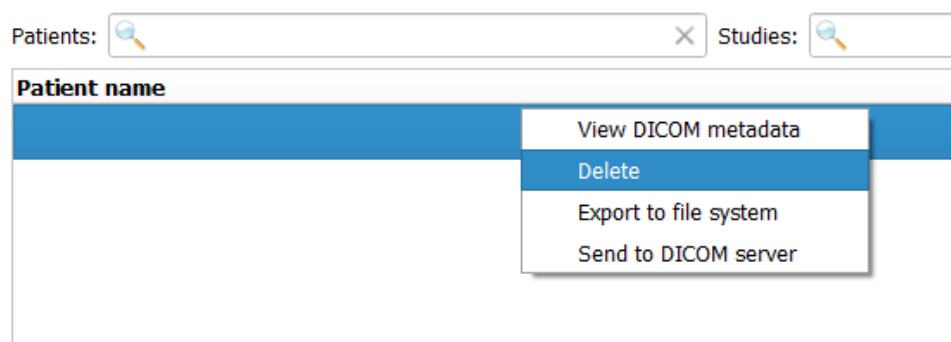


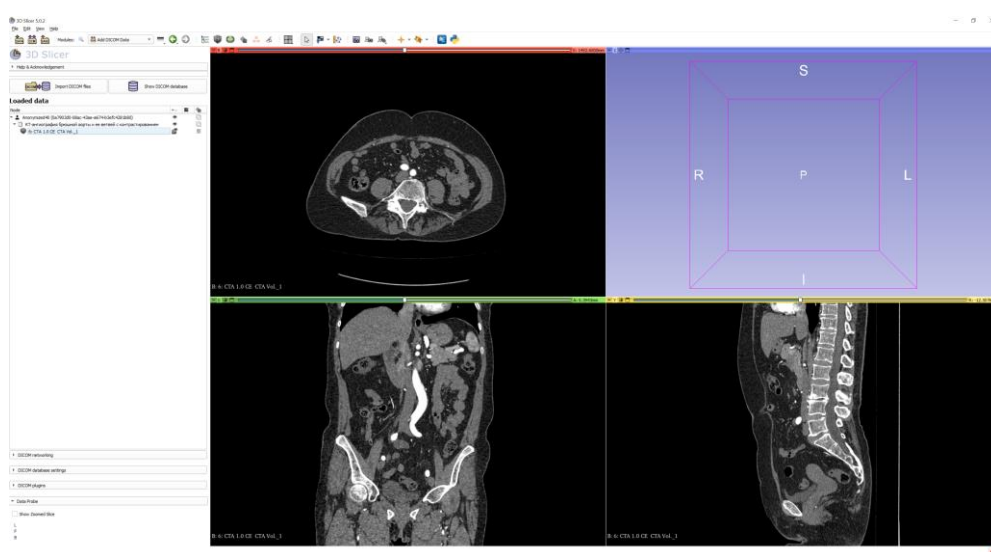
Рисунок 6 – Предварительная загрузка данных об исследовании

Стоит отметить, что инструмент загрузки сохраняет историю; для очистки журнала ненужные исследования можно удалить с помощью опции «Delete» (рис. 7) нажатием правой клавиши мыши (ПКМ).




*Рисунок 7 – Удаление исследований из списка предзагрузки*

В случае успешной загрузки основное окно программы изменится и данные исследования будут отображены в трех стандартных проекциях (рис. 8).



*Рисунок 8 – Загруженное исследование*

## ГЛАВА 2. РАБОТА С ИССЛЕДОВАНИЕМ. БАЗОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

После успешной загрузки исследования необходимо ознакомиться с базовыми инструментами работы с ним. В левой части рабочего окна отображаются данные о исследовании. 3D Slicer позволяет одновременно работать сразу с несколькими загруженными сериями и файлами. Для этого можно использовать различные виды компоновки проекций исследований (рис. 9, справа представлен список доступных вариантов) или значок видимости (обозначен пиктограммой в виде глаза ).

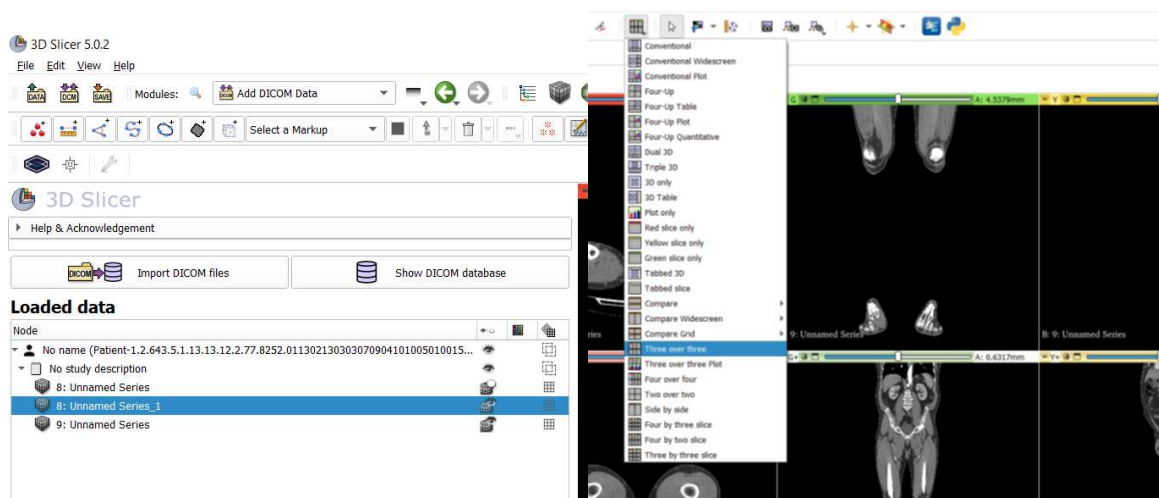


Рисунок 9 – Способы работы с несколькими сериями: выборочное отображение (слева) или совмещение серий (справа)

Перемещение между исследованиями удобно осуществлять с помощью вкладки «Data» на верхней панели инструментов. Структура данных и их видимость доступны в рабочем окне (рис. 10).

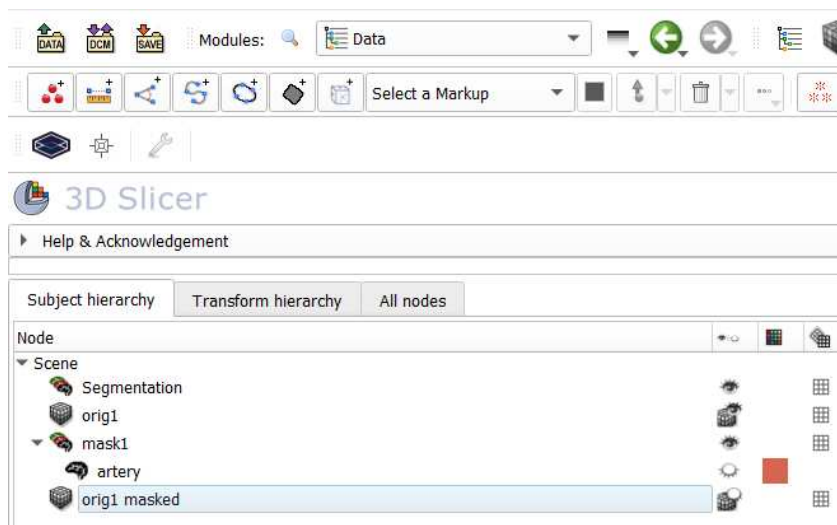
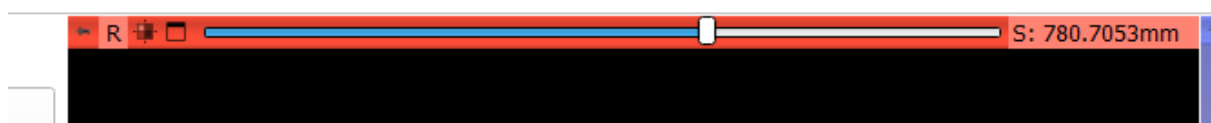


Рисунок 10 – Работа с несколькими файлами с помощью вкладки «Data»

Базовый вариант отображения – 4 сектора («Four Up» – в списке вариантов отображений). В этом случае слева направо сверху вниз отображены (см. рис. 8): аксиальная проекция (красное окно), окно трехмерной реконструкции (синее окно), фронтальная (зеленое окно) и сагиттальная (желтое окно) проекции. Окно трехмерной визуализации и его использование будут рассмотрены далее. Относительно трех стандартных томографических проекций следует отметить, что для них доступны базовые инструменты изменения масштаба и перемещения. Для удобства работы с проекцией можно перейти в полноэкранный режим: для этого дважды нажать ЛКМ (аналогично для выхода из режима) по выбранной проекции. Зажатие клавиши «Ctrl» и прокручивание колесика мыши предназначено для масштабирования области. Для перемещения изображения нужно зажать клавиши «Shift» и ЛКМ и передвинуть мышь в желаемом направлении.

Прокрутку срезов можно осуществлять либо колесиком мыши при нахождении курсора в нужном окне, либо с помощью ползунка над выбранным окном (рис. 11).



*Рисунок 11 – Ползунок для прокрутки срезов исследования*

При свободном перемещении курсора по изображению в левой части окна приложения отображаются численные данные пиксела, на который указывает курсор. Соответствующая исследованию строка окна содержит три числа в круглых скобках: это трехмерные координаты пиксела – сагиттальный, фронтальный и аксиальный, а выделенное полужирным число рядом со скобками – значение рентгеновской плотности в единицах Хаунсфилда (рис. 12).

Red (R 101.9, A 25.1, S 1599.9) Axial Sp: 0.8  
L None  
F None  
8: Unnamed (145, 230, 1642) 74  
B Series\_1

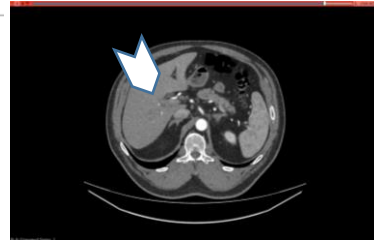


Рисунок 12 – Аксиальная проекция (Red). Окно отображения численных данных, активное исследование соответствует нижней строке. Курсор (увеличен) указывает на пиксел изображения аксиальной (красной) проекции

Еще одним базовым инструментом является подстройка диапазона рентгеновской плотности для лучшей визуализации – т. н. «диапазон плотности». Доступен выбор стандартных «диапазонов» по нажатию ПКМ и выбору «Window/level presets» (рис. 13).

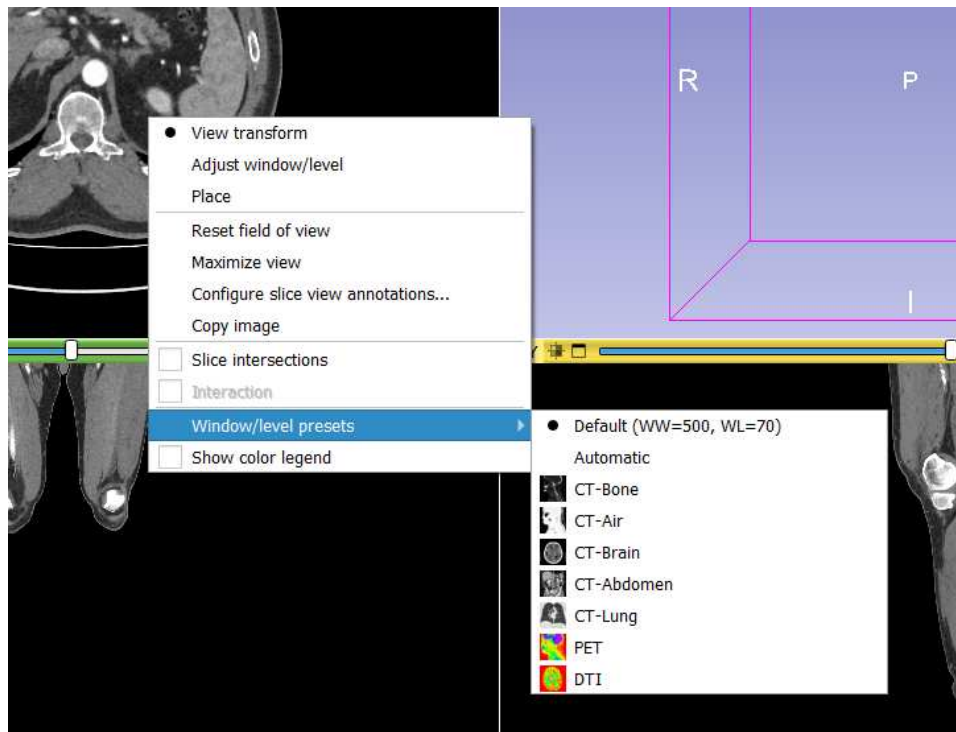


Рисунок 13 – Выбор диапазона плотности

Настроить диапазон плотности для отображения можно также с помощью прецизионного инструмента. Для этого нужно выбрать соответствующий значок на верхней панели, при этом знак курсора примет вид этого значка (рис. 14). Далее нужно привести курсор на тип тканей, который требует лучшей визуализации, и, зажав ЛКМ, двигать мышью влево или вправо в зависимости от желаемого результата.



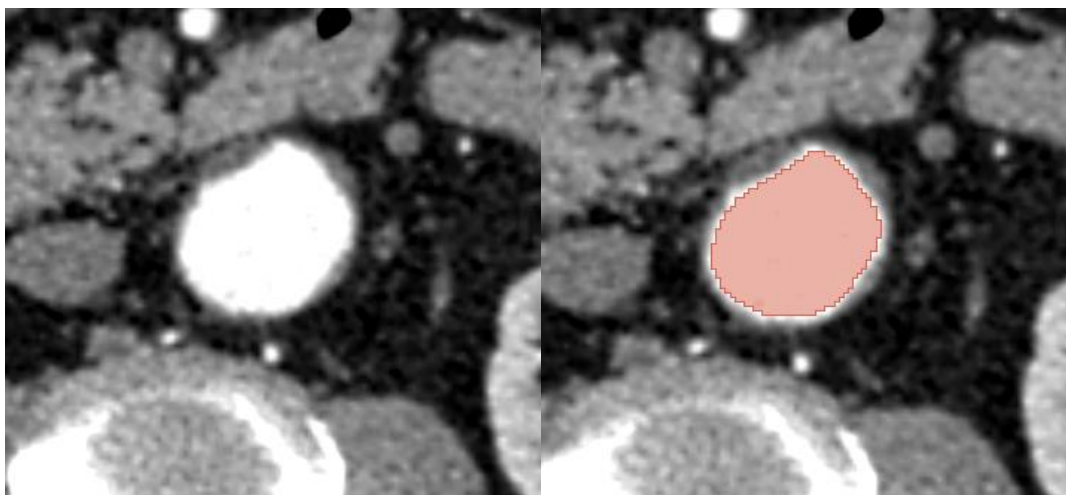
*Рисунок 14 – Инструмент для точной регулировки параметров визуализации*

Для выхода из режима следует нажать ЛКМ на значок курсора (слева от значка настройки визуализации).


### ГЛАВА 3. СЕГМЕНТАЦИЯ: БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ

Сегментация сосудистой системы на КТА-изображениях основана на наличии т. н. «сегментационных признаков» – характеристик объекта, позволяющих обозначить его границы на фоне окружающих тканей. В случае КТА это перепад значений рентгеновской плотности внутри и снаружи сосуда, получаемый за счет внутривенного ввода специализированных рентгеноконтрастных веществ.

Напомним, что сегментация представляет собой процесс выбора пикселей, принадлежащих целевому объекту (органу, ткани и т. п.). Результат сегментации, т. н. «маска» – это подобие шаблона, той же размерности, что и исходное изображение, в котором выбранным способом (например, цветом) отмечены только «целевые» пиксели (рис. 15). При наложении маски на исходное изображение область интереса становится отчетливо видна на фоне окружающих тканей (как будто на изображение наложен шаблон).



*Рисунок 15 – Пример маски сегментации (справа целевые пиксели выделены розовым)*

Для перехода в режим сегментатора нужно нажать соответствующий значок  либо выбрать «Segment Editor» из верхней панели (рис. 16).

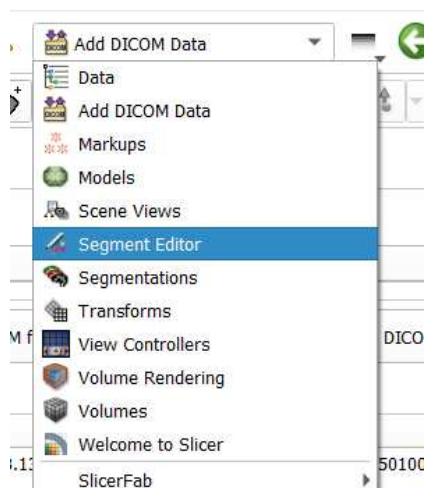


Рисунок 16 – Переход в окно сегментации

В левой части окна отобразится перечень доступных инструментов. При этом необходимо удостовериться в корректности выбора исследования, которое подлежит сегментации, или выбрать нужное в строке «Master volume» (рис. 17).

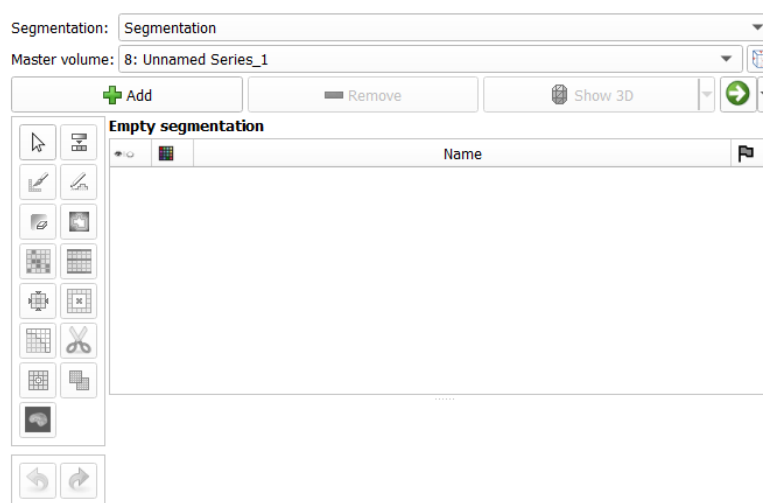
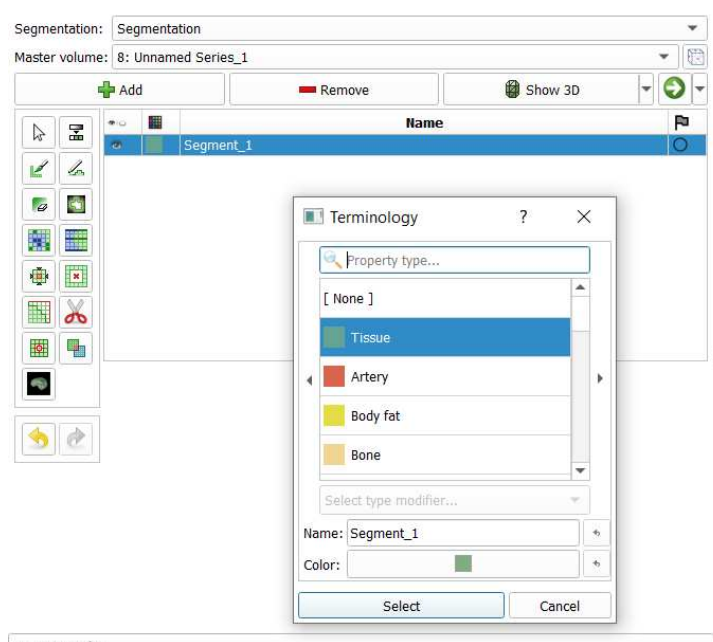


Рисунок 17 – Рабочее окно сегментатора

После выбора активного исследования для создания «маски» нужно нажать клавишу «Add». При желании сменить цвет размечаемой области можно двойным кликом ЛКМ на соответствующий цветной квадрат. Затем во всплывающем окне нужно выбрать цвет маски; для удобства по умолчанию цвета соответствуют типовым для различных типов тканей (например, красный цвет для сосудов «artery»). Для назначения выбранного цвета нужно нажать «Select». После выбора окно закроется автоматически, для принудительного закрытия нужно нажать «Cancel» (рис. 18).





*Рисунок 18 – Создание маски. Выбор цвета*


Видимость маски регулируется с помощью пиктограммы «глаз». Название маски можно изменить двойным кликом ЛКМ по ее названию. Удалить маску можно, нажав клавишу «Remove» на соответствующей панели. Для работы с маской она должна быть активной (активная маска подсвечена синим), для чего нужную маску следует выделить однократным нажатием ЛКМ.



*Инструменты для разметки. Базовый сценарий попиксельной сегментации области интереса*

Для выбора любого инструмента на панели на него нужно однократно нажать ЛКМ. Для выхода из инструмента можно кликнуть на инструмент

«Курсор» . Важно: доступно действие отмены – с помощью сочетания

клавиш «Ctrl+Z» либо с помощью стрелок  под панелью инструментов (правая стрелка позволяет перейти к последнему выполненному действию).

Базовые инструменты – это кисти и ластик . Кисть представлена

в двух вариантах: обычная  и контурная . Инструменты расположены в верхней левой части панели. Для активации инструмента нужно однократно нажать на него ЛКМ. Настройку инструмента

осуществляют с помощью окна, появляющегося при его активации. С помощью ползунка, клавиш или ручного ввода можно изменить размер инструмента (рис. 19).

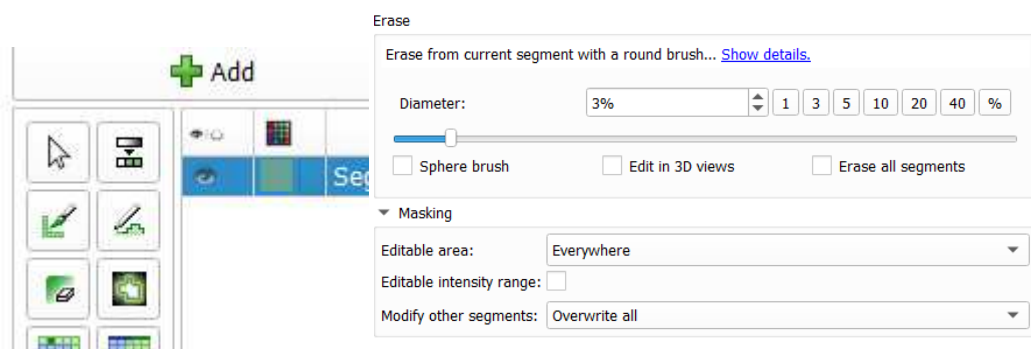
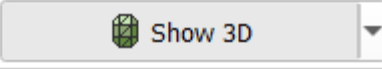



Рисунок 19 – Кисть и ластик

Ниже ползунка расположена панель с возможностью отметить галочкой дополнительные опции: сделать инструмент сферическим, работать с ним в 3D и работать со всеми сегментами (рис. 20). Для отображения и работы с маской в трехмерном пространстве нужно нажать

клавишу , далее необходимо настроить вид в правом верхнем окне, кликнув на специальный значок .

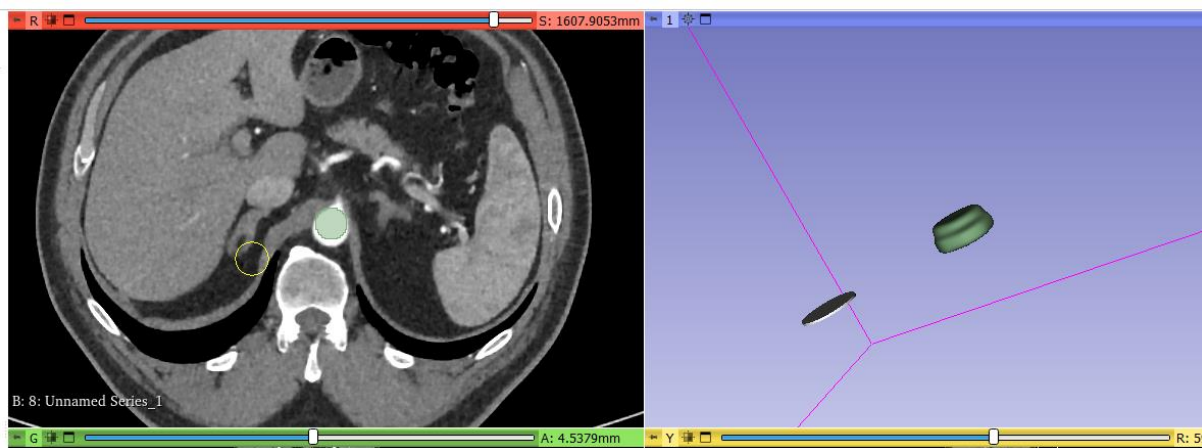

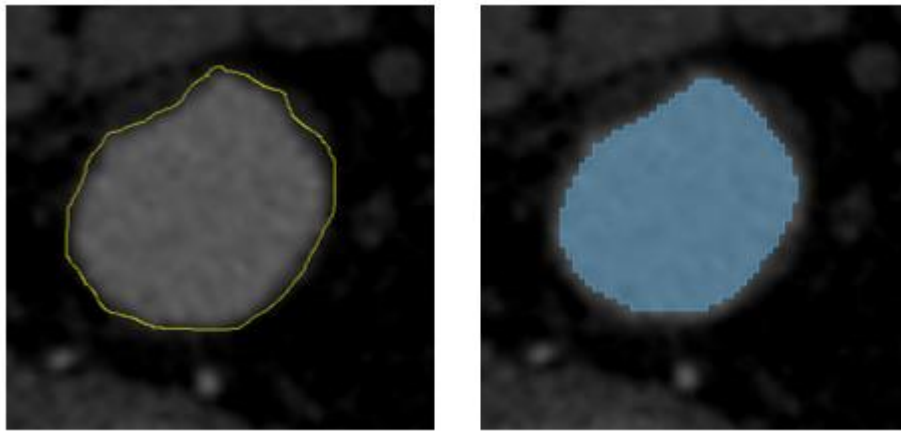


Рисунок 20 – Работа с маской в 3D

Применение контурной кисти позволяет более точно выделить нужную область за счет того, что толщина пера меньше, чем для обычной кисти. Для использования контурной кисти нужно активировать инструмент  и, зажав ЛКМ, обвести нужную область и дважды нажать ЛКМ внутри области (рис. 21).



*Рисунок 21 – Использование контурной кисти: слева изображен контур области, справа – соответствующая контуру маска*


## ГЛАВА 4. СЕГМЕНТАЦИЯ: ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Попиксельная сегментация – трудоемкий процесс, который предпочтителен для задач ручной коррекции готовой маски. Оптимальным способом получения маски является полуавтоматическая сегментация, которую можно осуществлять по-разному: в данной главе рассмотрено несколько подходов, хорошо зарекомендовавших себя в ходе практической работы [23].

Прежде чем приступить к автоматизации сегментации, следует изучить теоретические основы и принципы проведения такой обработки данных. Это позволит не только лучше понять логику изложенных сценариев проведения разметки, но и адаптировать предложенные подходы для сегментации иных (кроме сосудистых) анатомических структур.

Для ручной сегментации достаточно, чтобы разметчик знал, как обозначить границы объекта. Для автоматизации необходимо, чтобы целевой объект имел однозначно определяемые границы или иные т. н. «сегментационные» признаки, например уникальный диапазон рентгеновской плотности или специфическую форму.

Примером простейшей автоматизированной сегментации может служить «пороговая бинаризация» с помощью специального инструмента

«Threshold» на панели инструментов . Данный инструмент позволяет выбрать только интересующие объекты на изображении по их рентгеновской плотности. Выбрать диапазон можно вручную (задать границы с помощью ввода чисел или с помощью ползунков) либо подстроить под нужную структуру на изображении: для этого нужно перевести курсор (имеющий вид круга) на нужный объект и, зажав ЛКМ, «охватить» нужную область. Для создания маски нужно нажать клавишу «Apply» (рис. 22).

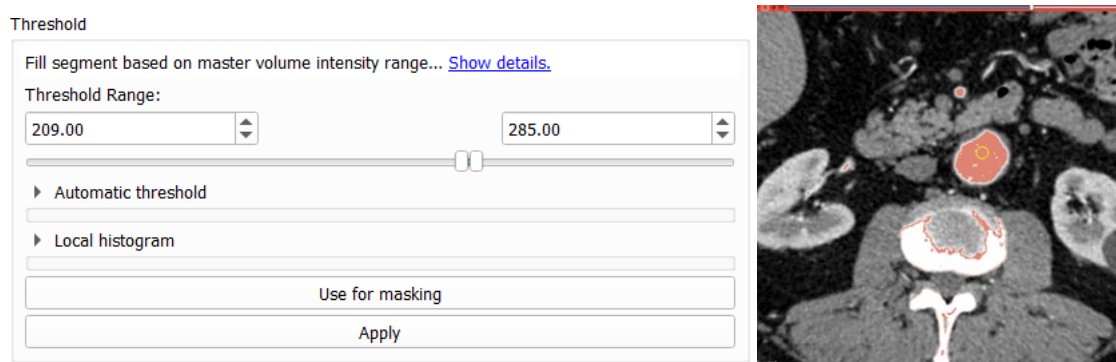


Рисунок 22 – Пороговая бинаризация, маска появляется только на объекте в диапазоне плотности [209; 285] единиц Хаунсфилда

Данный метод хорошо работает, когда целевая структура уникальна по значению плотности – в противном случае, как видно на рисунке, помимо сосудов маска распространяется на часть костной ткани, которую затем нужно будет отделять от сосудов (рис. 23).

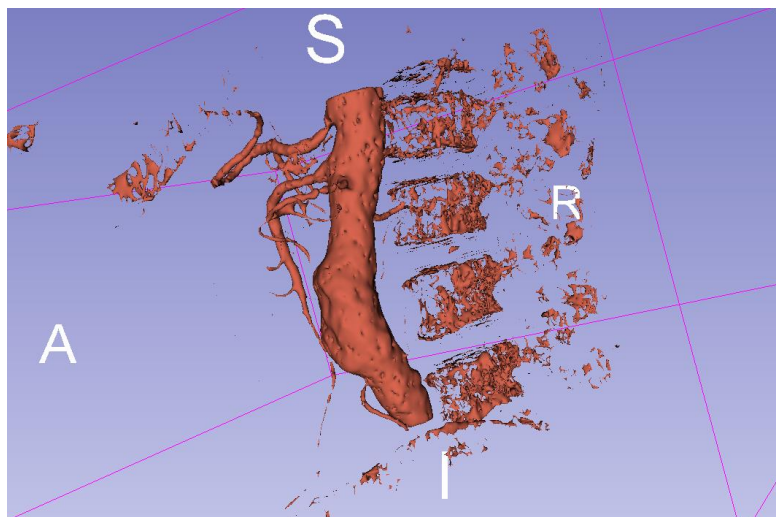

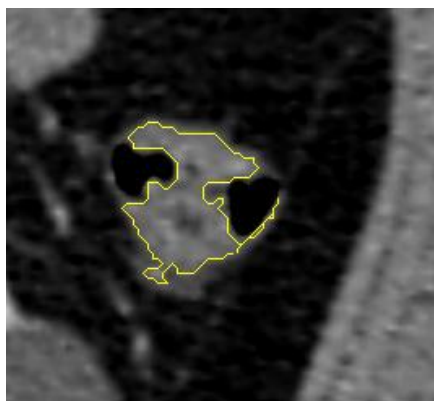


Рисунок 23 – Результат применения пороговой бинаризации для сегментации аорты

Признак формы успешно используется при автоматической сегментации с помощью нейронных сетей: в этом случае сеть последовательно «накладывает» шаблон на изображение, пока не найдет «лучшее» совпадение [24].

Еще одним важным признаком, позволяющим отсегментировать область интереса, является сходство значений плотности пикселей, принадлежащих одной области: граница области определяется как резкое изменение значения плотности. В этом случае вручную (курсором) выбирается пиксел «зерно», значение плотности которого берется за целевое. Далее проводится анализ соседних пикселей на предмет сходства и различия с целевым значением (есть внутренний порог допустимого отличия) – в итоге определяются пиксели в границах одной области. К базовым инструментам автоматической сегментации, основанным на

данном принципе, относится «Level Tracing» . Для его использования нужно активировать инструмент и навести курсор на нужный объект – границы маски будут рассчитаны автоматически. Инструмент работает только на двумерном изображении, что не очень удобно при разметке протяженных (объемных) объектов (рис. 24).



*Рисунок 24 – Пример автоматической разметки объекта с помощью Level Tracing*

Трехмерный аналог этого инструмента сегментации использован в рамках первого из представленных сценариев.

### *Сценарий 1. Инструмент «Grow from seed»*

Суть метода заключается в обозначении двух областей – «целевая» и «нецелевая» – для последующего автоматического поиска границ целевой области. Необходимо создать 2 маски и провести первичную попиксельную разметку – «наметить» границу областей. При создании маски аорты нужно с помощью кисти отметить просвет сосуда в аксиальной плоскости на первом и последнем срезах выбранной области. Далее создать вторую маску и «окружить» область сосуда. Пересечений между масками быть не должно. При создании масок нужно исходить из соображения, что они будут «расти» навстречу друг другу для поиска оптимальной границы. По этой причине важно следить, чтобы «окружающая» маска не только не пересекалась с целевой, но и не содержала элементов целевой области. Она должна включать в себя элементы, которые помогут алгоритму понять, что не входит в целевую область интереса. Для коррекции можно пользоваться ластиком. Для удобства следует регулировать размер кисти и масштабировать изображение (рис. 25).

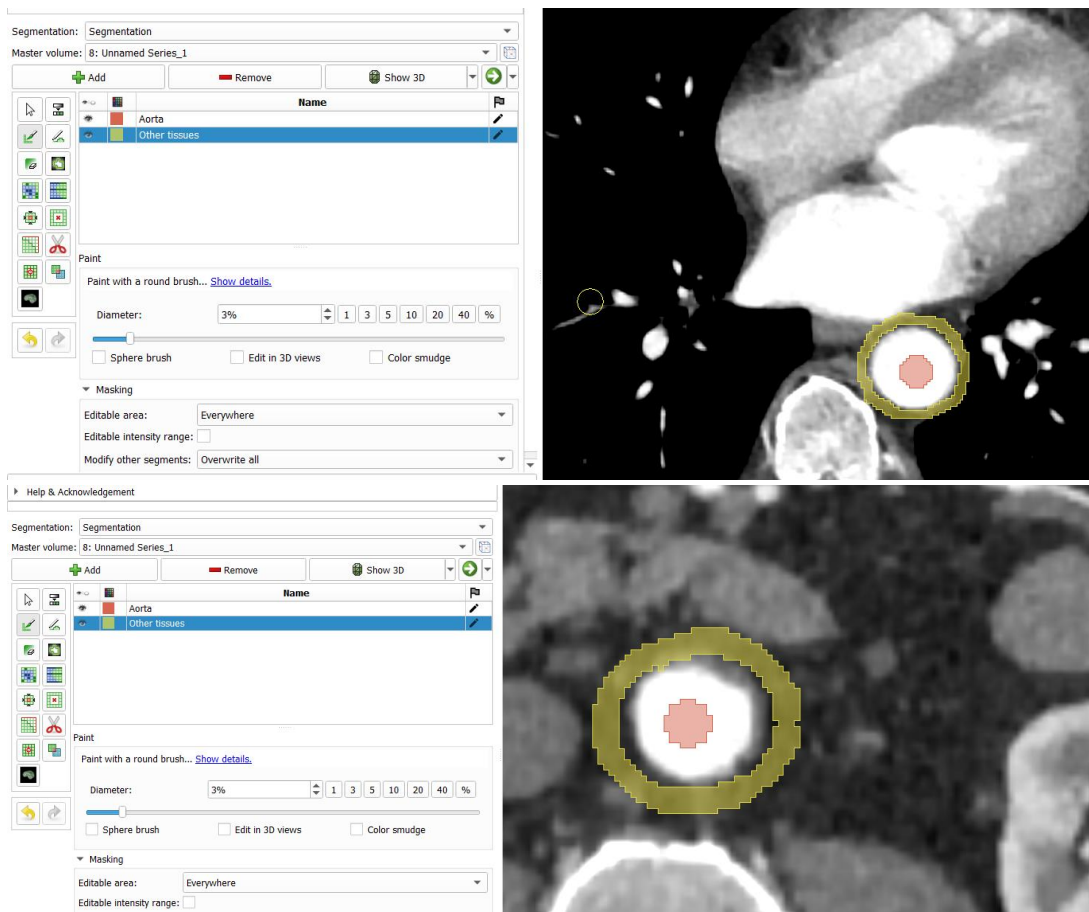



Рисунок 25 – Размечены области аорты (красный) и окружающих тканей (желтый) на первом (сверху) и последнем (снизу) срезах области интереса

Затем нужно активировать инструмент «Grow from seed»  и запустить сегментацию с помощью кнопки «Initialize» (рис. 26).

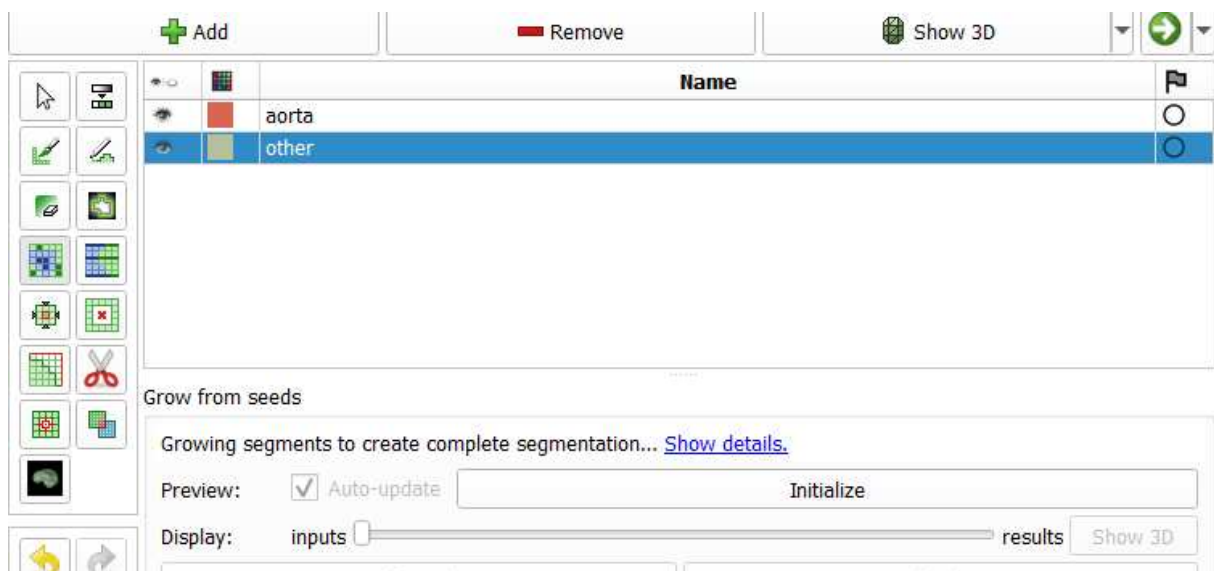
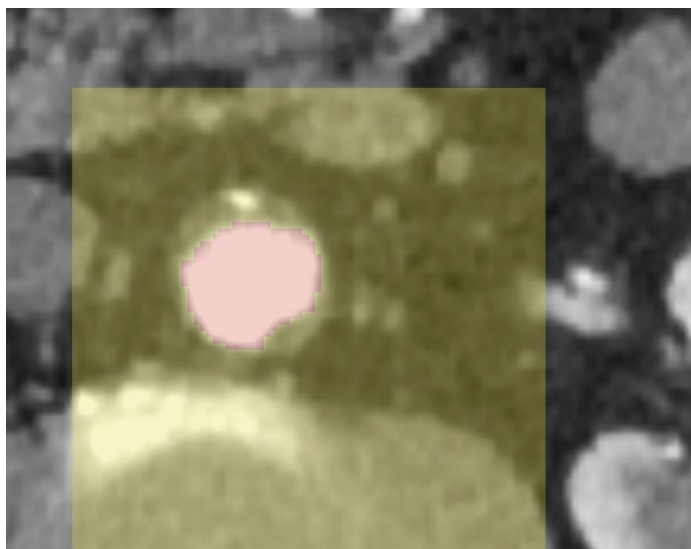


Рисунок 26 – Запуск разметки

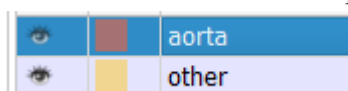
Программа автоматически создаст разметку целевой области внутри квадрата нецелевой области. Области начнут «расти» навстречу друг другу,

анализируя соседние пиксели и определяя перепад яркости, соответствующий границе целевой области (рис. 27).

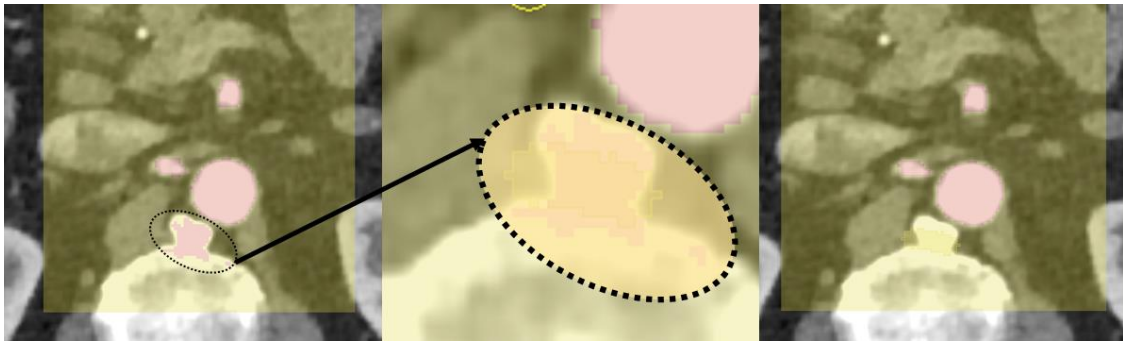


*Рисунок 27 – Результат создания автоматической маски: красным отмечена целевая область, желтым – нецелевая*

Следует осуществить прокрутку срезов для оценки качества созданной маски. При обнаружении ошибок, например захвата пикселей нецелевой области или, наоборот, «обрезки» целевой области, необходимо провести коррекцию – для этого активировать инструменты кисти и вручную отметить некорректные области. Достаточно внести коррективы на одном-двух срезах, при этом важно следить, какая маска является активной. Для активации маски нужно однократно нажать на нее ЛКМ, и она будет подсвечена синим цветом в списке масок: например, активная

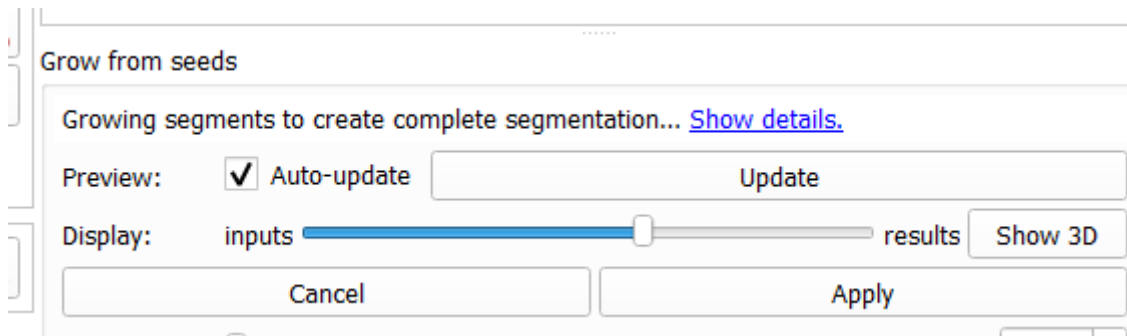


маска аорты выглядит в списке так: . При этом есть особенность: пользоваться следует только кистью, а для того чтобы убрать элементы маски, нужно отнести область ко второй, «нецелевой» маске (рис. 28). Например, если вместе с сосудами были размечены участки позвоночника, нужно сделать маску «нецелевых» тканей (other) активной (ЛКМ), выбрать кисть и докрасить области, не относящиеся к аорте.



*Рисунок 28 – Пример коррекции автоматически созданной маски*

После ручной коррекции нужно вернуться в инструмент «Grow from seed» и обновить расчет кнопкой «Update», которая появится вместо «Initialize». Обновление маски можно сделать автоматическим (рекомендуется), установив флажок в соответствующем окошке «Auto update» (рис. 29).



*Рисунок 29 – Настройка инструмента «Grow from seed»*

Когда маска целевой области примет нужный вид, следует принять результаты сегментации с помощью кнопки «Apply» (для отмены – «Cancel») в меню инструмента «Grow from seed». После ее нажатия активной останется первая (целевая) маска. Вторую маску – «нецелевую» – можно будет удалить (рис. 30).

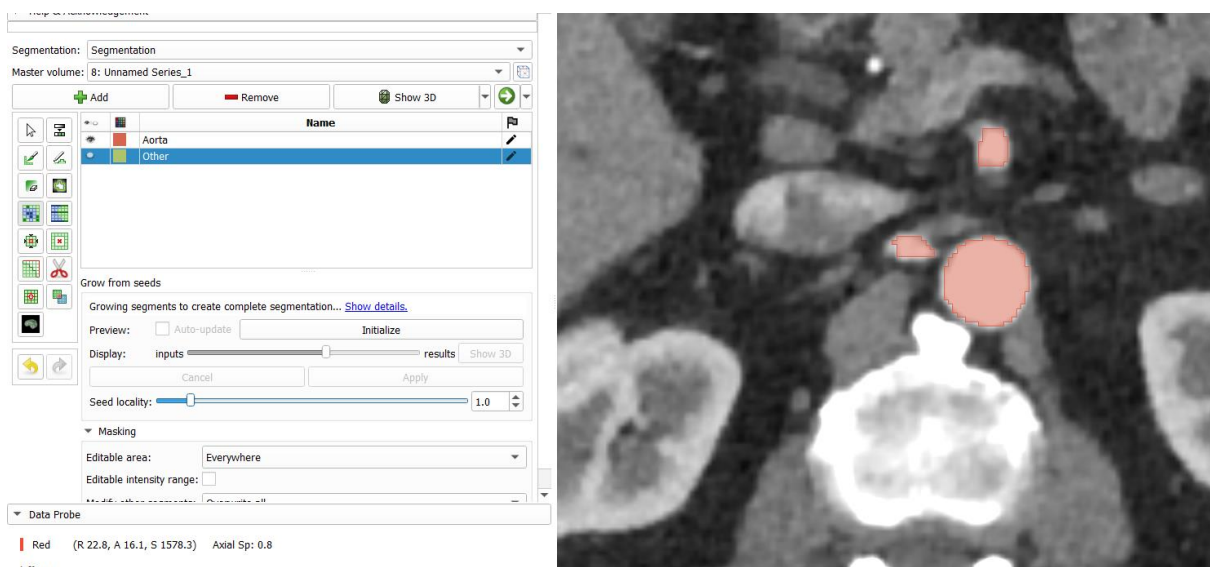


Рисунок 30 – Результат разметки сосуда с помощью инструмента

Результаты разметки (опционально) можно изучить в трехмерном виде с помощью кнопки «Show 3D» (рис. 31).

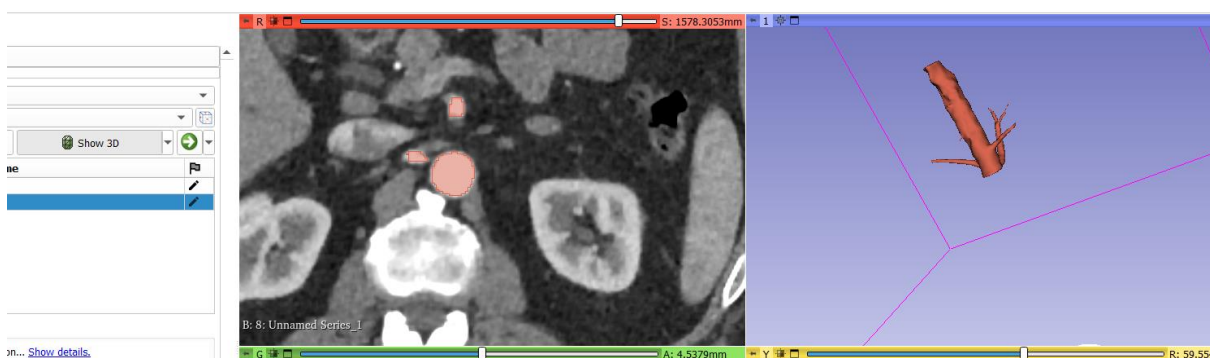



Рисунок 31 – Результат в трехмерном виде

Как видно, помимо аорты маска сегментации содержит магистральные сосуды, так как они имеют сходную плотность и соединены с основным сосудом.

### Сценарий 2. Инструмент «Fill between slices»

Альтернативным подходом является полуавтоматическая разметка, основанная на пространственной близости срезов объекта: сегментируемая область постепенно (не резко) меняет свою форму или смещается при движении от среза к срезу. Этот принцип, например, соблюдается при разметке аорты – каждый следующий срез в аксиальном направлении смещается относительно предыдущего в незначительных пределах. В этом случае удобно применить разметку каждого N-го (например, каждого третьего или пятого) среза и затем интерполировать («достроить») разметку

между ними. Не всегда целесообразно применять равномерный шаг, рекомендацией в данном случае является извитость или подвижность сегментируемого объекта: размечать следует каждый срез, который существенно (от 40 % и более) смещен относительно предыдущего.

Для данного сценария первично следует разметить область аорты на нескольких срезах – для этих целей оптимально использовать контурную кисть или «Level tracing» и ластик. Далее нужно перейти во вкладку инструмента «Fill between slices»  и запустить процедуру с помощью клавиши «Initialize» (рис. 32).

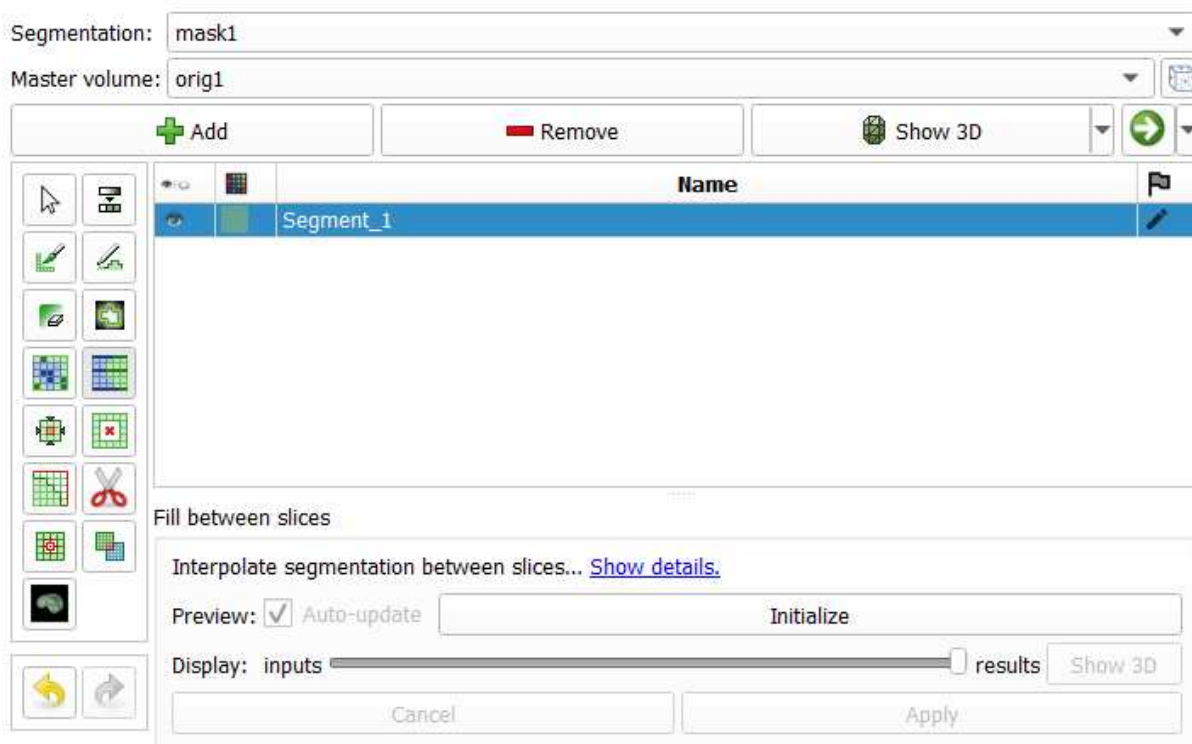
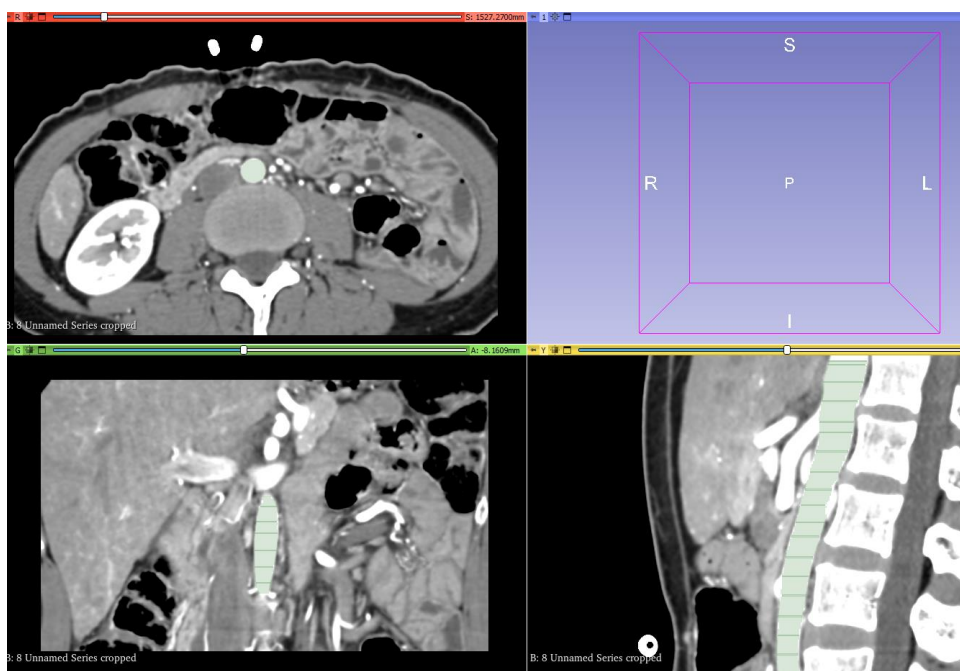


Рисунок 32 – Меню инструмента «Fill between slices»

Ползунок под кнопкой позволяет настроить видимость сегментов – в сторону размеченных срезов или в сторону результата. Рекомендуется сперва перевести ползунок в крайнее правое положение для оценки результата. Следует оценить качество разметки, в случае, если маска некорректна, вернуть ползунок на среднее положение (в этом положении видны обе маски, но ручные срезы выглядят ярче автоматических, что облегчает коррекцию) и дополнительно разметить промежуточные срезы, где необходимо. Для обновления маски нужно вернуться в инструмент и нажать клавишу «Update». Рекомендуется настроить автоматическое обновление маски с помощью флажка «Auto-update». В случае, если маска

удовлетворяет требованиям, следует нажать клавишу «Apply». Для отмены следует нажать «Cancel» (рис. 33).



*Рисунок 33 – Результат работы инструмента «Fill between slices»*

Стоит отметить, что полученный результат не будет содержать магистральных сосудов, так как магистральный сосуд воспринимается методом как «резкая» смена формы объекта, которая в данном случае противоречит основному принципу создания маски.

## ГЛАВА 5. СЕГМЕНТАЦИЯ: ПОСТОБРАБОТКА МАСКИ


Несмотря на то, что представленные сценарии позволяют оптимизировать процедуру и получить результат, максимально приближенный к реальному, в ряде случаев полученная маска может потребовать постобработки. В данной главе изложены приемы и инструменты, рекомендованные для оптимизации постобработки (коррекции) маски.

Общие рекомендации таковы: применять планарную (т. е. на двумерном срезе) обработку в случае единичных специфических дефектов и трехмерную обработку для типовых дефектов.

Планарную коррекцию маски удобно осуществлять с помощью базовых инструментов, описанных в главе 3, инструменты трехмерной обработки подробно изложены ниже.

### *Отсечение объектов*

Примером такой обработки может служить необходимость отсечь конкретный участок сосуда. В случае, когда нужно извлечь только просвет аорты (без магистральных сосудов), целесообразно применять второй сценарий, изложенный в предыдущей главе.

Для отсечения удобно воспользоваться инструментом «Scissors» . Активировав инструмент, следует настроить режим работы (рис. 34).

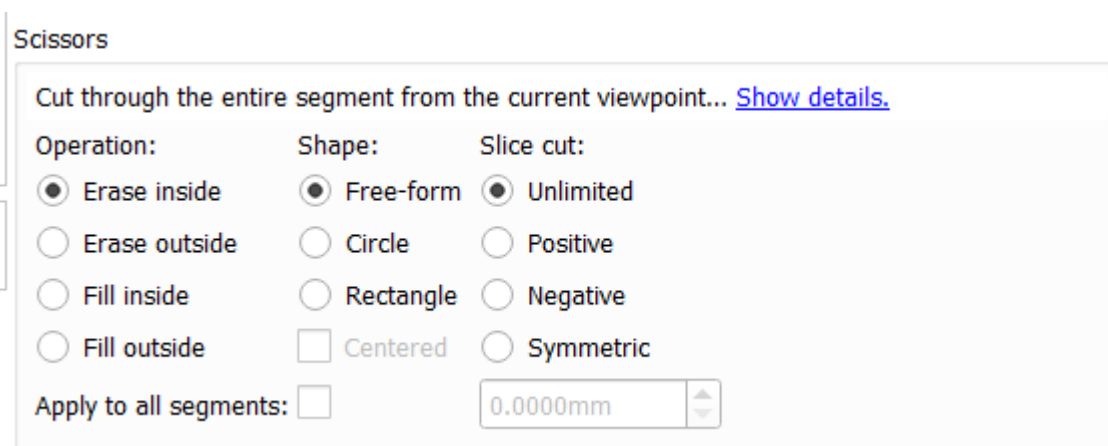


Рисунок 34 – Меню инструмента «Scissors»

Меню содержит 3 типа регулировки. В разделе «Operation» нужно выбрать, как работать – вне или внутри очерченной области, а также – отрезать либо заполнять область. О пользе возможности заполнения области будет рассказано ниже. Для задачи отсечения следует выбрать режим «Erase», «inside» (внутри) или «outside» (снаружи) – зависит от того,

насколько велик кусок, требующий обрезки: если он мал, то его проще обвести и выбрать «Erase inside», если он велик и проще обвести целевой орган, то выбрать «Erase outside». Далее нужно выбрать форму области. Иногда удобно пользоваться стандартной формой в виде прямоугольника «Rectangle» или круга «Circle», но для большинства практических задач рекомендуется выбирать свободную форму области «Free-form». Третий набор регуляторов нужен для определения «глубины» выреза относительно активного (на котором рисуют область) среза: работать по всем срезам – «Unlimited», симметрично относительно активного среза на выбранную глубину – «Symmetric», только в сторону следующих срезов – «Positive» (от активного и до последнего) или только в сторону предыдущих срезов – «Negative» (от активного и до первого). Выбор глубины следует делать на основании конкретной задачи. Например, на рисунке 35 представлены два альтернативных подхода к решению задачи по отсечению первого крупного сосуда, отходящего от брюшной аорты (чревного ствола). Важно: для прокрутки модели в 3D-пространстве нужно переключиться на инструмент

курсора  и, зажав ЛКМ, передвинуть мышь в нужную сторону.

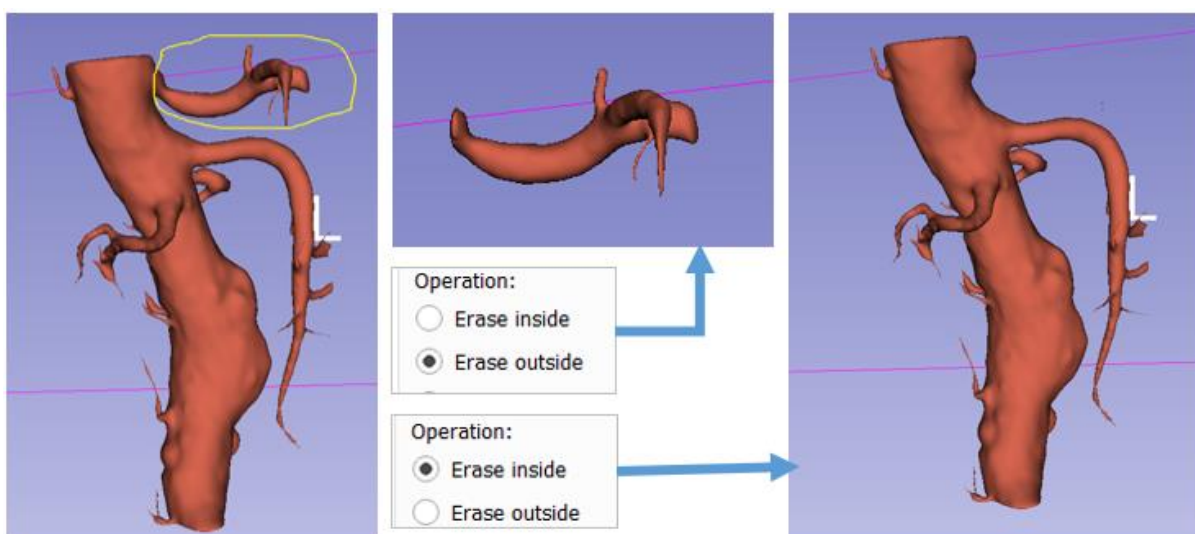


Рисунок 35 – Пример удаления элемента из маски

### Сглаживание маски

В некоторых случаях полученная маска может содержать мелкие пустоты или лишний «шум» – в этом случае обрабатывать мелкие объекты вручную нецелесообразно, следует применять сглаживание с помощью

инструмента «Smoothing»  .

Активировав инструмент однократным нажатием ЛКМ, нужно настроить параметры (рис. 36).

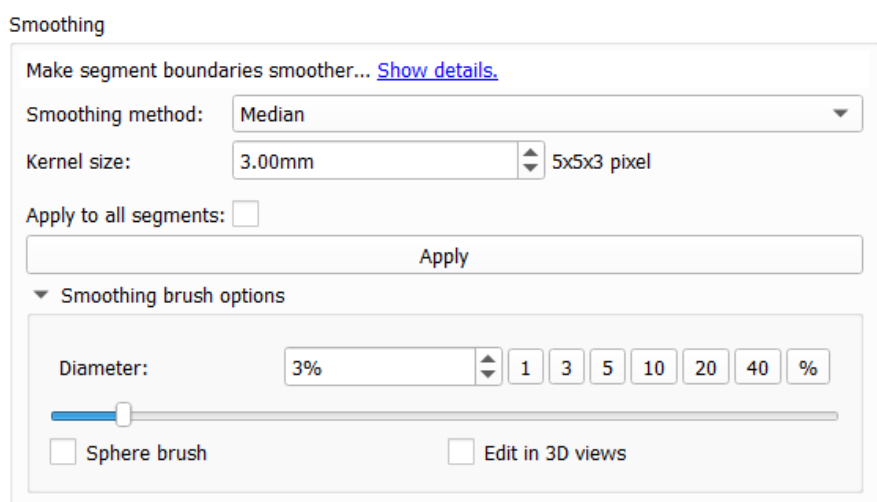


Рисунок 36 – Меню параметров инструмента сглаживания

Менять установленный медианный («Median») метод (т. е. фильтр) нужно, исходя из потребности, так же как и менять размер окна («Kernel size»). Так, если маска просто содержит хаотичные пустоты, достаточно медианного фильтра, но если маску нужно сгладить по краю, то следует воспользоваться «Opening» – удалением элементов, меньших «Kernel size», или «Closing» – заполнением полостей, меньших «Kernel size». Размер окна определяет масштаб эффекта – его следует подбирать опытным путем. Рекомендуется не менять размер окна при медианной фильтрации – 3×3; этот размер также является оптимальным для большинства задач. Метод «Gaussian» сглаживает маску, уменьшая ее на величину, пропорциональную «Kernel size». Метод «Joint smoothing» позволяет одновременно сгладить все имеющиеся маски, уменьшая их размер, в этом случае кисть не применяют (рис. 37).

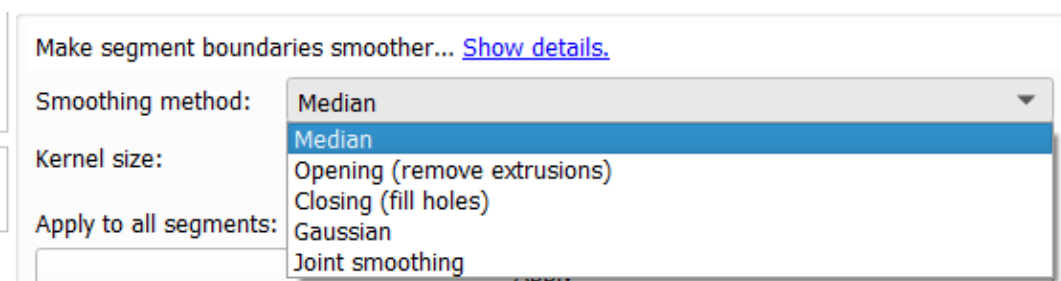


Рисунок 37 – Выбор метода сглаживания

Сглаживание можно принять планарно – на двумерном изображении, но более эффективно работать с трехмерным объектом. Можно применить фильтр сразу ко всему изображению, нажав кнопку «Apply», но область

сглаживания можно выбрать вручную с помощью доп. окна «Smoothing brush options» (чтобы его открыть, нужно нажать на маленький треугольник). Далее следует сделать кисть сферической и разрешить работу в объеме – установить соответствующие флажки (рис. 38). Размер кисти можно настроить вручную. Размер кисти – это не размер окна фильтра, а область, к которой будет применяться фильтрация (рис. 39).

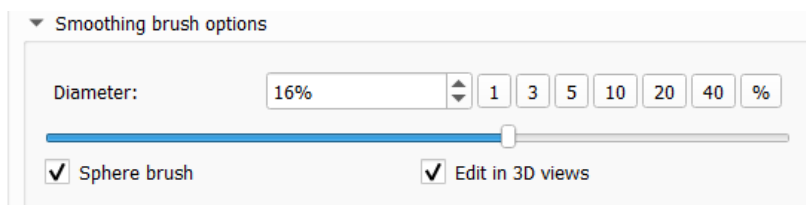


Рисунок 38 – Настройка сглаживания в 3D

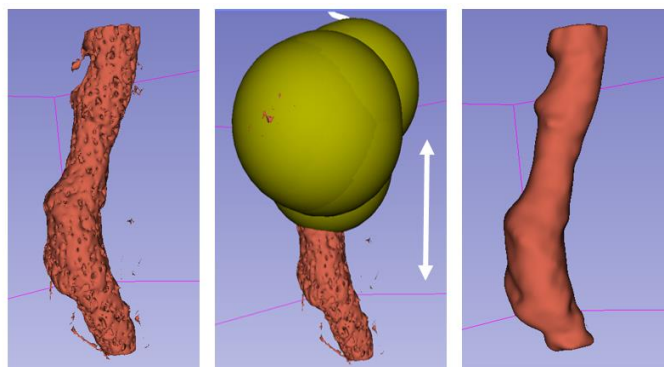

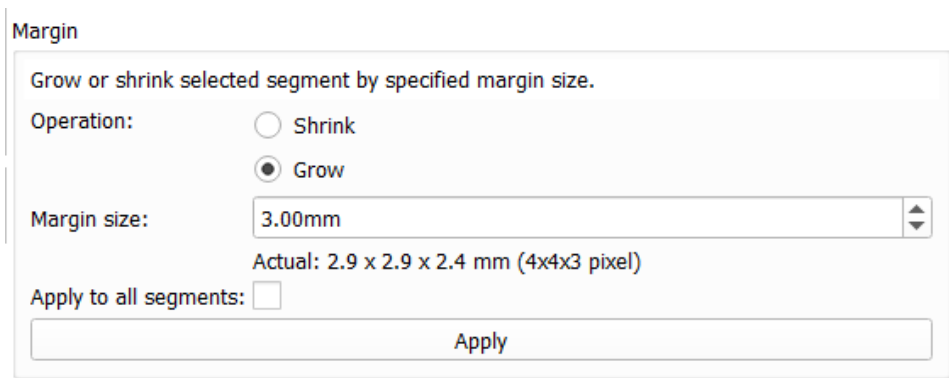


Рисунок 39 – Пример использования сглаживания с помощью сферической кисти

Важно, что данный метод удобен при работе с конкретным крупным органом, имеющим гладкий край (например, просвет аорты). В случае, если орган имеет мелкие элементы, сглаживание может привести к их потере: следует либо работать в двумерном режиме (на срезах), либо выбирать альтернативный вариант обработки (например, «Scissors»).

Иногда сглаживание может привести к нежелательному расширению или сужению маски. В этом случае, а также если требуется пропорциональное масштабирование маски, можно воспользоваться

инструментом «Margin» . Нужно выбрать опцию уменьшения – «Shrink» или увеличения – «Grow» и настроить величину. Обращаем внимание, что миллиметры автоматически пересчитываются в пиксели ниже окна ввода. После установки следует нажать кнопку «Apply» (рис. 40).




*Рисунок 40 – Меню инструмента «Margin»*

При использовании инструмента важно учитывать, что изменения затронут все имеющиеся объекты маски, например, если после сглаживания остался мелкий шум – он тоже увеличится или уменьшится в размерах согласно основному объекту.

## ГЛАВА 6. СОХРАНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По завершении работы или на промежуточном ее этапе следует сохранять результаты. В данной главе изложена стандартная процедура и несколько дополнительных приемов, полезных для ряда случаев.

Для сохранения результатов следует убедиться, что все необходимые изменения приняты и в окне сегментатора присутствуют только нужные маски; желательно, чтобы у них были значимые названия. Далее следует

нажать кнопку «Save» на верхней панели инструмента . После нажатия отобразится всплывающее окно, в котором будут перечислены сохраняемые файлы (рис. 41).

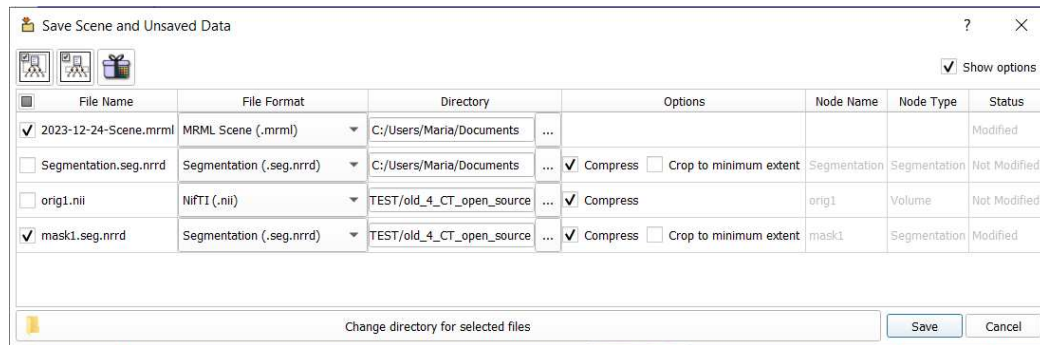




Рисунок 41 – Окно сохранения файлов

Галочками отмечаем нужные файлы (также доступна опция «Отметить все»   File Name). Далее следуют имена файлов, которые можно изменить однократным нажатием ЛКМ и вводом нового имени. Для простоты рекомендуем, чтобы в имени маски присутствовало слово «Segmentation» или какое-либо производное сокращение от него. Следующее окно – выбор формата файла: рекомендуем для самих исследований (серий) устанавливать формат NIfTI (.nii), для маски – специальный растровый формат (.nrrd). Далее можно каждому файлу назначить свою собственную папку либо централизованно для всех (рекомендуется) отмеченных галочками файлов выбрать одну – с помощью клавиши «Change directory for selected files». Важно: путь будет назначен только для выбранных файлов. Настройки остальных граф и их смысл можно изучить на сайте производителя ПО, менять значения по умолчанию не рекомендуется. После установки значений следует нажать кнопку «Save» и вручную (т. е. через проводник) проверить наличие нужных файлов в выбранной папке. Для того чтобы открыть сохраненные файлы, нужно перетянуть их в рабочее окно Slicer и во всплывающем окне выбрать формат

«Volume» для файла с исследованием и «Segmentation» для файла с маской. Открыть файлы можно и через загрузчик (см. главу 2).

Иногда требуется сохранить только размеченную область; в этом случае рекомендуем использовать инструмент «Mask Volume» . В меню инструмента нужно выбрать исследование («Input volume») и отметить, как применить маскирование (рис. 42) – изменить исходные данные или создать новый файл (рекомендуется). При этом доступно две опции: можно «удалить», т. е. заполнить значениями «0» область вне маски – «Fill Outside» или внутри нее – «Fill inside» (рис. 43).

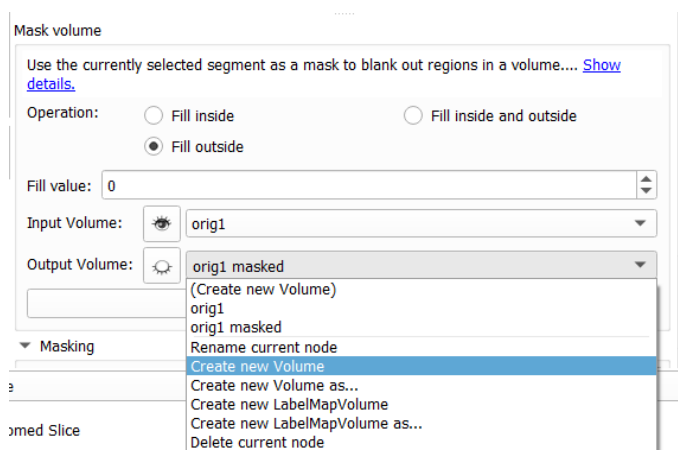


Рисунок 42 – Наложение маски на исходные данные – выбор параметров

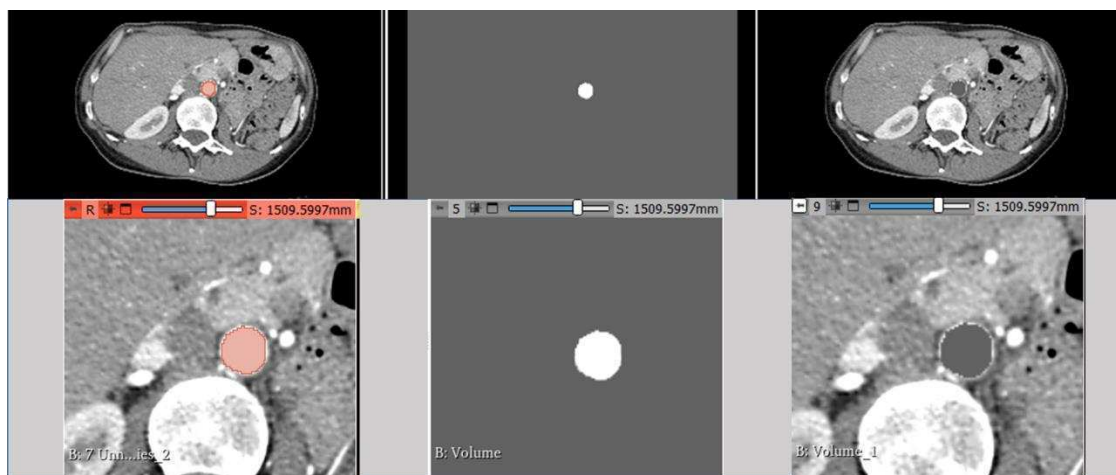


Рисунок 43 – Наложение маски аорты на исходные данные: исходное изображение (слева), значение маски заполняет нулевыми значениями внутри маски – «Fill inside» (в центре) или снаружи маски – «Fill outside» (справа)

Стоит отметить, что полученные исследования можно экспортировать как DICOM-файлы. Для этого предусмотрена отдельная процедура, открывающаяся по нажатию ПКМ на выбранное исследование на вкладке «Data». Далее нужно согласиться с предложением о создании нового файла

и указать папку для экспорта в нижней части окна с помощью троеточия. Опционально можно прописать теги исследования в соответствующих окошках формы. Затем нужно нажать клавишу «Export». Важно: экспортировать в DICOM можно только сами серии исследований; если нужно экспортировать маску сегментации, ее следует сначала открыть как «Volume» (рис. 44).

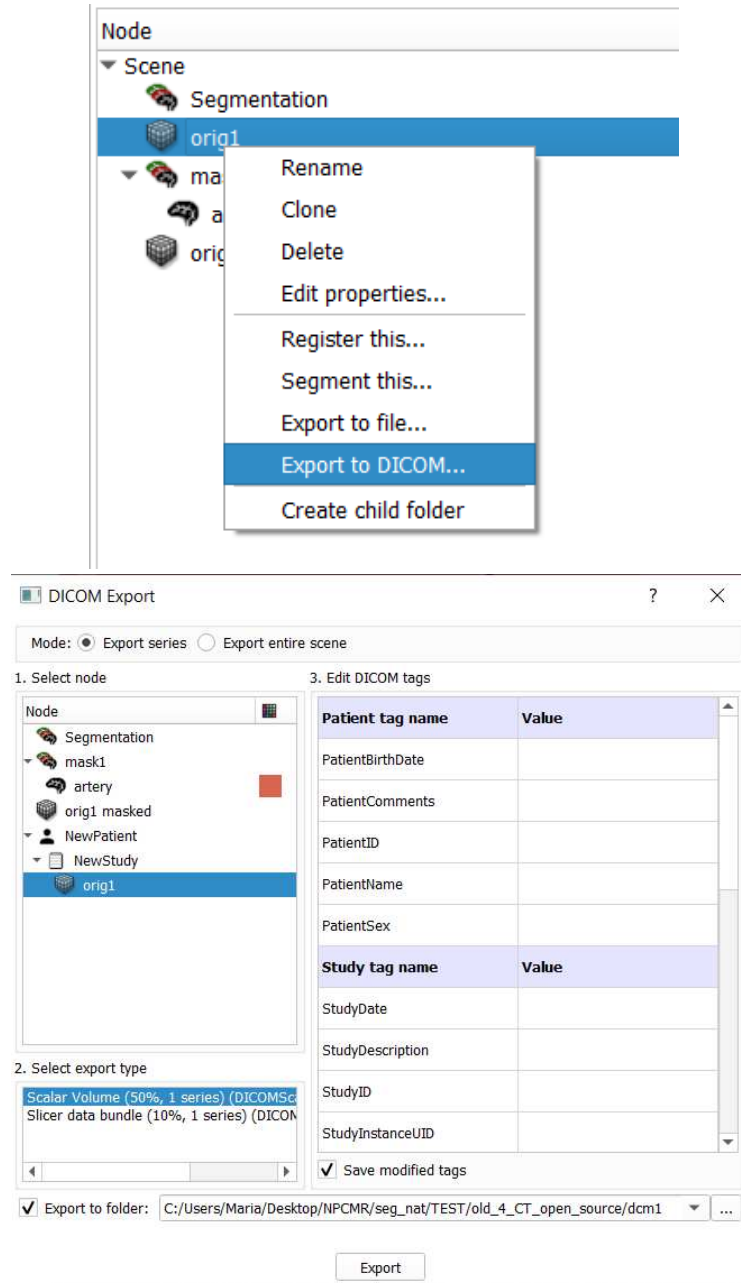


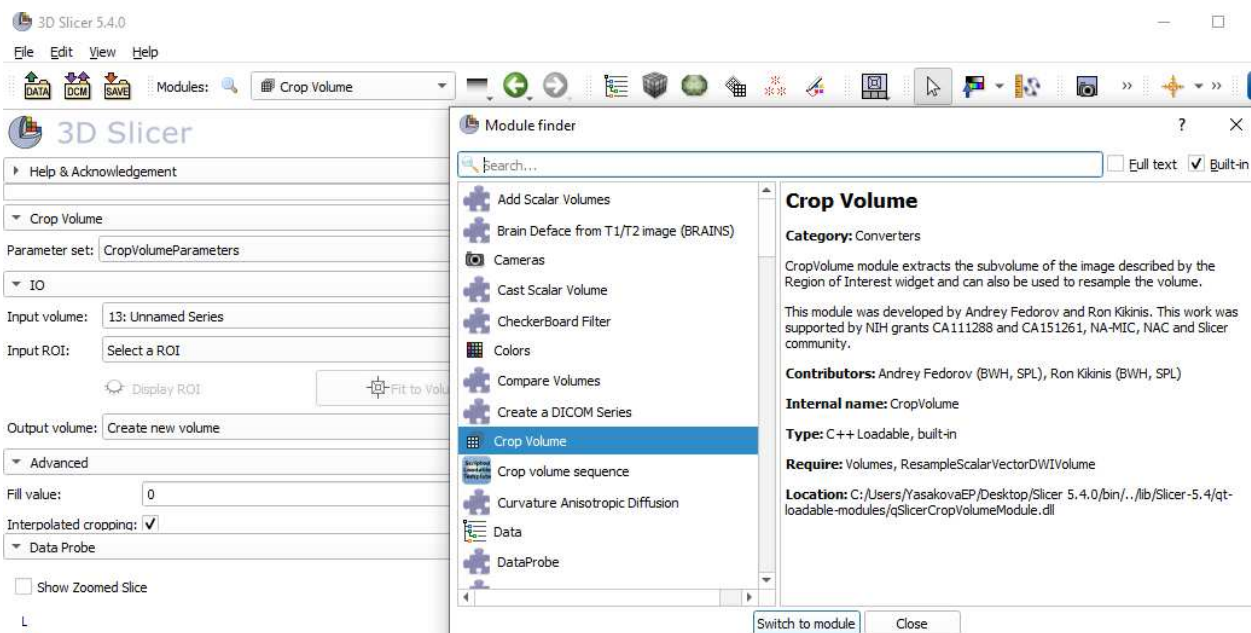
Рисунок 44 – Экспорт данных в формате DICOM

## ГЛАВА 7. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И МАСШТАБИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ

К дополнительным инструментам, потенциально полезным в рамках данной задачи, можно отнести создание нескольких масок, мультипланарную реконструкцию, обрезку исследования с помощью инструмента «Crop volume», создание моделей для печати на 3D-принтере (формат .stl) и извлечение численных параметров из модели.

### *Обрезка поля исследования*

Обрезка исследования возможна с помощью специального модуля – для его активации нужно нажать клавишу поиска (пиктограмма «лупа») и ввести в окне поиска «Crop volume». Далее следует выбрать необходимый инструмент с помощью двойного нажатия ЛКМ и перейти в меню «Switch to module» (рис. 45).



*Рисунок 45 – Модуль обрезки данных*

В открывшейся вкладке слева нужно выбрать активный объем «Input Volume», отметить, как применить обрезку «Output volume» – изменить исходные данные или создать новый файл (рекомендуется), – и нажать клавишу «Fix» в нижней части меню (рис. 46).

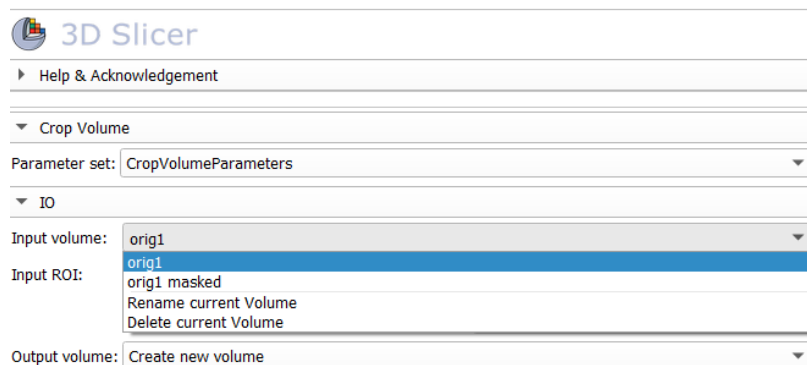


Рисунок 46 – Выбор активного объема

В исследовании появится окно, узлы которого можно сдвигать для ограничения нужной области на всех трех плоскостях. При получении желаемого результата следует нажать кнопку «Apply». Для сброса – можно нажать кнопку «Fit to volume» (рис. 47).

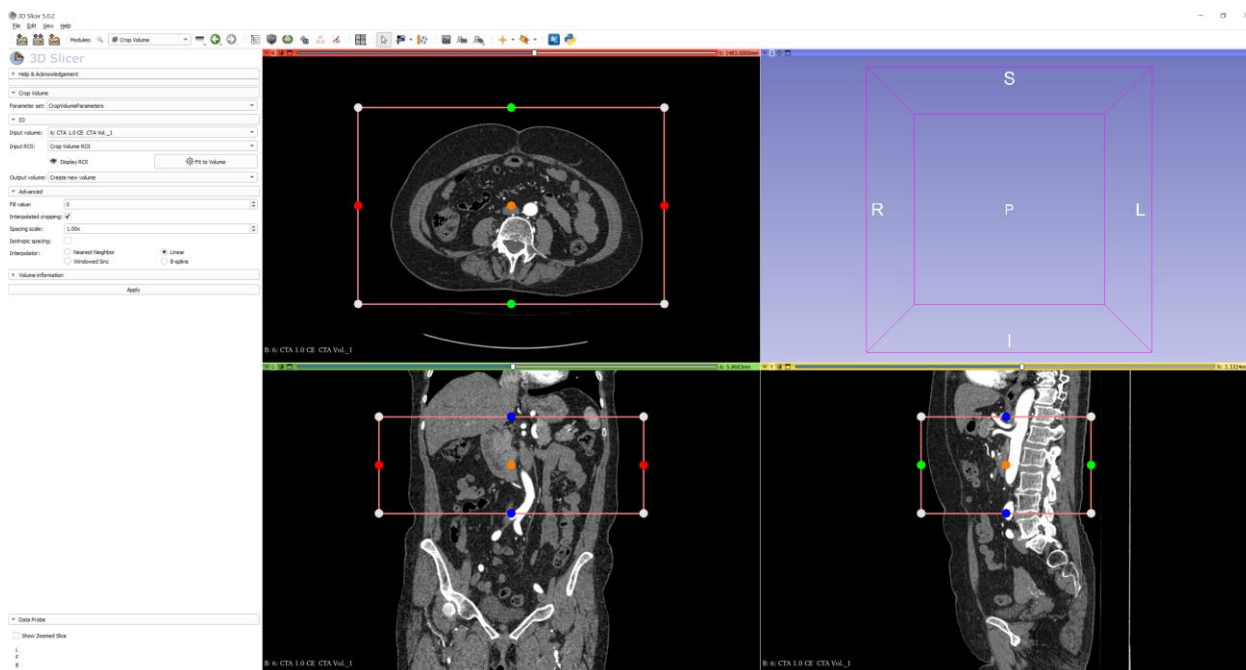


Рисунок 47 – Обрезка области

### Работа с несколькими масками

Созданная область может быть применена и к другому исследованию (чтобы, например, сделать одинаковую обрезку разных исследований) – для этого нужно просто изменить активный объем (рис. 48).

В случае наличия кальцинированных бляшек или тромбоза рекомендуется создавать отдельные маски другого цвета. При этом данные маски будут сохранены в один файл сегментации. Общие принципы разметки областей аналогичны изложенным выше.



Рисунок 48 – Пример разметки тромбированного и кальцинированного сосуда

### Мультипланарная реконструкция

Мультипланарная реконструкция полезна для решения некоторых задач при визуализации и разметке данных. Для перехода в этот режим следует нажать значок на панели инструментов сверху и поставить галочку на разрешение манипуляций – «Interaction» (рис. 49).

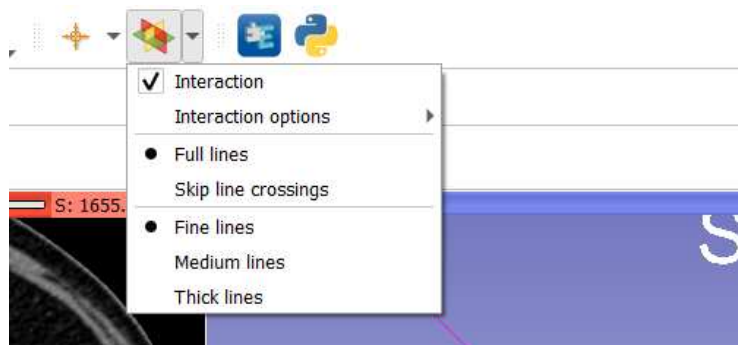


Рисунок 49 – Переход в режим мультипланарной реконструкции

В данных появятся характерные координатные оси, которые можно перемещать вверх-вниз или поворачивать, при этом синхронно будут прокручиваться срезы в двух других проекциях. Для перемещения нужно навести курсор на требуемую ось (он превратится в двустороннюю стрелку), зажать ЛКМ и двигать мышью (рис. 50). Для поворота нужно сделать то же самое, но курсор следует наводить на край координатной линии (он превратится в указательный знак).

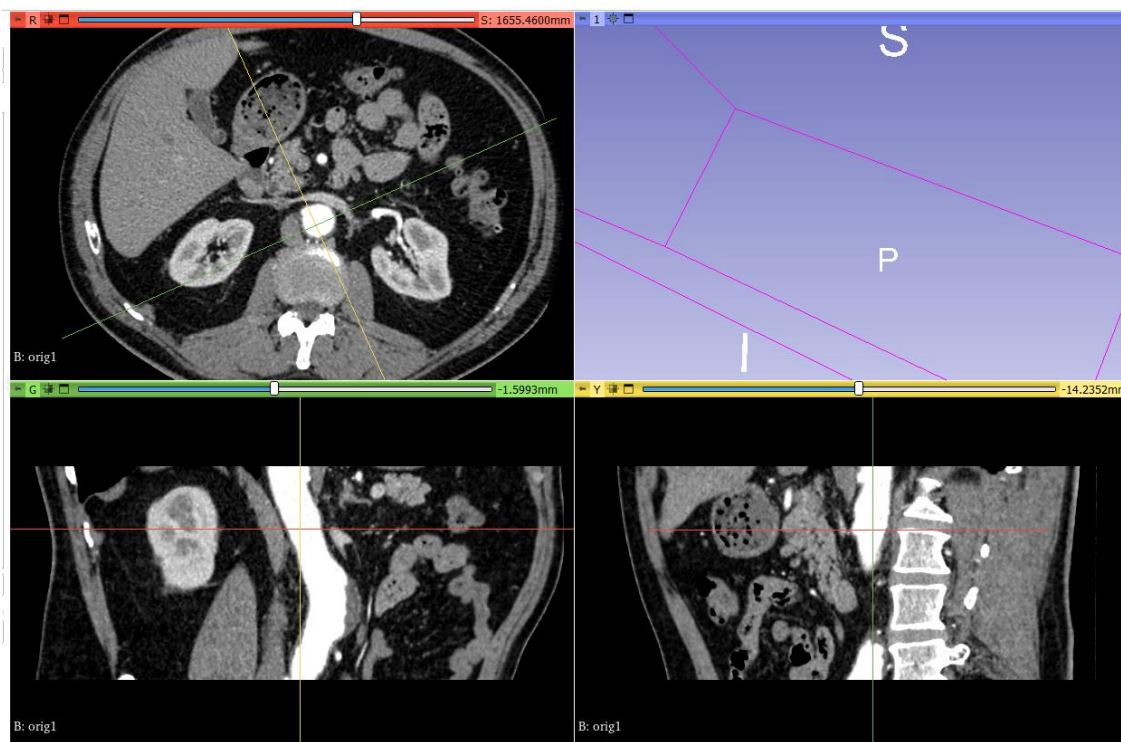


Рисунок 50 – Работа в мультипланарном режиме

### Экспорт результатов сегментации как модели для 3D-печати

Для задач антропоморфного (приближенного к человеческому) физического моделирования весьма востребована опция выгрузки отсегментированного органа или структуры в виде stl-модели. Для получения такой модели в 3D Slicer достаточно перейти в раздел «Segmentations» на верхней панели инструментов, выбрать нужную маску в разделе «Active segmentation» и далее внизу найти и раскрыть раздел «Export to files» (рис. 51).

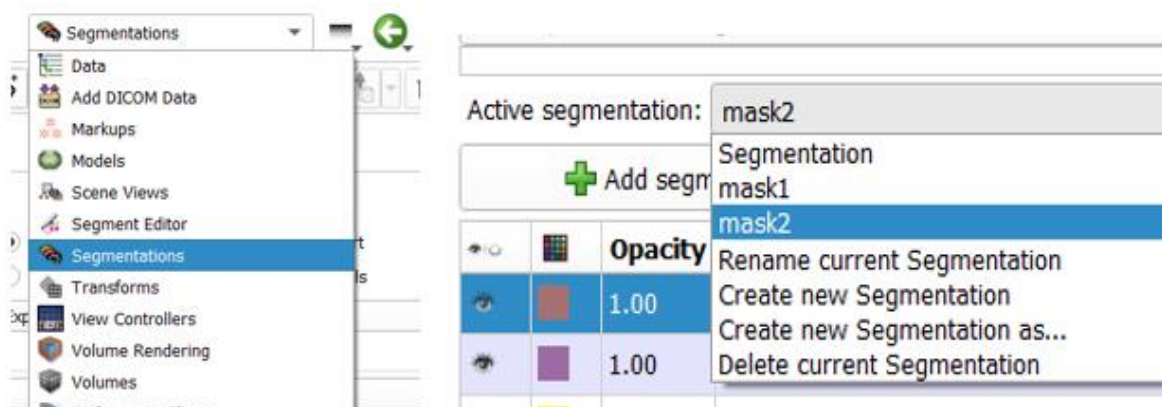


Рисунок 51 – Переход в панель «Segmentation» и назначение активной маски

В меню инструмента нужно настроить папку для экспорта (рис. 52), нажав на знак стрелки или самой папки, и запустить процедуру с помощью кнопки «Export». Менять остальные параметры экспорта не рекомендуется.

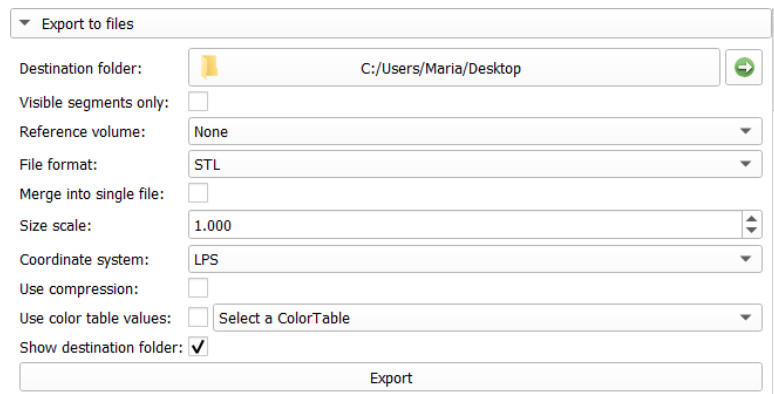



Рисунок 52 – Экспорт сегментации в виде трехмерной модели

Применительно к сосудистым структурам в некоторых случаях полезной опцией может быть создание полых моделей с заданной толщиной стенки. Для того чтобы получить такую модель, рекомендуется

использовать инструмент сегментатора «Hollow» . Активировав инструмент, нужно настроить вариант расчета толщины стенки: от наружной, средней или внутренней поверхности и задать саму толщину. Далее нажать кнопку «Apply» (рис. 53, 54).

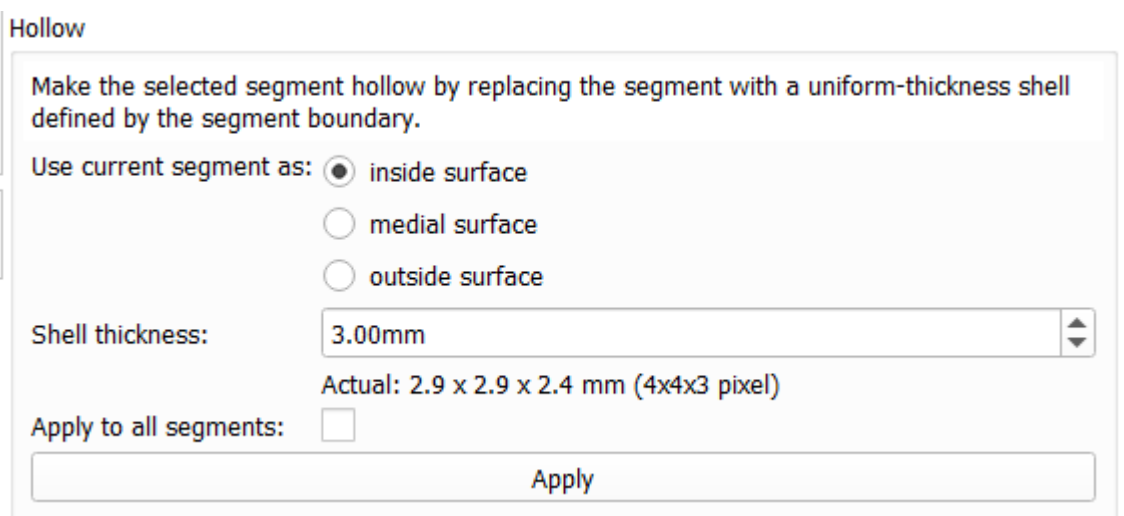


Рисунок 53 – Настройка параметров полых модели

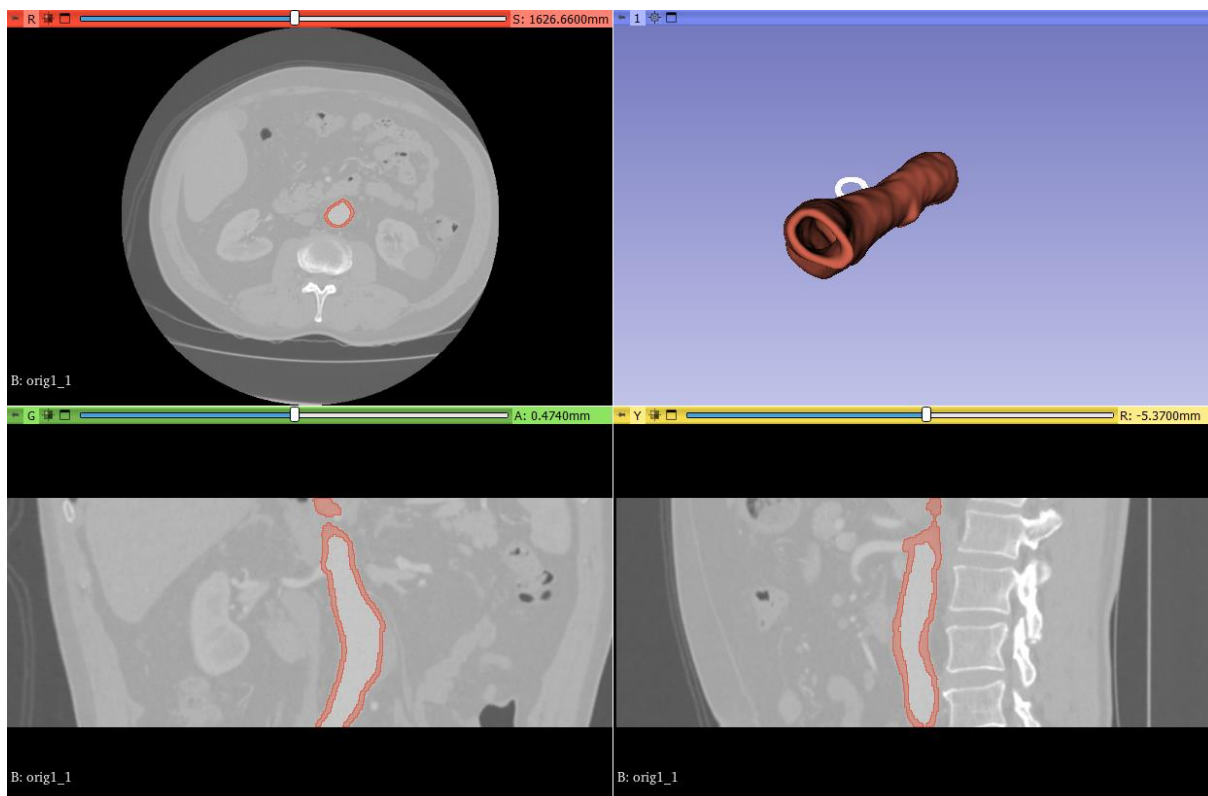


Рисунок 54 – Создание полой маски с толщиной стенки 3 мм

### Извлечение количественных признаков из сегментированной модели

Помимо визуального анализа, важным для практики сосудистых хирургов и ангиологов является извлечение количественных параметров из полученной модели. При работе с данными в ПО используется несколько систем координат (рис. 55).

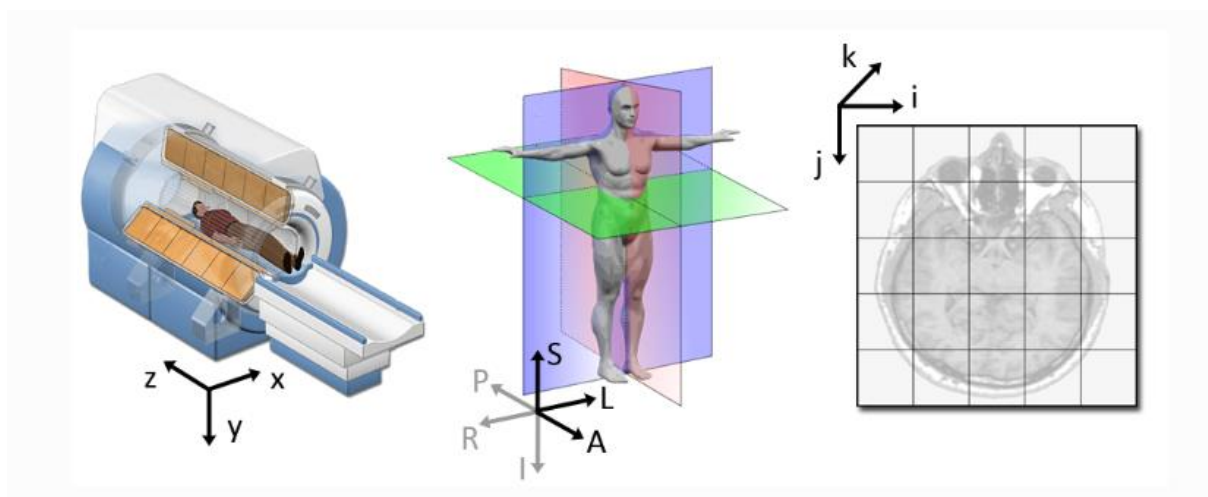


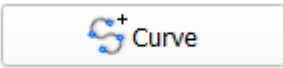
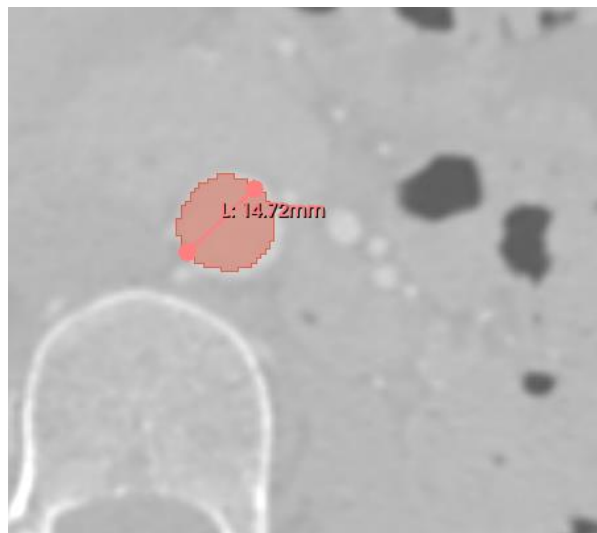


Рисунок 55 – Системы координат, используемые в 3D Slicer [10]

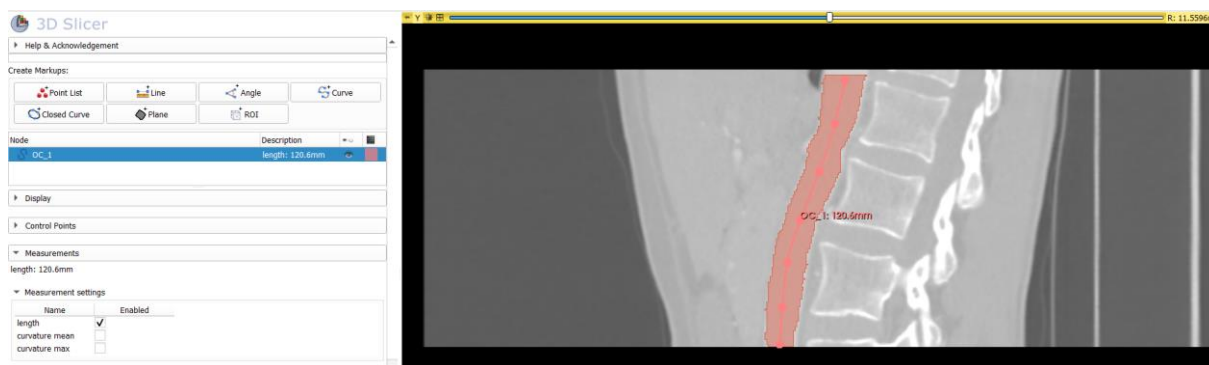
К базовым измерительным инструментам для работы с двумерными изображениями можно отнести модуль  . Наиболее часто используемые инструменты включают в себя: измерение

линейного размера  , угла  , построение кривой  . Пример измерения диаметра сосуда показан на рисунке 56.




*Рисунок 56 – Измерение диаметра аорты*

Последнее, в частности, может быть полезно для построения и измерения оси сосуда (рис. 57) при активации пункта «length» раздела «Measurements».



*Рисунок 57 – Построение оси сосуда*

При этом все измерения, созданные оператором, можно экспортировать в формате «.json» (тогда каждое измерение будет находиться в отдельном файле) либо обобщить измерения в одну таблицу (например, формата «.csv»), этапы показаны на рисунке 58. На первом этапе следует провести нужные измерения посредством активации инструмента и нанесения точек на изображение. При работе с «линейкой» измерение и линия автоматически появятся при постановке второй точки на изображении. При измерении угла нужно последовательно поставить три точки, для инструмента «кривая» – неограниченное число точек. Каждое

измерение автоматически появляется как отдельная сущность в модуле «Data». Можно отдельно сохранять измерения, давая им значимые имена, либо обобщить результаты измерений в единую таблицу, в этом случае рекомендуется дать каждому измерению описание для его однозначной идентификации. Для обобщения результатов в таблицу следует активировать первое из измерений, открыть вкладку «Export» модуля «Markup», назначить таблицу (Output table – Create new table) и нажать клавишу «Export». Выбор системы координат для экспорта значений (см. рис. 55) доступен на вкладке «Advanced». Повторить операцию для каждого из измерений. В модуле «Data» появится объект «Table», визуализировав который – , можно изучить и изменить представление данных, в частности, прописать пояснение в разделе «Descriptions». Итоговый результат, как и результаты каждого измерения, можно сохранить в файл. Для таблиц рекомендован формат «.csv».

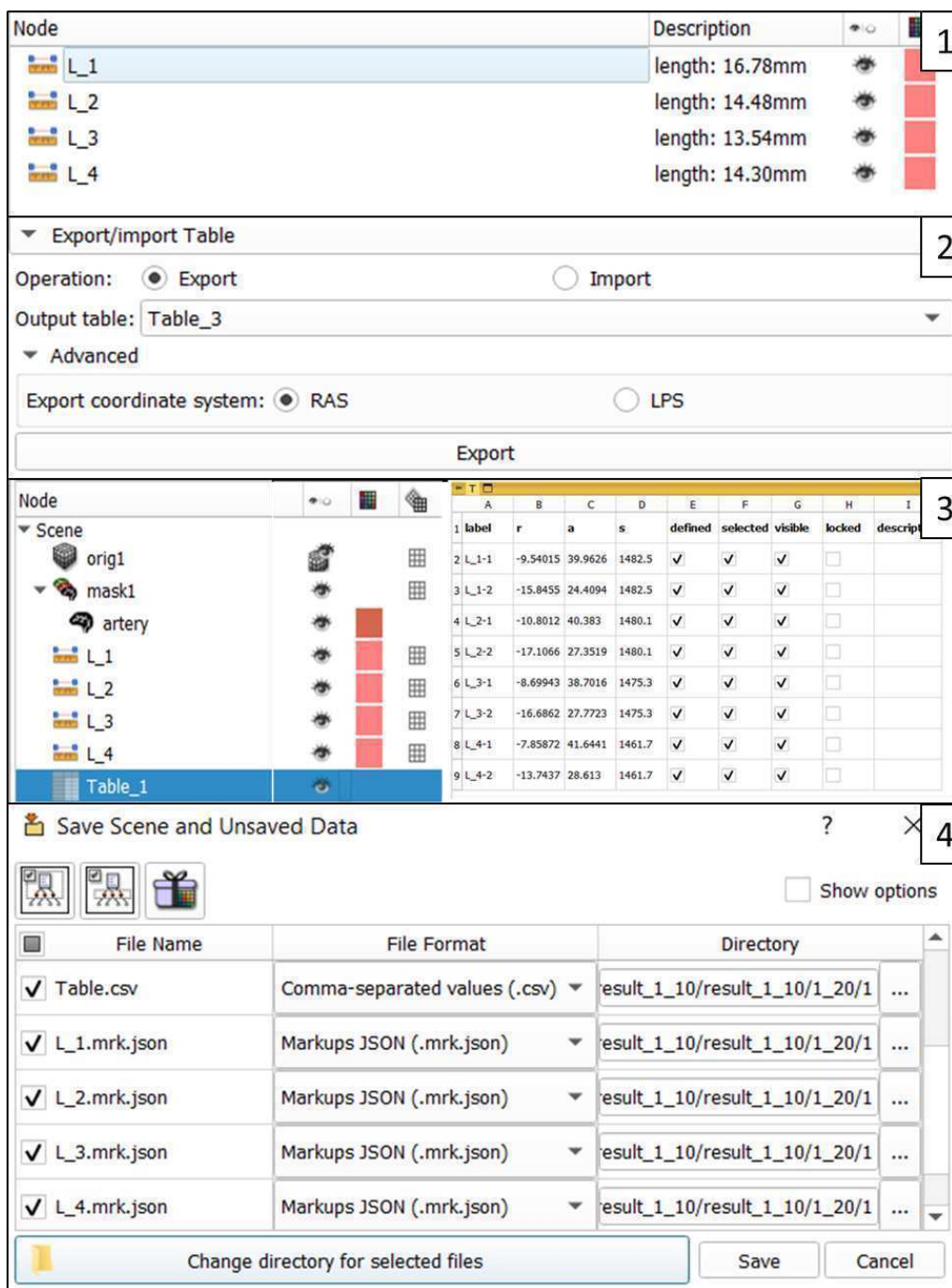


Рисунок 58 – Извлечение размеров из модуля «Markups», сверху вниз показано: (1) создание размеров, (2) экспорт в таблицу (повторить для каждого измерения), (3) просмотр таблицы в модуле «Data», (4) сохранение измерений в файл

Стоит учесть, что сохраняются именно координаты каждой точки, причем из файла «.json» можно получить величину измерения в мм – она хранится в разделе «Value», в таблице «.csv» таких данных нет. Для самостоятельного расчета расстояний по экспортированным значениям координат точек следует подставить их значения из столбцов «г» и «а» либо «l» и «р», в зависимости от выбранной системы координат (см. рис. 58, 2), в следующее выражение:

$$\text{длина} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (1)$$

где  $x_{1,2}$  и  $y_{1,2}$  соответствуют значениям  $r_{1,2}$  и  $s_{1,2}$  либо  $l_{1,2}$  и  $p_{1,2}$ . Для наглядности приведем пример. Допустим, было проведено измерение аорты на 4 различных уровнях (рис. 59).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>label</b>	<b>r</b>	<b>a</b>	<b>s</b>	<b>defined</b>	<b>selected</b>	<b>visible</b>	<b>locked</b>	<b>description</b>
2	L_1-1	-9.54015	39.9626	1482.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aorta L1-L2
3	L_1-2	-15.8455	24.4094	1482.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	L_2-1	-10.8012	40.383	1480.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aorta L3-L4
5	L_2-2	-17.1066	27.3519	1480.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	L_3-1	2.85039	44.5931	1475.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aneurysm
7	L_3-2	-16.6862	27.7723	1475.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	L_4-1	-11.4308	34.4376	1461.7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	stenosis
9	L_4-2	-13.7437	28.613	1461.7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 59 – Измерения аорты, экспортированные в таблицу (система координат RAS)

Вид сохраненного файла сразу после открытия – на рисунке 60.

	A	B	C	D	E	F	G
1	label,"r","a","s","defined","selected","visible","locked","description"						
2	L_1-1,-9.54015,39.9626,1482.5,1,1,1,0,"aorta L1-L2"						
3	L_1-2,-15.8455,24.4094,1482.5,1,1,1,0,""						
4	L_2-1,-10.8012,40.383,1480.1,1,1,1,0,"aorta L3-L4"						
5	L_2-2,-17.1066,27.3519,1480.1,1,1,1,0,""						
6	L_3-1,2.85039,44.5931,1475.3,1,1,1,0,"aneurysm"						
7	L_3-2,-16.6862,27.7723,1475.3,1,1,1,0,""						
8	L_4-1,-11.4308,34.4376,1461.7,1,1,1,0,"stenosis"						
9	L_4-2,-13.7437,28.613,1461.7,1,1,1,0,""						

Рисунок 60 – Таблица с результатами измерений

Далее нужно разделить данные по столбцам, для чего выделить первый столбец и на вкладке «Данные» выбрать опцию «Текст по столбцам», в открывшемся меню выбрать пункт «с разделителями», отметить разделитель «запятая» и нажать «Готово» (рис. 61).

1

2

Master распределения текста по столбцам — шаг 1 из 3

Данные восприняты как список значений с разделителями.

Если это верно, нажмите кнопку "Далее >", в противном случае укажите формат данных.

Формат исходных данных

Укажите формат данных:

с разделителями — значения полей отделяются знаками-разделителями

фиксированной ширины — поля имеют заданную ширину

3

Master распределения текста по столбцам — шаг 2 из 3

В этом диалоговом окне можно установить разделители для текстовых данных. Результат выводится в окне образца разбора.

Символом-разделителем является:

знак табуляции

точка с запятой

запятая

пробел

другой:

Считать последовательные разделители одним

Ограничитель строк: "  "

4

label	r	a	s	defined	selected	visible	locked	description
L_1-1	-9.54015	39.9626	1482.5	1	1	1	0	aorta L1-L2
L_1-2	-15.8455	24.4094	1482.5	1	1	1	0	
L_2-1	-10.8012	40.383	1480.1	1	1	1	0	aorta L3-L4
L_2-2	-17.1066	27.3519	1480.1	1	1	1	0	
L_3-1	2.85039	44.5931	1475.3	1	1	1	0	aneurysm
L_3-2	-16.6862	27.7723	1475.3	1	1	1	0	
L_4-1	-11.4308	34.4376	1461.7	1	1	1	0	stenosis
L_4-2	-13.7437	28.613	1461.7	1	1	1	0	

Рисунок 61 – Преобразование данных в MS Excel

Необходимо перевести числа в корректный формат: комбинацией клавиш «Ctrl» и «H» вызываем автозамену и заменяем все точки в измерениях на запятые (рис. 62):

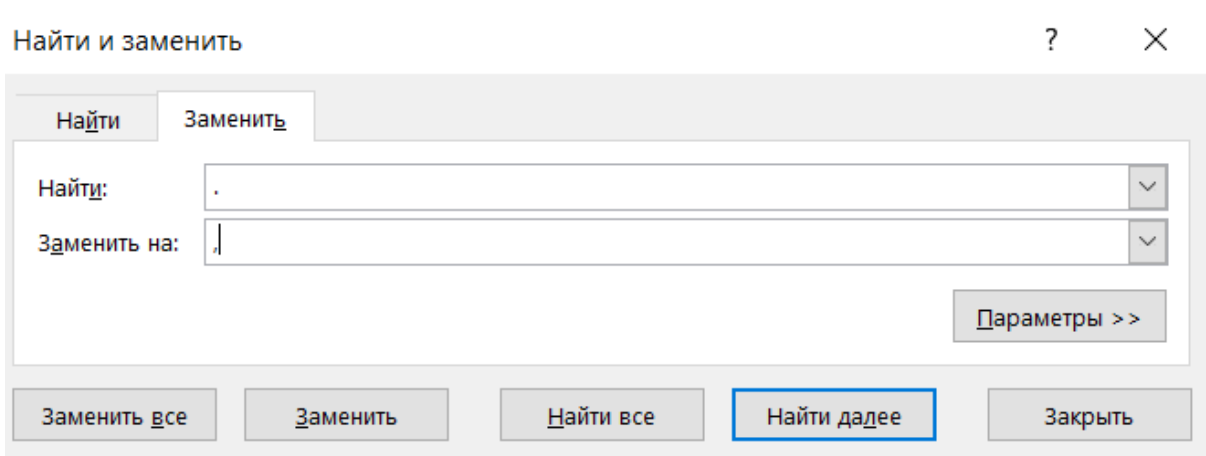


Рисунок 62 – Приведение данных измерения в числовой формат

Далее в первой ячейке выбранного столбца, например столбца «J» на рисунке ниже, вписать название величины («Длина») и во второй ячейке ввести формулу (1) и нажать клавишу «Enter». Для данного примера с учетом имен столбцов, где хранятся координаты («r» и «a»), получим следующее (рис. 63).

ПРЕДСКАЗ		=КОРЕНЬ((B2-B3)^2+(C2-C3)^2)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	label	r	a	s	defined	selected	visible	locked	description	Длина
2	L_1-1	-9,54015	39,9626	1482,5	1	1	1	1	0 aorta L1-L2	=КОРЕНЬ((
3	L_1-2	-15,8455	24,4094	1482,5	1	1	1	0		
4	L_2-1	-10,8012	40,383	1480,1	1	1	1	0	aorta L3-L4	
5	L_2-2	-17,1066	27,3519	1480,1	1	1	1	0		
6	L_3-1	2,85039	44,5931	1475,3	1	1	1	0	aneurysm	
7	L_3-2	-16,6862	27,7723	1475,3	1	1	1	0		
8	L_4-1	-11,4308	34,4376	1461,7	1	1	1	0	stenosis	
9	L_4-2	-13,7437	28,613	1461,7	1	1	1	0		

Рисунок 63 – Расчет линейного размера по координатам конечных точек

Для автоматического расчета величины во всем столбце выделяем ячейки J2 и J3 и кликаем на крестик в правом нижнем углу выделенной

J
Длина
16,78271

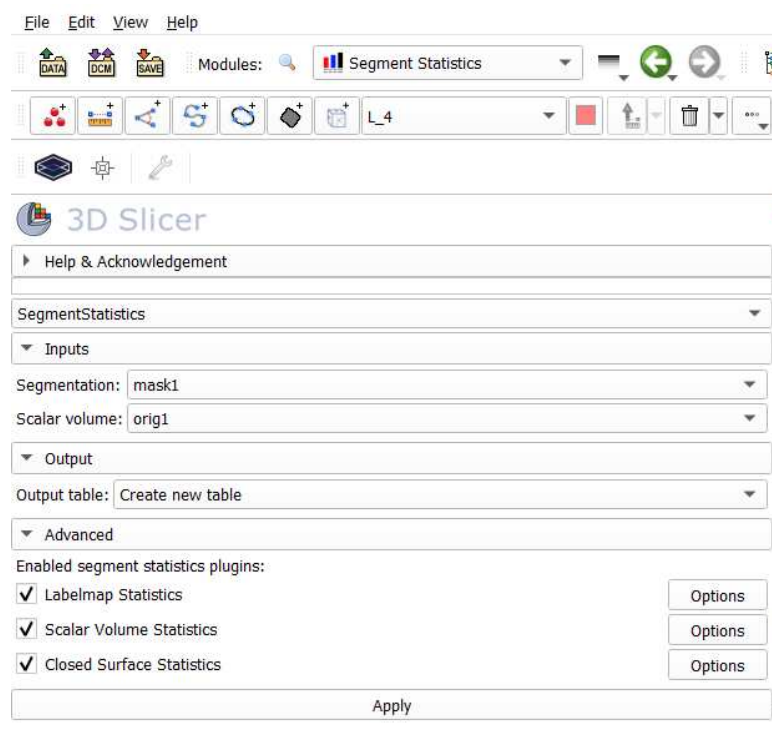
группы ячеек . Результат операции представлен на рисунке 64.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	label	r	a	s	defined	selected	visible	locked	description	Длина
2	L_1-1	-9,54015	39,9626	1482,5	1	1	1	0	aorta L1-L2	16,78271
3	L_1-2	-15,8455	24,4094	1482,5	1	1	1	0		
4	L_2-1	-10,8012	40,383	1480,1	1	1	1	0	aorta L3-L4	14,47645
5	L_2-2	-17,1066	27,3519	1480,1	1	1	1	0		
6	L_3-1	2,85039	44,5931	1475,3	1	1	1	0	aneurysm	25,78018
7	L_3-2	-16,6862	27,7723	1475,3	1	1	1	0		
8	L_4-1	-11,4308	34,4376	1461,7	1	1	1	0	stenosis	6,267015
9	L_4-2	-13,7437	28,613	1461,7	1	1	1	0		

Node	Description		
L_1	length: 16.78mm		
L_2	length: 14.48mm		
L_3	length: 25.78mm		
L_4	length: 6.267mm		

Рисунок 64 – Результаты вычисления линейного размера по координатам точек в MS Excel и сопоставления с данными 3D Slicer

Кроме базовых инструментов измерения, доступен специальный модуль расчета численных метрик по всей области сегментированных данных – «Segment Statistics» (найти его можно через поиск модулей, как было показано на рисунке 45). Вид рабочего окна представлен на рисунке 65.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Number of voxels [voxels]	Volume [mm3] (1)	Volume [cm3] (1)	Number of voxels [voxels] (2)	Volume [mm3] (2)	Volume [cm3] (2)	Minimum	Maximum	Mean	Median	Standard Deviation	Surface area [mm2]	Volume [mm3] (3)	Volume [cm3] (3)
Segment artery	(1) 60588	24918,2	24,9182	(2) 60588	24918,2	24,9182	73	446	326,529	329	28,8735	6745,05	25012,1	25,0121

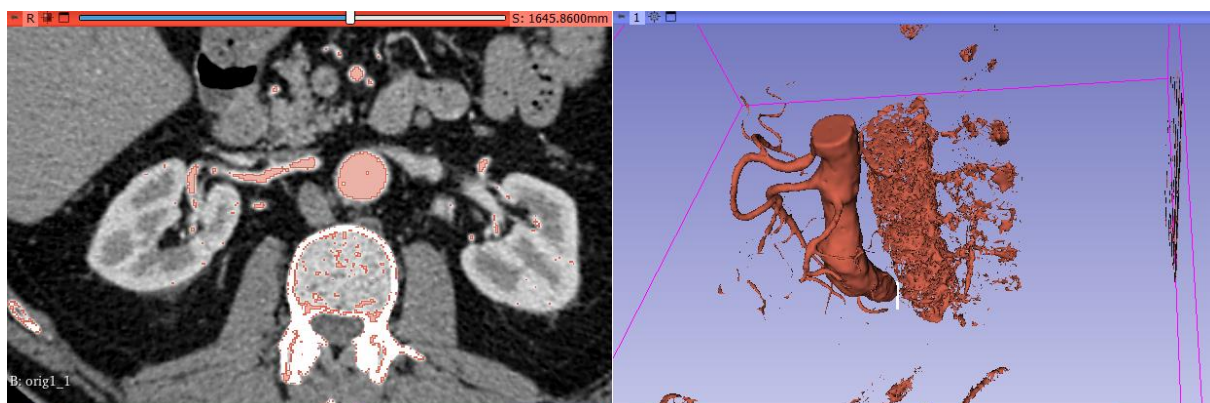
*Рисунок 65 – Общий вид окна настройки параметров модуля «Segment statistics» и рассчитанные по умолчанию метрики*

Стандартно для работы модуля необходимо выбрать маску сегментации и файл с исследованием во вкладке «Inputs» и задать формат для хранения результатов расчета (рекомендуется создавать новую таблицу – «Create new table»). Во вкладке «Advanced» можно настроить перечень стандартных расчетных параметров по нажатию клавиши «Options». После клика на «Apply» формируется таблица с результатами расчета, которую можно сохранить и обработать аналогично показанному на рисунках 61 и 62.

### *Масштабирование методики сегментации*

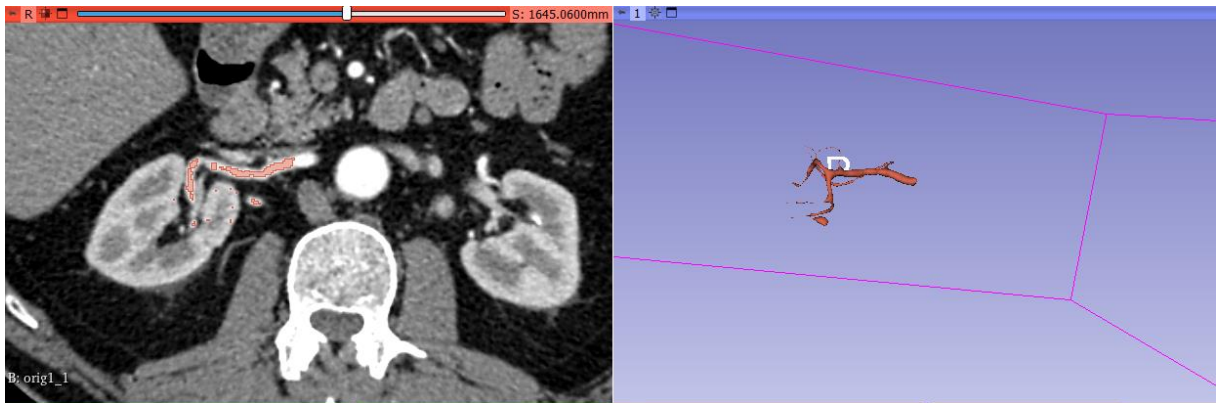
Изложенные в главах 2–6 методы сегментации показаны в основном на примере работы с аортой (брюшной отдел), тем не менее предложенные сценарии можно использовать и для сегментации сосудов в иных органах. Для примера покажем, как, используя изложенные выше приемы, отсегментировать сосуды внутри почки (рис. 66).

Для этого с помощью инструмента пороговой сегментации «Threshold» выделим все структуры, плотность которых сходна с плотностью крови (внутри крупного сосуда – аорты).



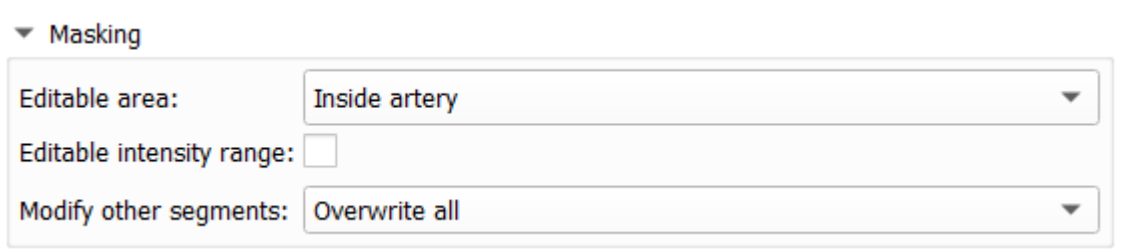
*Рисунок 66 – Сегментация по плотности*

Далее с помощью ножниц удалим все структуры вне левой (на снимке) почки с помощью инструмента «Scissors» в 3D (рис. 67).



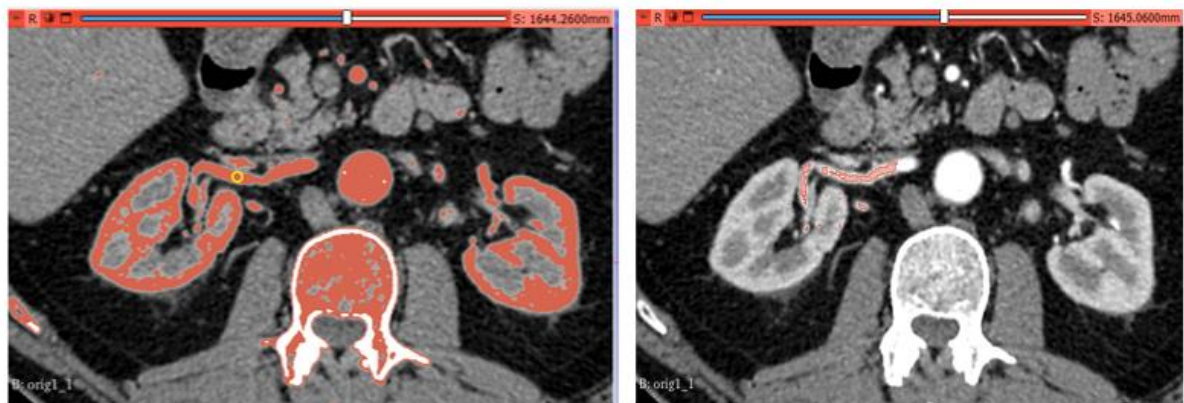
*Рисунок 67 – Удаление структур вне целевого органа*

Затем снова возьмем инструмент «Threshold», но установим опцию работы только внутри уже созданной маски «Editable area» (рис. 68).



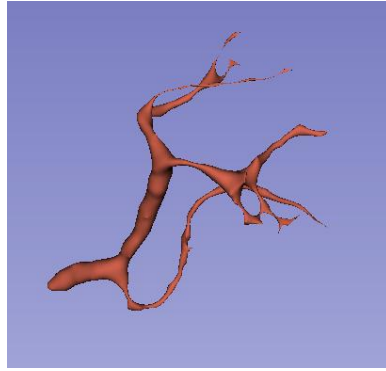
*Рисунок 68 – Изменение параметра*

Как видно, при настройке порога для почки выделится больше областей, чем в случае с аортой, т. к. в сосудах почки плотность крови немного меньше, чем в аорте. Но если нажать «Apply», лишние структуры не появятся, так как корректировали мы уже созданную маску (рис. 69).



*Рисунок 69 – Коррекция плотности в рамках маски*

Далее следует вернуться в режим «Editable area» – «Everywhere», применить сглаживание с помощью инструмента «Smoothing» – «Closing» и нарастить маску с помощью «Margin» – «Grow» (рис. 70).



*Рисунок 70 – Результат сегментации сосудов почки*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящих методических рекомендациях изложены теоретические основы сегментации сосудов на данных КТ, обозначен круг практических задач, для которых востребован такой вид обработки, раскрыты основные понятия и принципы сегментации. Каждый раздел руководства последовательно излагает читателю процесс работы с данными от установки приложения и первого запуска до создания готовых моделей и экспорта их в различные форматы. Методика работы с данными иллюстрирована и подробно изложена, что снижает требования к изначальной квалификации обучающегося и, соответственно, расширяет потенциальную аудиторию слушателей.

Представленный материал – результат обобщения и систематизации собственного опыта авторов в сфере подготовки наборов данных. Настоящие рекомендации позволяют ознакомиться и отработать на практике основные приемы работы с КТ-исследованием в программе 3D Slicer. Подробно изложены приемы использования базовых инструментов, а также даны пошаговые рекомендации по адаптации этих инструментов под конкретные задачи и сценарии их комбинации. На практических примерах показана процедура сегментации аорты и иных сосудистых структур на КТ-исследовании с контрастным усилением. Приведены практические рекомендации по оптимизации процесса разметки данных. Изложенная методика является масштабируемой.

Материалы будут полезны как при самостоятельном освоении приемов работы с данными, так и для обучения врачей-рентгенологов с целью оптимизации рабочих процессов подготовки наборов данных для обучения и тестирования алгоритмов ИИ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Baliyan V. et al. Vascular computed tomography angiography technique and indications // Cardiovascular diagnosis and therapy. – 2019. – Vol. 9, № Suppl 1. – P. S14.
2. Radiology (ACR) R. S. of N. A. (RSNA) and A. C. of CT Angiography (CTA) // Radiologyinfo.org [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.radiologyinfo.org/en/info/angiocct> (дата обращения: 29.01.2024)
3. Sun Z., Al Moudi M., Cao Y. CT angiography in the diagnosis of cardiovascular disease: a transformation in cardiovascular CT practice // Quantitative imaging in medicine and surgery. – 2014. – Vol. 4, № 5. – P. 376.
4. Васильев Ю. А. [и др.]. Основополагающие принципы стандартизации и систематизации информации о наборах данных для машинного обучения в медицинской диагностике // Менеджер здравоохранения. – 2023. – №. 4. – С. 28–41.
5. Приложение MR VesseliQ Xpress [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gehealthcare.ru/products/advanced-visualization/all-applications/mr-vesseliq-xpress> (дата обращения: 29.01.2024)
6. Health Technologies – Medical equipment distributor [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.healthtech.pl/index.php/en/welcome/> (дата обращения: 29.01.2024).
7. Violon D. About Segmath, a new Cerebral Vascular Segmentation Software after CTA // Trends in Computer Science and Information Technology. – 2022. – Vol. 7, № 3. – P. 094–098.
8. Xu S. et al. A pulmonary vascular extraction algorithm from chest CT/CTA images // Journal of Healthcare Engineering. – 2021. – Vol. 2021. – P. 1–7.
9. Vasilev Y. A. et al. Overview of modern digital diagnostic image markup tools // Kazan medical journal. – 2023. – Vol. 104, № 5. – P. 750–760.
10. 3D Slicer image computing platform // 3D Slicer [Электронный ресурс]. – URL: <https://slicer.org/> (дата обращения: 29.01.2024)
11. Slicer Wiki [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.slicer.org/wiki/Main\\_Page](https://www.slicer.org/wiki/Main_Page) (дата обращения: 29.01.2024)
12. Васильев Ю. А. [и др.]. Подготовка набора данных для обучения и тестирования программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта: учебное пособие. – Ridero: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2024. – 140 с. – ISBN 978-5-0062-1244-2. – EDN VBSCJE.
13. DICOM // DICOM [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dicomstandard.org> (дата обращения: 29.01.2024)

14. NIfTI: – Neuroimaging Informatics Technology Initiative [Электронный ресурс]. – URL: <https://nifti.nimh.nih.gov/> (дата обращения: 29.01.2024)
15. About the NRRD file format – pynrrd 1.0.0 documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://pynrrd.readthedocs.io/en/stable/background/about.html> (дата обращения: 29.01.2024)
16. Единый радиологический информационный сервис [Электронный ресурс]. – URL: [https://telemedai.ru/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis\\_2020](https://telemedai.ru/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis_2020) (дата обращения: 29.01.2024)
17. Анонимизация исследования [Электронный ресурс]. – URL: [https://povidar.ru/dicom-viewer/v3/help/content/anonim\\_exam.htm?ysclid=lryx2whj6c828483835](https://povidar.ru/dicom-viewer/v3/help/content/anonim_exam.htm?ysclid=lryx2whj6c828483835) (дата обращения: 29.01.2024)
18. Анонимизация исследований и серий [Электронный ресурс]. – URL: <https://inobitec.com/manual/dicomviewer/view-dicom-tags/anonymize-studies-and-series/?ysclid=lrygoaaj5a797281501> (дата обращения: 29.01.2024)
19. Li J. et al. A systematic collection of medical image datasets for deep learning // ACM Computing Surveys. – 2023. – Vol. 56, № 5. – P. 1–51.
20. Наборы данных // mosmed.ai [Электронный ресурс]. – URL: <https://mosmed.ai/datasets/?ysclid=lryx5kk79l266750965> (дата обращения: 29.01.2024)
21. Pavlov N. A. et al. Reference medical datasets (MosMedData) for independent external evaluation of algorithms based on artificial intelligence in diagnostics // Digital Diagnostics. – 2021. – Vol. 2, № 1. – P. 49–66.
22. Набор данных MosMedData КТ с признаками аневризмы аорты тип III // mosmed.ai [Электронный ресурс]. – URL: <https://mosmed.ai/datasets/mosmeddata-kt-s-priznakami-anevrizmyi-aortyi-tip-iii/> (дата обращения: 13.06.2023)
23. Kodenko M. R., Makarova T. A. Preparation of abdominal computed tomography data set for patients with abdominal aortic aneurysm // Digital Diagnostics. – 2023. – Vol. 4, № 1S. – P. 90–92.
24. Tustison N. J. et al. Convolutional neural networks with template-based data augmentation for functional lung image quantification // Academic radiology. – 2019. – Vol. 26, № 3. – P. 412–423.

*Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»*

Выпуск 138

**Авторы-составители:**

*Коденко Мария Романовна  
Васильев Юрий Александрович  
Владзимирский Антон Вячеславович  
Омелянская Ольга Васильевна  
Ясакова Елена Петровна  
Бобровская Татьяна Михайловна  
Решетников Роман Владимирович*

**СЕГМЕНТАЦИЯ АРТЕРИАЛЬНЫХ СОСУДОВ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ  
КТ-АНГИОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ 3D SLICER**

Методические рекомендации

Отдел координации научной деятельности ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»  
Технический редактор В. П. Гамарина  
Компьютерная верстка Е. Д. Бугаенко

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»  
127051, г. Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1