

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Агеев Артем Никифорович

**ВИРТУАЛЬНАЯ ЭНДОСКОПИЯ В ПЛАНИРОВАНИИ ЭНДОНАЗАЛЬНОЙ  
ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ДАКРИОЦИСТОРИНОСТОМИИ**

14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук, профессор  
Дергилев Александр Петрович

Новосибирск – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. . . . .	4
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. . . . .	12
1.1 Анатомия и физиология слезоотводящих путей. . . . .	12
1.2 Классификация стенозов слезоотводящих путей. . . . .	14
1.3 Патофизиология обструкции слёзных путей. . . . .	15
1.4 Принципы диагностики дакриостеноза. . . . .	16
1.5 Основные принципы виртуализации диагностических данных мультиспиральной компьютерной томографии. . . . .	21
1.5.1 Общие принципы виртуальной эндоскопии. . . . .	21
1.5.1.1 Виртуальная эндоскопия в хирургии придаточных пазух носа. . . . .	24
1.5.2 Получение данных мультиспиральной компьютерной томографии и требования к ним. . . . .	26
1.5.3 Генерация изображений. . . . .	26
1.5.4 Сегментация объема. . . . .	27
1.5.5 Визуализация перспективы в поле обзора. . . . .	28
1.5.6 Недостатки виртуальной эндоскопии. . . . .	29
1.5.7 Диагностическая ценность виртуальной эндоскопии. . . . .	29
1.5.8 Практическое применение виртуальной эндоскопии и её влияние на хирургическую тактику. . . . .	31
1.6 Хирургическое лечение дакриостеноза. . . . .	33
1.6.1 Техника выполнения оперативного вмешательства при эндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии. . . . .	36
1.6.2. Интраоперационная трансиллюминация слёзного мешка. . . . .	37
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. . . . .	39
2.1 Клиническая характеристика анализируемых групп пациентов. . . . .	39
2.2 Методы исследования. . . . .	42
2.2.1 Клинико-anamнестические методы исследования. . . . .	42
2.2.2 Офтальмологическое обследование. . . . .	42
2.2.3 Стандартные методы оценки функционального состояния	

слезоотводящих путей. . . . .	43
2.2.4 Компьютерная томография. . . . .	43
2.2.4.1 Используемое для получения данных оборудование. . . . .	43
2.2.4.2 Программное обеспечение для постпроцессинга. . . . .	45
2.2.5 Эндоскопические методы обследования. . . . .	61
2.2.6 Статистическая обработка. . . . .	62
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. . . . .	66
3.1 Разработка рентгенологических критериев определения дилатации слёзного мешка при обструкции слезоотводящих путей. . . . .	66
3.2 Оценка достоверности симптома смещения слёзного мешка при его дилатации. . . . .	68
3.3 Сравнительный анализ диагностической ценности рентгенологических симптомов при дилатации слёзного мешка. . . . .	69
3.4 Оценка диагностической ценности описательной визуальной оценки с применением существующей классификации расположения дилатированного слёзного мешка при описании результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии. . . . .	70
3.5 Оценка диагностической ценности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии, дополняющей конвенциональное текстовое описание результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии. . . . .	72
3.6 Клинические примеры. . . . .	75
ГЛАВА 4 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ. . . . .	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. . . . .	95
ВЫВОДЫ. . . . .	101
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ. . . . .	103
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ. . . . .	105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. . . . .	107
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА. . . . .	123

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность избранной темы**

Дакриостенозы и сопровождающие их дакриоциститы составляют от 7 до 12 % всех причин хронического слезотечения [8].

Несмотря на отсутствие угрозы жизни, хроническое слезотечение, встречающееся в 6–25 % офтальмологической патологии [5, 8], и сопровождающее хронический дакриоцистит при наличии дакриостеноза способно не только приносить эстетический дискомфорт, значительно снижать качество жизни пациентов и в значительном количестве случаев – ограничивать их трудоспособность. С учетом распространенности данного заболевания среди пациентов в возрастной группе 20–60 лет ограничение трудоспособности, вызванное заболеванием и рецидивами в случае неадекватной хирургической коррекции, определяет социальную значимость дакриоцистита и дакриостеноза. Кроме того осложнения, такие, как воспалительная язва роговицы, рубцовое помутнение роговицы (бельмо), эндофтальмит и субатрофия глазного яблока, флегмона слезного мешка, чаще развивающиеся у иммунокомпрометированных лиц, определяют необходимость своевременного и полного лечения, в частности ввиду наличия риска интракраниальных гнойных осложнений, уже способных выливаться в жизнеугрожающие последствия [36].

### **Степень разработанности темы диссертации**

В ходе исследования автором были изучены труды отечественных и зарубежных ученых, внесших значительный вклад в развитие лучевой диагностики в дакриологии.

До недавнего времени не было представлено исследований, непосредственно посвященных интраоперационной визуализации слезоотводящих путей (СОП), равно как и не было описано применение виртуальной риноэндоскопии для предоперационного планирования и интраоперационной навигации. Кроме того, до настоящего времени не были

определены границы определения дилатации слёзного мешка при воспалительных заболеваниях и обструкции СОП, а предложенная классификация вариантов расположения дилатированного мешка продемонстрировала ряд недостатков при её практическом применении.

Таким образом, в данном диссертационном исследовании впервые в отечественной медицинской литературе рассматривается практика применения технологий виртуализации данных мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в виде виртуальной эндоскопии для целей дакриохирургии.

### **Цель исследования**

Разработка и апробация методики виртуальной дакриоцисториноскопии по данным мультиспиральной компьютерной томографии, полученным в предоперационном периоде, предназначенной для планирования эндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии и интраоперационной навигации при её выполнении.

### **Задачи исследования**

1. Разработать рентгенологические критерии расширения слёзного мешка при дакриоцистите.
2. Определить диагностическую ценность рентгенологических симптомов расширения и смещения слёзного мешка относительно эндоназальных ориентиров при дакриоцистите.
3. Определить диагностическую ценность описательной картины расположения слёзного мешка по данным мультиспиральной компьютерной томографии при дакриоцистите.
4. Повысить диагностическую ценность предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии в отношении расположения слёзного мешка за счёт разработки методики визуализации данных с применением виртуальной эндоскопии, дополняющей текстовое описание результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии.

### **Научная новизна**

Впервые исследована информативность различных способов представления данных МСКТ и виртуализации ее данных путем виртуальной эндоскопической реконструкции полости носа у больных хроническим дакриоциститом.

Впервые предложены критерии дилатации слёзного мешка в сопоставлении с клиническими признаками дакриоцистита, позволяющие объективизировать их диагностику посредством МСКТ.

Разработана новая методика с использованием данных рутинно выполняемой предоперационной МСКТ.

Впервые предложена и в дальнейшем модифицирована собственная методика визуализации данных МСКТ – виртуальная дакриоцисториноскопия, позволяющая избежать ошибок при выборе места формирования дакриоцисториностомы во время эндоназальной дакриоцисториностомии (патент РФ № 2499581 «Способ виртуальной эндоскопической диагностики при дакриоциститах»; подача заявки: 04.09.2012, публикация патента 27.11.2013).

Показаны преимущества виртуальной эндоскопии с сегментацией СОП в сравнении с данными текстового описания при различных вариантах расположения слезного мешка по отношению к структурам полости носа.

Впервые представлены диагностическая ценность виртуальной дакриоцисториноскопии для предоперационного планирования и интраоперационной навигации при выполнении эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии (чувствительность 98,3 %, специфичность 94,4 %, положительная прогностическая ценность 96,7 %, отрицательная прогностическая ценность 97,1 %, общая точность 96,8 %).

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Работа направлена на совершенствование предоперационной подготовки, планирования оперативного вмешательства и интраоперационной навигации у пациентов с хроническим нарушением проходимости СОП посредством предоставления хирургам-офтальмологам полученных видеозаписей виртуальной

эндоскопии, построенных на основе данных предоперационной МСКТ и способных объективизировать информацию о расположении слёзного мешка невидимого для хирурга во время эндоскопической операции сквозь непрозрачную латеральную стенку полости носа.

Это значительно расширяет возможности выбора места формирования дакриоцисториностомы при выполнении эндоназальной дакриоцисториностомии и обеспечивает как сокращение времени выполнения оперативного вмешательства, так и состоятельность полученной дакриоцисториностомы.

Предложенная методика визуализации позволяет оптимизировать эндоскопическое хирургическое вмешательство при патологии СОП, вследствие чего достигается ускорение выздоровления пациентов, сокращение риска неэффективности либо неполной эффективности оперативного вмешательства и рецидива эпифоры вследствие несостоятельности и последующего заращения дакриоцисториностомы, а также повышение качества жизни пациентов.

### **Методология и методы диссертационного исследования**

Методологической основой диссертационного исследования послужили работы отечественных и зарубежных авторов в области лучевой диагностики и офтальмологии. Для решения поставленных задач были изучены пациенты офтальмологического, в частности, дакриологического, профиля, направленные на операцию эндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии. Были проведены клинические и инструментальные обследования пациентов хирургического отделения № 1 ЗАО «Микрохирургия глаза» г. Екатеринбург. Полученные результаты подверглись статистической обработке.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Предлагается методика виртуализации данных рутинно выполняемой на предоперационном этапе мультиспиральной компьютерной томографии посредством виртуальной эндоскопии, позволяющая избежать неоднозначности трактовки локализации слезоотводящих путей у пациентов с дилатацией слёзного

мешка вследствие хронического дакриоцистита.

2. Диагностическая ценность виртуальной эндоскопии достаточна для предоперационного планирования и интраоперационной навигации и имеет преимущества перед традиционным представлением данных предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии в виде текстового описания расположения слёзного мешка.

### **Степень достоверности**

Достоверность полученных результатов подтверждают достаточный объем выборки (102 пациента, 204 объема изображений слёзных мешков и слезоотводящих путей), использование современных инструментальных исследований, непосредственное участие автора в сборе данных и их анализе, а также применение соответствующих поставленным задачам дизайна исследования методов статистического анализа.

### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на российских конференциях, конференциях с международным участием и зарубежных международных конференциях: 6-й Евро-азиатской конференции по офтальмохирургии (Екатеринбург, 2012); 20-й научно-практической конференции Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» (Екатеринбург, 2012); офтальмологическом конгрессе с международным участием «Инновационные технологии в повседневной офтальмологической практике» (Алматы, 2013); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Федоровские чтения-2013» (Москва, 2013); научно-практической конференции офтальмологов Уральского федерального округа «Актуальные проблемы офтальмологии-2013» (Екатеринбург, 2013); на конгрессе Европейского радиологического общества ECR (в виде электронного постерного доклада) (Вена, 2014); конференции «Избранные вопросы и информационные технологии в лучевой диагностике» (Екатеринбург, 2014); 7-й Евро-азиатской конференции по

офтальмохирургии (Екатеринбург, 2015); конгрессе Европейского радиологического общества ECR (доклад на научной секции) (Вена, 2016); 10-м всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов Радиология-2016 (в виде стендового доклада) (Москва, 2016); конгрессе Европейского радиологического общества ECR 2017 (в виде доклада на национальной секции Voice of EPOS); конгрессе Европейского радиологического общества ECR в виде стендового доклада) (Вена, 2018); международном конгрессе «X Невский радиологический форум – 2018» (Санкт-Петербург, 2018).

Диссертационная работа апробирована на заседании проблемной комиссии «Актуальные проблемы хирургических методов лечения заболеваний» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Новосибирск, 2021).

Диссертационная работа выполнена в соответствии с утвержденным направлением научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России по теме: «Разработка и совершенствование методов профилактики, раннего выявления и хирургического лечения повреждений и заболеваний органов грудной и брюшной полости, органов головы, шеи и опорно-двигательного аппарата», номер государственной регистрации АААА-А15-115120910167-4.

### **Внедрение результатов исследования**

Виртуальная дакриоцисториноскопия как методика виртуализации данных МСКТ и интраоперационной виртуализированной навигации при эндоскопической дакриоцисторинотомии, а также включающий их применение способ послеоперационного ведения больных дакриоциститом, внедрены в повседневную практику в ЗАО «Микрохирургия глаза» г. Екатеринбург.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 26 научных работ, в том числе 7 статей в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень рецензируемых

научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

### **Объем и структура работы**

Диссертация изложена на 125 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав (аналитического обзора литературы, описания материала и методов исследования, результатов собственных исследований и их обсуждения), заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и списка иллюстративного материала. Список литературы представлен 135 источниками, из которых 103 в зарубежных изданиях. Полученные результаты проиллюстрированы с помощью 9 таблиц и 17 рисунков.

### **Личный вклад автора**

Автором лично проведен анализ литературы по теме диссертации, МСКТ и интерпретация результатов обследования всех пациентов, визуализационная постпроцессорная обработка данных МСКТ всего объема обследованных пациентов, в соавторстве – разработка методики виртуальной дакриоцисториноскопии на основе данных МСКТ и принципа представления полученных данных, получены инновационные патенты РФ № 2499581 «Способ виртуальной эндоскопической диагностики при дакриоциститах», № 2604401 «Способ виртуальной эндоскопии орбиты», с приоритетом от 27.05.2015, создана база данных пациентов, включенных в исследование, и результатов МСКТ, выполнены: статистическая обработка, анализ и научная интерпретация полученных результатов.

Автор в соавторстве написал и опубликовал все печатные работы в научных журналах, в том числе, в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть

опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

## ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Анатомия и физиология слезоотводящих путей

В норме слеза, выделяясь слёзной железой, омывает конъюнктиву, стекая от верхненаружного к ниже-внутреннему углу конъюнктивального мешка. Далее слеза выводится из конъюнктивального мешка через верхнюю и нижнюю слёзные точки, имеющие диаметр просвета 0,25 мм и 0,3 мм, соответственно, из них – через верхний и нижний слезные каналы, имеющие короткие горизонтальные и более длинные (1,8–2,25 мм при диаметре 0,3–0,6 мм) вертикальные части, объединяющиеся в общий слёзный канал (7–9 мм), впадающий в слёзный мешок. Слёзный мешок расположен в костном углублении слёзной ямки, образованной лобным отростком верхней челюсти и слезной костью, отделяющей медиальную стенку мешка от полости носа. Передний и задний края слёзной ямки отграничены слёзными гребешками слёзной кости [42].

В слёзном мешке слеза накапливается и далее эвакуируется через носослёзный проток в просвет нижнего носового хода через нижнее отверстие протока, расположенное на боковой стенке полости носа.

Эпителий слёзного мешка представлен двумя слоями слизе выделяющих клеток [84]. В собственной пластинке (*лат. lamina propria*) определяются лимфатические сосуды, относящиеся к системе лимфоидной ткани слезного протока *tear duct-associated lymphoid tissue* (TALT), а также специализированные кавернозные сосуды, оплетающие просвет протока, относящиеся к бассейну медиальных ветвей век от глазной артерии и ветвей решетчатой артерии и артериол слизистой оболочки носа [42, 86, 100].

Иннервация стенок передненижней части слёзного протока осуществляется передними носовыми ветвями решетчатого нерва слёзного мешка, а иннервация прочих отделов слёзного протока, стенок слёзного мешка и слёзных каналов осуществляется верхними ветвями подблокового нерва (*лат. nervus infratrochlearis*).

Соединительная ткань слезоотводящих путей представлена спиральными

коллагеновыми волокнами, которые за счёт «пружинного» амортизирующего эффекта не позволяют передаваться движениям круговой мышцы (*m. orbicularis*) век и слёзной точки на стенки слёзного протока. Длина протока составляет 12,5–20 мм при диаметре 4–6 мм с дорсолатеральным наклоном костной части на 15–20 [86].

Блок на любом из указанных уровней приводит к субъективно ощущаемому пациентом слезотечению (86 %) и повышению риска инфицирования слезы (около 30 %). Отмечается бóльшая встречаемость указанных состояний у пациентов женского пола с увеличением частоты возникновения данного состояния с возрастом [38, 80, 109], отмечается связь с терапией изотопами йода в анамнезе [92].

Слезотечение, как основной симптом стеноза слезоотводящих путей, не только способно указывать на ряд в различной степени опасных для пациента заболеваний, но и значительно снижает качество жизни пациента. Среди причин слезотечения могут быть травматические повреждения носослезного канала при переломах лицевого скелета, синдром сухого глаза, воспалительные процессы, глаукома и т. д., которые должны исключаться клинически на раннем этапе диагностики [109].

Размеры слёзного мешка в норме описаны Groell с соавт., которые, проанализировав изображения 147 пациентов, продемонстрировали размеры слёзного мешка у пациентов без патологии СОП, составившие по высоте ( $11,8 \pm 2,5$ ) мм (6–18 мм), по ширине  $< 4$  мм, по глубине  $< 8$  мм [64]. Также Е. Л. Атьковой с соавт. на материале 30 изображений СОП без патологии были продемонстрированы следующие размеры слезного мешка: в длину от 8 до 15 мм, во фронтальном направлении – от 3,0 до 6,0 мм, в сагиттальном направлении – от 3,0 до 7,0 мм [18].

## 1.2 Классификация стенозов слезоотводящих путей

Описаны различные способы классификации стенозов [33, 44, 45, 46, 50, 73].

1. На основании времени формирования:
  - а) врожденные (обусловленные преимущественно наличием соединительнотканых перегородок в просвете слёзного протока или в месте перехода слёзного мешка в проток, реже – обусловленные аномалиями развития костей лицевого скелета или собственно слезоотводящих путей, такими как косая расщелина лица, атрезия слёзных путей);
  - б) приобретенные (в большинстве случаев обусловлены травматическими повреждениями костей лицевого скелета или воспалительными стриктурами на различных уровнях слезоотводящих путей);
  - в) первичная обструкция носослёзных протоков (primary acquired nasolacrimal duct obstruction, PANDO);
  - г) вторичная обструкция слёзных путей (Secondary acquired lacrimal duct obstruction, SALDO).
2. По степени нарушения проходимости:
  - а) полные (отсутствие поступления слезы в полость носа по слезоотводящим путям);
  - б) неполные (ограничение поступления слезы в полость носа по слезоотводящим путям).
3. По причине:
  - а) механические (наличие костного, соединительнотканного либо опухолевого барьера в просвете слезоотводящих путей);
  - б) функциональные (при отсутствии барьера нарушение проходимости вызвано нарушением сократимости слезоотводящих путей);
4. По локализации:
  - а) надмешковые (нарушение проходимости на уровне слёзных точек и канальцев);

б) внутримешковые (нарушение проходимости на уровне слёзных мешков);

в) подмешковые (нарушение проходимости на уровне слёзных протоков).

5. По связи причины с заболеванием:

а) первичные (развиваются самостоятельно);

б) вторичные (развиваются как осложнение другого заболевания – травмы костей лицевого скелета, воспалительных заболеваний и опухолей полости носа) [42].

### **1.3 Патопфизиология обструкции слёзных путей**

Первичная обструкция носослёзных протоков (primary acquired nasolacrimal duct obstruction, PANDO) вызывается фиброзом слизистой оболочки слёзных путей. Эти гистологические изменения описаны Linberg and McCormick в 1986 году [84] на примере пациентов, страдавших хроническим дакриоциститом в виде сочетания острых умеренно выраженных воспалительных и фиброзных изменений. В исследовании воспалительный процесс преобладал на ранних этапах развития заболевания, когда проходимость дистальных отделов слёзных путей была сохранена. Так авторы приняли постулат, что фиброзные изменения подслизистого слоя являются следствием длительного течения воспалительного процесса и вызывают сужение просвета слёзных путей. Это запускает порочный круг в виде застоя слезы с формированием в ней условий для повторного воспаления, вновь приводящего к фиброзу и усугублению сужений. Время до полной обструкции составляло в среднем 2 года [42, 86]. Кроме того, Paulsen с соавт. в 2001 г. [94] выявили наличие метапластических изменений эпителия слёзных путей в ороговевающий при хроническом дакриоцистите, а в подслизистом слое – изменение закономерного спирального хода волокон в сочетании с сокращением количества специфических пещеристых сосудов.

Причины вторичной обструкции слёзных путей (Secondary acquired lacrimal

duct obstruction, SALDO) разнообразны. К ним относятся первичная и вторичная (объемом метастаза) опухолевая обструкция, эндогенные и аутоиммунные воспалительные процессы, в том числе саркоидоз, васкулиты, ятрогенные инородные тела (интубационный материал при предшествующей хирургической коррекции), специфические и неспецифические воспалительные процессы, как правило, восходящего характера из полости носа [42, 56].

#### **1.4 Принципы диагностики дакриостеноза**

Исторически первыми методами диагностики дакриостеноза являлись прямая пункционная рентгеновская дакриоцистодуктография и дакриоцисториноскопия. С начала 2000-х годов и по настоящее время [102, 110] актуальность этого метода сохраняется в варианте цифровой субтракционной дакриоцистодуктографии, предоставляющей большую точность диагностики, по сравнению с данными традиционной рентгеновской дакриоцистодуктографии в визуализации уровня и характера интра- и постсаккальной обструкции слёзных путей, однако, не позволяет оценивать причину дакриостеноза, вариант анатомии интраназальных структур, состояние мягких тканей [135], а также взаимоотношения с прилегающей костью [81], интраназальными костными ориентирами.

По данным Д. А. Боброва вариабельность расположения слёзного мешка при его дилатации определяет, что только в 58,1 % случаев слезный мешок располагается в типичном месте, в то время как в 30,2 и 11,6 % случаев мешок находится в нетипичной проекции, соответственно, кзади и кпереди от переднего края средней раковины, что определяет сложность эндоназального доступа к нему без предварительной навигации.

Эти обстоятельства определяют значительное ограничение диагностической ценности метода, ввиду того, что наиболее частыми причинами неуспешной дакриоцисториноскопии являются индивидуальная анатомическая вариабельность строения полости носа и/или слезоотводящего аппарата

пациентов, нетипичная или нарушенная вследствие дилатации архитектура слёзного мешка и носослёзного канала, высокая способность слизистой оболочки полости носа к регенерации, а подслизистого слоя – к фиброзированию. Вероятность рестеноза выше у пациентов, ранее перенесших ДЦР наружным доступом, и у пациентов с сопутствующей общесоматической патологией (сахарный диабет, гипертоническая болезнь и т. д.) [6, 11].

В настоящее время для исключения описанных недостатков в предоперационной диагностике пациентов с дакриостенозами предлагается использовать комплексное лучевое обследование [3, 25, 30], включающее в себя:

- 1) ультразвуковое исследование высокого разрешения (УЗИ ВР) как метод первого этапа,
- 2) мультиспиральную компьютерную дакриоцистографию (МСКТ-дакриоцистографию),
- 3) конусно-лучевую компьютерную дакриоцистографию (КЛКТ-дакриоцистографию).

Ультразвуковое исследование высокого разрешения (УЗИ ВР) позволяет выполнять качественную оценку стенок слезного мешка и косвенно судить о нарушении проходимости в нижележащих отделах СОП, не предоставляя данных об уровне и причине обструкции [13, 25, 26]. К недостаткам метода следует также отнести сравнительно слабо воспринимаемое в пространстве представление данных, требующее специальной подготовки хирурга для адекватного его восприятия.

При МСКТ-дакриоцистографии, напротив, меньше информации удаётся получить о мягкотканых стенках СОП, но становится возможной достоверная визуализация уровня и в большинстве случаев – причины стеноза СОП (травматическая деформация костных стенок носослёзного канала, опухоль, грануляционная ткань, аномалия развития костей лицевого скелета) [2, 18, 25, 63, 117, 122].

МСКТ-дакриоцистография также позволяет оценивать:

- 1) размеры слезного мешка;

- 2) размеры средних носовых раковин;
- 3) толщину перегородки носа;
- 4) расстояние от раковин и перегородки носа до боковой поверхности носа.

Данные параметры являются важными для понимания индивидуальной анатомии полости носа и дальнейшего планирования оперативного вмешательства [1].

В работе Tuagi частично приведена оценка диагностической ценности описательной визуальной оценки расположения и размеров слёзного мешка в виде анализа корреляции данных 20 изображений СОП МСКТ и данных последующего секционного исследования, было продемонстрировано отсутствие корреляции между данными МСКТ и секционного исследования в отношении взаиморасположения задней и передней стенки слёзного мешка и основания средней носовой раковины ( $p = 0,492$  и  $p = 0,346$  для расположения задней и передней стенки слёзного мешка соответственно), в то же время продемонстрирована достоверность оценки взаиморасположения слёзного мешка и основания средней носовой раковины ( $p = 0,029$ ), взаиморасположение слёзного мешка и нижнего края средней носовой раковины не оценивалось.

На основании данных МСКТ-визуализации Tuagi демонстрирует наличие корреляции между данными МСКТ и секционного исследования в отношении смещения дна слёзного мешка вверх и отсутствие корреляции между данными МСКТ и секции в отношении взаиморасположения задней и передней стенки слёзного мешка и основания средней носовой раковины [121]. Вероятно, продемонстрированное наличие корреляции в отношении смещения дна слёзного мешка вверх в исследовании Tuagi было обусловлено отсутствием патологических изменений в исследованных случаях.

В настоящее время широкое распространение получает и вариант МСКТ-дакриоцисторинографии [18, 81, 102, 131], предоставляющий достоверные данные относительно уровня и конфигурации дакриостеноза, однако, сопряженный с рядом технических сложностей, таких как необходимость

пункции слёзной точки [25] или инстилляцией специально приготовленного раствора контрастного вещества в конъюнктивальный мешок [131].

Большинством авторов [1, 13, 131] отмечается высокая диагностическая ценность трехмерного моделирования на основе данных, получаемых при МСКТ.

Конусно-лучевая компьютерная томография КЛКТ описана рядом авторов как перспективный метод предоперационной визуализации «первой линии» [25, 61], поскольку, обладая преимуществами традиционной МСКТ, позволяет значительно сократить лучевую нагрузку при одновременном повышении пространственной разрешающей способности [10, 28].

К недостаткам метода можно отнести обусловленное техническими аспектами метода ограничение контрастной разрешающей способности по сравнению с МСКТ, что в значительной степени ограничивает диагностические возможности оценки состояния стенок слёзного мешка и прилегающих мягких тканей [27].

Магниторезонансная томография (МРТ) СОП может применяться в качестве дополнительного метода диагностики и обычно включает регистрацию T2-взвешенных изображений как самостоятельно, так и в сочетании с регистрацией T1-взвешенных изображений после инстилляцией гадолинийсодержащего контрастного вещества или физиологического раствора в конъюнктивальный мешок [91]. Для получения изображений требуется многоканальная головная или мягкая поверхностная катушка. Принципиальным преимуществом метода является отсутствие лучевой нагрузки, что делает возможным безопасное для пациента многократное получение данных, что в свою очередь позволяет проводить динамическое исследование после введения контрастного вещества. Дилатация слёзного мешка [64] и проходимость СОП при этом может быть оценена общей точностью до 84 % [91]. Однако ввиду сравнительно низкой линейной разрешающей способности наряду с высокой по отношению к МСКТ контрастной разрешающей способностью, МРТ не позволяет получать достаточного для трехмерного моделирования и интраоперационной навигации качества объема данных, поэтому МРТ обычно используется в

качестве дополнительного метода диагностики в случаях возникшего на предыдущих диагностических этапах подозрения на наличие новообразования, как причины слезотечения.

В последнее время высокая информативность при патологии системы слезоотведения продемонстрирована и для высокотехнологичных методов исследования как лакримальная сцинтиграфия и однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) [1, 9, 22, 32].

Несмотря на то, что МСКТ представляет исчерпывающую информацию об анатомии слезоотводящей системы, единственным объективным и достаточно точным методом объективной оценки функционального состояния слезоотводящих путей в настоящее время остается лакримальная сцинтиграфия, позволяющая количественно оценить пассаж радиофармпрепарата по слезоотводящим путям [32].

Технологическим недостатком метода является невозможность достоверного количественного анализа, поскольку существует недостаточно изученная неоднородность значений периода полувыведения радиофармпрепарата как у пациентов с доказанным дакриостенозом, так и у пациентов без признаков нарушения слезоотведения. Одновременно недостаточная пространственная разрешающая способность метода не позволяет локализовать уровень нарушения проходимости слезоотводящих путей на основании изолированных данных сцинтиграфии, что требует комбинировать их с результатами других лучевых методов исследования. Поэтому, получаемые при лакримальной сцинтиграфии данные используются только для объективизации результатов и эффективности проведенного консервативного или оперативного лечения.

Еще одним обретающим в настоящее время ограниченную доступность в практике методом функциональной диагностики слезоотводящих путей является однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), отличительной особенностью которой, в сравнении со сцинтиграфией, является возможность оценки пространственного распределения радиофармпрепарата [9, 22]. В 2014 г.

Е. Л. Атьковой с соавт. были представлены первые результаты применения ОФЭКТ у здоровых лиц и пациентов с дакриостенозами. Авторами показана возможность применения метода ОФЭКТ для локализации участков задержки радиофармпрепарата [9].

По данным Е. Л. Атьковой с соавт. количественная оценка функции слезоотведения методом ОФЭКТ оказалась невозможной, однако в сочетании с МСКТ данный метод позволяет «одновременно получить сведения об анатомическом строении слезоотводящих путей, визуализировать места их патологических изменений, а также оценить их дренажную функцию».

Тем не менее, ввиду ограниченной распространённости и сравнительно низкой доступности метода ОФЭКТ и приоритета в рутинной практике данных об индивидуальной анатомии полости носа над данными о физиологическом состоянии СОП наиболее применимым в предоперационной подготовке в настоящее время остаётся МСКТ [2, 22].

## **1.5 Основные принципы виртуализации диагностических данных мультиспиральной компьютерной томографии**

Минимально инвазивная хирургия позволяет значительно снижать операционную травму для пациента. Основным требованием к хирургу для осуществления таких вмешательств является доскональное знание индивидуальной анатомии пациента и высокий уровень навыков. Виртуальное моделирование процесса осмотра внутриполостных структур и процедур, выполняемых при эндоскопических вмешательствах, способное помочь в выборе хирургической тактики, называется виртуальной эндоскопией (ВЭ) [47, 93, 106, 123].

### **1.5.1 Общие принципы виртуальной эндоскопии**

Описание ВЭ впервые дано Vinning в середине 1990-х – начале 2000-х [106,

123] и в существующем виде предложена Vining в 1993 и 1994 для колоноскопических и бронхоскопических целей соответственно [123, 124], в дальнейшем дорабатывалась Rubin с соавт. в 1996 [101]; Yuh с соавт. в 1999 [129] на основании обработки данных МСКТ и МРТ, и теперь применяется для визуализирующей диагностики во всех отделах тела, наиболее широкое распространение получая в диагностике полипов толстой кишки и бронхов.

Принципиальным отличием между традиционными трехмерными реконструкциями и ВЭ является тип перспективы представляемых изображений: при ВЭ осуществляется обзор изнутри полостных структур, в то время как традиционные трехмерные реконструкции предполагают осмотр объектов снаружи. В большинстве случаев ВЭ рассматривается не как самостоятельный диагностический инструмент, а как дополнительная возможность представления полученных данных, без изменения рутинных протоколов, применяемых для диагностических целей.

С развитием быстро получаемых последовательностей в МРТ (FLASH (fast low angle shot) или FISP (fast imaging with steady state processing)) постепенно повышается и роль этой модальности в получении данных для виртуальной эндоскопии, однако информация о применении данных МРТ для построения ВЭ в литературе отсутствует.

При планировании хирургического лечения дакриостеноза интерес представляет возможность определять по получаемым на основании МСКТ данным ВЭ этапы хирургической коррекции во время эндоскопических эндоназальных манипуляций в полости носа, а также возможность визуальной навигации непосредственно во время выполнения этих манипуляций.

Необходимо учитывать, что ВЭ имеет ряд ограничений. Поскольку модели строятся индивидуально на основании радиологических данных, ограничения, привносимые диагностической модальностью, такие как несовершенное отображение толщины слизистой оболочки в полости носа при МСКТ и сравнительно низкая линейная разрешающая способность при МРТ, влияют и на качество и достоверность получаемой виртуальной модели. Кроме того,

существующие алгоритмы сегментации тканей на данный момент несовершенны. Для повышения достоверности моделей часто требуется ручная сегментация, что делает метод во многом операторзависимым, времязатратным и трудновоспроизводимым.

Виртуальная эндоскопия позволяет легко и интуитивно оценивать внутреннюю структуру полостных образований [49], кроме того, предложены методы [49, 58, 95], позволяющие выполнять во время осмотра анатомическую секцию, аналогично тому, как это выполняется во время эндоскопических вмешательств.

Основным ограничением метода является необходимость расправления спадающихся полостных структур. Это не позволяет выполнять интраоперационную оценку в реальном времени и достигать достоверной эндоскопической навигации при обследовании кишки, поскольку возможны как удвоение, так и недостаточная визуализация полиповидных образований [49], однако не влияет на качество визуализации структур с жесткими стенками, таких как бронхи, придаточные пазухи носа и полость носа.

Создание виртуальной среды для тренировки навыков является одним из современных способов реализации руководящего принципа «не навреди». Обычно виртуальная среда создается в стандартизованном виде для тренировки навыков молодых специалистов без привязки к анатомии конкретного пациента, это позволяет многократным повторением без вреда для пациента ликвидировать технические ошибки хирурга [40, 77, 133].

Хотя ранее уже была показана полезность в виртуальной реальности в офтальмологии [40] наряду с нейрохирургией [133], основным недостатком этого подхода до настоящего времени оставалось отсутствие возможности действовать, исходя из индивидуальной анатомии пациента, что принципиально по описанным выше причинам в эндоскопической дакрихирургии.

### 1.5.1.1 Виртуальная эндоскопия в хирургии придаточных пазух носа

Хирургия околоносовых пазух становится все более распространенным направлением использования ВЭ. С 1997 года разрабатываются системы виртуальной реальности, предназначенные для обучения специалистов тактильному взаимодействию с эндоскопом с использованием тактильной обратной связи.

Большинство публикаций отмечает улучшение безопасности вмешательств, времени их выполнения и полноты предоперационной подготовки хирурга. Наибольшей критике в публикациях подвергается тактильная сторона симуляторов, поскольку достоверная имитация взаимодействия с тканями остается на данный момент невозможной.

Большинство авторов отмечает высокий потенциал виртуальной реальности в обеспечении безопасности пациентов при выполнении эндоназальных вмешательств [71, 120, 125, 133].

Применение ВЭ для исследования полости носа и околоносовых пазух было предложено Rogalla в 1998 [128] и описано на примере обследования 45 пациентов, подвергшихся низкодозовой МСКТ околоносовых пазух с последующим сравнением данных ВЭ с данными оптической эндоскопии, выполнявшейся во время оперативных вмешательств на синусах.

DeNicola с соавт. в 1997 [66] применил виртуальную эндоскопию на основании реконструкции поверхностей и теней на них (shaded surface display, SSD) данных МСКТ к широкому спектру патологии синусов, Gilani с соавт. в 1997 расширил опыт, применив для этих целей технологии объемного рендеринга (volume rendering, VR). Методом выбора для получения данных является МСКТ, предполагающая коллимацию 1–3 мм при широком спектре значений pitch, применении фильтров реконструкции для костной ткани и области интереса (FOV) 16 см. В этих работах на результатах до 45 МСКТ исследований был представлен опыт применения объемного рендеринга для визуализации в виде ВЭ придаточных пазух носа, было продемонстрировано соответствие получаемых

данных результатам оперативного вмешательства.

Сопоставимые результаты были показаны и Могга с соавт. в 1998 [127], выполнявшими исследования на шаговых компьютерных томографах с коллимацией и шагом стола 1–3 мм в аксиальной и корональной проекциях, при 120 кВ и 140 мАс, времени оборота трубки 2 с, применении фильтров реконструкции для костной ткани и области интереса (FOV) 14–16 спинной мозг. Это исследование продемонстрировало высочайший уровень соответствия получаемых данных хирургической анатомии, продемонстрированной в ходе оперативных вмешательств.

Норрег с соавт. (1999) [107, 116] расширил возможности метода за счёт маркирования значимых ориентиров при ВЭ перед эндоскопическими вмешательствами на околоносовых пазухах, применив метод у 25 пациентов с предоперационным моделированием резекции крючковидных отростков и средних носовых раковин в виртуальной среде.

В 2000 году Nakasato [40, 60, 107] с соавт. выполнили сравнение мультипланарных реконструкций и ВЭ в отношении выбора места доступа для пункции мукоцеле с верификацией посредством эндоскопических данных, показав, что комбинация этих способов демонстрации данных положительно сказывается на технической выполнимости вмешательства, однако, ввиду сложности демонстрации глубоко расположенных объектов ВЭ, показала применимость только для поверхностно расположенных образований, что было определено авторами как ограничение метода.

Наконец, Bisdas с соавт. в 2004 [40, 118] показана высокая степень корреляции между данными ВЭ и интраоперационной оптической эндоскопии ( $r = 0,83$ ,  $P = 0,001$ ), продемонстрировав, что такие анатомические структуры как перегородка носа, средние и нижние носовые раковины, крючковидные отростки и носослезные каналы оптимально визуализируются при уровне  $-250$  HU, а прочие структуры – при  $-400$  HU и отметив преимущество трехмерных реконструкций для полипов и складок слизистой оболочки размерами до 1 мм. Bisdas с соавт. в 2004 продемонстрировал [40, 118], что ВЭ была полезна при

предоперационном планировании при врожденных мальформациях околоносовых пазух, в частности, при синоназальной атрезии. К недостаткам Meloni с соавт. в 1992 относят невозможность дифференцировать при ВЭ рестенозы и фиброзные изменения у пациентов, ранее подвергавшихся хирургическим вмешательствам, что делает ВЭ недостаточной как самостоятельный диагностический метод [40, 74, 118].

### **1.5.2 Получение данных мультиспиральной компьютерной томографии и требования к ним**

Эффективность визуализации интраназальных структур при ВЭ была продемонстрирована для структур до 3 мм (Bisdas с соавт., 2004 [40, 118], Rogalla с соавт., 1998 [128] и Yamashita с соавт., 1999 [74]). Эти данные были получены при выполнении компьютерной томографии при помощи как спиральных, так и шаговых компьютерных томографов, с коллимацией 1,5–3 мм и шагом стола 1,5–3 мм при 120 kV, 140 mAs, времени сканирования 1 слоя в 2 сек. при поле обзора 14–16 см (Morra с соавт., 1998 [74, 127]), в то время как Rogalla с соавт. в 1998 г. [128] рекомендуют стремиться к сокращению толщины слоя и шага реконструкции до 0,5–0,625 мм с целью увеличения линейной разрешающей способности метода. Рекомендуемый Gilani с соавт. в 1997 г., De Nicola с соавт. в 1997 г. [66] и Rogalla с соавт. в 1998 г. [128] и Morra с соавт. в 1998 г. [127] протокол предполагает получение непрерывного стека с шагом реконструкции и толщиной слоя 1 мм при поле обзора в 16 см, с реконструкцией в аксиальной плоскости (Branstetter и Weissman, 2005) [74].

### **1.5.3 Генерация изображений**

Для построения виртуальных моделей используются данные, получаемые с диагностических модальностей в виде объемов в стандарте DICOM. Объемы данных спиральной МСКТ состоят из вокселей, каждый из которых отображает

интенсивность ослабления пучка рентгеновского излучения в небольшом объеме тканей пациента в виде единиц Хаунсфилда. Как правило, построение объемов выполняется в программном обеспечении в автоматическом режиме, требуя от оператора только указания серии, реконструкция которой должна быть выполнена. Идеальный набор данных должен содержать изотропные пиксели, имеющие, соответственно, правильную кубическую форму, что должно быть учтено при сканировании. Для визуализации применяется поверхностный и объемный рендеринг. При поверхностном рендеринге указывается только уровень единиц Хаунсфилда (HU), при пересечении которого программное обеспечение строит видимую пользователю поверхность на границе сред. Поверхностный рендеринг утрачивает актуальность в связи с увеличением производительности рабочих станций для обработки данных и появления возможностей выполнения объемного рендеринга в реальном времени. Объемный рендеринг предполагает назначение вокселям различных уровней прозрачности и цвета в соответствии с используемой цветовой схемой и значение единиц Хаунсфилда [77]. Ключевым преимуществом этого подхода является возможность динамического изменения прозрачности и цвета в реальном времени в соответствии с текущими задачами визуализации, в то время как рендеринг поверхностей предполагает перереконструкцию всего изображения при изменении уровня плотности описывающего поверхность, а также не позволяет управлять уровнями прозрачности различных тканей [77].

#### **1.5.4 Сегментация объема**

Большинство коммерчески доступных программно-аппаратных комплексов для МСКТ имеют встроенные инструменты объемного рендеринга [35].

Вариантами сегментации полученного объема являются:

- 1) ручная;
- 2) на основании уровней плотности;
- 3) на основании границ структур.

Недостатками ручного метода являются высокая требовательность к временным ресурсам и оператор-зависимость, определяющие низкую воспроизводимость метода. Более быстрым методом является сегментация на основании уровней чисел Хаунсфилда. Недостатком является перекрытие диапазонов плотности, и, как следствие, – различных структур в объёме, а также в наличии феномена частичного объёма, искажающего числа Хаунсфилда на границах сред [113]. Кроме того, при такой сегментации может выделяться больше тканей, чем относится непосредственно к зоне интереса. Для компенсации последнего недостатка применяется анализ связей (connected component analysis, CCA), т. е. выделение только пикселей соответствующих заданному диапазону плотности и непосредственно связанных со структурой интереса в объёме [79].

Развитием последнего метода являются способы сегментации на основании границ структур, при помощи фильтра Робертса и основанные на зональной анатомии (region-based) способы, например метод «роста из указанной точки». Однако точность сегментации сложных структур при этом в настоящее время требует улучшения. Поэтому, оптимальной применяется комбинация из нескольких способов сегментации [74].

### **1.5.5 Визуализация перспективы в поле обзора**

Первые принципиальные эндоскопические модели для навигации были предложены Roth в 1982 [108] в виде системы координат «расходящихся лучей», предполагавшей виртуальную генерацию изображений по линиям лучей, расходящихся от точки обзора виртуального эндоскопа. В итоге получаемое изображение отображает коническое поле обзора, характерное для визуальной картины при эндоскопии. При этом более близко расположенные к точке обзора объекты выглядят значительно крупнее, чем удалённые от неё. Поле обзора может изменяться в соответствии с углом обзора. Для максимального соответствия реконструкции оптической эндоскопии используется алгоритм сглаживания «шагающий куб» («*marching cube*»), предложенный Lorensen and

Cline в 1987, с реконструкцией кубического набора данных триангуляции для получения сглаженных поверхностей [85].

### **1.5.6 Недостатки виртуальной эндоскопии**

Основная критика в отношении ВЭ как метода высказывается в отношении наличия искажений, внесенных процессом реконструкции изображений трехмерных объектов в коническом поле обзора, что в частности не позволяет производить достоверные измерения и в ряде случаев может приводить к ошибочной интерпретации видимых взаимоотношений визуализированных объектов. Следует учитывать, что данный метод не является диагностическим и используется, главным образом, для предоставления легко воспринимаемой хирургом за счёт сопоставимости изображений с привычными ему эндоскопическими данными.

### **1.5.7 Диагностическая ценность виртуальной эндоскопии**

Сравнение диагностической ценности оптической и виртуальной эндоскопии было проведено Mohammed Farghally Amin в 2012 г. для полиповидных новообразований мочевого пузыря и продемонстрировало совпадение локализации изменений с данными референтного метода – оптической эндоскопии. Чувствительность ВЭ по данным Amin составила 94,36 %, специфичность 71,42 %, положительная прогностическая значимость 97,1 %, и отрицательная прогностическая значимость 55,55 % [39].

По данным ВЭ толстой кишки Н. Kuwayama с соавт. в 2002 [130] на материале 70 пациентов: для образований > 10 мм чувствительность составила 75 %, специфичность – 90 %, однако они значительно сокращались при сокращении размеров образований: при 5–9 мм составляя 62 % и 69 %, соответственно, с дальнейшим снижением по данным Rex с соавт. [105] на 46 бессимптомных пациентов до 43 % для полипов 6–9 мм, и 11 % для полипов < 5 мм

[130]. Очевидно, эти ограничения были продиктованы протоколом сбора данных, предполагавшим шаг реконструкции и толщину среза до 3 мм.

В исследованной литературе приведены данные сравнения диагностической ценности получаемых при помощи ВЭ и традиционных способов представления данных МСКТ для виртуальной бронхоскопии и колоноскопии (таблицы 1, 2 и 3) [68, 78].

Таблица 1 – Сравнение диагностической ценности получаемых при помощи ВЭ и традиционных способов представления данных МСКТ в отношении бронхоскопии, как референсного метода по данным Rapp – Bernhardt с соавт. [68]

Показатель	Срезы в аксиальной плоскости	mIP	MPR	ВЭ – бронхоскопия
Ложноположительный результат	6	2	3	5
Истинно положительный результат	78	74	78	76
Ложноотрицательный результат	0	4	0	2
Истинно отрицательный результат	726	730	729	727
Чувствительность (%)	92,9	97,4	96,3	93,8
Специфичность (%)	100	99,5	100	99,7
Точность	0,99	0,99	0,99	0,99

Таблица 2 – Случаи ошибок при оценке при помощи ВЭ и традиционных способов представления данных МСКТ в отношении бронхоскопии как референсного метода по данным Rapp – Bernhardt с соавт. [68]

Показатель	Срезы в аксиальной плоскости	mIP	MPR	ВЭ – бронхоскопия
Гипердиагностика	1	5	5	4
Гиподиагностика	15	18	11	8

Таблица 3 – Сравнение диагностической ценности получаемых при помощи ВЭ и традиционных способов представления данных МСКТ в отношении оптической риноскопии и операционной верификации после эндоназальной эндоскопической ДЦР, как референсного метода, собственные данные [18]

Показатель	MPR	ВЭ – риноскопия с сегментацией и цветовым маркированием СОП
Ложноположительный результат	47	2
Истинно положительный результат	11	58
Ложноотрицательный результат	13	1
Истинно отрицательный результат	35	34
Чувствительность (%)	45,8 %	98,3 %
Специфичность (%)	42,7 %	94,4 %
Положительная прогностическая значимость (%)	19,0 %	96,7 %
Отрицательная прогностическая значимость (%)	72,9 %	97,1 %

### **1.5.8 Практическое применение виртуальной эндоскопии и её влияние на хирургическую тактику**

Анализ результатов применения ВЭ в практике неоднозначен, существуют данные как за, так и против развития этого направления визуализации.

Ранее рядом авторов уже была предположена применимость ВЭ для целей навигации («image guidance») при эндоскопических операциях посредством моделирования интраоперационных изображений (Citardi и Vatra, 2007 [54]; Grevers с соавт., 2002 [52]; Nakasato с соавт., 2000 [125]; Neumann с соавт., 1999 [75]; Shahidi с соавт., 2002 [76]).

В исследовании Rogalla с соавт. в 1998 [128], в целом, анатомические детали были изображены точнее при корональной мультипланарной реконструкции данных МСКТ в сравнении с ВЭ, однако хирурги обнаружили, что высокая степень сходства между виртуальной эндоскопией и интраоперационными эндоскопическими изображениями может быть полезна при интраоперационной

навигации. Barnes в 2017 г. в системном обзоре виртуальной эндоскопии для дыхательных путей [53] называет данные виртуальной бронхоскопии превосходными, не приводя, однако, подтверждающих это мнение статистических данных. El-Boghdadly в 2017 показывает, что точность МСКТ для оценки дыхательных путей при выборе тактики анестезиологического пособия составляет 54,1 % и увеличивается до 67,7 % при применении ВЭ ( $P = 0,007$ ) – в этом исследовании в 48 % случаев расширение визуализации за счёт ВЭ привело к изменениям в тактике и стратегии ведения пациентов ( $P < 0,001$ ), и 90,6 % изменений были направлены в сторону обеспечения большей безопасности пациента ( $P < 0,001$ ), что позволило признать, что дополнение МСКТ ВЭ способно улучшать выбор тактики ведения пациентов [66]. Аналогичные данные получены независимо и Ahmad в 2017 – диагностическая точность с предоставлением клиническим специалистам данных ВЭ увеличилась на 13 %, и привела к изменениям в тактике в 48 % ( $P < 0,005$ ), причем 90 % ( $P < 0,005$ ) изменений тактики были направлены на большую осторожность при планируемой интубации трахеи [36].

Таким образом, виртуальная эндоскопия, обеспечивая реконструкцию внутри трехмерной трубчатой системы координат в виде, аналогичном представлениям, получаемым при оптической эндоскопии, обеспечивает максимальную совместимость представлений с интраоперационными данными. При этом возможность видеть за пределами поверхностей стенок полого органа, ограничивающих обзор при оптической эндоскопии, позволяет значительно развить хирургические подходы за пределами обследуемых полостей [79]. В настоящее время разрабатываются системы цифрового сопоставления получаемых изображений при виртуальной и оптической эндоскопии для достижения идентичности расположения точки обзора в каждый момент времени [115].

Тем не менее, даже не имея возможности получения полноценной индивидуальной системы интраоперационной навигации, виртуальное эндоскопическое представление предоперационных данных способно улучшить

результаты хирургического вмешательства на слёзных путях.

В ряде обзоров литературы [35, 111, 132] показано, что хирурги, уделявшие время тренировке в режиме виртуальной реальности получали результаты не хуже или лучше таковых у хирургов, не выполнявших предоперационной подготовки, поскольку были ознакомлены с индивидуальной анатомией пациента.

Таким образом, в отечественной и зарубежной литературе демонстрируется высокая важность предоставления хирургам информации об индивидуальной анатомии полости носа и варианта строения и расположения СОП [33, 62]. До настоящего времени только одним коллективом авторов была описана применимость ВЭ для предоперационной подготовки хирурга-эндоскописта и интраоперационной навигации при выполнении эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии [131].

## **1.6 Хирургическое лечение дакриостеноза**

Решение о тактике лечения дакриостеноза в случае выявления обструкции слёзных путей принимается на основании данных о длительности заболевания, уровне и степени стеноза слезоотводящих путей. Возможен трансканаликулярный (малоинвазивный) путь коррекции или создание анастомоза (дакриоцисториностомы) [4, 20, 37, 42].

Трансканаликулярные вмешательства, такие как зондирование и спринцевание через слёзную точку, дают достаточно низкий процент успеха [84] и применяются преимущественно в педиатрической практике.

Малоинвазивная дакриоэндоскопия (МДЭ) требует прецизионной эндоскопической техники с наружным диаметром 0,75–0,9 мм для диагностических целей и 1,1 мм для лечебно-диагностических процедур. Малоинвазивная дакриоэндоскопия может выполняться под местной анестезией, однако рекомендуется одномоментная лечебно-диагностическая эндоскопическая операция под общей анестезией [42], позволяющая как выявить, так и удалить каналикулярные дакриолиты, инородные тела, участки изменённой слизистой

оболочки или мелкие опухоли [38, 65]. Недостатками метода является низкая доступность оборудования и сложность овладения прецизионной эндоскопической техникой, возможность трудноостанавливаемого кровотечения, риск разрыва мягких тканей в области слёзной точки и канальцев, ограниченные возможности удаления инородных тел и дакриолитов.

Более инвазивным методом, однако, лишенным данных недостатков, является дакриоцисториностомия (ДЦР). Дакриоцисториностомия, как метод лечения нарушений проходимости слёзных путей, предполагает формирование соустья между слёзным мешком и полостью носа. Метод считается безопасным и эффективным [19, 48, 82, 83], однако знание топографической [42] и индивидуальной [4] анатомии критично для достижения лучшего результата этого вмешательства и снижения количества осложнений.

Существует два основных способа восстановления дренажа из слёзного мешка посредством формирования соустья с полостью носа наружный и эндоназальный, при этом второй способ может быть выполнен с применением механических (фреза) и более травматичных [42, 83] лазерных методов формирования соустья [48, 56, 114].

Оригинальная техника экстраназальной ДЦР описана в 1904 г Toti [119] и в дальнейшем модифицирована Dupuy и Dutemps в 1921, предложившими формировать створки слизистой оболочки для лучшей эпителизации стомы. Успешность операции варьирует от 70 до 95 % [80, 114]. Эндоназальный доступ предложен в 1893 Caldwell [51]. Доступ получил распространение только с появлением назальных эндоскопов. Дакриоцисториностию в современном виде представил McDonogh в 1989 г. [89]. Преимущества эндоназального способа – меньшая инвазивность, менее выраженное интраоперационное кровотечение, меньшее время оперативного вмешательства и, как следствие, – анестезиологического пособия, сохранение насосной функции круговой мышцы глаза (*лат. m. orbicularis oculi*), не повреждающейся, как это происходит при наружном доступе, отсутствие косметического дефекта (видимого рубца) [19, 48, 80], эпиканта, кожной

фистулы, а также наличие ринологического контроля состоятельности и локализации дакриоцисториностомы и отсутствие риска повреждения аппарата слёзных канальцев [23]. Отрицательными особенностями доступа в настоящее время являются относительно меньшая степень соединения слёзного мешка с полостью носа, как следствие – большой процент рецидивов, большая стоимость оборудования и сложность процедуры, требующая особых навыков от оперирующего офтальмолога [7, 89, 99].

Современные ретроспективные исследования показали успешность этой операции от 63 % до 96 % [11, 14, 15, 41, 57, 69, 87, 104]. Несмотря на лучший эффект в виде сохранения анатомических структур (фасций) и отсутствие косметических недостатков, эндоназальная лазерная ДЦР демонстрирует успешный результат в течение полугода у 63 % пациентов против 91 % при выполнении ДЦР наружным доступом, разрешение симптомов дакриоцистита наблюдалось у 59 % пациентов при лазерной эндоназальной ДЦР и 84 % – при наружной ДЦР [37, 80].

Количество интраоперационных осложнений крайне вариабельно [98, 103], однако при сравнении ДЦР, выполняемой наружным и эндоскопическим доступом, при последнем частота осложнений отмечается стабильно выше в большинстве исследований [97, 134].

Huang с соавт. в 2014 [114] также выявляют несколько лучшие результаты наружной ДЦР, однако, отмечают, что достоверность сравнения снижена значительной вариабельностью техник эндоскопической ДЦР.

Лучшие результаты наружной ДЦР, по данным ряда авторов [43], обусловлены большей частотой интра- и послеоперационных кровотечений, а также незначительно большей частотой послеоперационных инфекционных осложнений, однако в обзорных исследованиях [57, 69, 104] эти различия показаны как незначительные.

В среднем, количество рецидивов при ДЦР, выполняемой любым из перечисленных способов, достигает 22–25 %. Повторная операция для восстановления слезоотведения, по данным литературы, требовалась до 19,7 %

случаев [11, 14, 15, 83].

Частыми причинами зарастания образованного соустья являются недостаточный его размер или неправильная локализация в результате неблагоприятного анатомического расположения слёзного мешка или при его дислокациях после травмы, несовершенная форма соустья с оставлением костных фрагментов или «кармана» в нижнем отделе слёзного мешка (самп-синдром, синдром «выгребной ямы») [14, 15].

Поэтому ключевым фактором успеха в хирургической коррекции является доскональное знание анатомических ориентиров [16].

### **1.6.1 Техника выполнения оперативного вмешательства при эндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии**

Оперативное лечение проводится с применением местной или общей анестезии, однако предпочтительным анестезиологическим пособием у взрослых пациентов является ингаляционная общая анестезия. На первом этапе выполняется анемизация и дополнительная анестезия слизистой оболочки половины полости носа, на которой предполагается вмешательство смесью растворов галазолина 0,05 % и лидокаина 2 % (в пропорции 1 : 1 по объёму) [96], после чего производят абляцию слизистой оболочки в зоне проекции слёзного мешка бор-насадкой шейвера, соединенного с аспирационной системой, удаляют дно ямки слёзного мешка, затем полученное костное окно расширяют обратным выкусывателем по Керрисону в пределах зоны удаленной слизистой оболочки на латеральной стенке полости носа. Слизистую оболочку внутренней стенки слёзного мешка также удаляют путем коблации [31], либо лазерной коагуляции диодным лазерным аппаратом Nd:YAG лазера [23] с длиной волны 1,06 мкм и параметрами мощности от 0,1 до 11,5 Вт при диаметре световодов 400–800 мкм [21], либо 980 мкм [96] с формированием риностомы при помощи эксимерного лазера (XeCl, 308 nm) [23], размерами в среднем 4–6 мм [96], либо шейверным способом с формированием костного отверстия порядка 10 мм [21, 96]. Согласно

работам М. И. Авербаха (1927) оптимальными размерами костной риностомы являются  $\geq 15$  мм по вертикали и  $\geq 10$  мм по горизонтали [23], в дальнейшем размер их сокращается за счёт рубцовых изменений до нескольких миллиметров [29]. Далее выполняется прямое зондирование-бужирование носослезного протока через верхнюю слезную точку, при этом разрушаются фиброзные перемычки и удаляются грануляции, а также преодолеваются в пределах вышележащих СОП.

Положение зонда контролируется эндоскопически с помощью полимерной канюли, выполняется контрольное промывание СОП с визуализацией вытекающей подкрашенной жидкости из дакриоцисториностомы [96]. В случае выявления многоуровневой непроходимости слезных путей, создание соустья дополняют дренированием или стентированием слезоотводящих путей на срок от 1 до 3 месяцев [31].

### **1.6.2 Интраоперационная трансиллюминация слезного мешка**

Принцип трансиллюминации слезного мешка посредством антеградного введения гибкого оптоволоконного световода через слезные каналы в полость мешка был представлен в 1990 г. [88] и позволил решить ряд технических проблем при эндоназальном доступе для выполнения дакриоцисториностомии. Технически выполнение трансиллюминации не является самостоятельным исследованием и представляет собой способ интраоперационной навигации. Выполнение интраоперационной трансиллюминации предполагает введение гибкого оптоволоконного световода гелий-неонового лазера через слезную точку в просвет слезного мешка для диафаноскопического обнаружения голотопической проекции слезного мешка на латеральную стенку полости носа [23]. Недостатками данного способа интраоперационной навигации является риск затрудненного проведения световода в случае наличия в полости слезного мешка дакриолитов, грануляций, перемычек и спаек, а также наличие рассеивания светового пятна в латеральной стенке полости носа, снижающее точность

позиционирования слёзного мешка и зависимость локализации голотопической проекции слёзного мешка на латеральную стенку полости носа от направления световода.

Таким образом, визуальные результаты данной методики обнаружения слёзного мешка позади непрозрачной латеральной стенки полости носа являются субъективными и оператор-зависимыми.

## ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена на объединенной клинической базе Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Свердловской области «Свердловская областная клиническая больница № 1» и Закрытого акционерного общества «Микрохирургия глаза» г. Екатеринбург. Протокол исследования одобрен Комитетом по этике ФГБОУ ВО «Новосибирского государственного медицинского университета» (протокол № 117 от 05 июня 2019 г.).

Участники исследования были отобраны слепым рандомизированным методом из пациентов, которым была запланирована эндоскопическая эндоназальная дакриоцисториностомия в условиях хирургического отделения № 1 Закрытого акционерного общества «Микрохирургия глаза» г. Екатеринбург и назначена МСКТ в порядке выполнения стандарта предоперационной подготовки. Все пациенты дали информированное согласие на свое участие в исследовании.

### 2.1 Клиническая характеристика анализируемых групп пациентов

В исследование включены 102 взрослых пациента, страдающих слезотечением с эпифорой и клиническим диагнозом «хронический дакриоцистит» (204 слёзных мешка и слезоотводящих путей), подвергшихся МСКТ в порядке стандартного протокола предоперационного обследования в порядке планирования операции эндоназальной дакриоцисториностомии.

В исследование были включены пациенты со следующими нозологическими формами поражений вертикального отдела СОП:

- рецидивирующий оперированный дакриоцистит взрослых – 2 пациента (1,96 %);
- хронический дакриоцистит с дилатацией слёзного мешка – 27 пациентов (26,47 %);
- хронический дакриоцистит с дислокациями слёзного мешка – 60 пациентов (58,82 %);

- посттравматическая деформация внутреннего угла глазной щели с непроходимостью слёзных канальцев и носослёзного протока 13 пациентов (12,74 %).

Демографический состав: 27 мужчин и 75 женщин в возрасте от 20 до 87 лет, средний возраст составил ( $57 \pm 1,6$ ) лет.

Из них клинические проявления двустороннего дакриоцистита наблюдались у 29 пациентов, у прочих 73 пациентов клиническая симптоматика позволяла определить односторонний хронический дакриоцистит.

В качестве признаков дакриоцистита были использованы:

1) *Длительное слезотечение.* В анализируемых группах пациентов длительность слезотечения составила от 2 до 18 мес.

2) *Наличие слизисто-гнойных выделений в конъюнктивальных мешках.* Наблюдалось у всех включенных в исследование пациентов.

3) *Инъеция и болезненность конъюнктивы, гиперемии, отёк полулунной складки и слезного мясца.* Наблюдалось в 89 пациентов (87,3 %).

4) *Сужение глазной щели и визуально заметное увеличение объёма слёзного мешка* наблюдалось у 29 пациентов (28,43 %) с двух сторон, у 73 пациентов (71,57 %) – с одной стороны.

Такие симптомы, как повышение температуры тела и общая интоксикация в анализируемых группах пациентов не были выявлены.

Анамнестически 13 пациентов (12,74 %) указывали на факт травмы средней зоны лица, 67 пациентов (65,69 %) указывали на наличие хронического воспалительного процесса в придаточных пазухах носа, 2 пациента (1,96 %) ранее перенесли дакриоцистиномию, после чего в отсроченном периоде у них повторно развилась симптоматика дакриоцистита на стороне проведенного ранее оперативного вмешательства, потребовавшая обращения к офтальмологу.

Клинико-анамнестические данные представлены сводно в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика клинических и анамнестических данных у обследованного контингента

Особенности анамнеза	Основная группа (n = 123)	Встречаемость симптома при дакриоцистите
Слезотечение	123	100 %
Наличие травматических изменений средней зоны лица в анамнезе	13	6,37 %
Наличие воспалительных изменений придаточных пазух носа	67	32,84 %
Рецидив слезотечения после ранее выполненной ДЦР	2	0,98 %

*Критерии включения пациентов в исследование:*

- признаки слезотечения в сочетании с клинико-лабораторными данными, позволившими установить клинически диагноз дакриоцистит;
- отсутствие медицинских противопоказаний и технических ограничений к выполнению эндоназальных эндоскопических вмешательств;
- согласие пациента на проведение МСКТ, оптической эндоскопии полости носа и последующей эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии.

*Критерии исключения:*

- осмометрически выявленные признаки рефлекторной гиперлакримии, имитирующей ретенционную эпифору;
- выявленный интраорбитальный опухолевый процесс.

Основная группа была образована данными визуализации слезоотводящих путей пациентов с явлениями слезотечения в сочетании с клинико-лабораторными данными, позволяющими определить клинически диагноз дакриоцистит и включила 123 изображения СОП.

С целью минимизирования влияния фактора индивидуальной вариативности, обусловленной демографическими, этническими и прочими нетравматическими факторами, контрольная группа была образована данными

визуализации интактных слезоотводящих путей пациентов, имеющих одностороннюю эпифору и признаки одностороннего дакриоцистита. Контрольная группа включила 81 изображение СОП, клинически, функционально и визуально при МСКТ оцененных как интактные, без клинических проявлений дакриоцистита на данной стороне.

## **2.2 Методы исследования**

### **2.2.1 Клинико-анамнестические методы исследования**

Все пациенты подвергались стандартному обследованию, включавшему в себя анализ жалоб, сбор анамнеза, анализ крови на маркеры вирусных гепатитов, ВИЧ, уровень глюкозы сыворотки крови, общий анализ мочи и общий анализ крови. Для изучения анамнестических данных проводился стандартный клинический опрос пациентов и анализ предоставленной медицинской документации.

### **2.2.2 Офтальмологическое обследование**

Комплексное офтальмологическое обследование включало в себя визиометрию, автокератометрию, авторефрактометрию, бесконтактную тонометрию, офтальмоскопию, эластометрию роговиц, прицельную биомикроскопию век с подробной оценкой положения ресничного края век, состояния выводных протоков мейбомиевых желез, слёзного ручья, наличия или отсутствия конъюнктивальных связок, наличие и выраженность инъекции сосудов конъюнктивы.

### **2.2.3 Стандартные методы оценки функционального состояния слезоотводящих путей**

Использовавшиеся методы оценки функционального состояния слезоотводящих путей включали в себя оценку стабильности прекорнеальной слезной пленки (проба Норна), осмометрии слезной жидкости (осмометр TearLab, США), слезно-носовую пробу с 1 % раствором флюоресцина натрия. В случае выявления нарушения лагримального дренажа после капельной местной анестезии выполнялось механическое расширение слезной точки коническими зондами Зихеля № 1 и № 2 с оценкой проходимости верхнего отдела СОП путем продвижения их в направлении слезного мешка и последующим промыванием СОП физиологическим раствором для оценки пассивной их проходимости.

### **2.2.4 Компьютерная томография**

#### **2.2.4.1 Используемое для получения данных оборудование**

Компьютерная томография выполнялась на мультиспиральных компьютерных томографах Aquilon-64 (Toshiba, Япония), BrightSpeed-16 (General Electric, США), Brilliance-64 (Philips, Нидерланды).

Фрагментация оборудования, применявшегося для сканирования в данном исследовании, была использована умышленно для подтверждения возможности выполнения постпроцессинга негомогенных данных, получаемых при помощи различного оборудования при использовании единой конечной рабочей станции постобработки.

Требованиями, предъявляемыми к диагностической модальности (компьютерным томографам) являлись:

- 1) полная совместимость с форматом данных и протоколом передачи DICOM 3.0;
- 2) реконструктивная матрица не менее  $512 \times 512$ ;

3) возможность получения изометрического объема данных с шагом и толщиной реконструктивного слоя не более 0,625 мм;

4) возможность получения двух объемов данных с различными ядрами конволюции.

При этом строго контролировалась планируемая эффективная доза для каждого пациента с целью исключения её увеличения по сравнению с рутинно выполняемой для исключения новообразований и грубых аномалий строения лицевого скелета МСКТ.

Таким способом достигалось полное отсутствие влияния факта включения пациента в основную группу на рутинный диагностический процесс и лучевую нагрузку, которой подвергался пациент.

Все связанные с данным исследованием дополнения к диагностическому процессу касались исключительно постобработки и выполнялись в качестве расширения рутинного протокола предоперационного обследования, что полностью исключало отрицательное влияние данного исследования на процесс рутинной предоперационной диагностики.

Сканирование производилось в режиме спирального сбора данных при 64 активных линейках детекторов на компьютерных томографах Aquilon-64 (Toshiba, Япония) и Brilliance-64 (Philips, Нидерланды) и 16 активных линейках детекторов на компьютерном томографе Bright Speed-16 (General Electric, США) при узком поле обзора (< 240 мм), анодном напряжении 120 кВ, токе 250 мА, питч 41,0 при времени оборота трубки 0,5 с, при коллимации 5 мм и шаге первичной реконструкции 5 мм. Индивидуальная эффективная доза составила от 1,7 мЗв до 2,1 мЗв. Реконструкция производилась с шагом 0,5 мм на компьютерном томографе Aquilon-64 (Toshiba, Япония) и 0,625 мм на компьютерных томографах BrightSpeed-16 (General Electric, США) и Brilliance-64 (Philips, Нидерланды) с формированием двух объемов, отличающихся значениями ядра конволюции: для анализа костных структур применялись высокие значения ядра конволюции (75), для анализа мягкотканых структур и использования для трехмерных реконструкций – низкие значения ядра конволюции (30).

#### 2.2.4.2 Программное обеспечение для постпроцессинга

Постпроцессинг осуществлялся при помощи рабочих станций Vitrea (Vital, Toshiba, Япония) и Phillips Extended Brilliance Workspace (Philips, Нидерланды).

Данное программное обеспечение было выбрано в соответствии со следующими предъявляемыми требованиями:

1) полная совместимость с форматом данных и протоколом передачи DICOM 3.0;

2) возможность одновременной работы в режиме мультипланарной реконструкции, объемного рендеринга (volumetric rendering techniques, VRT), виртуальной эндоскопии с сохранением единой системы маркеров, привязанных к объему данных

3) возможность управления уровнями прозрачности структур при отображении объемных реконструкций и виртуальных эндоскопических моделей.

В режиме мультипланарных реконструкций производились изменения слёзных мешков по наружным их контурам в аксиальной коронарной и сагиттальной проекциях при параметрах окна W/L 340/40 HU (электронное окно для визуализации мягких тканей, Soft Tissue), для чего использовался объём данных, реконструированных с низким значением ядра конволюции, с последующей коррекцией контуров слёзных мешков в коронарной и сагиттальной проекциях с выбором максимальных значений по длинной и перпендикулярным ей коротким осям. В качестве нижней точки для измерения длинной оси слёзного мешка использовалась плоскость входа в костный носослезный канал (рисунок 1).

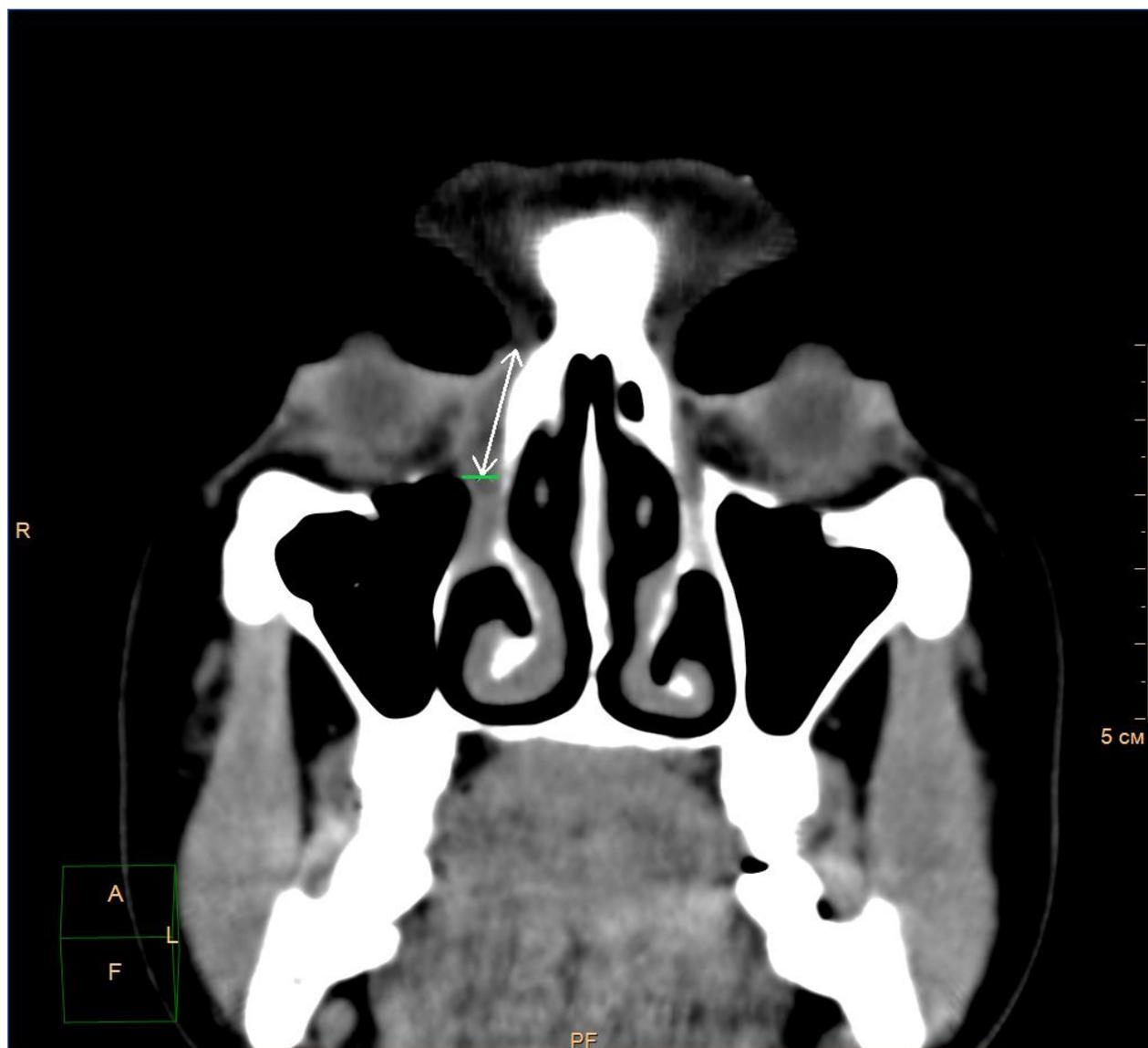
Гологочечная проекция центрального отдела слёзного мешка на латеральную стенку полости носа выполнялась следующим образом: в режиме мультипланарной реконструкции вручную выполнялась точная стереотаксическая ориентировка полученного массива данных с приведением межскуловой линии в коронарную проекцию и хиатомеатальной плоскости черепа в аксиальную

проекцию, что позволяло гарантировать горизонтальное расположение осей оснований средних носовых раковин.

Таким образом, вне зависимости от дефектов укладки восстанавливалась нормальная анатомическая позиция орбит, что позволило использовать перпендикулярные маркеры (референсные линии пересечения перпендикулярных проекций) в качестве аксиальной, сагиттальной и корональной плоскостей для проецирования центральной точки слёзного мешка на боковую стенку полости носа. В качестве центральной точки выбиралось место пересечения измеряемых по представленной выше методике перпендикулярных осей слёзного мешка.

Далее выполнялось позиционирование точки пересечения перпендикулярных проекций в выбранную центральную точку слёзного мешка, после чего производилось изменение по восстановленным перпендикулярам от референсной линии корональной плоскости до переднего края ипсилатеральной средней носовой раковины с указанием расположения плоскости кпереди или кзади от него и последующим измерением расстояния от референсной линии корональной плоскости до переднего края средней носовой раковины, при этом дорсальное смещение указывалось в виде отрицательных значений (рисунок 4).

Далее производилось измерение расстояния от референсной линии горизонтальной плоскости до основания средней носовой раковины и до нижнего её края, при этом смещение нижнего края средней носовой раковины выше референсной линии горизонтальной плоскости указывалось в виде отрицательных значений (рисунок 5).



Примечания:

В качестве высоты использовалось расстояние от дна слёзного мешка до плоскости начала костного носослёзного канала.

Двунаправленной стрелкой указана длинная ось (высота) слёзного мешка.

Сплошной линией указана плоскость входа в костный носослезный канал, по которой при измерении определялся нижний полюс слезного мешка.

Рисунок 1 – Методика морфометрии слезных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в корональной (фронтальной) проекции



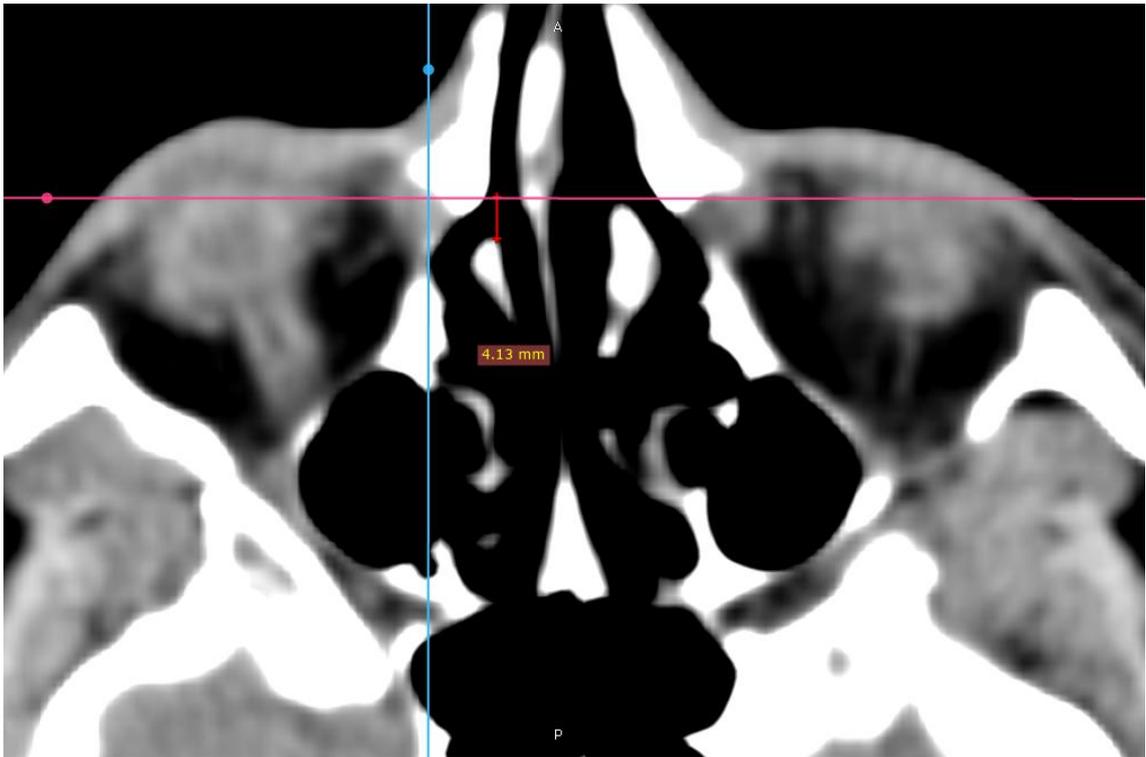
Примечание: Двунаправленной стрелкой указана короткая ось (глубина) слезного мешка (b). В качестве глубины использовалось расстояние от передней стенки слезного мешка до задней стенки, исключая толщину собственно стенок (включая только просвет, выполненный содержимым жидкостной плотности).

Рисунок 2 – Методика морфометрии слезных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в сагиттальной проекции



Примечание: Двунаправленной стрелкой указана средняя ось (ширина) глубина слёзного мешка.

Рисунок 3 – Методика морфометрии слёзных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в аксиальной проекции



Примечание: Выполнено измерение смещения корональной плоскости центра слёзного мешка относительно корональной плоскости переднего края средней носовой раковины.

Рисунок 4 – Методика морфометрии слёзных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в аксиальной проекции



Примечание: Двухнаправленной стрелкой указано смещение центра слёзного мешка относительно горизонтальной плоскости нижнего края средней носовой раковины.

Рисунок 5 – Методика морфометрии слёзных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в аксиальной проекции

Описанным способом в каждом случае визуализации СОП были получены значения смещения центральной точки слёзного мешка относительно наиболее крупных видимых интраназальных ориентиров в перпендикулярной системе координат.

Рутинное протоколирование результатов исследования выполнялось в виде стандартного текстового описания, составляемого в не регламентированной форме, жёсткой копии изображений на плёночном носителе и цифровой копии изображений на CD с данными мультипланарной реконструкции в формате DICOM. При описании расположения слёзного мешка применялся традиционно используемый порядок текстового описания локализации слёзного мешка [6, 20], предполагающий следующую градацию:

1) «типичное расположение» – на уровне переднего конца средней носовой раковины;

2) «переднее расположение» – кпереди от переднего конца средней носовой раковины;

3) «заднее расположение» – кзади от переднего конца средней носовой раковины [6].

Правильность выбора плоскостей контролировалась на основании трехмерных виртуальных реконструкций костей лицевого скелета.

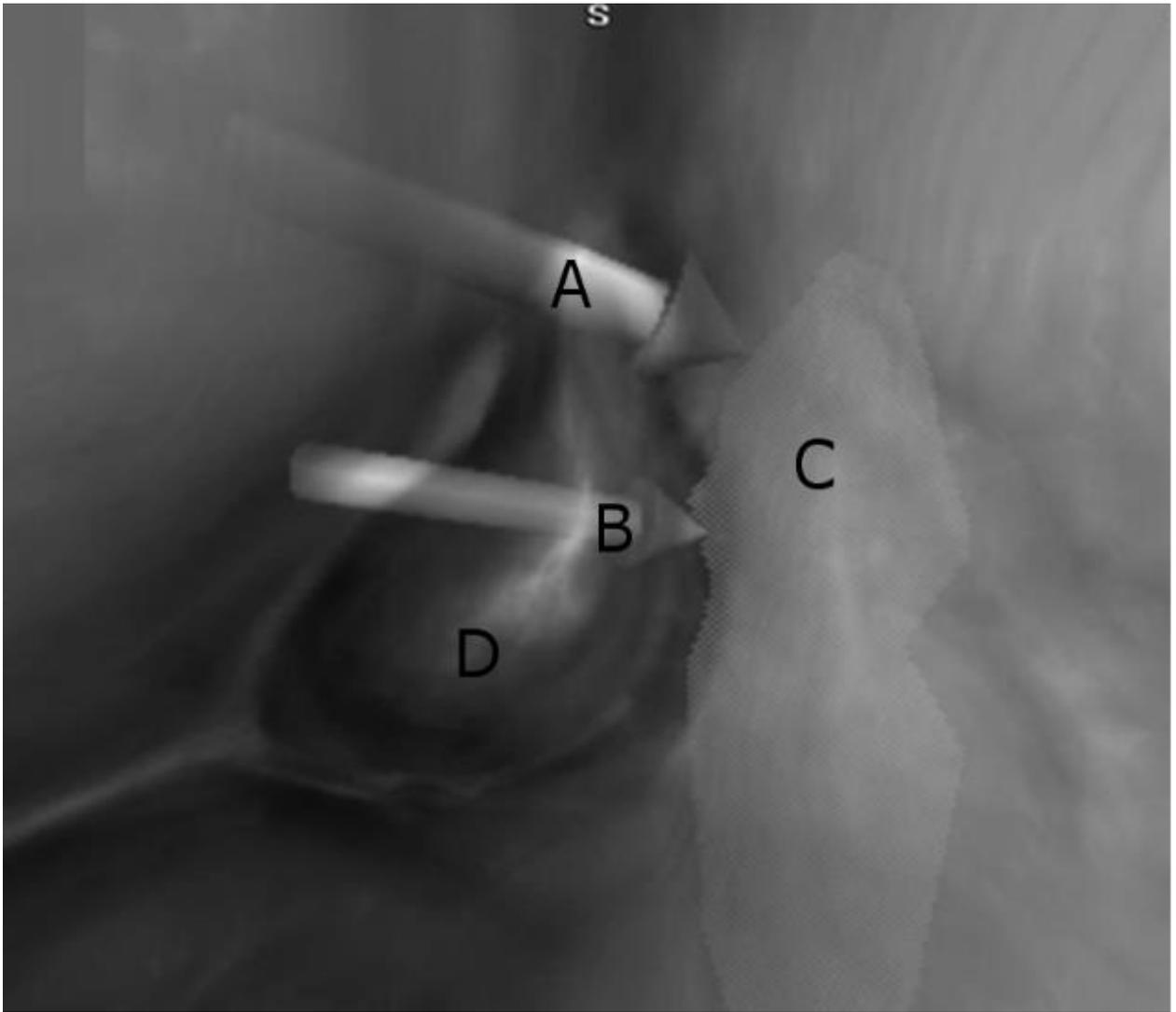
Описанным способом количественно были оценены линейные смещения проекции геометрических центров слёзных мешков на латеральную стенку полости носа относительно переднего и нижнего края средней носовой раковины.

Далее, дополнительно к рутинному протоколу, выполнялась сегментация слезоотводящих путей следующими способами: на раннем этапе при использовании программного обеспечения Virtea (Vital, Toshiba, Япония) выполнялось построение трёхмерных моделей полости носа (автоматически) и отдельно вручную послойно при помощи инструмента зоны интереса свободной формы с последующим построением поверхности путем объёмной интерполяции последовательно выделенных зон интереса создавались трехмерные модели поверхностей наиболее крупных структур слезоотводящих путей – слёзного мешка и носослёзного канала. Затем выполнялось цветовое маркирование моделей этих поверхностей и отметка этих моделей СОП с помощью видимых на трехмерных реконструкциях со стороны полости носа цветовых маркеров контрастного по отношению к слизистой оболочке цвета.

Маркирование полученного на предыдущем этапе геометрического центра слёзного мешка выполнялось с использованием в качестве референсной системы навигации осмотра по мультипланарным плоскостным реконструкциям. Далее полученная трёхмерная модель поверхности мешка и носослезного канала встраивалась в трёхмерную эндоскопическую модель полости носа, при этом применялся трехмерный рендеринг объёма с оптимальными для визуализации полостных структур параметрами, предназначенный производителями программного обеспечения для трехмерной реконструкции дыхательных путей. Производился последовательный осмотр полости виртуальной эндоскопической

модели носа и модели СОП с углом обзора 90–120<sup>0</sup>, наиболее соответствующим оптической риноэндоскопии по визуальной картине. Выбиралась степень прозрачности костных структур 25–30 %, что позволяло визуализировать выделенную поверхность слезоотводящего пути сквозь полупрозрачное изображение латеральной стенки полости носа (рисунки 6 и 7). В процессе осмотра выполнялась регистрация видеозаписи виртуальной риноэндоскопии

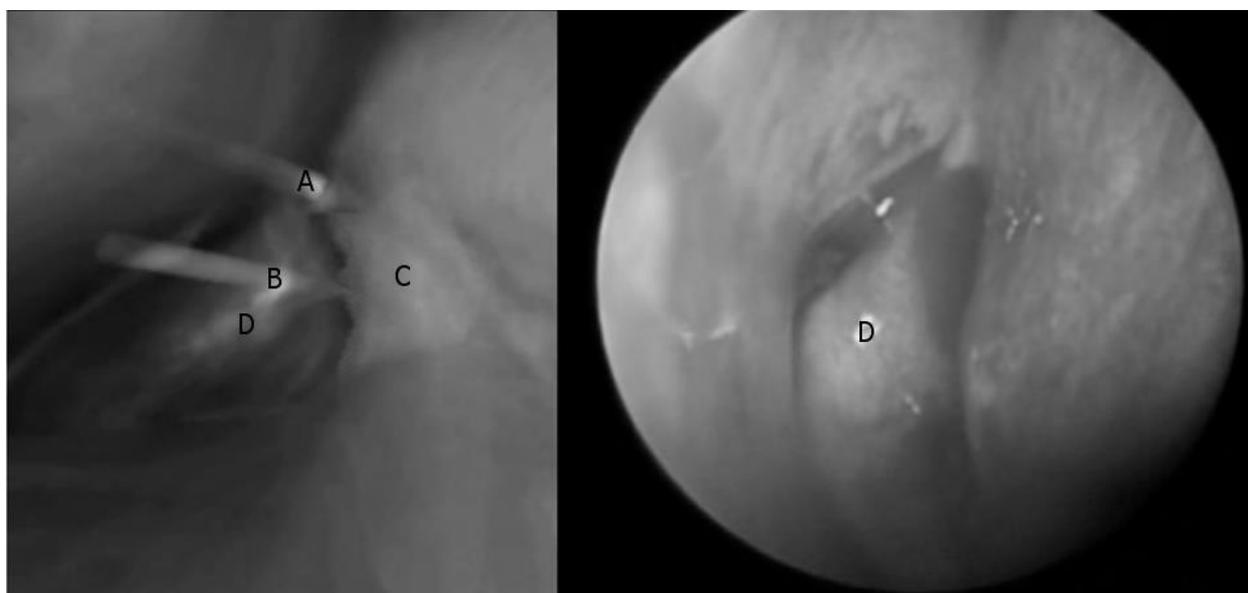
Затем производили сопоставление полученного протокола виртуальной риноэндоскопии с протоколом реальной оптической риноэндоскопии с записью результата на цифровой носитель. Окончательный результат в виде видеоряда для удобства просмотра дополнялся «реверсивной» фазой и закольцовывался [19, 23, 30, 31, 74, 79, 61]. Формат вывода видеозаписи выбирался таким образом, чтобы быть доступным для воспроизведения на любых, в том числе мобильных устройствах, в также на видеозаписывающем оборудовании, используемом в эндоскопической операционной. Таким образом, хирург мог многократно просматривать объемную динамическую трёхмерную модель, полученную в ходе постпроцессинга и представляющую собой четырёхмерную за счёт динамической фазы видеозапись риноэндоскопии, но необходимости возвращаться к интересующей зоне во время просмотра и исследовать её дополнительно. Визуально оценив положение, размеры слёзного мешка, носослезного канала, окружающих структур полости носа, хирург планировал оптимальную тактику хирургического вмешательства (рисунок 6) [74].



Примечание: Поскольку все данные обрабатываются в неsegmentированном объёме, увеличение прозрачности структур приводит к снижению чёткости видимых контуров внутриносовых ориентиров. А – видимый из просвета носовых ходов во время виртуальной эндоскопии объёмный маркер-стрелка, указывающий центр геометрический слёзного мешка. В – видимый из просвета носовых ходов во время виртуальной эндоскопии объёмный маркер-стрелка, указывающий область перехода слёзного мешка в носослёзный канал. С – голотопическая проекция поверхности трехмерной модели слёзного мешка на латеральную стенку полости носа. D – передний край средней носовой раковины.

Рисунок 6 – Кадр виртуальной риноэндоскопии с визуализацией маркированной цветом модели слёзного мешка, выполненной в соответствии с методикой получения изображений согласно Патента РФ № 2499581 «Способ виртуальной эндоскопической диагностики при дакриоциститах» [74]

Кроме того, возможность вывода записи виртуальной эндоскопии в виде второго видеоканала на видеоэндоскопическом оборудовании во время оперативного вмешательства позволяла использовать запись виртуальной эндоскопии в целях интраоперационной навигации за счёт непосредственного и постоянного сравнения предварительно записанных виртуальных эндоскопических изображений с маркированными изображениями СОП на одной части экрана с получаемыми в режиме реального времени операционными видеоэндоскопическими изображениями на второй части экрана (рисунок 7).



Примечание: А – видимый из просвета носовых ходов во время виртуальной эндоскопии объёмный маркер-стрелка, указывающий центр геометрический слёзного мешка. В – видимый из просвета носовых ходов во время виртуальной эндоскопии объёмный маркер-стрелка, указывающий область перехода слёзного мешка в носослёзный канал. С – голотопическая проекция поверхности трехмерной модели слёзного мешка на латеральную стенку полости носа. D – передний край средней носовой раковины.

Рисунок 7 – Визуальное интраоперационное сопоставление данных виртуальной (слева) и оптической (справа) эндоскопии

Данный способ формирования эндоскопической модели был использован при постпроцессинге результатов 12 пациентов и продемонстрировал ряд

недостатков. Наиболее значимыми из них оказалось отсутствие возможности управлять видимостью контуров визуализируемых эндоназальных структур отдельно от их прозрачности. Таким образом, при повышении прозрачности стенок полости носа с целью более четкой визуализации построенной поверхности слезоотводящих путей одновременно и неизбежно снижалась чёткость контуров и видимость эндоназальных костных ориентиров. Поэтому выбиралась прозрачность стенок полости носа 25–30 %, что позволяло одновременно визуализировать построенную поверхность слезоотводящих путей и эндоназальные ориентиры для оценки синтопии, однако, визуализация и первой, и последних представлялась неоптимальной, а технологическая возможность одновременно визуально представлять их в оптимальном виде полностью отсутствовала.

Вторым значительным недостатком программного обеспечения выступило отсутствие возможности выделения в трехмерном объеме более одной поверхности, отражающей регион интереса, а также отсутствие возможности использования уровней КТ-плотности (thresholds) для выделения тканей интересующей исследователя плотности в полуавтоматическом режиме.

Для исключения перечисленных технических проблем было принято решение использовать альтернативное программное обеспечение рабочей станции Extended Brilliance Workspace (Philips, Нидерланды), отличающееся:

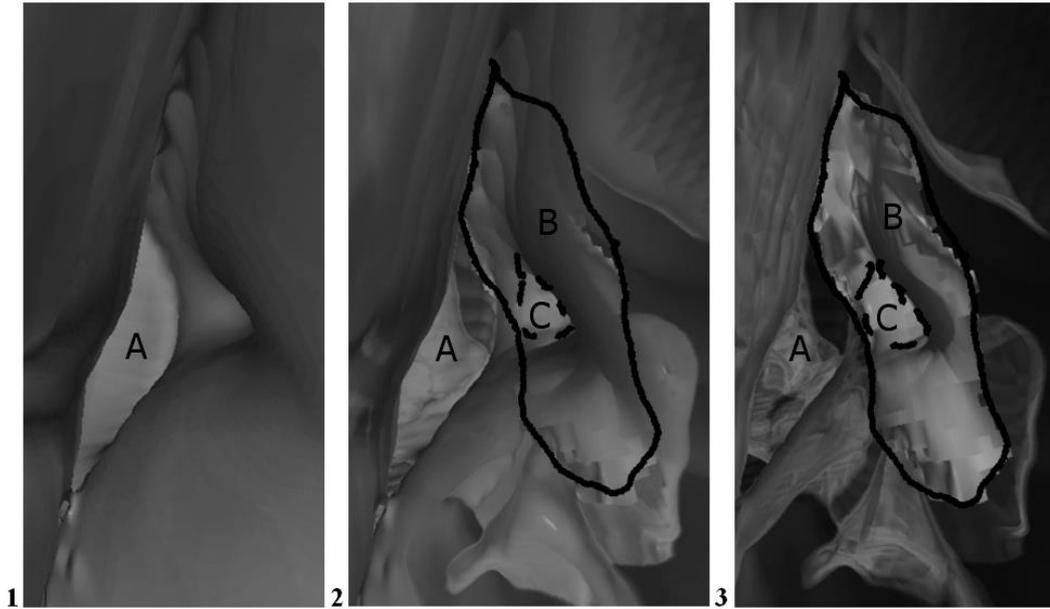
- 1) возможностью отдельного управления несколькими полученными посредством автоматической (на основе уровней КТ-плотности – thresholds) или полуавтоматической (с последующей ручной коррекцией slice-by-slice) объёмной, а не поверхностной, как это реализовано в программном обеспечении Virtea (Vital, Toshiba, Япония), сегментации объема;

- 2) возможностью отдельного управления множественными трехмерными моделями, получаемыми в результате сегментации;

- 3) наличием множества способов визуализации газа и более плотных структур в каждом из сегментированных объёмов;

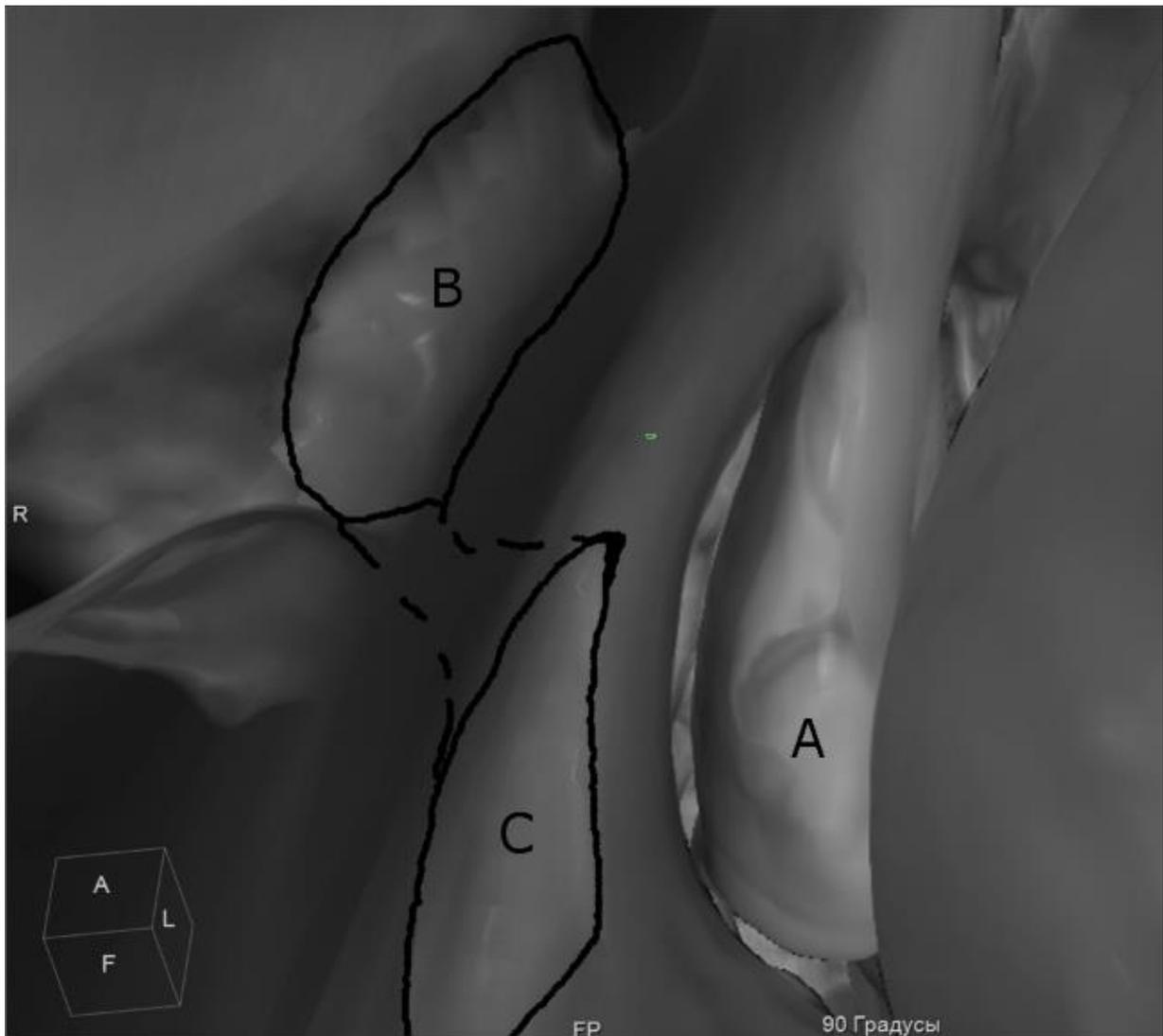
4) возможностью независимого отдельного управления прозрачностью сегментированных объемов и четкостью их контуров (рисунок 8).

Перечень описанных особенностей позволил использовать модифицированный способ сегментации для всех нормальных и патологических интраорбитальных структур, визуализируя их отдельно и демонстрируя с отдельным цветовым маркированием (рисунок 9).



Примечание: Поскольку все данные обрабатываются в отдельных сегментированных объемах, возможно изменение прозрачности только костных структур, при этом сохраняется четкая видимость внутриносовых ориентиров. А – передний край средней носовой раковины, В – голотопическая проекция слезного мешка на латеральную стенку полости носа (контуры выделены сплошной линией), С – дакриоцисториностома (контуры выделены пунктирной линией).

Рисунок 8 – Кадры виртуальной риноэндоскопии с визуализацией сегментированной и маркированной цветом модели слезного мешка, выполненной в соответствии с модифицированной методикой получения изображений согласно Патента РФ № 2499581 «Способ виртуальной эндоскопической диагностики при дакриоциститах» с установленной непрозрачностью стенок полости носа 35 % (1), 3 % (2) и 1 % (3) передней соответственно



Примечание: А – передний край средней носовой раковины, В – голотопическая проекция слёзного мешка на латеральную стенку полости носа (контуры выделены сплошной линией), С – голотопическая проекция носослёзного протока на латеральную стенку полости носа (контуры выделены сплошной линией).

Рисунок 9 – Трёхмерная визуализация СОП по данным бесконтрастной МСКТ при помощи модифицированной методики сегментации и реконструкции

Построение трёхмерной модели слезоотводящих путей в дальнейшем выполнялось с использованием модифицированной таким образом методики при помощи рабочей станции Phillips Extended Brilliance Workspace описанным ниже способом.

При помощи пакета «Сегментация ткани» инструментом «Slice-by-Slice» на мультипланарных реконструкциях в трех проекциях выполнялось последовательное послойное выделение контуров СОП, соответствующих визуально наружным контурам слёзных мешков в аксиальной проекции при параметрах окна W/L 340/40 HU (окно для мягких тканей, Soft Tissue), в реконструкции с меньшим ядром конволюции, с последующей коррекцией контуров в корональной и сагиттальной проекциях.

Для сокращения степени влияния субъективного решения на выбор маркируемого объема слёзного мешка [47] перед маркированием устанавливался верхний и нижний порог плотности выделяемых тканей. Выделяемый диапазон составил от  $-15$  HU до  $+50$  HU, что позволило исключить из маркируемого объема слезоотводящих путей как костные структуры, так и окружающую пребульбарную клетчатку, а также клетчатку век, области переносицы. Попадающие в данный диапазон плотности, но не относящиеся к СОП мягкие ткани удалялись во время корректировки их контуров под визуальным контролем на мультипланарных реконструкциях в трех проекциях.

При помощи инструмента построения поверхностей (Surface) были получены трехмерные модели одновременно слёзных мешков и носослёзных каналов, которые демонстрировались на изометрических трёхмерных реконструкциях для визуальной оценки типа расположения мешка с учетом расположения модели мешка относительно переднего слёзного гребешка.

Для наибольшей контрастности визуализации к полученным моделям применялась предустановка трехмерной визуализации, предназначенная для трёхмерного отображения очагов низкой плотности (субсолидных очагов в лёгких), что позволило окрашивать каждую модель с высокой интенсивностью вне зависимости от фактической её плотности, с сохранением высокого уровня детализации визуализации неровностей поверхности объекта. Далее при помощи пакета эндоскопической визуализации формировалась модель «виртуальной эндоскопии»: использовался стандартный угол обзора  $60^{\circ}$ , по геометрическим искажениям совпадающий с видеорядом записанных ранее эндоскопических

вмешательств, выполнявшихся при помощи оптических эндоскопов. В качестве исходной настройки визуализации выбиралась предустановка трехмерной визуализации, предназначенная для отображения дыхательных путей, степень непрозрачности структур устанавливалась на уровень 2 %, после чего корректировкой параметров «электронного окна» модели достигалась визуализация стенок полости носа как прозрачных при сохранении четко прослеживающихся границ, напоминающих «стеклянные стенки».

Подключение визуализации моделей слёзных мешков позволяло отчетливо видеть их границы сквозь латеральную стенку полости носа.

Последовательность осмотра трёхмерной модели среднего носового хода полностью повторяла протокол осмотра при оптической риноэндоскопии во время эндоскопической дакриоцистостомии. Передвижение регистрировалось при помощи встроенного пакета регистрации видеоданных с экрана с настройкой высокого качества рендеринга изображения, при этом во время оптимальной визуализации средней носовой раковины и предположительной голотопической проекции слёзного мешка на латеральную стенку полости носа вручную динамически изменялась степень непрозрачности модели стенок полости носа от 35 % до 1 %. При этом достигалась визуализация латеральной стенки в виде «стеклянной стенки», позволявшей отчетливо видеть модель слёзного мешка сквозь нее с сохранением четкого контура стенки и средней носовой раковины, что сохраняло возможность во время осмотра слёзного мешка оценивать соотношение слёзного мешка и внутриносовых ориентиров в сопоставимом с эндоскопическими изображениями виде (рисунки 6 и 7).

Полученные данные ВЭ для 89 исследований в дополнение к протоколам описаний и заключениям, составленным по данным МСКТ, выдавали на руки пациентам для передачи оперирующим хирургам-эндоскопистам.

Для оценки наличия и выраженности расхождений между данными описаний выполненных МСКТ, виртуальной эндоскопии и результатами оценки во время оперативного вмешательства было проведено сопоставление протоколов описания данных МСКТ и протоколов выполненных оперативных вмешательств.

## 2.2.5 Эндоскопические методы обследования

Всем пациентам выполнялась стандартная оптическая риноэндоскопия на видеоэндоскопическом комплексе, скомплектованном на подвижной приборной стойке TRUMPF (Германия), включающей цифровую эндоскопическую аппаратуру, ксеноновый осветитель, ригидные эндоскопы и риноскопы Karl Storz Endoscope, с диаметром 1,9, 2,1, 2,7, 3,0 и 4,0 мм с торцевой оптикой в  $0^0$  и боковой оптикой в  $30^0$  и наконечниками INTRA для боров и фрез с шейверными рукоятками для режущих и агрессивных насадок, роликовую помпу Endomat с аспиратором-ирригатором, радиоволновой хирургический и коагуляционный прибор Surgitron, эвакуатор дыма Surgevac, DVD-рекордер и в цветных LED-монитора. Впоследствии этот же комплекс использовался для выполнения оперативных вмешательств с применением эндохирургических технологий.

Применялась следующая последовательность эндоскопической оценки: в начале без предварительной подготовки полости носа выполнялась обзорная риноскопия с оценкой состояния носового клапана (пространства между перегородкой носа и каудальным краем верхнего латерального хряща), определением цвета слизистой оболочки, выявлением и оценкой отделяемого и признаков ринита при введении эндоскопа в преддверие носа. Далее выполняли анестезию и анемизацию полости носа 0,1 % раствором галазолина и 2 % раствором лидокаина в соотношении 1 : 1, после чего эндоскоп вводился в средний носовой ход и выполнялся осмотр области голотопической проекции СОП на боковую стенку полости носа при помощи эндоскопов диаметром 3,0 и 4,0 мм. Завершающим этапом эндоскопической оценки СОП выступал осмотр нижнего носового хода и области выходного отверстия носослезного протока с оценкой анатомических особенностей строения выводного отверстия носослезного протока и нижней носовой раковины [21].

Последовательность осмотра записывалась на DVD и использовалась для планирования оперативного вмешательства и для установления соответствия между оптической и виртуальной эндоскопической картиной.

Таблица 5 – Перечень и общее количество исследований, проведенных исследуемым пациентам

Наименование метода	Аппаратура, производитель	Кол-во
Анализ медицинской документации: истории болезни, амбулаторные карты	Microsoft Excel 2007 для Windows (Microsoft, США), «MedCalc» версии 18.11.3 для Windows (MedCalc Software, Бельгия)	204
Офтальмологическое обследование	Офтальмоскоп прямой Heine beta 200S (Heine, Германия) щелевая лампа «Takagi SM-70» (Takagi Seiko Co, Япония);	204
Стандартные методы оценки функционального состояния слезоотводящих путей	Осмометр TearLab (TearLab, США), зонд конический Зихеля № 1, 2	204
МСКТ-исследование	General Electric Bright Speed 16 (General Electric, США)	44
	Philips Brilliance 64 (Philips, Нидерланды)	72
	Toshiba Aquilion 64 (Toshiba, Япония)	86
	Siemens Somatom 40 (Siemens, Германия)	2
Эндоскопические методы исследования	Риноскопы Karl Storz Endoscope, (Karl Storz, Германия), видеоэндоскопический комплекс TRUMPF (Германия)	204

Создана электронная база данных, в которую были внесены данные об особенностях клинической картины, анамнеза заболевания и предшествующих травмах и операциях в области средней зоны лица, а также формализованные результаты оценки данных МСКТ после конвенциональной постобработки и составления неформализованного текстового заключения по результатам исследования.

### 2.2.6 Статистическая обработка

Статистическая обработка полученных данных выполнялась с использованием прикладных программ Microsoft Excel 2007 для Windows,

MedCalc версии 19.0.1 для Windows. На первом этапе рассчитывался объем слёзных мешков по формуле для эллипсоида на основании полученных описанным выше способом линейных размеров.

Для исключения принадлежности значений размеров и объёма слезных мешков в основной группе и контрольной группе к единой генеральной совокупности использовался двухвыборочный z-тест для средних, как применимый при достаточном объеме независимых выборок ( $> 30$  наблюдений) для случаев как нормального, так и отличного от нормального распределения [24].

Для формирования критериев ассоциированной с дакриоциститом дилатации слёзных мешков и для оценки значимости различия средних величин смещения слёзного мешка вперед и вверх применялся метод «операционных характеристических кривых наблюдателя» – Receiver Operating Characteristic curve (ROC-анализ) с применением индекса Юдена.

Применение данного метода анализа данных позволило получить граничные значения объёма и линейных размеров слёзных мешков, связанные с уровнями специфичности и чувствительности для каждого из заданных критериев, а также осуществить сравнение диагностической ценности критериев на основании количественного признака площади под характеристической кривой (Area under curve, AUC). [8, 17, 112].

Оценка диагностической ценности предложенной методики виртуальной эндоскопической визуализации для оценки голотопической проекции СОП выполнялась посредством вычисления чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной прогностической значимости, общей точности метода по общепринятой методике [12, 112].

В качестве референтного метода оценки локализации слёзного мешка были выбраны протоколированные интраоперационные данные, оценка диагностической ценности предложенной методики виртуальной эндоскопической визуализации выполнялась в сравнении с применяемым в настоящее время текстовым описанием получаемых данных.

На основании известных по данным референтного метода положений СОП выделены 4 типа результатов: истинно положительные, ложноположительные, ложноотрицательные и истинно отрицательные (таблица 6).

Таблица 6 – Стратификация групп результатов диагностического метода

Результат теста	Наличие состояния С	
	С : a + c	С : b + d
Положительный a + b a + 1 - β	Истинно положительный a 1 - β	Ложноположительный b α
Отрицательный c + d β + 1 - α	Ложноотрицательный c β	Истинно отрицательный d 1 - α

Критерии достоверности использовавшихся методик постпроцессинга данных МСКТ определялись по формулам [13]:

чувствительность:  $Se = a / (a + c);$

специфичность:  $Sp = d / (β + d);$

положительная прогностическая значимость:  $PPV = a / (a + β);$

отрицательная прогностическая значимость:  $NPV = d / (c + d);$

общая точность:  $Ac = a + d / (a + b + c + d)$

Для сравнительной оценки диагностической ценности перечисленных рентгенологических симптомов дакриоцистита, а также для сравнения диагностической ценности применявшихся способов представления данных МСКТ (текстовых описаний и ВЭ) также применялся ROC-анализ, выполнялось сравнение площадей под ROC-кривой.

Поскольку оценка расположения слёзных мешков по данным описательной картины и ВЭ являются качественными показателями, для получения статистического доказательства достоверности различий между ними применялся критерий  $\chi^2$  (Хи-квадрат Пирсона) для таблиц сопряжённости  $2 \times 2$ ,

предполагающий, что при уровне вероятности случайного проявления ошибки менее уровня значимости ( $P < 0,05$ ). Таким образом, предполагающая отсутствие статистически значимых различий в выборках нулевая гипотеза отклонялась, что демонстрирует наличие статистически достоверных различий между ними.

## ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Разработка рентгенологических критериев определения дилатации слёзного мешка при обструкции слезоотводящих путей

Морфометрические данные, полученные при анализе данных МСКТ описанным выше способом, показали, что вариабельность размеров слёзного мешка составила:

а) в основной группе:

1) для высоты 8,9–25,0 мм, среднее значение  $14,63 \pm 0,62$  дисперсия 12,19 ( $P = 0,05$ );

2) для ширины 2,0–17,0 мм, среднее значение  $7,13 \pm 0,53$  дисперсия 9,08 ( $P = 0,05$ );

3) для глубины 4,0–21,0 мм, среднее значение  $9,48 \pm 0,63$  дисперсия 12,62 ( $P = 0,05$ );

б) в контрольной группе:

1) для высоты 5,8–17,5 мм, среднее значение  $11,88 \pm 0,53$  дисперсия 6,03 ( $P = 0,05$ );

2) для ширины 2,2–7,4 мм, среднее значение  $4,2 \pm 0,25$  дисперсия 1,32 ( $P = 0,05$ );

3) для глубины 2,0–10,0 мм, среднее значение  $5,6 \pm 0,37$  дисперсия 2,86 ( $P = 0,05$ ).

Глубина мешка преобладала над шириной в 82,8 % случаев ( $n = 169$ ), в 8,8 % случаев была равна ей ( $n = 18$ ), в 8,3 % случаев наблюдалось преобладание ширины над глубиной ( $n = 17$ ).

Средний объём слёзного мешка составил в основной группе ( $0,65 \pm 0,12$ ) см<sup>3</sup>, с дисперсией 0,48 ( $P = 0,05$ ), в контрольной группе ( $0,15 \pm 0,02$ ) см<sup>3</sup> с дисперсией 0,01 ( $P = 0,05$ ).

Z-критерий для средних объёмов составил 7,95 при значении z критического одностороннего 1,64 и z критического двухстороннего 1,96, что

демонстрирует статистически значимые различия средних величин морфометрических параметров слёзных мешков в основной и контрольной группе.

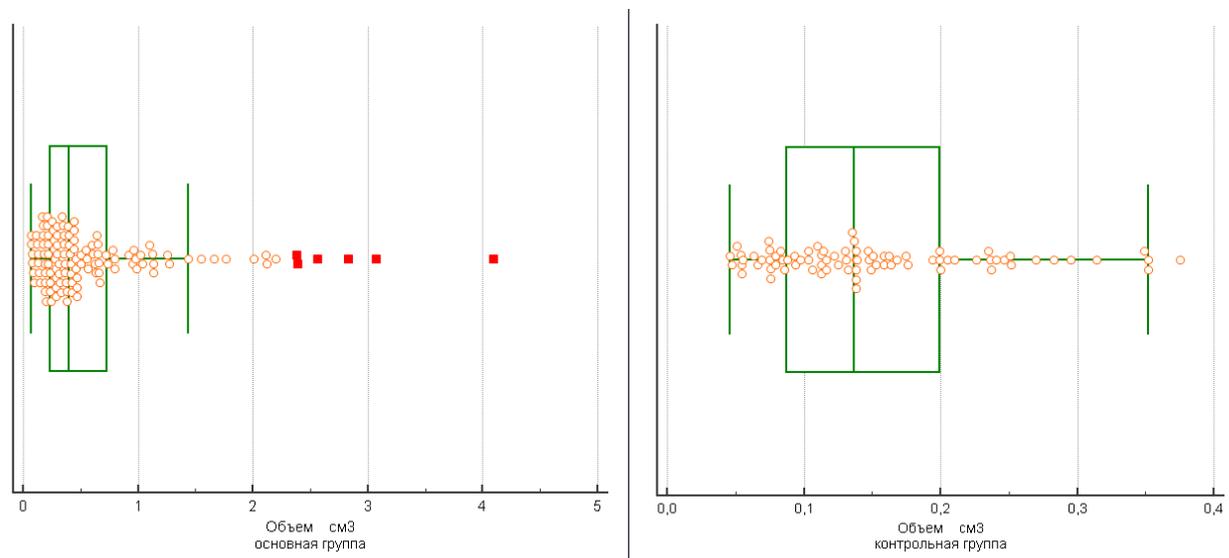


Рисунок 10 – Графическое представление распределения объёмов слёзных мешков. Представлены данные сравнения увеличения объёмов слёзных мешков в основной группе при дакриоцистите и физиологического распределения объёмов слёзных мешков в контрольной группе

Путем ROC-анализа с применением индекса Юдена были получены рентгенологические морфометрические критерии дилатации слёзного мешка для каждого из его размеров и объёма, результаты представлены сводно в таблице 7.

Таблица 7 – Критерии расширения слёзного мешка по данным ROC-анализа с применением индекса Юдена

Параметр	Граничное значение	Чувствительность критерия, %	Специфичность критерия, %	Площадь под ROC-кривой
Объём, см <sup>3</sup>	0,29 ± 0,1	73,17	90,12	0,886
Высота, мм	13,9 ± 1,3	68,29	74,07	0,734
Ширина, мм	5,9 ± 0,2	65,85	91,36	0,841
Глубина, мм	6,55 ± 0,4	89,43	74,07	0,865

### 3.2 Оценка достоверности симптома смещения слёзного мешка при его дилатации

В среднем, линейное смещение геометрического центра слёзного мешка в сагиттальной плоскости составило: вперед относительно переднего края средней носовой раковины ( $3,43 \pm 0,67$ ) мм с дисперсией 14,3 в основной группе ( $P = 0,05$ ) и ( $2,67 \pm 0,56$ ) мм с дисперсией 6,50 ( $P = 0,05$ ) в контрольной группе; вверх относительно нижнего края средней носовой раковины ( $8,97 \pm 0,58$ ) мм с дисперсией 10,93 ( $P = 0,05$ ) в основной группе и ( $8,13 \pm 0,84$ ) мм с дисперсией 14,93 ( $P = 0,05$ ) в контрольной группе.

Обусловленные высокой вариабельностью расположения и формы средних носовых раковин высокие значения стандартного отклонения и дисперсии, более выраженные в основной группе, демонстрируют высокую степень неоднородности линейных значений смещения геометрического центра слёзного мешка. Как в основной группе, так и в контрольной группе эти значения настолько высоки, что сопоставимы с полученными значениями величины стандартного отклонения, что приводит к перекрытию предполагаемых значений линейного смещения центра мешка в норме и при патологической его дилатации.

Для оценки принадлежности смещений геометрических центров слёзных мешков в основной и контрольной группах к одной генеральной совокупности был выполнен расчёт z-критерия для средних. Его значение составило для смещения вперед 1,73, для смещения вверх 1,60, что свидетельствует о

принадлежности обеих групп к единой генеральной совокупности, с различиями значений, обусловленными не связанными с изучаемыми факторами, в первую очередь – индивидуальной вариабельностью расположения, формы и размеров средних носовых раковин, а не фактом дилатации слёзного мешка вследствие дакриоцистита [24].

### **3.3 Сравнительный анализ диагностической ценности рентгенологических симптомов при дилатации слёзного мешка**

Посредством ROC-анализа была проведена статистическая оценка диагностической ценности симптомов увеличения линейных размеров и объёма, смещения геометрического центра слёзного мешка вперед и вверх при его дилатации.

Графически результаты ROC-анализа представлены на рисунке 11. Очевидно, что диагностическая ценность рентгенологических симптомов убывает в ряду объем (площадь под ROC-кривой 0,886) – глубина (площадь под ROC-кривой 0,865) – ширина (площадь под ROC-кривой 0,841) – высота (площадь под ROC-кривой 0,734) – смещение вверх (площадь под ROC-кривой 0,586) – смещение вперед (площадь под ROC-кривой 0,564).

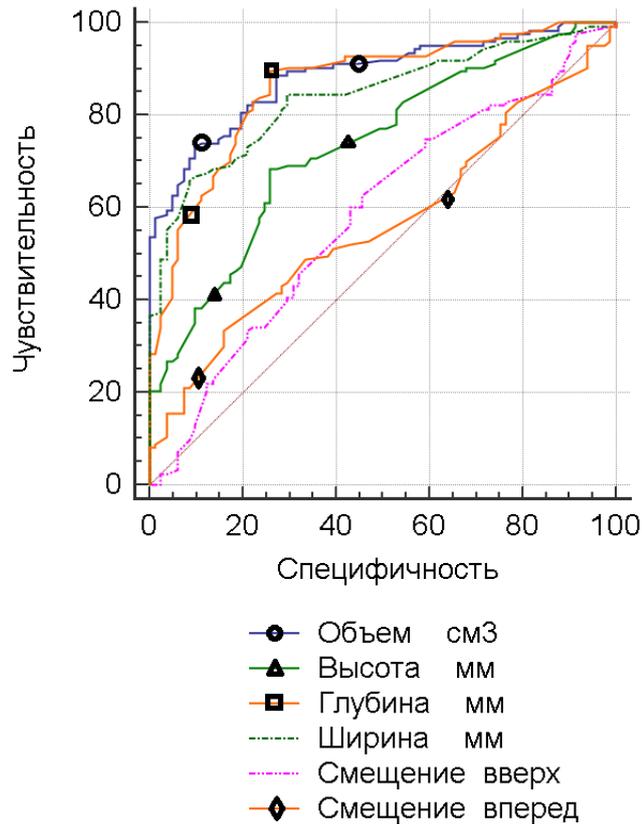


Рисунок 11 – Графическое представление результатов ROC-анализа специфичности и чувствительности линейных размеров, объёмов и смещений слёзных мешков

### 3.4 Оценка диагностической ценности описательной визуальной оценки с применением существующей классификации расположения дилатированного слёзного мешка при описании результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии

С целью оценки достоверности текстовых описаний протоколов МСКТ был выполнен ретроспективный сравнительный анализ протоколов описаний МСКТ и протоколов 106 оперативных вмешательств методом эндоназальной эндоскопической дакриоцистириности, выполненных 93 пациентам.

При сопоставлении протоколов в 66,7 % случаев ( $n = 62$ ) были выявлены разночтения при классификационной оценке смещений слезного мешка по

данным МСКТ и интраоперационным данным.

Для оценки диагностической ценности конвенциональных вербальных описаний был проведен ретроспективный анализ составленных протоколов описания компьютерных томограмм.

В 106 описаниях расположения слёзного мешка подвергшихся ДЦР пациентов смещения слёзного мешка были описаны в 66 случаях (62,2 %), при этом в 11 случаях (10,4 %) описанное смещенное положение слёзного мешка было оценено верно, в 47 случаях (44,3 %) описанное смещенное положение слёзного мешка не соответствовало операционным данным.

В прочих 40 случаях (37,7 %) смещение слёзного мешка при описании не было указано, в том числе в 13 случаях (12,3 %) при МСКТ не было описано выявленное в ходе операции смещение, и в 35 случаях (33,0 %) – наблюдалось совпадение с операционными данными.

Таким образом, количество:

- 1) истинно положительных результатов составило 11 (10,38 %);
- 2) ложноположительных результатов 47 (44,34 %);
- 3) истинно отрицательных результатов 35 (33,02 %);
- 4) ложноотрицательных результатов 13 (12,26 %).

Следовательно, для методики описательной визуальной оценки расположения слёзного мешка:

- чувствительность 45,8 %;
- специфичность 42,7 %;
- положительная прогностическая значимость 19,0 %;
- отрицательная прогностическая значимость 72,9 %;
- общая точность 43,4 %.

### **3.5 Оценка диагностической ценности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии, дополняющей конвенциональное текстовое описание результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии**

Для оценки диагностической ценности предложенной методики виртуализации данных МСКТ был проведен анализ видеозаписей виртуальной визуализации компьютерных томограмм.

По 95 видеозаписям ВРЭС расположения слёзного мешка подвергшихся ДЦР пациентов смещения слёзного мешка были описаны в 60 случаях (63,2 %), при этом в 58 случаях (61,1 %) описанное смещенное положение слёзного мешка было оценено верно, в 2 случаях (2,1 %) описанное смещенное положение слёзного мешка не соответствовало операционным данным.

В прочих 35 случаях (51,7 %) положение слёзного мешка при ВРЭС было расценено как не смещенное, в том числе в 1 случае (0,8 %) не было выявлено определенное в ходе операции смещение, и в 61 случае (50,1 %) – наблюдалось совпадение с операционными данными.

Таким образом, количество:

- 1) истинно положительных результатов составило 58 (61,05 %);
- 2) ложноположительных результатов 2 (2,11 %);
- 3) истинно отрицательных результатов 34 (35,79 %);
- 4) ложноотрицательных результатов 1 (1,05 %).

Следовательно, для методики виртуализации данных МСКТ посредством ВЭ:

- чувствительность 98,3 %;
- специфичность 94,4 %;
- положительная прогностическая значимость 96,7 %;
- отрицательная прогностическая значимость 97,1 %;
- общая точность 96,8 %.

Таблица 8 – Сравнительные данные по диагностической ценности применявшихся методик представления результатов МСКТ

Параметр диагностической ценности	Описательная визуальная оценка смещения мешка	Виртуальная визуализация положения мешка
Чувствительность	45,8 %	98,3 %
Специфичность	42,7 %	94,4 %
Положительная прогностическая значимость	19,0 %	96,7 %
Отрицательная прогностическая значимость	72,9 %	97,1 %
Общая точность	43,4 %	96,8 %

Видеозаписи, полученные во всех проанализированных случаях по модифицированной методике виртуальной 4D-эндоскопии с сегментацией и цветовым маркированием слезоотводящих путей, были построены с максимальным соблюдением последовательности, порядка и визуального соответствия данным интраоперационной оптической риноэндоскопии.

Достоверное представление индивидуальных особенностей анатомии и рельефа слизистой оболочки пациентов позволило эффективно использовать данные виртуальной 4D-эндоскопии для целей интраоперационной навигации.

Возможность демонстрации слезоотводящих путей через частично прозрачную латеральную стенку полости носа дополнительно расширила возможности интраоперационной навигации, поскольку визуализация расположения и конфигурации СОП через латеральную стенку полости носа при оптической эндоскопии полностью невозможна вплоть до момента формирования дакриоцисториностомы.

В результате дополнения конвенциональных протоколов описания данных МСКТ видеоданными виртуальной 4D-эндоскопии во всех случаях интраоперационная навигация была успешной, поскольку в случае наличия разночтений с текстовым протоколом во всех случаях хирурги ориентировались за визуальные данные виртуальной 4D-эндоскопии.

В то же время эта визуальная информация была более комплексной, поскольку наглядно демонстрировала фактическое взаиморасположение видимых через частично прозрачную латеральную стенку полости носа слезоотводящих путей с не имеющими названий в анатомической номенклатуре, непостоянно встречающимися и недоступными вследствие этого традиционному повторяемому текстовому описанию индивидуальными эндоназальными ориентирами, такими, как выступы слизистой оболочки, деформации перегородки носа и крючковидные разрастания и поперечные ламели в области перехода хрящевой и костной части перегородки носа, костные выступы и углубления латеральной стенки полости носа и т. д.

Для сопоставления диагностической ценности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии и диагностической ценности текстовых описаний результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии был применен парный ROC анализ с последующим сравнением значений площади под ROC-кривой.

Для текстовых описаний результатов площадь под ROC-кривой составила  $0,574 \pm 0,1$ , что соответствует неудовлетворительной прогностической ценности методики [112].

Для предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии площадь под ROC-кривой составила  $0,992 \pm 0,01$ , что соответствует отличной прогностической ценности методики [112].

Разность площадей под ROC-кривой составила  $0,418 \pm 0,03$  ( $P < 0,0001$ ), z-критерий 15,71, что наглядно демонстрирует преимущество прогностической ценности методики ВЭ.

Для оценки статистической значимости различий между методикой текстовых описаний расположения слёзного мешка и методикой ВЭ было выполнено вычисление критерия  $\chi^2$  для таблиц сопряжённости  $2 \times 2$ .

Его значение составило 52,61, что соответствует уровню статистической значимости  $P < 0,0001$  и демонстрирует наличие статистически достоверных различий между результатами методик.

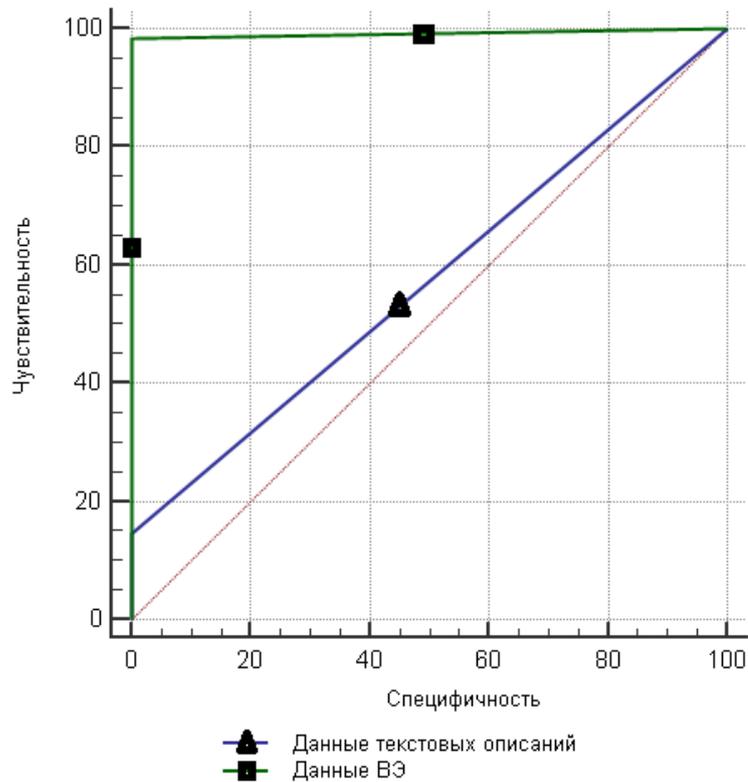


Рисунок 12 – Графическое представление результатов ROC-анализа специфичности и чувствительности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии и текстовых описаний результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии

### 3.6 Клинические примеры

#### Клинический пример № 1

*Пациент Ч., 1940 г. р.*

*Жалобы:* на слезотечение справа, повторно усилившееся в течение последнего года после перенесенной двусторонней дакриоцистостомии с улучшением слева и временным улучшением справа после операции.

*Анамнез жизни:* травм в области орбит не было. Состояние после двусторонней наружной дакриоцистостомии. Порок аортального клапана. Аллергологический анамнез спокойный.

*Данные объективного осмотра:* справа слезный ручей расширен,

конъюнктивы, слизистая оболочка слёзного мешка без особенностей, роговица прозрачная.

Слева слёзный ручей не расширен, конъюнктивы, слизистая оболочка слёзного мешка без особенностей, роговица прозрачная.

*Осмометрия слезы:* 287 mosms/l. Значения менее 316 mosms/l указывают на ретенционный характер слезотечения [21].

*Оптическая эндоскопическая риноскопия:* Перегородка носа деформирована, справа – гипертрофия крючковидного отростка – выглядит как удвоенная средняя носовая раковина, средний носовой ход проходим без особенностей, на латеральной стенке – втяжение слизистой оболочки, выполненное рубцовой тканью. Слева – средний носовой ход проходим без особенностей, определяется риностома диаметром 3 мм.

*Компьютерная томография:*

*Оборудование сканирующее:* Томограф компьютерный Toshiba Aquilion 64

*Оборудование постпроцессинга:* рабочая станция Vital Vitrea

*Исследование:* КТ орбит

*Индивидуальная эффективная доза:* 1,9 мЗв

*Протокол:*

Контуры носослезных каналов прослеживаются удовлетворительно, стенки равномерной толщины и плотности, справа просвет равномерный,  $3,4 \times 5,1$  мм, протяженность  $\sim 11$  мм, содержимое негетерогенно, на фоне типичного содержимого +35HU определяется гиперденсивная нитевидная зона до +125HU с несколько неравномерной шириной по центральной оси канала, вероятно – краевая кальцинация гиперплазированной слизистой оболочки. Слева просвет –  $3,6 \times 6,2$  мм, протяженность  $\sim 10$  мм, содержимое типичной плотности (+35HU). Визуализировать отверстия носослезных каналов при виртуальной эндоскопии не удалось ввиду гиперплазии слизистой оболочки нижних носовых раковин. Определяется дефект основания носовой кости справа до 10 мм с несколько неровными, достаточно четкими контурами без деструктивных изменений. Центральный отдел дефекта приходится  $\sim 7$  мм кпереди от центра существующего

слезного мешка. В остальном костные стенки орбит не изменены. Слезный мешок справа незначительно расширен, до  $5 \times 7,6$  мм с не совсем четким, ровным контуром, уплотненной стенкой достаточно равномерной толщины, прилегающая орбитальная клетчатка без особенностей. Проекция центра мешка на глубине основания средней носовой раковины, 2,1 мм латерально от переднего края. Слева размеры мешка  $\sim 5,3 \times 3,7$  мм, стенки равномерно легко утолщены, гомогенной плотности, с достаточно четкими контурами. Проекция центра мешка приходится в углублении, образованном передней стенкой ячейки Хеллера и боковой стенкой полости носа.

*Заключение:*

Состояние после дакриоцисториностомии справа. Умеренные проявления хронического дакриоцистита в виде незначительной дилатации слезного мешка справа без значимых инфильтративно-воспалительных изменений.

Выполнено виртуальное эндоскопическое моделирование полости носа, стрелкой указан центр слезного мешка позади боковой стенки полости носа (рисунок 13), запись представлена на приложенном к результатам исследования CD.

*Диагноз до операции:* заращение слезно-носового канала справа. Состояние после двусторонней дакриоцисториностомии. Рецидив эпифоры после заращения дакриоцисториностомы справа.

*Анестезиологическое пособие:* ингаляционная общая анестезия взрослым.

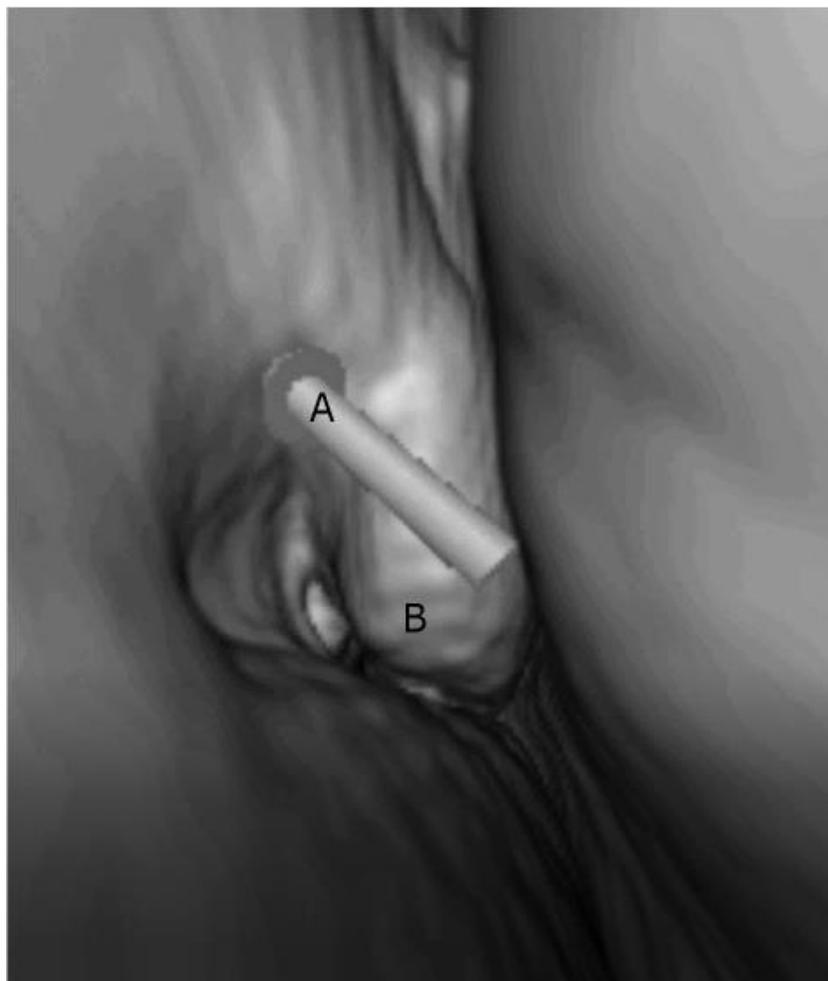
*Описание операции:* эндоназальная эндоскопическая дакриоцисториностомия с интубацией слезных путей справа. Обработка операционного поля, расширение верхней, нижней слезной точки зондами Зихеля 1, 2, 3 (зонды проходят до слезного мешка свободно, при промывании жидкость в полость носа не поступает, вытекает из свободной слезной точки), подтверждение с помощью трансиллюминации положения слезного мешка на уровне основания средней носовой раковины, несколько кпереди от её переднего края (совпадает с локализацией по представленным данным КТ с виртуальной реконструкцией, однако, не ясны детали проекции слезного мешка на боковую стенку), удаление в оптимальном месте лоскута слизистой оболочки полости носа под

эндоскопическим контролем и контролем навигационной видеозаписи виртуальной риноэндоскопии, удаление слёзной кости, части лобного отростка, выделение внутренней стенки слёзного мешка, формирование соустья (при контрольном промывании жидкость в полость носа поступает струйно), временная интубация слёзных путей силиконовым дренажем. Передняя тампонада среднего носового хода.

*Диагноз после операции:* заращение слезно-носового канала справа. Состояние после двусторонней дакриоцисториностомии. Рецидив эпифоры после заращения дакриоцисториностомы справа.

*Послеоперационный период:* спокойный. Удаление временного дренажа на 14 сутки после оперативного вмешательства.

*Катамнез:* по настоящее время рецидива слезотечения не наблюдается. Динамическое наблюдение офтальмолога по месту жительства.



Примечание: Визуализация слезного мешка на момент исследования не была технически доступна и его расположение указывалось стрелкой. А – видимый из просвета носовых ходов во время виртуальной эндоскопии объёмный маркер-стрелка, указывающий центр геометрический слезного мешка, В – передний край средней носовой раковины.

Рисунок 13 – Кадр видеозаписи стандартной виртуальной риноэндоскопии без сегментации и цветового маркирования слезных путей, использовавшейся при ранних вариантах КТ-навигации

### Клинический пример № 2

*Пациент М., 1954 г. р.*

*Жалобы:* на слезотечение слева, периодически усиливающееся в течение последних месяцев после перенесенной дакриоцистостомии с улучшением слева.

*Анамнез жизни:* тяжелая травма лицевого скелета в анамнезе – перелом верхней челюсти и орбиты слева. Состояние после двусторонней наружной

дакриоцистостомии. Аллергологический анамнез спокойный.

*Данные объективного осмотра:* Справа слёзный ручей не расширен, конъюнктивы, слизистая оболочка слёзного мешка без особенностей, роговица прозрачная.

Слева слёзный ручей расширен, конъюнктивы, слизистая оболочка слёзного мешка без особенностей, роговица прозрачная. Глазное яблоко слева легко смещено вниз. Отмечается ограничение движений глазного яблока вверх.

*Осмометрия слезы:* 294 mosms/l. Значения менее 316 mosms/l указывают на ретенционный характер слезотечения [21].

*Оптическая эндоскопическая риноскопия:* Перегородка носа деформирована, справа средний носовой ход проходим без особенностей. Слева – средний носовой ход проходим, латеральная стенка полости носа деформирована, определяется риностома диаметром 6 мм с втяжением слизистой оболочки, рубцовыми изменениями в стенках.

*Компьютерная томография:*

*Оборудование сканирующее:* Томограф компьютерный Toshiba Aquilion 64

*Оборудование постпроцессинга:* рабочая станция Philips Extended Brilliance Workspace

*Исследование:* КТ орбит

*Индивидуальная эффективная доза:* 1,9 мЗв

*Протокол:*

Определяется деформация скулоорбитального комплекса и костей лицевого скелета слева: консолидированный перелом верхней челюсти с фрагментацией передней, заднелатеральной и медиальной стенок, со смещением отломков до 10 мм, дефектами медиальной и латеральной стенок до 17 мм с пролабированием через дефект латеральной стенки неизменённых окружающих мягких тканей в просвет синуса до 11 мм.

Определяется консолидированный перелом нижней стенки левой орбиты с разрушением стенок канала верхнечелюстного нерва, с депрессией отломков до 11 мм, с дефектом до 19 × 17 мм, легко выраженным пролабированием в дефект

фиброзированной ретробульбарной клетчатки, с легкой деформацией, утолщением брюшка, тяжистыми контурами нижней прямой глазодвигательной мышцы, со смещением глазного яблока вниз до 3–4 мм.

Слезные мешки асимметричны: справа стенки достаточно равномерной толщины и плотности, с чёткими наружными контурами, содержимое не визуализируется, размеры не увеличены, расположение в слезной ямке. Носослезный канал справа широкий, несколько неравномерный:  $7,4 \times 4,9-9,2 \times 7,2$  мм.

Слева стенки носослезного канала разрушены, просвет деформирован и неравномерно сужен до  $3,7 \times 3,2-4,2 \times 8,1$  мм, разобщен с областью слезного мешка.

Слева слезный мешок деформирован и смещен вперед,  $6,4 \times 8,3 \times 14,5$  мм, с неравномерно утолщенными до 4 мм и фиброзированными стенками, деформирующими и суживающими просвет, газ, жидкостное содержимое в просвете достоверно не прослеживаются.

По медиальной стенке определяется дакриоцисториностома, прикрытая слизистой оболочкой с втяжением в направлении мешка, протяженностью  $16 \times 11$  мм с неровными краями, слезный мешок смещен кпереди от неё, нижний край дакриоцисториностомического окна совпадает с нижним отделом слезного мешка.

Проекция зон переходов слезных мешков в носослезные протоки асимметрична, справа на 6 мм дорсально от переднего края удлиненной средней носовой раковины и на 4,7 мм ниже нижнего её края. Слева – на 3,5 мм кпереди от переднего края средней носовой раковины, на 5,6 мм ниже нижнего её края.

Правое глазное яблоко расположено обычно, слева – смещено вниз на 4 мм. Проминирующих внутриглазных образований, отслойки сетчатки не определяется, глазные яблоки, зрительные нервы, прочие элементы мышечного аппарата глазных яблок, слезные железы без особенностей.

*Заключение:*

Консолидированный перелом костей лицевого скелета слева с разрушением

стенок верхнечелюстного синуса, канала верхнечелюстного нерва, носослёзного канала слева, с формированием нижней орбитальной грыжи с депрессией глазного яблока, грубым фиброзом нижней прямой глазодвигательной мышцы и ретробульбарной клетчатки. Фиброзно-склеротические изменения слёзного мешка слева, вероятно, как проявления хронического рецидивирующего дакриоцистита, без дакриоцистоцеле слева на момент исследования (признаки функционирующей дакриоцисториностомы). Выполнена виртуальная риноэндоскопия, видеозапись представлена на приложенном к данным исследования CD (рисунок 14).

*Диагноз до операции:* посттравматическая деформация лицевого скелета слева. Нижняя орбитальная грыжа слева с ущемлением глазодвигательных мышц. Посттравматическое заращение слезно-носового канала слева. Состояние после дакриоцисториностомии слева, рецидив эпифоры после заращения дакриоцисториностомы.

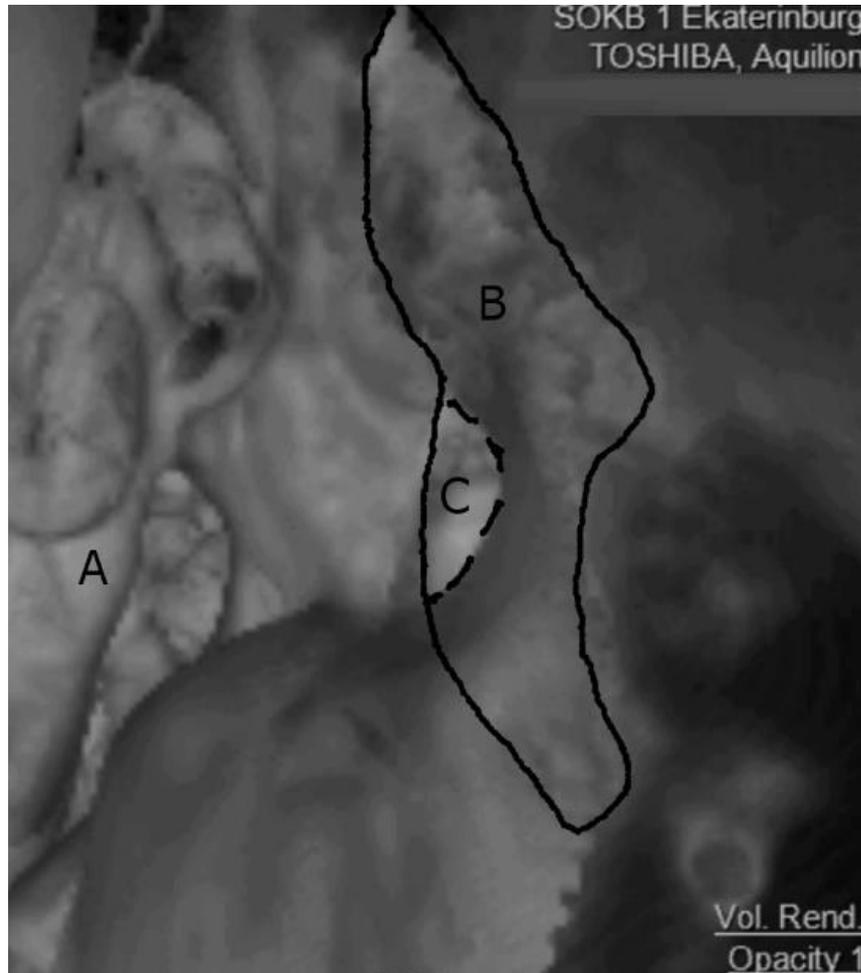
*Анестезиологическое пособие:* ингаляционная общая анестезия взрослым.

*Описание операции:* эндоназальная эндоскопическая дакриоцисториностомия с интубацией слёзных путей справа. Обработка операционного поля, расширение верхней, нижней слёзной точки зондами Зихеля (зонды проходят до слёзного мешка свободно, при промывании жидкость в полость носа не поступает, вытекает из свободной слёзной точки), подтверждение положения слёзного мешка с помощью трансиллюминации (совпадает с локализацией по представленным данным КТ с виртуальной реконструкцией), место расположения дакриоцисториностомы определено как оптимальное (рисунок 15), удаление рубцовой ткани в просвете дакриоцисториностомы, расширение костного окна дакриоцисториностомы, выделение внутренней стенки слёзного мешка, восстановление и расширение соустья, контрольное промывание (жидкость в полость носа поступает струйно), временная интубация слёзных путей силиконовым дренажем, передняя тампонада среднего носового хода.

*Диагноз после операции:* посттравматическая деформация лицевого скелета слева. Нижняя орбитальная грыжа слева с ущемлением глазодвигательных мышц. Посттравматическое заращение слезно-носового канала слева.

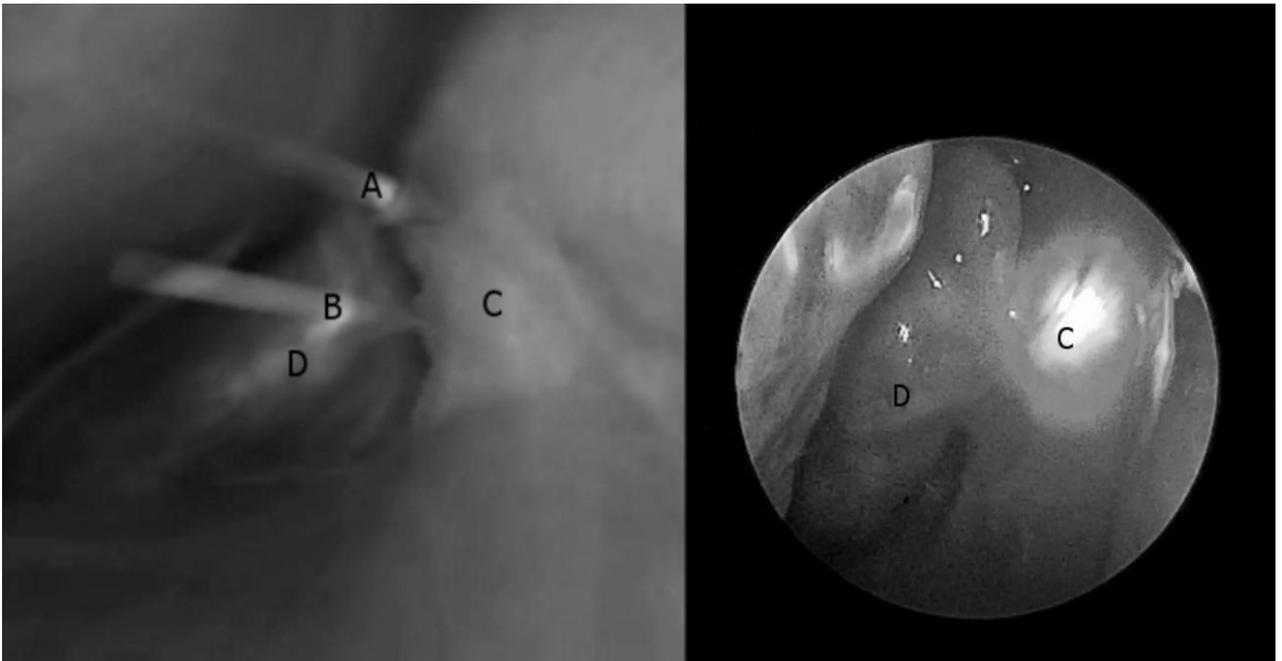
*Послеоперационный период:* спокойный. Удаление временного дренажа на 14 сутки после оперативного вмешательства.

*Катамнез:* по настоящее время рецидива слезотечения не наблюдается. Динамическое наблюдение офтальмолога по месту жительства.



Примечание: Раздельная настройка прозрачности позволила сохранить видимость СОП при повышении прозрачности стенок полости носа. А – передний край средней носовой раковины, В – голотопическая проекция слёзного мешка на латеральную стенку полости носа (контуры выделены сплошной линией), С – дакриоцисториностома (контуры выделены пунктирной линией).

Рисунок 14 – Кадр видеозаписи модифицированной виртуальной риноэндоскопии с сегментацией и цветовым маркированием слёзных путей



Примечание: А – видимый из просвета носовых ходов во время виртуальной эндоскопии объёмный маркер-стрелка, указывающий центр геометрический слёзного мешка. В – видимый из просвета носовых ходов во время виртуальной эндоскопии объёмный маркер-стрелка, указывающий область перехода слёзного мешка в носослёзный канал. С – голотопическая проекция поверхности трехмерной модели слёзного мешка на латеральную стенку полости носа. D – передний край средней носовой раковины.

Рисунок 15 – Кадр синхронизированной видеозаписи виртуальной риноэндоскопии с сегментацией и цветовым и виртуальным маркированием слёзных путей слева и трансиллюминации слёзного мешка во время интраоперационной эндоскопической дакриоцисториностомии (справа)

### Клинический пример № 3

*Пациент Д., 1973 г. р.*

*Жалобы:* на слезотечение справа, усиливающееся в течение последнего года.

*Анамнез жизни:* травм, операций в области орбит не было. Неоднократно переносила гаймориты, с оперативным вмешательством слева. Хронические заболевания отрицает. Аллергологический анамнез спокойный.

*Данные объективного осмотра:* справа слёзный ручей расширен,

конъюнктивы, слизистая оболочка слёзного мешка без особенностей, роговица прозрачная.

Слева слёзный ручей не расширен, конъюнктивы, слизистая оболочка слёзного мешка без особенностей, роговица прозрачная.

*Осмометрия слезы:* 274 mosms/l. Значения менее 316 mosms/l указывают на ретенционный характер слезотечения [21].

*Оптическая эндоскопическая риноскопия:* Перегородка носа деформирована, справа – средний носовой ход проходим без особенностей, слева – средний носовой ход проходим без особенностей.

*Компьютерная томография:*

*Оборудование сканирующее:* Томограф компьютерный Toshiba Aquilion 64

*Оборудование постпроцессинга:* рабочая станция Philips Extended Brilliance Workspace

*Индивидуальная эффективная доза:* 1,8 мЗв

*Протокол:*

Костные стенки орбит не изменены.

Слёзные мешки асимметричны:

Справа расширен до  $5,7 \times 8,5 \times 18,4$  мм, смещен вперед подкожно, стенки легко утолщены, содержимое гомогенной жидкостной плотности, область перехода в слезный проток проецируется на боковую стенку полости носа на уровне переднего края средней носовой раковины на 3,7–4,8 мм выше её нижнего края.

Определяется истончение с возможной декальцинацией слёзной кости и медиальной стенки носослёзного канала, прочие стенки без особенностей, просвет носослёзного канала не деформирован, с расширением в каудальном направлении 3,5–6,9 мм.

Слева слёзный мешок не расширен, стенки обычной достаточно равномерной толщины и плотности, с чёткими наружными контурами, гомогенным содержимым;

область перехода в слезный проток проецируется на боковую стенку

полости носа на 3,1 мм кпереди от переднего края средней носовой раковины и на 5,3 мм выше её нижнего края.

Пластинка слёзной кости и стенки носослёзного канала слева не изменены.

Правое и левое глазное яблоко расположены обычно. Проминирующих внутриглазных образований, отслойки сетчатки не определяется, глазные яблоки, зрительные нервы, элементы мышечного аппарата глазных яблок справа и слева, слёзные железы без особенностей.

*Заключение:* Дилатация слёзного мешка справа с передней и верхней дислокацией, с учётом изменений его стенки и стенок носослёзного канала картина характерна для хронического дакриоцистита и дакриоцистоцеле справа. Выполнена виртуальная эндоскопическая 4D-навигация, запись представлена на приложенном к результатам исследования CD.

*Диагноз до операции:* заращение слезно-носового канала справа. Миопия III степени обоих глаз.

*Анестезиологическое пособие:* ингаляционная общая анестезия взрослым.

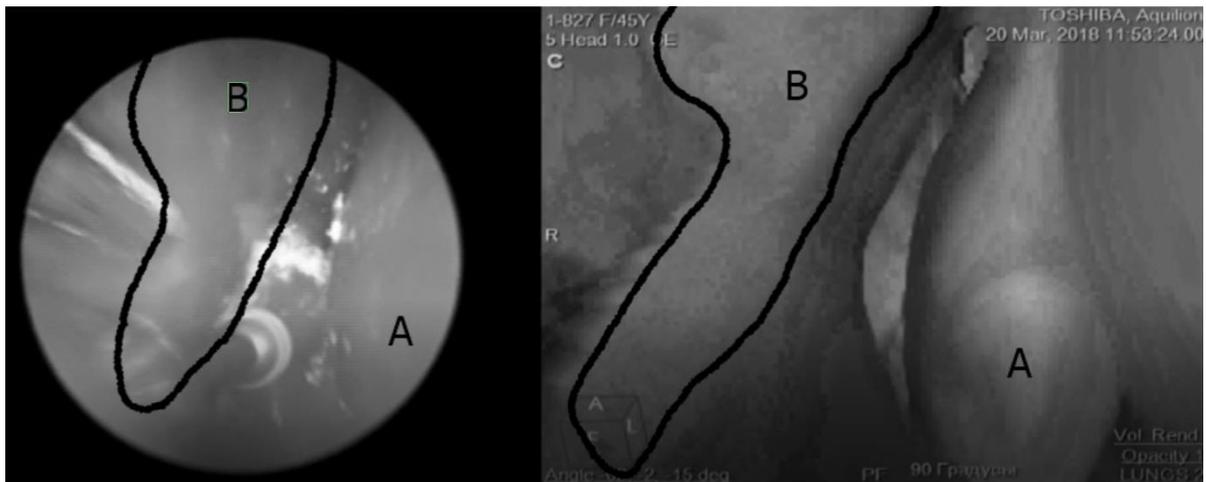
*Описание операции:* эндоназальная эндоскопическая дакриоцисториностомия с интубацией слёзных путей справа. Обработка операционного поля, зондирование слёзного мешка (зонды проходят до слёзного мешка свободно, при промывании жидкость в полость носа не поступает, вытекает из свободной слёзной точки).

Подтверждение с помощью трансиллюминации верхнее положение слёзного мешка. Выделение и удаление лоскута слизистой оболочки полости носа под эндоскопическим контролем и контролем навигационной видеозаписи виртуальной риноэндоскопии в оптимальном месте, удаление слёзной кости и часть лобного отростка с помощью дрели. Выделение внутренней стенки слёзного мешка (рисунок 16), формирование соустья, контрольное промывание (жидкость в полость носа поступает струйно, рисунок 17), временная интубация слёзных путей силиконовым дренажем, передняя тампонада среднего носового хода в зоне риностомы.

*Диагноз после операции:* заращение слезно-носового канала справа. Миопия III степени обоих глаз. Расположение слезного мешка во время операции соответствует данным видеозаписи навигационной виртуальной эндоскопии.

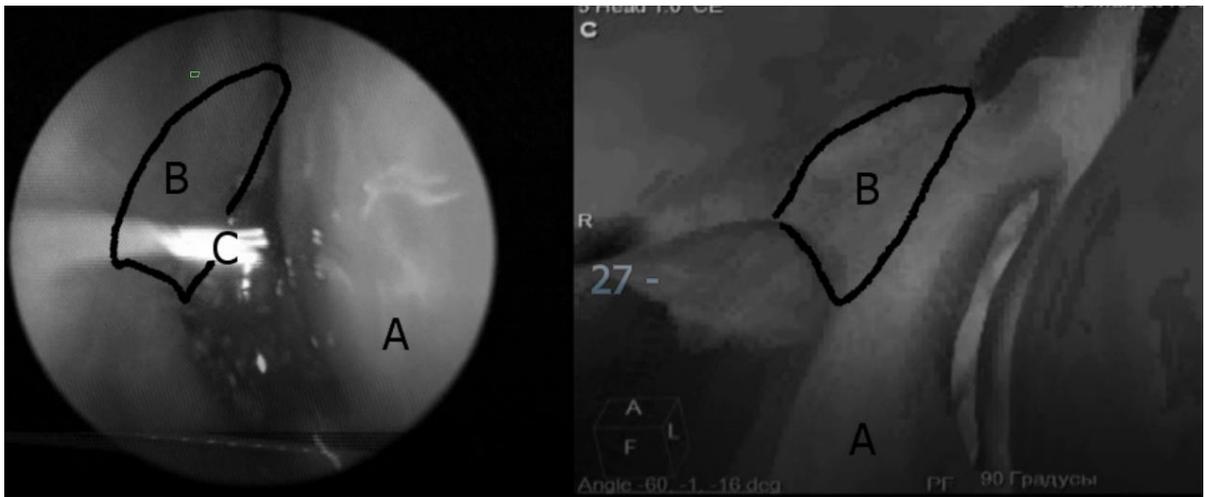
*Послеоперационный период:* спокойный. Удаление временного дренажа на 14 сутки после оперативного вмешательства.

*Катамнез:* по настоящее время рецидива слезотечения не наблюдается. Динамическое наблюдение офтальмолога по месту жительства.



Примечание: Видно, что формирование стомы выполнено в оптимальном месте, выявленном по данным предоперационной виртуальной риноэндоскопии. А – передний край средней носовой раковины, В – голотопическая проекция слезного мешка на латеральную стенку полости носа (контуры выделены сплошной линией).

Рисунок 16 – Кадр синхронизированной видеозаписи оптической риноэндоскопии во время эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии справа на этапе удаления слезной кости при помощи дрели (слева) в сравнении с кадром виртуальной риноэндоскопии, использовавшейся при навигации (справа)



Примечание: Видно, что формирование стомы выполнено в оптимальном месте, выявленном по данным предоперационной виртуальной риноэндоскопии. А – передний край средней носовой раковины, В – голотопическая проекция слёзного мешка на латеральную стенку полости носа (контуры выделены сплошной линией). С – световод, проведенный через отверстие дакриоцисториностомы из полости слёзного мешка в полость носа.

Рисунок 17 – Кадр синхронизированной видеозаписи оптической риноэндоскопии во время эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии справа на этапе контроля проходимости сформированной дакриоцисториностомы в сравнении с кадром виртуальной риноэндоскопии, использовавшейся при навигации (справа)

## ГЛАВА 4 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

При разработке критериев определения дилатации слёзного мешка при обструкции слезоотводящих путей учитывались опубликованные ранее данные о размерах слёзного мешка, однако в проанализированных исследованиях не приводится статистическая достоверность изменения размеров слёзного мешка при дакриоцистите, информативность симптома расширения не была оценена, а также для оценки степени расширения не применялся расчёт объёма слёзного мешка. Таким образом, приведенная в настоящем исследовании диагностическая ценность рентгенологических симптомов изменения размеров слёзного мешка и его смещения при дилатации у пациентов с хроническим дакриоциститом ранее не оценивалась.

Полученные в настоящем исследовании данные также демонстрируют низкую диагностическую ценность описаний расположения слёзного мешка по данным МСКТ, что не противоречит представленным Tuagi данным об отсутствии корреляции между результатами описания МСКТ и секционного исследования, полученным при оценке диагностической ценности описательной визуальной оценки расположения и размеров слёзного мешка.

При статистическом анализе полученных в настоящем исследовании данных, как в основной, так и в контрольной группе была выявлена высокая неоднородность линейных значений смещения слёзного мешка. Этот феномен соответствует доступным в литературе данным [5, 55, 64, 90, 131] и объясняется высокой индивидуальной вариативностью средней носовой раковины, как основного доступного для объективизации дислокации слёзного мешка эндоназального ориентира.

Поскольку в ходе сопоставления описаний предоперационных МСКТ и операционных данных в настоящем исследовании была выявлена низкая степень соответствия описаний расположения слёзного мешка по данным МСКТ и по данным операции, случаи расхождения обсуждались между оперировавшими

хирургами-эндоскопистами и рентгенологами, участвовавшими в предоперационной подготовке пациентов.

В проанализированной литературе подробное описание методики определения принимаемой в качестве точки измерения для оценки смещения и расположения части слёзного мешка отсутствует. Таким образом, в зависимости от выбираемой части (дно, геометрический центр объёма или область перехода в слёзный проток) возможны значительные расхождения в интерпретации типа смещения слёзного мешка у одного и того же пациента, и выраженность этих различий увеличивается прогрессивно сообразно степени дилатации слёзного мешка [1, 4, 16].

Проведенный в настоящем исследовании статистический анализ диагностической ценности таких рентгенологических симптомов, как размеры слёзного мешка и его смещение относительно средней носовой раковины по данным МСКТ также продемонстрировал, что диагностическая ценность рентгенологических симптомов убывает в ряду объем–глубина–высота–смещение вверх–смещение вперед, что подтверждает данные Tuagi, показавшего наличие корреляции между данными МСКТ и секционного исследования в отношении смещения дна слёзного мешка вверх и отсутствие корреляции между данными МСКТ и секционного исследования в отношении взаиморасположения задней и передней стенки слёзного мешка и основания средней носовой раковины [111].

Данные о статистической достоверности прочих перечисленных симптомов в проанализированной литературе отсутствуют.

Выполненное сопоставление полученных по разработанному протоколу видеозаписей виртуальной 4-D риноэндоскопии, получаемой на основании данных бесконтрастной МСКТ с сегментацией и цветовым маркированием слезоотводящих путей, и видеозаписей оптической эндоскопии тех же пациентов, полученных во время операций эндоскопической трансназальной дакриоцисториностомии показало высокую степень соответствия получаемых виртуальных данных реальной картине, видимой во время оптической эндоскопии. Эти данные подтверждены приведенным выше статистическим

анализом диагностической ценности виртуальной эндоскопии в отношении расположения слёзного мешка относительно внутриносовых ориентиров.

Возможность принимать во внимание для ориентирования во время оперативного вмешательства не имеющие названий особенности рельефа слизистой оболочки полости носа упрощает интраоперационную навигацию и позволяет отказаться от учёта тестового описания расположения слезоотводящих путей при принятии решения о месте и способе формирования дакриоцисториностомы во время предоперационного планирования.

При выполнении ВЭ использовались стандартные параметры перспективы, достижимые на большинстве эндоскопических систем при оптической эндоскопии. Поскольку принципы построения трехмерных моделей едины вне зависимости от способа их дальнейшего отображения (в изометрическом виде с объемным рендерингом или в виде ВЭ), описанные выше методы сегментации объёма полученных при МСКТ данных были полностью пригодны для получения моделей для ВЭ [74].

В ходе подбора оптимальных параметров визуализации при ВЭ предпочтение было отдано рекомендованному J. Kettenbach, W. Birkfellner и P. Rogalla углу в  $60^0$  [74] как оптимальному для оценки позиции виртуального эндоскопа, а также позволяющему избежать деформации изображений и неадекватной оценки размеров визуализируемых структур.

Требования к качеству данных МСКТ для получения ВЭ, представленные в литературе, были полностью выполнены в настоящем исследовании. Использовались только данные, полученные при мультиспиральной компьютерной томографии с толщиной среза и шагом реконструктивного слоя не более 0,625 мм, что позволяет считать, что линейная разрешающая способность также была увеличена в сравнении с опубликованными ранее исследованиями, следовательно, размер наименьших достоверно визуализируемых структур в настоящем исследовании также был сокращен.

Данные настоящего исследования в отношении чувствительности и положительной прогностической значимости виртуальной эндоскопии

сопоставимы с приведенными в литературе данными о диагностической ценности ВЭ для исследования полиповидных образований мочевого пузыря (Amin, 2013 [39]) и демонстрируют более высокие значения специфичности и отрицательной прогностической значимости (таблица 9).

Таблица 9 – Сравнение полученных данных с представленными в литературе данными о диагностической ценности ВЭ

Автор	Количество наблюдений	Чувствительность	Специфичность	Положительная прогностическая значимость	Отрицательная прогностическая значимость	Общая точность метода	Источник	Год
Нара с соавт.	70	75 %	90 %	не иссл.	не иссл.	не иссл.	Radiology	1997 [67]
Fenlon с соавт.	100	71 %	83 %	не иссл.	не иссл.	не иссл.	N Engl J Med	1999 [34]
Кау с соавт.	38	67 %	75 %	не иссл.	не иссл.	не иссл.	Endoscopy	2000 [126]
Spinzi с соавт.	99	58 %	93 %	не иссл.	не иссл.	не иссл.	Am J Gastroenterol.	2001 [60]
Данные настоящего исследования	95	98,3 %	94,4 %	96,7 %	97,1 %	96,8 %	—	2019

Полученные в настоящем исследовании данные демонстрируют высокую диагностическую ценность представленной методики ВЭ для визуализации полости носа и СОП, сопоставимую с диагностической ценностью ВЭ, выполняемой для целей диагностики заболеваний придаточных пазух носа, кишки и бронхов, продемонстрированной в проанализированной литературе, либо превышающую её.

Таким образом, полученные в настоящем исследовании данные о диагностической ценности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии согласуются с результатами оценки параметров диагностической ценности ВЭ для других анатомических областей, представленными в зарубежной литературе, а применимость метода ВЭ для визуализации полости носа и СОП в результате настоящего исследования впервые получила статистическое обоснование.

Продemonстрированная высокая диагностическая ценность предложенной методики ВЭ достигается за счёт максимального приближения получаемой при ВЭ визуальной картины к интраоперационной визуальной картине наблюдаемой хирургом-эндоскопистом при выполнении эндоназальной эндоскопической ДЦР.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе отечественной и зарубежной литературы была собрана детальная информация об анатомии и физиологии слезоотводящих путей, патологической физиологии обструкции слёзных путей, изучены варианты классификации стенозов слезоотводящих путей, методы лучевой диагностики, включая дакриоцистографию, УЗИ, МСКТ, КЛКТ, МРТ, ОФЭКТ, а также принципы хирургического лечения дакриостеноза, включая такие варианты оперативного вмешательства как наружная и эндоназальная дакриоцисториностомия.

Были изучены принципы виртуализации диагностических данных мультиспиральной компьютерной томографии посредством виртуальной эндоскопии и существующие диагностические возможности этого метода визуализации радиологических данных и его недостатки. На основании данных литературы исследованы возможности интраоперационной навигации в настоящее время.

Отмечено, что существует ряд не до конца исследованных вопросов, касающихся критериев расширения слёзного мешка при клинически выраженном дакриостенозе, диагностической ценности различных лучевых симптомов дакриоцистита у взрослых, а также вопросов предоперационной оценки расположения невидимого во время эндоназальной эндоскопической ДЦР до момента вскрытия слёзного мешка, предоперационной подготовки, оценки расположения слёзного мешка перед этой операцией и интраоперационной навигации во время её выполнения.

В частности, в изученной литературе приведены размеры слёзных мешков, однако до настоящего времени не приводилась диагностическая ценность изменений линейных параметров размеров и смещения слёзного мешка при его дилатации.

Кроме того, в настоящее время не было обнаружено исследований, посвященных интраоперационной визуализации слезоотводящих путей и

применению виртуальной риноэндоскопии для предоперационного планирования и интраоперационной навигации. В то же время представленные в литературе данные о диагностической ценности ВЭ при оценке кишки и бронхов позволяют предположить значительный потенциал виртуальной эндоскопии и в отношении решения задач предоперационной подготовки и интраоперационной навигации в дакриохирургии, что определило необходимость данного исследования.

Эндоскопическая эндоназальная ДЦР на сегодняшний день является оптимальным методом оперативного лечения хронического дакриоцистита при стенозе нижних отделов СОП, обеспечивая максимальный клинический и эстетический эффект, низкую частоту рецидивов при условии правильного выбора места дакриоцисториностомы.

Ключевыми моментами определения операционной тактики при хроническом дакриоцистите является определение факта наличия дилатации слёзного мешка и определение его фактического расположения вследствие дилатации относительно эндоназальных ориентиров. Достоверная и наглядная визуализация соотношения СОП и эндоназальных ориентиров определяют успех эндоназальной ДЦР, поскольку позволяют сформировать дакриоцисториностому в оптимальной локализации, что является основным фактором предотвращения как заращения стомы, так и развития «самп-синдрома», определяющих отсутствие эффекта, либо недостаточный эффект от оперативного вмешательства.

Существующие стандарты оказания медицинской помощи при дакриоцистите предполагают выполнение предоперационной МСКТ всем пациентам, однако не регламентируют порядок представления её результатов.

Поэтому целью настоящего исследования стала разработка и апробация собственной методики виртуальной эндоскопии с сегментацией и цветовым маркированием СОП на основе данных предоперационной МСКТ для планирования эндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии и интраоперационной навигации при её выполнении.

Материалом для исследования стали изображения 204 слёзных мешков 102 взрослых пациентов, страдающих обструктивной эпифорой вследствие

хронического дакриоцистита. После клинико-анамнестического, офтальмологического и функционального обследования пациенты подвергались рутинной предоперационной МСКТ и оптической риноэндоскопии.

На основании мультипланарной реконструкции полученного объёма данных был разработан способ измерения объёма слёзного мешка и вычислены размеры, объёмы и значения смещения всех слёзных мешков, как со стороны имеющейся эпифоры, так и с интактной стороны. Результаты были занесены в составленную базу данных.

На основании данных видеоэндоскопии строились модели носовой полости и записывался видеоряд её обзора с установкой настройки частичной прозрачности стенок для обеспечения возможности видимости сегментированных на основании данных о КТ плотности с ручной корректировкой и маркированных цветом моделей СОП.

Для статистической обработки использовались такие статистические методы, как двухвыборочный z-тест для средних, расчёт параметров диагностической ценности метода, ROC-анализ с оценкой индекса Юдена и уровней отсечения (cutoff) и критерий  $\chi^2$  (Хи-квадрат Пирсона) для таблиц сопряжённости  $2 \times 2$  для объективного сравнения диагностической ценности рентгенологических симптомов и методик представления результатов предоперационной МСКТ.

В результате анализа полученных данных были разработаны рентгенологические критерии определения дилатации слёзного мешка при обструкции слезоотводящих путей (объем  $\geq 0,53$  см<sup>3</sup>), при этом размеры слёзного мешка в норме, полученные в данном исследовании, соответствовали литературным данным [18, 64].

При оценке достоверности симптома смещения слёзного мешка при его дилатации было продемонстрировано отсутствие статистически значимых различий смещений слёзного мешка в основной и контрольной группе, что также соответствует имеющимся в литературе данным [121].

При сравнительном анализе диагностической ценности рентгенологических

симптомов при дилатации слёзного мешка были выявлены значительные различия диагностической ценности ряда радиологических симптомов, получаемых при МСКТ СОП: посредством ROC-анализа продемонстрировано, что диагностическая ценность рентгенологических симптомов убывает в ряду объем–глубина–высота–смещение вверх–смещение вперед.

Выявленная низкая диагностическая ценность симптомов смещения слёзного мешка относительно переднего и нижнего края средней носовой раковины в отношении дакриоцистита, вероятно, обусловлена высокой нормальной индивидуальной вариабельностью размеров и конфигурации костей лицевого скелета в целом и средней носовой раковины в частности.

Таким образом, полученные в данном исследовании результаты оценки диагностической значимости рентгенологических симптомов расширения и смещения слёзного мешка позволяют заключить, что для оценки наличия дилатации слёзного мешка оптимально выполнять расчёт его объема по формуле объема эллипсоида вращения и считать нормальным объём  $\leq 0,17 \text{ см}^3$ , и признаком дилатации объём  $\geq 0,53 \text{ см}^3$ , и не учитывать смещение слёзного мешка в качестве признака его дилатации.

Выполненное в данном исследовании определение диагностической ценности описательной визуальной оценки предоперационной МСКТ с применением существующей классификации расположения дилатированного слёзного мешка продемонстрировало низкие показатели диагностической ценности в отношении расположения слёзного мешка в сравнении с полученными в дальнейшем операционными данными (чувствительность 45,8 %, специфичность 42,7 %, положительная прогностическая значимость 19,0 %, отрицательная прогностическая значимость 72,9 % и общая точность 43,4 %), таким образом, применимость текстовых описаний для предоперационного планирования и интраоперационной навигации представляется значительно ограниченной.

Оценка диагностической ценности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии, дополняющей конвенциональное текстовое описание

результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии продемонстрировала более высокие показатели диагностической ценности в отношении расположения слёзного мешка: чувствительность 98,3 %, специфичность 94,4 %, положительная прогностическая значимость 96,7 %, отрицательная прогностическая значимость 97,1 %, общая точность 96,8 %.

Предложенная методика ВЭ с сегментированием и цветовым маркированием СОП на основании данных предоперационной МСКТ в данном исследовании показала себя более точным и удобным для хирургов способом визуализации данных МСКТ, а её диагностическая ценность, продемонстрированная в настоящем исследовании, превышает таковую для визуализации полиповидных новообразований мочевого пузыря [39], кишки [130] и бронхов [68].

Примененный для объективного сопоставления диагностической ценности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии и диагностической ценности текстовых описаний результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии парный ROC-анализ продемонстрировал, что предложенная методика виртуальной дакриоцисториноскопии имеет отличную прогностическую ценность (площадь под ROC-кривой  $0,992 \pm 0,01$ ), превышающую ценность текстовых описаний (площадь под ROC-кривой,  $0,574 \pm 0,02$ , что соответствует неудовлетворительной прогностической ценности методики).

Предложенная методика ВЭ с сегментированием и цветовым маркированием СОП у пациентов с хроническим дакриоциститом продемонстрировала высокое соответствие визуальной картины данным оптической эндоскопии, что определило применимость этой методики представления данных предоперационной МСКТ для целей предоперационного планирования перед эндоскопической дакриоцисториностомией и интраоперационной навигации во время её выполнения, поскольку ВЭ позволила в доступной невербальной форме максимально объективно и информативно представлять получаемые неинвазивно диагностические данные

предоперационной МСКТ, необходимые для точного выбора зоны формирования дакриоцисториностомы во время последующей эндоназальной дакриоцисториностомии.

Преимуществами предложенной методики ВЭ с сегментированием и цветовым маркированием СОП данных МСКТ с применением метода ВЭ в качестве дополнения к текстовым описаниям стали: максимальная совместимость и преемственность представления данных, позволяющие исключить этап интерпретации расположения СОП рентгенологом и связанные с этим ошибки; отсутствие необходимости дополнительной подготовки оперирующего хирурга-эндоскописта для оценки предоперационной навигационной модели, что исключает ошибку интерпретации хирургом взаиморасположения интраназальных ориентиров и проекции СОП на латеральную стенку полости носа, возможную при оценке данных мультипланарной реконструкции МСКТ; совместимость получаемых при виртуализации видеоданных с любой, в том числе, портативной и мобильной аппаратурой для воспроизведения видео и возможность демонстрации получаемых виртуальных данных во время оперативного вмешательства без специального программного и аппаратного обеспечения на стороне оперирующей клиники; возможность применения для построения навигационных моделей МСКТ, полученных на различных компьютерных томографах, вне зависимости от производителя и технических характеристик, что определяет широкие возможности для применения метода в телемедицине.

На основании полученных результатов исследования можно сделать заключение о полной применимости виртуальной эндоскопии для предоперационного планирования эндоназальной ДЦР и интраоперационной навигации во время её выполнения, а также о необходимости внедрения данного метода визуализации данных предоперационной МСКТ для повышения её диагностической ценности в отношении хирургической анатомии СОП, что позволит достичь большей точности при формировании дакриоцисториностомы эндоназальным доступом.

## ВЫВОДЫ

1. Определены пределы нормальных значений и диагностическая ценность симптомов расширения слёзного мешка:

объём  $\leq (0,29 \pm 0,1)$  см<sup>3</sup>, (чувствительность 73,17 %, специфичность 90,12 %),  
высота  $\leq (13,9 \pm 1,3)$  мм, (чувствительность 68,29 %, специфичность 74,07 %),  
ширина  $\leq (5,9 \pm 0,2)$  мм, (чувствительность 65,85 %, специфичность 91,36 %),  
глубина  $\leq (6,55 \pm 0,4)$  мм, (чувствительность 89,43 %, специфичность 74,07 %).

2. Увеличение объёма слёзного мешка является наиболее диагностически ценным симптомом его расширения при дакриоцистите (площадь под ROC-кривой 0,886) в сравнении с увеличением линейных размеров (ширины, высоты и глубины), а также в сравнении с симптомами смещения слёзного мешка относительно переднего края (площадь под ROC-кривой 0,564) и нижнего края (площадь под ROC-кривой 0,586) средней носовой раковины.

3. Существует значительный потенциал повышения ценности бесконтрастной мультиспиральной компьютерной томографии как метода предоперационного планирования и интраоперационной навигации за счёт доработки способа представления результатов, поскольку самостоятельная диагностическая ценность текстовых описаний оценивается как низкая (площадь под ROC-кривой 0,574 соответствует неудовлетворительной прогностической ценности метода исследования).

4. Разработана и опробована на практике предоперационного планирования и интраоперационной навигации методика виртуализации данных предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии – виртуальная дакриоцисториноскопия с сегментацией и цветовым маркированием слезоотводящих путей, продемонстрировавшая высокие показатели диагностической ценности:

чувствительность (98,3 %),

специфичность (94,4 %),

положительную прогностическую значимость (96,7 %),

отрицательную прогностическую значимость (97,1 %),

общую точность (96,8 %),

а также высокое значение площади под ROC-кривой при ROC-анализе – 0,992, что соответствует отличной прогностической ценности методики.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В качестве наиболее точного и повторяемого рентгенологического критерия расширения слёзного мешка при дакриоцистите следует использовать объем слёзного мешка, рассчитываемый по описанной методике, считая нормальным объём  $\leq 0,29 \text{ см}^3$ , смещение слёзного мешка не следует считать признаком его расширения.

2. Для виртуальной эндоскопической реконструкции данных мультиспиральной компьютерной томографии следует применять данные в формате DICOM с шагом и толщиной слоя не более 3 мм.

3. Следует дополнять результаты предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии видеозаписями виртуальной эндоскопии, получаемой путём сегментации данных бесконтрастной компьютерной томографии орбит в полуавтоматическом режиме сегментации на основании уровней КТ-плотности (в диапазоне выбора тканей  $-15 \div +50 \text{ HU}$ ) с послойным выделением слезоотводящих путей с удалением не относящихся к ним выделенным на основании уровней плотности мягких тканей и корректировкой контуров слезоотводящих путей под визуальным контролем на мультипланарных реконструкциях в трех проекциях, с последующим построением трёхмерной модели поверхности слезоотводящих путей, окрашиванием её аналогично маркированию очагов низкой плотности (субсолидных очагов в лёгких) и встраиванием полученной сегментированной и маркированной модели в виртуальную эндоскопическую модель полости носа с углом обзора  $60^\circ$ , с установкой уровня непрозрачности стенок полости носа в 2 % с последующей корректировкой параметров предустановки реконструкции эндоскопической модели с получением картины «стеклянных стенок» полости носа.

4. Следует регистрировать видеозапись виртуального эндоскопического исследования, повторяющего последовательность эндоскопического осмотра виртуальной эндоскопической модели среднего носового хода при оптической риноэндоскопии во время эндоскопической дакриоцисториностомии, при этом во

время оптимальной визуализации средней носовой раковины и предположительной голотопической проекции слёзного мешка на латеральную стенку полости носа следует вручную динамически изменять степень непрозрачности модели стенок полости носа от 35 % до 1 %, отображая изменения на видеозаписи.

5. Для планирования эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии и навигации во время неё следует использовать полученные видеозаписи виртуальных эндоскопических исследований посредством обеспечения воспроизведения полученных видеозаписей виртуальной эндоскопии как на этапе предоперационного планирования, так и непосредственно во время выполнения эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ВР	высокое разрешение
ВЭ	виртуальная эндоскопия
ДЦР	дакриоцисториностомия
ИК	инфракрасный
ИП	истинно положительный результат
ИО	истинно отрицательный результат
КЛКТ	конусно-лучевая компьютерная томография
КТ	компьютерная томография
ЛП	ложно положительный результат
ЛО	ложно отрицательный результат
МДЭ	малоинвазивная дакриоэндоскопия
МРТ	магниторезонансная томография
МСКТ	мультиспиральная компьютерная томография
ОФЭКТ	одnofотонная эмиссионная компьютерная томография
СОП	слезоотводящие пути
УЗИ	ультразвуковое исследование
УЗИ ВР	ультразвуковое исследование высокого разрешения
AUC	area under curve
HU	Hounsfield unit
CD	compact disc
DICOM	digital imaging and communications in medicine
DVD	digital versatile disc
FISP	fast imaging with steady state processing
FLASH	fast low angle shot
FOV	field of view
HU	Hounsfield unit
PANDO	primary acquired nasolacrimal duct obstruction
ROC	receiver operating characteristic curve

SALDO	secondary acquired lacrimal duct obstruction
SSD	shaded surface display
TALT	tear duct-associated lymphoid tissue
VR	volume rendering
VRT	volume rendering technique

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Байменов, А. Ж. Усовершенствование диагностики и повышение эффективности лечения заболеваний слёзного мешка при эндоназальной дакриоцисториностомии : специальность 14.01.03 «Болезни уха, горла и носа», 14.01.07 «Глазные болезни» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Аманжол Жумагалеевич Байменов ; АО «Медицинский университет Астана». – Астана, 2015. – 49 с. : ил. – Библиогр.: с. 40–48. – Место защиты : Научно-клинический центр оториноларингологии ФМБА России. – Текст : непосредственный.
2. Байменов, А. Ж. Усовершенствование компьютерной диагностики для проведения модифицированной эндоназальной функциональной дакриоцисториностомии / А. Ж. Байменов // Журнал оториноларингологии и респираторной патологии. – 2013. – Том 19, № 4. – С. 18–21.
3. Белоглазов, В. Г. Лучевые методы диагностики в современной дакриологии. Обзор литературы / В. Г. Белоглазов // Рефракц. Хирургия и офтальм. – 2007. – № 2. – С. 21–26.
4. Бобров, Д. А. Эндоназальная микроэндоскопическая хирургия в лечении хронического дакриоцистита : специальность 14.00.04 «Болезни уха, горла и носа» : диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Денис Александрович Бобров ; Ярославская государственная медицинская академия. – Ярославль, 2004. – 123 с. – Библиогр.: с. 107–123. – Текст : непосредственный.
5. Бокштейн, Ф. С. Внутриносовая хирургия / Ф. С. Бокштейн. – М : «Медгиз», 1956. – 231 с.
6. Бржеский, В. В. Заболевания слезного аппарата. Пособие для практикующих врачей / В. В. Бржеский, Ю. С. Астахов, Н. Ю. Кузнецова. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : «Изд-во Н-Л», 2009. – 108 с.
7. Валиева, Г. Н. Отдаленные результаты и меры предупреждения рецидивов трансканаликулярной лазерной эндоскопической

дакриоцисториностомии : специальность 14.00.08 «Глазные болезни» : диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Валиева Гульназ Назировна ; Уфимский научно-исследовательский институт глазных болезней. – Уфа, 2006. – 106 с. 32 ил. – Библиогр.: с. 117–138. – Текст : непосредственный.

8. Васильев, А. Ю. Анализ данных лучевых методов исследования на основе принципов доказательной медицины : Учебное пособие / А. Ю. Васильев, А. Ю. Малый, Н. С. Серова. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 22 с.

9. Выбор метода лечения пациентов с дакриостенозом на основе однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, совмещенной с рентгеновской компьютерной томографией / Е. Л. Атькова, В. Д. Ярцев, И. О. Томашевский, Н. Н. Краховецкий // Вестник офтальмологии . – 2016. – № 3. – С. 15–20.

10. Использование конусно–лучевой компьютерной томографии для определения лечебной тактики у пациентов с патологией слезоотведения / А. С. Поляновская, А. А. Зубарева, Н. Ю. Белдовская [и др.] // Офтальмологические ведомости . – 2016. – Том 9, № 1. – С.14–18.

11. К вопросу о неудачных исходах лазерной эндоназальной дакриоцисториностомии / Н. Ю. Белдовская, С. А. Карпищенко, С. В. Баранская, О. А. Куликова // Офтальмологические ведомости. – 2016. – Том 9, № 2. – С. 14–18.

12. Кармазановский, Г. Г. Оценка диагностической значимости метода (“чувствительность”, ”специфичность”, “общая точность”) / Г. Г. Кармазановский // Анналы хирургической гепатологии. – 1997. – № 2. – С. 139–142.

13. Комплексное лучевое обследование пациентов с хроническими дакриоцистититами / Е. Г. Привалова, М. В. Смысленова, Д. А. Лежнев, Д. В. Давыдов // Радиология-Практика. – 2014. – № 2. – С. 14–25.

14. Краховецкий, Н. Н. Изучение эффективности модифицированной микроэндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии / Н. Н. Краховецкий, Е. Л. Атькова // РМЖ. Приложение. Клин. офтальмология. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 29–30.

15. Краховецкий, Н. Н. Изучение эффективности модифицированной микроэндоскопической эндоназальной дакриоцистиностомии / Н. Н. Краховецкий, Е. Л. Атькова // Клиническая офтальмология. – 2013. – Том 13, № 1. – С. 29–30.

16. Кульбаев, Н. Д. Роль компьютерной томографии с функцией 3D в подготовке к дакриоцистиностомии / Н. Д. Кульбаев, Р. Т. Нигматуллин, Д. А. Щербаков // Офтальмологические ведомости. – 2011. – Том 4, № 3. – С. 38–40.

17. Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2014 / под ред. проф. Д. А. Усанова // материалы Всероссийской школы-семинара – Саратов : Саратовский источник, 2014. – 300 с.

18. Неинвазивный способ контрастирования слезоотводящих путей при проведении мультиспиральной компьютерной томографии // Е. Л. Атькова, Е. Н. Архипова, Н. П. Ставицкая, Н. Н. Краховецкий // Офтальмологические ведомости. – 2012. – Том V, № 2. – С. 35–38.

19. Ободов, В. А. Возможности формирования пластического анастомоза при технологии эндоскопической дакриоцистиностомии / В. А. Ободов, М. И. Шляхтов // Офтальмология. – 2014. – Т. 11, № 4. – С. 54–58.

20. Ободов, В. А. Травматические дакриоциститы и облитерации слезоотводящих путей: практическое руководство / В. А. Ободов. – Москва, 2015. – 79 с.

21. Ободов, В. А. Травматические дакриоциститы. Эндоскопическая хирургия / В. А. Ободов // Вестник ОГУ. – 2010. – № 12-2 (118) – С. 105–108.

22. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией, при исследовании слезоотводящих путей. Первые результаты / Е. Л. Атькова, И. О. Томашевский, А. И. Лучшев, В. Д. Ярцев // Вестн. рентгенологии и радиологии. – 2014. – № 2. – С. 26–30.

23. Помухин, Д. В. Трансназальный и трансканаликулярный варианты операции лазерной дакриоцистиностомии / Д. В. Помухин, В. И. Кузнецов, Ю. В. Тюкин // II Научно-практическая конференция оториноларингологов Южного федерального округа : материалы конф. – Сочи, 2006. – С. 398–400.

24. Практикум по статистике в Excel. / Б. В. Соболев, Л. В. Борисова, Т. А. Иваночкина, И. М. Пешхоев. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2010. – 381 с.

25. Привалова, Е. Г. Лучевая диагностика заболеваний слезоотводящих путей : специальность 14.00.13 «Лучевая диагностика, лучевая терапия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Екатерина Геннадьевна Привалова ; Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова. – Москва, 2012. – 20 с. – Библиогр.: с. 17–18. – Место защиты: Рос. науч. центр радиологии и хирург. технологий Федер. агентства по высокотехнологичной мед. помощи. – Текст : непосредственный.

26. Привалова, Е. Г. УЗИ высокого разрешения и МСКТ с контрастным усилением в диагностике заболеваний слезоотводящих путей / Е. Г. Привалова // Мед. Визуализация. – 2011. – № 3. – С. 10–15.

27. Серова, Н. С. Дентальная объемная томография в решении некоторых задач стоматологии и челюстно-лицевой хирургии / Н. С. Серова // Эндодонтия Today. – 2010. – № 2. – С. 55–57.

28. Серова, Н. С. Лучевая диагностика в стоматологической имплантации : 14.01.13 «Лучевая диагностика, лучевая терапия», 14.01.14 «Стоматология» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Наталья Сергеевна Серова ; Московский государственный медико-стоматологический университет. – Москва, 2010. – 48 с. : ил. – Библиогр.: с. 42–46. – Место защиты: Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова. – Текст : непосредственный.

29. Темкин, Я. С. Хирургические болезни носа, придаточных пазух и носоглотки / Я. С. Темкин, Д. М. Рутенбург. – М. : Медгиз, 1949. – 620 с.

30. Тулебаев, Р. К. Стандарты обследования больных хроническим дакриоциститом в условиях ЛОР-отделения / Р. К. Тулебаев, М. М. Курмангалиева, А. Ж. Байменов // Медицина и образование в Сибири. – 2015. – № 3. – С. 17–19.

31. Эндоназальная эндоскопическая холодно-плазменная дакриоцисториностомия в лечении обструкции слезоотводящих путей / Г. С. Школьник, С. Ф. Школьник, В. Н. Красножен, Н. П. Паштаев // Современные технологии в офтальмологии. – 2018. – № 4 (24). – С. 267–269.
32. Ярцев, В. Д. Диагностическая значимость лакримальной скинтиграфии / В. Д. Ярцев, Е. Л. Атькова // Рос. офтальмол. журн. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 108–111.
33. 16-detector row CT dacryocystography / В. Marc, F. Bonnet, C. Hoeffel [et al.] – Текст : электронный // ECR. – 2008. – URL: <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2008/C-532> свободный. – Загл. с экрана.
34. A comparison of virtual and conventional colonoscopy for the detection of colorectal polyps / Н. М. Fenlon, D. P. Nunes, P. C. Schroy [et al.] // N Engl J Med. – 1999. – № 341 (20). – P. 1496–1503. – DOI: 10.1056/NEJM199911113412003.
35. A qualitative evaluation of the role of simulation in policy development for service improvement / T. Blanks, N. Woodier, B. Baxendale [et al.] // BMJ Simulation and Technology Enhanced Learning. – 2018. – № 4 (1). – P. 19–28. – DOI: 10.1136/bmjstel-2017-000219.
36. Ahmad, I. Enhancing airway assessment of patients with head and neck pathology using virtual endoscopy / I. Ahmad, O. Keane, S. Muldoon // Indian J Anaesth. – 2017. – № 61. – P. 782–788. – DOI: 10.4103/ija.IJA\_588\_17.
37. Ali, M. J. Long-term outcomes in revision powered endoscopic dacryocystorhinostomy / M. J. Ali, A. J. Psaltis, P. J. Wormald // Int. Forum Allergy Rhinol. – 2014. – № 4 (12). – P. 1016–1025. – DOI: 10.1002/alr.21398.
38. Ali, M. J. Principles and Practice of Lacrimal Surgery / M. J. Ali // Mohammad Javed Ali. – New Delhi :Springer, 2015. – 367 p.
39. Amin, M. F. The diagnostic accuracy of multidetector computed tomography with multiplanar reformatted imaging and virtual cystoscopy in the early detection and evaluation of bladder carcinoma: comparison with conventional cystoscopy / M. F. Amin, A. M. El Abd Hamid // Abdom Imaging. – 2013. – № 38. – P. 184–192. – DOI: 10.1007/s00261-012-9902-6.

40. Anand, S. Virtual endoscopy of the nasal cavity and the paranasal sinuses / S. Anand, R. Varshney, S. Frenkiel // Cornel Iancu, ed. *Advances in Endoscopic Surgery*, 2011. – P. 117–130.
41. Anastomosis of nasal mucosal and lacrimal sac flaps in endoscopic dacryocystorhinostomy / M. Trimarchi, A. Giordano Resti, C. Bellini [et al.] // *Eur Arch Otorhinolaryngol.* – 2009. – Vol. 266 (11). – P. 1747–1752. – DOI: 10.1007/s00405-009-1002-z.
42. Anatomic landmarks in lacrimal surgery from an ophthalmologist's point of view – Clinical findings of external dacryocystorhinostomy and dacryoendoscopy / J. Heichel, H. G. Struck, A. Viestenz [et al.] // *Clin Anat.* – 2017. – № 30 (8). – P. 1034–1042. – DOI: 10.1002/ca.22902.
43. Barmettler, A. Current Preferences and Reported Success Rates in Dacryocystorhinostomy amongst ASOPRS Members / A. Barmettler, J. Erlich, G. Lelli // *Orbit.* – 2013. – № 32 (1). – P. 20–26. – DOI: 10.3109/01676830.2012.747211.
44. Bartley, G. B. Acquired lacrimal drainage obstruction: an etiologic classification system, case reports, and a review of the literature. Part 1 / G. B. Bartley // *Ophthal Plast Reconstr Surg.* – 1992. – № 8. – P. 237–242.
45. Bartley, G. B. Acquired lacrimal drainage obstruction: an etiologic classification system, case reports, and a review of the literature. Part 2 / G. B. Bartley // *Ophthal Plast Reconstr Surg.* – 1992. – № 8. – P. 243–249.
46. Bartley, G. B. Acquired lacrimal drainage obstruction: an etiologic classification system, case reports, and a review of the literature. Part 3. / G. B. Bartley // *Ophthal Plast Reconstr Surg.* – 1993. – № 9. – P. 11–26.
47. Bartz, D. Virtual endoscopy in research and clinical practice / D. Bartz // *Comput Graphics Forum.* – 2005. – № 24 (1). – P. 111–126. – DOI: 10.1111/j.1467-8659.2005.00831.x.
48. Bharangar, S. Endoscopic Endonasal Dacryocystorhinostomy: Best Surgical Management for DCR / S. Bharangar, N. Singh, V. Lal // *Indian Journal of Otolaryngology Head Neck Surgery* – 2012. – Vol. 64. – P. 11–30. – DOI: 10.1007/s12070-011-0345-0.

49. Biological and Medical Data Analysis / под ред. J. L. Oliveira, V. Maojo, F. Martin-Sanchez, A. Sousa Pereira. – Berlin : Springer-Verlag, 2005. – 402 p.
50. Busse, H. Classical lacrimal apparatus surgery from the ophthalmological viewpoint / H. Busse // Ophthalmologie. – 2001. – № 98. – P. 602–606. – DOI: 10.1007/s003470170093.
51. Caldwell, G. W. Two new operations for obstruction of the nasal duct, with preservation of the canaliculi / G. W. Caldwell // Am J Ophthalmol – 1893. – Vol. 9, № 11. – P. 713–745.
52. CAS of the paranasal sinuses-technology and clinical experience with the Vector-Vision-Compact-System in 102 patients / G. Grevers, A. Leunig, A. Klemens, H. Hagedorn // Laryngorhinootologie. – 2002. – № 81. – P. 476–483. – DOI: 10.1055/s-2002-33291.
53. Central airway pathology: clinic features, CT findings with pathologic and virtual endoscopy correlation / D. Barne, J. Gutiérrez Chacoff, M. Benegas [et al.] // Insights Imaging. – 2017. – № 8 (2). – C. 255–270. – DOI: 10.1007/s13244-017-0545-6.
54. Citardi, M. J. Intraoperative surgical navigation for endoscopic sinus surgery: Rationale and indications / M. J. Citardi, P. S. Batra // Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery. – 2007. – Vol. 15 (1) – P. 23–27. – DOI: 10.1097/MOO.0b013e3280123130.
55. Clinical, Radiological, Microbiological, and Histopathological Aspects of Acquired Dacryocystoceles / S. Y. Sendul, S. Cinar, H. H. Çağatay [et al.] // J Ophthalmol. – 2014. – № 2014. – P. 396782. – DOI: 10.1155/2014/396782.
56. Cohen, A. J. The Lacrimal System Diagnosis, Management, and Surgery / A. J. Cohen, M. Mercandetti, B. G. Brazzo. – New York : Springer, 2006. – 281 p.
57. Cokkeser, Y. Comparative external versus endoscopic dacryocystorhinostomy: results in 115 patients (130 eyes) / Y. Cokkeser, C. Evereklioglu, H. Er // Otolaryngology Head Neck Surgery. – 2000. – Vol. 123 (4). – P. 488–491. – DOI: 10.1067/mhn.2000.105470.
58. Colon unraveling based on electrical field: Recent progress and further work in proceedings / G. Wang, S. B. Dave, B. P. Brown [et al.]. – DOI:

10.1117/12.349581. – Текст : электронный // SPIE. – 1999. – URL: <https://doi.org/10.1117/12.349581>.

59. Comparison of spatial and contrast resolution for cone-beam computed tomography scanners / R. Pauwels, J. Beinsberger, H. Stamatakis [et al.] // Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology. – 2012. – № 114 (1). – P. 127–135. – DOI: 10.1016/j.oooo.2012.01.020.

60. Computed tomographic colonography and conventional colonoscopy for colon diseases: a prospective, blinded study / G. Spinzi, G. Belloni, A. Martegani [et al.] // Am J Gastroenterol. – 2001. – № 96 (2). – P. 394–400. – DOI: 10.1111/j.1572-0241.2001.03550.x.

61. ConBeam CT with contrast enhancement in the diagnosis of diseases of lachrymal pathways / E. G. Privalova, A. Vasiliev, V. Petrovskaya, D. Davydov. – DOI: 10.1594/ecr2012/c-1545. – Текст : электронный // ECR. – 2012. – URL: <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2012/C-1545> свободный.

62. CT Dacryocystography: Technique and results] / I. Melki, A. Ben Salah, M. Elloumi [et al.]. – DOI: 10.1594/ecr2017/C-1161. – Текст : электронный / ECR 2017. – № C-1161. – P. 1–16. — URL: <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2017/C-1161> свободный. – Загл. с экрана.

63. CT of the Inferomedial Orbit and the Lacrimal Drainage Apparatus: Normal and Pathologic Anatomy / E. J. Russell, L. Czervionke, M. Huckman [et al.] // American Journal of Radiology. – 1985. – № 145. – P. 1147–1154. – DOI: 10.2214/ajr.145.6.1147.

64. CT-anatomy of the nasolacrimal sac and duct / R. Groell, G. J. Schaffler, M. Uggowitz [et al.] // Surgical Radiologic Anatomy: Journal of Clinical Anatomy. – 1997. – № 19. – P. 189–191. – DOI: 10.1007/BF01627974.

65. Dacryocystitis: Systematic Approach to Diagnosis and Therapy / S. Pinar-Sueiro, M. Sota, T. X. Lerchundi // Curr Infect Dis Rep. – 2012. – № 14. – P. 137–146. – DOI: 10.1007/s11908-012-0238-8.

66. De Nicola, M. Virtual endoscopy of nasal cavity and paranasal sinuses / M. De Nicola, L. Salvolini, U. Salvolini // *Eur J Radiol.* – 1997. – № 24 (3). – P. 175–180. – DOI: 10.1016/s0720-048x(97)00027-2.

67. Detection of colorectal polyps with CT colography: initial assessment of sensitivity and specificity / A. K. Hara, C. D. Johnson, J. E. Reed [et al.] // *Radiology.* – 1997. – № 205 (1). – P. 59–65. – DOI: 10.1148/radiology.205.1.9314963.

68. Diagnostic potential of virtual bronchoscopy: advantages in comparison with axial CT slices, MPR and mIP? / U. Rapp-Bemhardt, T. Weite, W. Doehring [et al.] // *Eur. Radiol.* – 2000. – № 10. – P. 981–988. – DOI: 10.1007/s003300051049.

69. Dolman, P. J. Comparison of external dacryocystorhinostomy with nonlaser endonasal dacryocystorhinostomy / P. J. Dolman // *Ophthalmology.* – 2003. – № 110 (1). – P. 78–84. – DOI: 10.1016/s0161-6420(02)01452-5.

70. El-Boghdadly, K. The effect of virtual endoscopy on diagnostic accuracy and airway management strategies in patients with head and neck pathology: a prospective cohort study / K. El-Boghdadly, D. N. Onwochei, B. Millhoff // *Can J Anesth/J Can Anesth.* – 2017. – № 64 (11). – P. 1101–1110. – DOI: 10.1007/s12630-017-0929-6.

71. Gallagher, A. G. Fundamentals of Surgical Simulation Principles and Practices / A. G. Gallagher, G. C. O’Sullivan. – London : Springer, 2012. – 374 p.

72. Hojreh, A. Dose classification scheme for computed tomography of the paranasal sinuses / A. Hojreh, C. Czerny, F. Kainberger // *Eur J Radiol.* – 2005. – № 56. – P. 31–37. – DOI: 10.1016/j.ejrad.2004.12.006.

73. Horix, D. Long term patency rate of the external dacryocystorhinostomy. A retrospective study in the years 1991–2000 at the University Eye Hospital in Halle. / D. Horix, H. G. Struck // *Ophthalmologe.* – 2004. – № 101. – P. 268–277. – DOI: 10.1007/s00347-003-0888-x.

74. Image Processing in Radiology: Current Applications / под ред. E. Neri, D. Caramella, C. Bartolozzi. – Berlin : Springer-Verlag, 2008. – 437 p.

75. Image-guided transnasal endoscopic surgery of the paranasal sinuses and anterior skull base / A. M. Neumann Jr, Pasquale-K. Niebles, T. Bhuta, M. J. Sillers // *Am. J. Rhinol.* – 1999. – № 13. – P. 449–454. – DOI: 10.2500/105065899781329746.
76. Implementation, calibration and accuracy testing of an image-enhanced endoscopy system / R. Shahidi, M. R. Bax, C. R. Maurer Jr [et al.] // *IEEE Trans Med Imaging.* – 2002. – № 21 (12). – P. 1524–1535. – DOI: 10.1109/tmi.2002.806597.
77. *Information Processing in Computer-Assisted Interventions* / под ред. R. H. Taylor, G.-Z. Yang. – Berlin : Springer-Verlag, 2013. – 111 p.
78. *Interactive Technology and the New Paradigm for Healthcare* / K. Morgan, R. M. Satava, H. B. Sieburg [et al.]. – Washington, DC : IOS Press, 1995. – 484 p.
79. *Intraoperative Imaging and Image Guided Therapy* / под ред. Ferenc A. Jolesz. – New York : Springer, 2014. – 893 p.
80. Jawaheer, L. Endonasal versus external dacryocystorhinostomy for nasolacrimal duct obstruction (Review) / L. Jawaheer, C. J. MacEwen, D. Anijeet // *Cochrane Database of Systematic Reviews.* – 2017. – № 2. – P. CD007097. – DOI: 10.1002/14651858.CD007097.
81. Kim, M. Computed tomographic dacryocystography as compared with X-ray dacryocystography in patients with dacryostenosis / M. Kim, S. Kim, V. Khovrin. – DOI: 10.1594/ecr2016/C-1887. – Текст : электронный // *ECR.* – 2016. – № C-1887. – P. 1–11. – URL: <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2014/C-0302> свободный. – Загл. с экрана.
82. Kountakis, S. E. *Encyclopedia of Otolaryngology, Head and Neck Surgery* / E. S. Kountakis. – Berlin:Springer, 2013. – 3079 p.
83. Leong, S. C. A systematic review of outcomes after dacryocystorhinostomy in adults / S. C. Leong, C. J. Macewen, P. S. White // *Am J Rhinol Allergy.* – 2010. – № 24 (1). – P. 81–90. – DOI: 10.2500/ajra.2010.24.3393.
84. Linberg, J. V. Primary acquired nasolacrimal duct obstruction. A clinicopathologic report and biopsy technique / J. V. Linberg, S. A. Mc Cormick // *Ophthalmology.* – 1986. – № 93. – P. 1055–1063.

85. Lorensen, W. E. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm / W. E. Lorensen, H. E. Cline // *Comput Graph.* – 1987. – № 21 (4). – P. 163–169. – DOI: 10.1145/37401.37422.
86. Maliborski, A. Diagnostic imaging of the nasolacrimal drainage system. Part I. Radiological anatomy of lacrimal pathways. Physiology of tear secretion and tear outflow / A. Maliborski, R. Różycki // *Med Sci Monit.* – 2014. – № 20. – P. 628–638. – DOI: 10.12659/MSM.890098.
87. Mäntynen, J. Results of dacryocystorhinostomy in 96 patients / J. Mäntynen, M. Yoshitsugu, M. Rautiainen // *Acta Otolaryngol Suppl.* – 1997. – № 529. – P. 187–189. – DOI: 10.3109/00016489709124118.
88. Massaro, B. M. Endonasal laser dacryocystorhinostomy: a new approach to nasolacrimal duct obstruction / B. M. Massaro, R. S. Gonnering, G. J. Harris // *Arch Ophthalmol.* – 1990. – № 108. – P. 1172–1176. – DOI: 10.1001/archopht.1990.01070100128048.
89. McDonogh, M. Endoscopic transnasal dacryocystorhinostomy / M. McDonogh, J. H. Meiring // *Journal of Laryngology and Otology.* – 1989. – № 103 (6). – P. 585–587. – DOI: 10.1017/s0022215100109405.
90. Morphological and morphometric evaluation of lacrimal groove / E. Ipek, K. Esin, K. Amac [et al.] // *Anatomical Science International.* – 2007. – № 82. – P. 207–210. – DOI: 10.1111/j.1447-073X.2007.00185.x.
91. MR dacryocystography: comparison with dacryoendoscopy in positional diagnosis of nasolacrimal duct obstruction / H. Higashi, T. Tamada, K. Mizukawa, K. Ito // *Radiol Med.* – 2016. – № 121 (7). – P. 580–587. – DOI: 10.1007/s11547-016-0632-7.
92. Nasolacrimal obstruction secondary to I (131) therapy / J. A. Burns, K. E. Morgenstern, K. V. Cahil [et al.] // *Ophthalmologic and Plastic Reconstructive Surgery.* – 2004. – № 20 (2). – P. 126–129. – DOI: 10.1097/01.iop.0000117340.41849.81.
93. Neubauer, A. Virtual Endoscopy in Neurosurgery: A Review / A. Neubauer, S. Wolfsberger // *Neurosurgery.* – 2013. – № 72. – P. A97–A106. – DOI: 10.1227/NEU.0b013e31827393c9.

94. New insights into the pathophysiology of primary acquired dacryostenosis / F. P. Paulsen, A. B. Thale, S. Maune, B. N. Tillmann // *Ophthalmology*. – 2001. – № 108. – P. 2329–2336. – DOI: 10.1016/s0161-6420(01)00946-0.
95. Nonlinear Virtual Colon Unfolding / A. Vilanova, R. Wegenkittl, A. König, E. Gröller. – *IEEE Visualization (VIS)*, 2001. – P. 411–418. – DOI: 10.1109/VISUAL.2001.964540.
96. Olver, J. *Colour Atlas of Lacrimal Surgery* / J. Olver. – London : Elsevier Health Sciences, 2002. – 224 p.
97. Paik, J. S. Comparison of endoscopic revision for failed primary external versus endoscopic dacryocystorhinostomy / J. S. Paik, W. K. Cho, S. W. Yang // *Clin Exp Ophthalmol*. – 2013. – № 41 (2). – P. 116–121. – DOI: 10.1111/j.1442-9071.2012.02844.x.
98. Pár, I. Endoscopic endonasal dacryocystorhinostomy: indications, technique and results / I. Pár, I. Pliskvová, J. Plch // *CeskSlovOftalmol*. – 1998. – № 54 (6). – P. 387–391.
99. Patient satisfaction in our initial experience with endonasal endoscopic non-laser dacryocystorhinostomy / M. R. Mathew, R. McGuinness, L. A. Webb [et al.] // *Orbit*. – 2004. – № 23 (2). – P. 77–85. – DOI: 10.1080/01676830490501415.
100. Paulsen, F. P. Anatomy and physiology of efferent tear ducts / F. P. Paulsen // *Ophthalmologie*. – 2008. – № 105. – P. 339–345. – DOI: 10.1007/s00347-008-1735-x.
101. Perspective volume rendering of CT and MR images: Applications for endoscopic imaging / G. D. Rubin, C. F. Beaulieu, V. Argiro [et al.] // *Radiology*. – 1996. – № 199. – P. 321–339. – DOI: 10.1148/radiology.199.2.8668772.
102. Pieper, C. C. Imaging and interventional procedures of the lacrimal drainage system / C. C. Pieper, D. Thomas. – DOI: org/10.1594/ecr2016/C-0624. – Текст : электронный // *ECR 2016*. – № C-0624. – P. 1–25. – URL: <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2016/C-0624> свободный. – Загл. с экрана.

103. Presutti, L. Endoscopic Surgery of the Lacrimal Drainage System / L. Presutti, F. Mattioli ; eds. Livio Presutti, Francesco Mattioli. – Heidelberg : Springer, 2016. – 99 p.

104. Prospective randomized comparison of endonasal endoscopic dacryocystorhinostomy and external dacryocystorhinostomy / J. Hartikainen, J. Antila, M. Varpula [et al.] // *Laryngoscope*. – 1998. – № 108 (12). – P. 1861–1866. – DOI: 10.1097/00005537-199812000-00018.

105. Rex, D. K. An initial experience with screening for colon polyps using spiral CT with and without CT colography (virtual colonoscopy) / D. K. Rex, D. Vining, K. K. Kopecky // *Gastrointest Endosc*. – 1999. – № 50. – P. 309–313. – DOI: 10.1053/ge.1999.v50.97776.

106. Robb, R. A. Virtual endoscopy: development and evaluation using the visible human datasets / R. A. Robb // *Comput Med Imaging Graph*. – 2000. – № 24 (3). – P. 133–151. – DOI: 10.1016/s0895-6111(00)00014-8.

107. Rogalla, P. Virtual Endoscopy and Related 3D Techniques / P. Rogalla, J. Terwisscha van Scheltinga, B. Hamm. – Springer Science & Business Media, 2000. – 232 p.

108. Roth, S. D. Ray casting for solid modelling / S. D. Roth // *Comput Graph Image Proc*. – 1982. – № 18. – P. 109–144. – DOI:10.1016/0146-664X(82)90169-1.

109. Shin, J. H. Impact of epiphora on vision-related quality of life / J. H. Shin, Y. D. Kim, K. I. Woo // *BMC Ophthalmol*. – 2015. – № 21. – P. 15–21. – DOI: 10.1186/1471-2415-15-6.

110. Siddiqui, P. A. Chronic Dacryocystitis – It's Evaluation and Management by Various Investigative and Diagnostic Test / P. A. Siddiqui, S. B. Bandil, S. Sukhadeve // *IOSR Journal Of Pharmacy*. – 2013. – Volume 3, Issue 10. – P. 28–33.

111. Simulation in Otolaryngology: A Teaching and Training Tool / N. Thone, M. Winter, R. J. García-Matte, C. González // *Acta Otorrinolaringologica (English Edition)*. – 2017. – № 68 (2). – P. 115–120. – DOI: 10.1016/j.otorri.2016.04.007.

112. Šimundić, A. M. Measures of Diagnostic Accuracy: Basic Definitions / A. M. Šimundić // *EJIFCC*. – 2009. – № 19 (4). – P. 203–211.

113. Springer Handbook of Medical Technology / под ред. R. Kramme, K. P. Hoffmann, R. S. Pozos – Berlin : Springer-Verlag, 2011. – 1497 p.

114. Systematic Review and Meta-Analysis on Outcomes for Endoscopic Versus External Dacryocystorhinostomy / J. Huang, J. Malek, D. Chin [et al.] // Orbit. – 2014. – № 33 (2). – P. 81–90. – DOI: 10.3109/01676830.2013.842253.

115. The feasibility of endoscopy-CT image registration in the head and neck without prospective endoscope tracking [Электронный ресурс] / W. S. Ingram, J. Yang, B. M. Beadle [et al.]. – DOI: 10.1371/journal.pone.0177886. – Текст : электронный // PLoS One. – 2017 – Vol. 12 (5). – P. 98 – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5436843/> свободный. – Загл. с экрана.

116. The feasibility of surgical site tagging with CT virtual reality of the paranasal sinuses / K. D. Hopper, A. T. Iyriboz, S. W. Wise, J. A. Fornadley // J Comput Assist Tomogr. – 1999. – № 23 (4). – P. 529–533. – DOI: 10.1097/00004728-199907000-00007.

117. Three-Dimensional Multidetector CT for Anatomic Evaluation of Orbital Tumors / J. M. Debnam, R. R. Mayer, B. Esmaeli [et al.] // Journal of Ophthalmology. – 2013. – № ID 674230. – P. 8. – DOI: 10.1155/2013/674230.

118. Three-dimensional visualization of the nasal cavity and paranasal sinuses: clinical results of a standardized approach using multislice helical computed tomography / S. Bisdas, M. Verink, H. P. Burmeister [et al.] // J Comput Assist Tomogr. – 2004. – № 28 (5). – P. 661–669. – DOI: 10.1097/01.rct.0000134198.12043.42.

119. Toti, A. Nuovo metodo conservatore di cura radicale delle suppurazioni corniche del sacco lacrimale / A. Toti // Clin Mod Firenze. – 1904.

120. Training and simulation for patient safety / R. Aggarwal, O. T. Mytton, M. Derbrew [et al.] // Quality and Safety in Health Care. – 2010. – № 19 (2). – P. i34–i43. – DOI: 10.1136/qshc.2009.038562.

121. Tyagi, A. K. Cadaver dissection and CT correlation of lacrimal sac and nasolacrimal duct: a prelude to endoscopic dacryocystorhinostomy / A. K. Tyagi. – Masters thesis, Christian Medical College, Vellore, 2012. – 100 p.

122. Udhay, P. Helical computed tomographic dacryocystography and its role in the diagnosis and management of lacrimal drainage system blocks and medial canthal masses / P. Udhay, O. V. Noronha, R. E. Mohan // *Indian Journal of Ophthalmology*. – 2008. – Vol. 56 (1). – P. 31–37. – DOI: 10.4103/0301-4738.37593.

123. Vining, D. J. Noninvasive colonoscopy using helical CT scanning, 3D reconstruction and virtual reality / D. J. Vining, D. W. Gelfand // *Syllabus of the 23rd Annual Meeting Society of Gastrointestinal Radiologists*.

124. Virtual bronchoscopy. Relationships of virtual reality endobronchial simulations to actual bronchoscopic findings / D. J. Vining, K. Liu, R. H. Choplin, E. F. Haponik // *Chest*. – 1996. – Vol. 109 (2). – P. 549–553. – DOI: 10.1378/chest.109.2.549.

125. Virtual CT Endoscopy in Determining Safe Surgical Entrance Points in Paranasal mucoceles. / T. Nakasato, K. Katoh, S. Ehara [et al.] // *J Comput Assist Tomogr*. – 2000. – № 24 (3). – P. 486–492. – DOI: 10.1097/00004728-200005000-00024.

126. Virtual endoscopy – comparison with colonoscopy in the detection of space-occupying lesions of the colon / C. L. Kay, D. Kulling, R. H. Hawes [et al.] // *Endoscopy*. – 2000. – № 32 (3). – P. 226–232. – DOI: 10.1055/s-2000-100.

127. Virtual endoscopy of the nasal cavity and the paranasal sinuses with computerized tomography: anatomical study / A. Morra, A. Calgaro, V. Cioffi [et al.] // *Radiol Med*. – 1998. – № 96 (1-2). – P. 29–34.

128. Virtual endoscopy of the nose and paranasal sinuses / P. Rogalla, A. Nischwitz, S. Gottschalk [et al.] // *European Radiology*. – 1998. – № 8 (6). – P. 946–950. – DOI: 10.1007/s003300050493.

129. Virtual endoscopy using perspective volume / E. L. Yuh, R. B. Jeffrey мл., R. L. Birdwell [et al.] // *AJR Am J Roentgenol*. – 1999. – Vol. 172 (5). – P. 1193–1197. – DOI:10.2214/ajr.172.5.10227488.

130. Virtual endoscopy: current perspectives / H. Kuwayama, M. Iimuro, Y. Kitazumi, G. Luk // *Journal of Gastroenterology*. – 2002. – № 37 (XIII). – P. 100–105. – DOI:10.1007/BF02990110.

131. Virtual nasal endoscopy in dacryology / E. Atkova, V. Yartsev, N. Krakhovetskiy, V. Sinitsyn [et al.] – Текст : электронный // ECR 2014. – URL: <http://dx.doi.org/10.1594/ecr2014/C-0302> свободный. – Загл. с экрана.

132. Virtual reality training for improving the skills needed for performing surgery of the ear, nose or throat / P. Piromchai, A. Avery, M. Laopaiboon [et al.] // Cochrane Database Syst Rev. – 2015. – № 9. – P. CD010198. – DOI: 10.1002/14651858.CD010198.pub2.

133. Virtual reality training in neurosurgery: review of current status and future applications / A. Alaraj, M. G. Lemole, J. H. Finkle [et al.] // Surg Neurol Int. – 2011. – № 2. – P. 52. – DOI: 10.4103/2152-7806.80117.

134. Vivekanand, U. Etiologies of Failed External Dacryocystorhinostomy / U. Vivekanand, S. Gonsalves // Indian Journal of Applied Research. – 2011. – Vol. 4 (3). – P. 339–340. – DOI: 10.15373/2249555X/MAR2014/103.

135. Xiao, M. The Role of Digital Subtraction Dacryocystography in the Diagnosis of the Patients with Epiphora / M. Xiao, Y. Jiang, Z. Zhiang // U. S. Chinese Journal of Ophthalmology. – 2001. – Том 1, № 2. – С. 1–3.

## СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

1. Рисунок 1 – Методика морфометрии слезных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в корональной (фронтальной) проекции. . . . С. 47
2. Рисунок 2 – Методика морфометрии слезных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в сагиттальной проекции. . . . . С. 48
3. Рисунок 3 – Методика морфометрии слезных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в аксиальной проекции. . . . . С. 49
4. Рисунок 4 – Методика морфометрии слезных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в аксиальной проекции. . . . . С. 50
5. Рисунок 5 – Методика морфометрии слезных мешков по данным бесконтрастной МСКТ в аксиальной проекции. . . . . С. 51
6. Рисунок 6 – Кадр виртуальной риноэндоскопии с визуализацией маркированной цветом модели слёзного мешка, выполненной в соответствии с методикой получения изображений согласно Патента РФ № 2499581 «Способ виртуальной эндоскопической диагностики при дакриоциститах». . . . . С. 54
7. Рисунок 7 – Визуальное интраоперационное сопоставление данных виртуальной (слева) и оптической (справа) эндоскопии. . . . . С. 55
8. Рисунок 8 – Кадры виртуальной риноэндоскопии с визуализацией сегментированной и маркированной цветом модели слёзного мешка, выполненной в соответствии с модифицированной методикой получения изображений согласно Патента РФ № 2499581 «Способ виртуальной эндоскопической диагностики при дакриоциститах» с установленной непрозрачностью стенок полости носа 35 % (1), 3 % (2) и 1 % (3) передней соответственно. . С. 57
9. Рисунок 9 – Трехмерная визуализация СОП по данным бесконтрастной МСКТ при помощи модифицированной методики сегментации и реконструкции. . . . . С. 58
10. Рисунок 10 – Графическое представление распределения объёмов

- слёзных мешков. Представлены данные сравнения увеличения объёмов слёзных мешков в основной группе при дакриоцистите и физиологического распределения объёмов слёзных мешков в контрольной группе. . . . . С. 67
11. Рисунок 11 – Графическое представление результатов ROC-анализа специфичности и чувствительности линейных размеров, объёмов и смещений слёзных мешков. . . . . С. 70
12. Рисунок 12 – Графическое представление результатов ROC-анализа специфичности и чувствительности предложенной методики виртуальной дакриоцисториноскопии и текстовых описаний результатов предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии. . . . . С. 75
13. Рисунок 13 – Кадр видеозаписи стандартной виртуальной риноэндоскопии без сегментации и цветового маркирования слёзных путей, использовавшейся при ранних вариантах КТ-навигации. . . . . С. 79
14. Рисунок 14 – Кадр видеозаписи модифицированной виртуальной риноэндоскопии с сегментацией и цветовым маркированием слёзных путей. . . . . С. 83
15. Рисунок 15 – Кадр синхронизированной видеозаписи виртуальной риноэндоскопии с сегментацией и цветовым и виртуальным маркированием слёзных путей слева и трансиллюминации слёзного мешка во время интраоперационной эндоскопической дакриоцисториностомии (справа). . . . . С. 84
16. Рисунок 16 – Кадр синхронизированной видеозаписи оптической риноэндоскопии во время эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии справа на этапе удаления слёзной кости при помощи дрели (слева) в сравнении с кадром виртуальной риноэндоскопии, использовавшейся при навигации (справа). . . . . С. 87
17. Рисунок 17 – Кадр синхронизированной видеозаписи оптической

- риноэндоскопии во время эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии справа на этапе контроля проходимости сформированной дакриоцисториностомы в сравнении с кадром виртуальной риноэндоскопии, использовавшейся при навигации (справа). . . . . С. 88
18. Таблица 1 – Сравнение диагностической ценности получаемых при помощи ВЭ и традиционных способов представления данных МСКТ в отношении бронхоскопии, как референсного метода по данным Rapp-Bernhardt с соавт. . . . . С. 30
19. Таблица 2 – Случаи ошибок при оценке при помощи ВЭ и традиционных способов представления данных МСКТ в отношении бронхоскопии как референсного метода по данным Rapp-Bernhardt с соавт. . . . . С. 30
20. Таблица 3 – Сравнение диагностической ценности получаемых при помощи ВЭ и традиционных способов представления данных МСКТ в отношении оптической риноскопии и операционной верификации после эндоназальной эндоскопической ДЦР, как референсного метода, собственные данные. . . . . С. 31
21. Таблица 4 – Характеристика клинических и анамнестических данных у обследованного контингента. . . . . С. 41
22. Таблица 5 – Перечень и общее количество исследований, проведенных исследуемым пациентам. . . . . С. 62
23. Таблица 6 – Стратификация групп результатов диагностического метода. . . . . С. 64
24. Таблица 7 – Критерии расширения слёзного мешка по данным ROC-анализа с применением индекса Юдена. . . . . С. 68
25. Таблица 8 – Сравнительные данные по диагностической ценности применявшихся методик представления результатов МСКТ. . . . . С. 73
26. Таблица 9 – Сравнение полученных данных с представленными в литературе данными о диагностической ценности ВЭ . . . . . С. 93