УДК 616-072.1+616-073.756.8:[617.764.2

DOI: 10.31549/2541-8289-2021-3-10-18

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭНДОСКОПИИ И ТЕКСТОВЫХ ОПИСАНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ СЛЕЗООТВОДЯЩИХ ПУТЕЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ЭНДОНАЗАЛЬНОЙ ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ДАКРИОЦИСТОРИНОСТОМИИ

Агеев А.Н.^{1,2}, Дергилев А.П.³, Ободов В.А.⁴, Ободов А.В.⁴

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России (Екатеринбург)

²ГБУЗ СО «Свердловская областная клиническая больница № 1»

³ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России

⁴АО «Екатеринбургский центр МНТК "Микрохирургия глаза"»

Цель исследования — оценка диагностической ценности виртуальной эндоскопии при планировании и осуществлении эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии. В исследование включены изображения слезных мешков 93 пациентов (186 изображений), подвергшихся в дальнейшем оперативному лечению дакриоцистита методом эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии. На основании предоставленных данных мультиспиральных компьютерных томограмм выполнена трехмерная реконструкция с построением виртуальной эндоскопической модели полости носа и околоносовых структур с цветовым маркированием слезоотводящих путей (виртуальная риноэндоскопия). Виртуальная модель подвергалась осмотру в заданном порядке с видеорегистрацией и предоставлялась оперирующему офтальмологу для оценки перед операцией и использования во время оперативного вмешательства. В результате статистической обработки при описании выявлены достоверные различия между интерпретацией расположения слезных мешков в соответствии с используемой классификацией локализации и при оценке виртуальной эндоскопии. При ROC-анализе диагностической ценности отмечено преимущество визуального представления результатов предоперационной компьютерной томографии в виде виртуальной эндоскопии.

Ключевые слова: слезный мешок, дакриоцистит, компьютерная томография, виртуальная эндоскопия, дакриоцисториностомия.

COMPARATIVE DIAGNOSTIC VALUE OF VIRTUAL ENDOSCOPY AND TEXT DESCRIPTIONS OF COMPUTER TOMOGRAPHY OF THE LACRIMAL PASSAGES IN PLANNING AND IMPLEMENTATION OF ENDONASAL ENDOSCOPIC DACRYOCYSTORHINOSTOMY

Ageev A.N.^{1,2}, Dergilev A.P.³, Obodov V.A.⁴, Obodov A.V.⁴

¹Ural State Medical University

²Sverdlovsk Regional Clinical Hospital No. 1 (Ekaterinburg)

³Novosibirsk State Medical University

⁴IRTC Eye Microsurgery Ekaterinburg Center

The aim of the study was to assess the diagnostic value of virtual endoscopy in planning and implementing endonasal endoscopic dacryocystorhinostomy. The study included images of lacrimal sacs of 93 patients (186 images) who underwent further surgical treatment of dacryocystitis by endonasal endoscopic dacryocystorhinostomy. Based on the data provided by the multispiral computed tomograms, a three-dimensional reconstruction was per-

Автор, ответственный за переписку

Дергилев Александр Петрович: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 52.
E-mail: a.dergilev@mail.ru

Corresponding author

Dergilev Aleksandr Petrovich: Novosibirsk State Medical University, 52, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia.
E-mail: a.dergilev@mail.ru

© ФГБОУ ВО НГМУ Минздрава России, 2021

formed with the generation of a virtual endoscopic model of the nasal cavity and paranasal structures with color coding of the lacrimal passages (virtual rhinoendoscopy). The virtual model was examined according to a given order with video recording and presented to the operating ophthalmologist for preoperative assessment and use during surgery. As a result of statistical processing, significant differences were revealed between the interpretation of the location of the lacrimal sacs when describing in accordance with the classification of localization used and when assessing virtual endoscopy. The ROC analysis of diagnostic value revealed the advantage of visual presentation of the results of preoperative computed tomography in the form of virtual endoscopy.

Keywords: lacrimal sac, dacryocystitis, computed tomography, virtual endoscopy, dacryocystorhinostomy.

ВВЕДЕНИЕ

Предоставление данных о синтопии слезоотводящих путей и внутриносовых структур — ключевая задача предоперационной компьютерной томографии при планировании эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии наряду с исключением новообразований, травматической деформации костных структур и аномалий развития как причин дакриостеноза. Высокая вариативность индивидуальной анатомии внутриносовых и околоносовых структур, а также локализация нижнего отдела слезного мешка требуют достоверного представления данных о месте его расположения таким образом, чтобы они могли быть однозначно восприняты оперирующим офтальмологом или ЛОР-врачом, использующими эндоназальный доступ.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать и оценить достоверность методики виртуальной эндоскопии как перспективного способа представления результатов предоперационной компьютерной томографии для предоперационного планирования и интраоперационной навигации слезного мешка и прилежащих структур при выполнении эндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 93 пациента с клинически подтвержденным дакриоциститом, которые подвергались 186 оперативным вмешательствам, выполненным методом эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии. Всем пациентам рутинно выполнялась предоперационная мультиспиральная компьютерная томография. Сканирование производилось в режиме спирального сбора данных при 64 активных линейках детекторов на компьютерных томографах Aquilon-64 (Toshiba, Япония), Brilliance-64 (Philips, Нидерланды) и 16 активных линейках детекторов на компьютерном томографе BrightSpeed-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 (30).

Все связанные с данным исследованием дополнения к рутинному диагностическому процессу относились исключительно к постобработке и выполнялись в качестве дополнения протокола предоперационного обследования, за счет чего достигалось отсутствие отрицательного влияния исследования на стандартную предоперационную диагностику.

Проекция центрального отдела слезного мешка на латеральную стенку полости носа оценивалась в режиме мультипланарной реконструкции после корректировки полученного объема томографических данных с приведением межскуловой линии в коронарную плоскость и хиатомаentalной плоскости черепа в аксиальную плоскость, что гарантировало горизонтальное расположение осей оснований средних носовых раковин.

Таким образом, вне зависимости от укладки пациента в момент сканирования достигалась стандартизованная ориентация глазниц и внутриносовых структур, что позволило использовать референсные линии пересечения перпендикулярных плоскостей в качестве ориентиров для проецирования слезного мешка на латеральную стенку полости носа.

Текстовое описание результатов исследования выполнялось в свободной форме, с представлением жесткой копии изображений на пленочном носителе и цифровой копии изображений на CD с данными мультипланарной рекон-

Рис. 1. Сегментация объема данных КТ для выделения слезоотводящих путей. Этап выбора плотности выделяемых структур: А — аксиальная плоскость мультипланарной реконструкции; В — референсная трехмерная реконструкция, отображающая выделенный объем; С — корональная плоскость мультипланарной реконструкции; D — сагиттальная плоскость мультипланарной реконструкции

струкции в формате DICOM. При оценке расположения слезного мешка применялась следующая классификация расположения:

- 1) «типичное расположение» — на уровне переднего конца средней носовой раковины;
- 2) «переднее расположение» — впереди от переднего конца средней носовой раковины;
- 3) «заднее расположение» — сзади от переднего конца средней носовой раковины [1].

Также указывался вариант расположения слезного мешка в вертикальной плоскости:

- 1) «типичное расположение» — на уровне основания средней носовой раковины;
- 2) «верхнее расположение» — выше основания средней носовой раковины более чем на 2 мм [2].

Правильность выбора плоскостей контролировалась на основании трехмерных виртуальных реконструкций костей лицевого скелета. Построение трехмерной модели слезоотводящих путей выполнялось при помощи рабочей станции Philips Extended Brilliance Workspace.

При помощи пакета «Сегментация ткани» на мультипланарных реконструкциях в трех проекциях выполнялось последовательное послойное выделение контуров слезоотводящих путей в выделенном объеме ткани в диапазоне КТ-плотности от -15 HU до $+50$ HU, что позволило исключить из маркируемого объема слезоотводящих путей костные структуры, окружающую жировую клетчатку, а также клетчатку век, области переносицы (рис. 1).

На основании данных КТ-плотности определяется цветовое выделение объема слезного мешка (стрелки) и отсутствие цветового выделения пребульбарной клетчатки (головки стрелок). Производилось выделение наружных контуров слезных мешков в аксиальной проекции при параметрах электронного окна W/L 340/40 HU (окно для мягких тканей, Soft Tissue) в реконструкции с меньшим керналем конволюции (рис. 2, 3).

Правильность выделения объема слезоотводящих путей контролировалась на перпендикулярных мультипланарных реконструкциях и трехмерной реконструкции (см. рис. 3).

При помощи инструмента построения поверхностей (Surface) формировались трехмерные модели слезных мешков и носослезных каналов, правильность выделения которых контролировалась на перпендикулярных мультипланарных и трехмерных реконструкциях. Поскольку плотность содержимого слезных мешков не превышала +50 HU, для наи-

Рис. 2. Сегментация объема данных КТ для выделения слезоотводящих путей. Этап определения контуров, аксиальная плоскость. Из выделенного на основании данных КТ-плотности объема выполняется послойное выделение слезоотводящих путей

Рис. 3. Сегментация объема данных КТ для выделения слезоотводящих путей. Этап контроля полученного объема:

- А — аксиальная плоскость мультипланарной реконструкции; В — референсная трехмерная реконструкция, отображающая выделенный объем; С — корональная плоскость мультипланарной реконструкции;
- Д — сагиттальная плоскость мультипланарной реконструкции

Рис. 4. Трехмерная реконструкция объема данных КТ для демонстрации слезоотводящих путей относительно интраназальных структур. Этап выбора предустановки трехмерной реконструкции выделенного объема

более отчетливой их визуализации с высоким уровнем детализации поверхности выделенного объема применялась предустановка трехмерной стандартной визуализации, предназначенная для трехмерного отображения очагов низкой плотности (субсолидных очагов в легких), обеспечивающая оптимальное соотношение видимости сегментированного объема слезоотводящих путей и окружающих их структур, не включенных в сегментированный объем (рис. 4).

При помощи пакета эндоскопической визуализации формировалась модель виртуальной эндоскопии с углом обзора 60° по геометрии изображения, совпадающим 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 на всем протяжении с сохранением четко прослеживаемых границ,

что формировало картину «стеклянных стенок». Подключение визуализации моделей слезных мешков позволяло отчетливо видеть их границы сквозь латеральную стенку полости носа (рис. 5).

Последовательность осмотра трехмерной модели среднего носового хода полностью повторяла протокол осмотра при оптической риноэндоскопии во время эндоскопической дакриоцистостомии. Передвижение регистрировалось при помощи встроенного пакета записи видеоряда с экрана с высоким качеством рендеринга изображения, степень непрозрачности модели стенок полости носа во время записи изменялась для демонстрации внутриносовых структур и слезоотводящих путей.

Полученные данные эндоскопической визуализации для 93 исследований в дополнение к протоколам описаний и заключениям передавались в качестве дополнительного материала хирургам-эндоскопистам в электронном виде на физических носителях или отправлялись на электронную почту.

Результаты классификации расположения слезных мешков в текстовых описаниях и визуализации посредством виртуальной эндоскопии

А

В

Рис. 5. Трехмерная реконструкция объема данных КТ для демонстрации слезоотводящих путей относительно интраназальных структур. Этап выбора прозрачности стенок полости носа (А). Отчетливо видны контуры внутриносовых ориентиров, включая среднюю носовую раковину (стрелка). Сквозь частично прозрачную латеральную стенку полости носа отчетливо видна реконструкция слезоотводящих путей (головки стрелок), которые не видны позади нее при виртуальной эндоскопии без настройки прозрачности (В) и при оптической эндоскопии

сопоставлялись с результатами эндоскопических эндоназальных операций.

Статистическая обработка выполнялась в два этапа. На первом этапе для статистического подтверждения достоверности различий между результатами оценки расположения слезных мешков в текстовом виде по классификации и посредством виртуальной эндоскопии применялся критерий χ^2 (хи-квадрат Пирсона) для таблиц сопряженности 2×2 .

На втором этапе выполнялся сравнительный анализ диагностической ценности при помощи метода операционных характеристических кривых наблюдателя — Receiver Operating Characteristic curve (ROC-анализ) с применением индекса Юдена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные виртуальной эндоскопии сопоставлены с оценочными данными класси-

кации расположения слезных мешков и результатами операций для 93 пациентов (186 слезных мешков).

Значение критерия χ^2 для таблиц сопряженности 2×2 составило 52,61, что соответствует уровню статистической значимости $p < 0,0001$; при уровне вероятности случайного проявления ошибки менее уровня значимости ($p < 0,05$) различия оцениваются как статистически достоверные, таким образом, полученное значение χ^2 демонстрирует наличие статистически достоверных различий между результатами методик.

При применении парного ROC-анализа 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.

Рис. 6. Характеристические кривые специфичности и чувствительности предложенной методики виртуальной эндоскопии и текстовых описаний результатов предоперационной компьютерной томографии по данным ROC-анализа

Для предложенной методики виртуальной эндоскопии площадь под ROC-кривой составила $0,992 \pm 0,01$, что соответствует отличной прогностической ценности методики [3].

Разность площадей под ROC-кривой составила $0,418 \pm 0,03$ ($p < 0,0001$), z -критерий — 15,71, что наглядно демонстрирует преимущество диагностической ценности методики виртуальной эндоскопии (рис. 6).

Принципы построения трехмерных моделей для виртуальной эндоскопии на основании данных компьютерной томографии впервые представлены Vining в середине 1990-х — начале 2000-х и в существующем виде предложены в 1993 и 1994 г. для виртуальной колоноскопии и бронхоскопии соответственно, в дальнейшем дорабатывались Rubin с соавт. в 1996, Yuh с соавт. в 1999; в настоящее время применяются для визуализирующей диагностики во всех отделах тела, однако наиболее широкое применение находят в диагностике полипов толстой кишки и бронхов. Единичные упоминания применения эндоскопии для полости носа и околоносовых пазух в литературе, представленные Morra в 1998 [4] и Strauss в 2009 [5], вновь упоминаются Karakin в 2016 [6] и Shallik в 2019 [7], однако данные публикации не содержат статистической оценки достоверности методики.

В ходе подбора оптимальных параметров визуализации для демонстрации виртуальной эндоскопии предпочтение отдано рекомендованному J. Kettenbach, W. Birkfellner и P. Rogalla углу в 60° [8] как оптимальному для оценки позиции виртуального эндоскопа, а также позволяющему избежать деформации изображений и неадекватной оценки размеров визуализируемых структур.

Субъективно оперирующими офтальмологами, использующими видеозаписи виртуальной эндоскопии для предоперационного планирования и интраоперационной навигации, отмечено лучшее восприятие и осознание топографии и топометрии слезного мешка при моделировании операционного поля с визуализацией слезоотводящих путей в четырехмерном формате (видео-записи осмотра трехмерной модели).

Низкая диагностическая ценность оценки расположения слезного мешка в соответствии с классификацией соответствует данным, представленным Tuagi, демонстрирующим отсутствие корреляции между результатами описания компьютерной томографии и секционного исследования. Это наиболее вероятно объясняется тем, что подробное описание методики определения, принимаемой в качестве точки измерения для оценки смещения и расположения части слезно-

го мешка, в литературе не представлено. Следовательно, в зависимости от выбираемой точки сопоставления (дно, центр или область перехода слезного мешка в слезный проток) возможны значительные расхождения в оценке наличия и типа смещения слезного мешка по классификации, причем вероятность ошибки интерпретации увеличивается в соответствии со степенью дилатации слезного мешка [9–11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют прийти к следующим выводам:

1. Диагностическая ценность текстовых описаний расположения слезного мешка по заключениям МСКТ расценена как низкая — площадь под ROC-кривой в 0,574.

2. Разработанная, апробированная и внедренная в практику методика виртуальной эндоскопии с сегментацией и цветовым маркированием слезоотводящих путей продемонстрировала высокие показатели диагностической ценности в предоперационном планировании и интраоперационной навигации (площадь под ROC-кривой составила $0,992 \pm 0,01$, что соответствует отличной прогностической ценности методики), со статистически достоверными отличиями результатов от применяемой в настоящее время описательной методики расположения слезного мешка относительно внутриносевых структур.

3. Субъективно оперирующими офтальмологами отмечено лучшее восприятие и осознание топографии и топографии слезного мешка, достигаемое моделированием операционного поля с визуализацией слезного мешка в четырехмерном формате (видеозаписи осмотра трехмерной модели).

4. Данное исследование позволяет рекомендовать виртуальную риноэндоскопию с визуализацией слезного мешка в качестве дополнения стандарта предоперационного исследования и совершенствования протокола операции эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии, операции эндоскопической лакриностомии и других вмешательств на слезоотводящих путях.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бржеский В.В., Астахов Ю.С., Кузнецова Н.Ю. Заболевания слезного аппарата. Пособие для практикующих врачей. СПб.: Эко-Вектор, 2009. 108 с.

- Ободов В.А., Агеев А.Н., Крушинин А.В., Борзенкова Е.С., Шляхтов М.И. Эндоназальная эндоскопическая дакриоцисториностомия с использованием навигационной системы // Федоровские чтения – 2012: IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Екатеринбург, 2012. С. 82–83.
- Šimundić A.M. Measures of Diagnostic Accuracy: Basic Definitions // EJIFCC. 2009. Vol. 19 (4). С. 203–211.
- Morra A., Calgaro A., Cioffi V. et al. Virtual endoscopy of the nasal cavity and the paranasal sinuses with computerized tomography. Anatomical study // Radiol. Med. 1998. Vol. 96 (1–2). С. 29–34.
- Strauss G., Limpert E., Fischer M. et al. Virtual endoscopy of the nose and paranasal sinuses in real-time. Surgical planning system "Sinus endoscopy" (SPS-SE) // HNO. 2009. Vol. 57 (8). P. 789–796. DOI: 10.1007/s00106-009-1977-1.
- Kapakin S. The paranasal sinuses: three-dimensional reconstruction, photo-realistic imaging, and virtual endoscopy // Folia Morphol (Warsz). 2016. Vol. 75 (3). P. 326–333. DOI: 10.5603/FM.a2016.0006.
- Virtual Endoscopy and 3D Reconstruction in the Airways. Eds.: N.A. Shallik, A.H. Moustafa, M.A.E. Marcus. Berlin: Springer, 2019. 174 с.
- Image Processing in Radiology: Current Applications / Ed. E. Neri, D. Caramella, C. Bartolozzi. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 437 с.
- Байменов А.Ж. Усовершенствование диагностики и повышение эффективности лечения заболеваний слезного мешка при эндоназальной дакриоцисториностомии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2015. 49 с.
- Бобров Д.А. Эндоназальная микроэндоскопическая хирургия в лечении хронического дакриоцистита: дис. ... канд. мед. наук. Ярославль, 2004. 124 с.
- Кульбаев Н.Д., Нигматуллин Р.Т., Щербаков Д.А. Роль компьютерной томографии с функцией 3D в подготовке к дакриоцисториностомии // Офтальмологические ведомости. 2011. Т. IV, № 3. С. 38–40.

Поступила 18.08.2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Агеев Артем Никифорович — ассистент кафедры онкологии и лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ГАУЗ СО «Свердловская областная клиническая больница № 1» (Екатеринбург).

Дергилев Александр Петрович — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Ободов Виктор Алексеевич — канд. мед. наук, помощник генерального директора по клинико-экспертной работе АО «Екатеринбургский центр МНТК "Микрохирургия глаза"».

Ободов Андрей Викторович — врач-офтальмолог I хирургического отделения АО «Екатеринбургский центр МНТК "Микрохирургия глаза"».

Образец цитирования: Агеев А.Н., Дергилев А.П., Ободов В.А., Ободов А.В. Сравнительная диагностическая ценность виртуальной эндоскопии и текстовых описаний компьютерной томографии слезоотводящих путей при планировании и осуществлении эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии // Сиб. мед. вестн. 2021. № 3. С. 10–18.