

УДК 616-7/-78+616.21/.216-089
DOI: 10.35693/2500-1388-2021-6-1-14-19

Определение необходимых условий для выполнения робот-ассистированных операций в полости носа

О.В. Мареев, Г.О. Мареев, Д.Д. Цымбал, О.И. Афонина
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Минздрава России (Саратов, Россия)

Аннотация

Цель — определить необходимые условия для выполнения робот-ассистированных операций в полости носа.

Материал и методы. Проведены исследования перемещения эндоскопа в пространстве путем измерений по данным компьютерной томографии высокого разрешения (50 КТ околоносовых пазух). Томограммы подбирались случайным образом из числа пациентов лор-клиники Саратовского ГМУ. Основные параметры, характеризующие перемещение эндоскопа в полости носа в заданных нами условиях, — величина его линейного смещения от точки входа и угол отклонения, измеренные в трех плоскостях — фронтальной, сагиттальной и горизонтальной, при условии прохождения плоскостей этих срезов через точку входа при различных операциях. Были проведены измерения перемещений эндоскопа в пространстве при помощи изготовленной нами системы оптического трекинга и специализированного программного обеспечения. Проводились измерения на черепах и их моделях, силиконовой модели тренажера для эндоскопического осмотра K. Storz 723128, а также при проведении реальных эндоскопических вмешательств на околоносовых пазухах. Исследования были объединены по группам, согласно стандартным протоколам эндоскопических операций, проводимых эндоназально: «Передняя этмоидотомия», «Задняя этмоидотомия», «Фронтотомия», «Гайморотомия», «Сфенотомия», «Аденотомия».

Результаты. Установлены основные характеристики перемещения эндоскопа в полости носа при заданной точке входа в области носдри — максимальное линейное и угловое его смещение при проведении различных типов FESS хирургических вмешательств для взрослых лиц.

Результаты могут служить основными критериями разработки специализированного робота-ассистента, держащего и перемещающего эндоскоп в пространстве при проведении FESS.

Ключевые слова: FESS; робот-ассистированная хирургия; эндоскопия; придаточные пазухи носа.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:

Мареев О.В., Мареев Г.О., Цымбал Д.Д., Афонина О.И.
Определение необходимых условий для выполнения робот-ассистированных операций в полости носа. *Наука и инновации в медицине.* 2021;6(1):14-19. doi: 10.35693/2500-1388-2021-6-1-14-19

Сведения об авторах

Мареев О.В. — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии. ORCID: 0000-0002-7240-5651

E-mail: ovmareew@mail.ru

Мареев Г.О. — д.м.н., профессор кафедры оториноларингологии.

ORCID: 0000-0002-5906-8080

E-mail: dr-mareev@mail.ru

Цымбал Д.Д. — аспирант кафедры оториноларингологии.

ORCID: 0000-0001-7483-3150

E-mail: denonlp@yandex.ru

Афонина О.И. — к.м.н., доцент кафедры оториноларингологии.

ORCID: 0000-0002-5118-1812

E-mail: novosti999@rambler.ru

Автор для переписки

Цымбал Денис Дмитриевич

Адрес: Саратовский государственный медицинский университет, ул. Б. Казачья, 112, г. Саратов, Россия, 410012.

E-mail: denonlp@yandex.ru

КТ — компьютерная томография; FESS — Functional Endoscopic Sinus Surgery.

Рукопись получена: 23.01.2021

Рецензия получена: 03.02.2021

Решение о публикации принято: 10.02.2021

Assessment of the necessary conditions for robot-assisted surgery in the nasal cavity

Oleg V. Mareev, Gleb O. Mareev, Denis D. Tsymbal, Olga I. Afonina
Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (Saratov, Russia)

Abstract

Objectives - to determine the necessary conditions for performing robot-assisted operations in the nasal cavity.

Material and methods. We have investigated the movement of an endoscope in space by measurements based on high-resolution computed tomography (CT) data. A total of 50 CT scans of the paranasal sinuses were used for this purpose. The tomograms were randomly selected from among the patients of the ENT clinic of the Saratov State Medical University. The main parameters characterizing the movement of the endoscope in the nasal cavity under the conditions set by us are the magnitude of its linear displacement from the entry point and the angle of its deviation, measured in three planes - frontal, sagittal and horizontal, provided

that the planes of these sections pass through the entry point during various operations. To control these measurements, we detected the displacements of the endoscope in space using an optical tracking system we made, as well as specialized software designed specifically for the purpose of optical tracking. With the help of this device, measurements were carried out on the skulls and their models, the silicone model for endoscopic examination K. Storz 723128, as well as during real endoscopic operations on the paranasal sinuses. All studies were combined into groups according to the standard protocols of endoscopic operations performed endonasally: "Anterior ethmoidotomy", "Posterior ethmoidotomy", "Frontotomy", "Sinusotomy", "Sphenotomy", "Adenotomy".

Results. The main characteristics of the movement of the endoscope in the nasal cavity at a given entry point in the nostril area were established - its maximum linear and angular displacement during various types of FESS interventions for adults.

The results obtained by us can serve as the main criteria for the development of a specialized robot assistant that holds and moves the endoscope in space during FESS.

Keywords: FESS, robot-assisted surgery, endoscopy, paranasal sinuses.

Citation

Mareev OV, Mareev GO, Tsymbal DD, Afonina OI. **Assessment of the necessary conditions for robot-assisted surgery in the nasal cavity.** *Science and Innovations in Medicine.* 2021;6(1):14-19. doi: 10.35693/2500-1388-2021-6-1-14-19

Information about authors

Oleg V. Mareev – PhD, Professor, the Head of the Department of otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0002-7240-5651
E-mail: ovmareew@mail.ru

Gleb O. Mareev – PhD, Professor, Department of otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0002-5906-8080
E-mail: dr-mareev@mail.ru

Denis D. Tsymbal – Postgraduate of the Department of otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0001-7483-3150
E-mail: denonlp@yandex.ru

Olga I. Afonina – PhD, Associate professor, Department of otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0002-5118-1812
E-mail: novosti999@rambler.ru

Corresponding Author

Denis D. Tsymbal
Address: Saratov State Medical University, 112 B. Kazachiya st., Saratov, Russia, 410012.
E-mail: denonlp@yandex.ru

Received: 23.01.2021

Revision Received: 03.02.2021

Accepted: 10.02.2021

ВВЕДЕНИЕ

Эндоскопические операции на полости носа и околоносовых пазухах широко вошли в практику современных оториноларингологов. Со времен осмотра полости носа Альфредом Хиршманом в 1901 году [1] технологические достижения сделали возможным появление соответствующей техники и философии функциональной эндоскопической хирургии околоносовых пазух (FESS). В 1960-х годах Гарольд Хопкинс предложил конструкцию эндоскопа на стержневых линзах, который давал больше света и имел значительно лучшее разрешение, чем предыдущие конструкции. Система стержневой оптики Хопкинса считается поворотным моментом в эндоскопии [2]. Основные принципы техники эндоскопической эндоназальной хирургии были разработаны в 1970-х годах австрийскими хирургами Хайнцем Штаммбергером и Вальтером Мессерклингером [3, 4] для лечения хронического синусита, резистентного к медикаментозному лечению. В 1985 году доктор Дэвид Кеннеди (прошедший обучение у этих двух хирургов) был первым автором, использовавшим термин «функциональная эндоскопическая хирургия околоносовых пазух» (functional endoscopic sinus surgery, далее FESS) [5]. Эта хирургическая техника произвела революцию в ринологии, превратив открытые нефункциональные операции в малоинвазивную хирургию, предназначенную для восстановления функциональной и физиологической вентиляции носовых пазух. Совершенствование оперативных техник, методик и эндоскопического оборудования впоследствии позволило расширить возможности FESS на опухоли основания черепа и черепных ямок. Однако эти обширные операции ограничены новыми осложнениями (кровотечение и утечка спинномозговой жидкости), требующими одновременного использования нескольких инструментов (эндоскопа, аспирации, захватывающих щипцов, коагуляции). Традиционное выполнение FESS даже при рутинных операциях на околоносовых пазухах сопряжено с теми же ограничениями, связанными с оперированием одной рукой. Чтобы преодолеть эти ограничения, рядом авторов [6, 7] была предложена бимануальная техника, или «хирургия в четыре руки». Она позволяет проводить FESS командой из двух хирургов с использованием нескольких инструментов, введенных через две ноздри. Эта техника иллюстрирует

возможность работы с более чем двумя инструментами в полости носа, но имеет ряд значительных недостатков: метод плохо воспроизводится, не очень эргономичен, и для его реализации требуется наличие двух одинаково опытных хирургов [8].

В настоящее время известны различного рода устройства, предназначенные для удержания хирургических инструментов или эндоскопа и позиционирования их в пространстве при выполнении различных оперативных вмешательств, как правило, лапароскопических или эндоскопических. Все подобные устройства можно разделить на пассивные и активные. Пассивные устройства предназначены только для удержания хирургического инструментария (например, эндоскопа) в заданном положении. Для изменения их положения в пространстве необходимо непосредственное участие человека. Примером пассивных устройств могут служить выпускающиеся малыми сериями механизмы Point Setter (K. Storz, Германия), Strong Arm System (Mediflex Surgical Product, США) и ряд других подобных устройств [9].

Активные устройства способны не только удерживать хирургический инструмент в заданной позиции, но и изменять его положение без непосредственного воздействия на сам механизм человека, подчиняясь его дистанционным командам, фактически являясь роботизированным манипулятором. Хирургия с применением подобных устройств во время оперативного вмешательства называется робот-ассистированной. Наибольшую известность в данной области получила хирургическая система da Vinci (Intuitive Surgical, США). Разработанная в 90-е годы XX века система пережила период внедрения в широкую клиническую практику и лишь к 2010 году прочно заняла лидирующее место в определенных отраслях медицины как незаменимый помощник в проведении ряда оперативных вмешательств. В настоящее время эта система широко используется для проведения хирургических вмешательств на самых различных органах человека. В литературе были сообщения об использовании ее трансназально для хирургии передней черепной ямки [10], а также для комбинированного трансназального и трансорального доступа [11]. Но поскольку изначально система была предназначена для ассистирования при лапароскопических операциях в брюшной полости, применять ее в ринологии практически невозможно.

Значительные размеры и общая компоновка системы da Vinci не позволяют использовать ее для FESS [12].

В литературе встречаются также данные о различных экспериментальных установках, создаваемых для проведения робот-ассистированной FESS. Так, имеются данные об использовании для этой цели лапароскопического ассистента Soloassist II (AKTORmed, США) [13], модификациях роботизированной стойки Aesop (часть серийно выпускавшегося и сертифицированного к ограниченному использованию в США хирургического комплекса Zeus, Computer motion, США; в настоящее время не выпускается, работы над ней прекращены в 2002 г.) [14]. Работа [12] также содержит достаточно полный обзор имеющихся на сегодняшний день экспериментальных конструкций для робот-ассистированной FESS.

В подавляющем большинстве экспериментальных работ в этой области не используются какие-либо анатомические измерения. Авторы робот-ассистированных систем, будучи специалистами технического профиля, мало внимания обращают на специфические особенности эргономики FESS, в результате эти конструкции не всегда соответствуют своему назначению, а дальнейшее использование их на практике затруднено или невозможно.

Объединяющей все роботизированные конструкции общей проблемой является создание систем, использующих понятие «точки входа», или «точки вращения» (англ. rotation point, rotation center). Точка вращения является местом проникновения инструмента в тело человека — через естественное отверстие либо через прокол, сделанный троакаром. При этом поверхность кожи будет являться точкой вращения инструмента, который ни при каких условиях не может переместиться из этой точки, так как смещение от этой точки приведет к тяжелой травме с разрывом кожных покровов [15]. Это утверждение справедливо для лапароскопической хирургии. Для FESS точкой вращения будет являться точка, расположенная в плоскости ноздри и в ее геометрическом центре.

ЦЕЛЬ

Проведение ряда измерений, точно описывающих необходимый объем движений при выполнении FESS, является весьма актуальной задачей, так как создает основные предпосылки для создания робот-ассистированных систем.

В дальнейшей работе мы будем исходить из предположения, что при проведении робот-ассистированного вмешательства хирург манипулирует хирургическими инструментами, используя обе руки; оперирует сидя; робот-ассистент удерживает эндоскоп и манипулирует им в полости носа, находясь позади головы пациента.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Нами проведены исследования перемещения эндоскопа в пространстве путем

измерений по данным компьютерной томографии (КТ) высокого разрешения. Всего для этой цели использовалось 50 КТ околоносовых пазух, выполненных на конусном томографе высокого разрешения iCAT (США) с разрешением вокселя, равным 0.3 мм. Томограммы были подобраны случайным образом из числа пациентов лор-клиники Саратовского ГМУ, что исключает предвзятость исследования в отношении определенных краниотипов и других особенностей строения черепа. Для измерений использовалась программа Sante Dicom Viewer, в которой отмечалась точка входа, расположенная в плоскости ноздри и в ее геометрическом центре, а затем откладывались отрезки до конечных точек, достигаемых дистальным концом эндоскопа во время проведения того или иного оперативного вмешательства с использованием программных инструментов Measure Distance и Measure Angle. Основные параметры, характеризующие перемещение эндоскопа в полости носа в заданных нами условиях, — это величина его линейного смещения от точки входа и угол его отклонения, измеренные в трех плоскостях — фронтальной, сагитальной и горизонтальной, при условии прохождения плоскостей этих срезов через точку входа. Измерения проводились на каждой половине носа отдельно, таким образом необходимое полное смещение в горизонтальной плоскости составит удвоенное максимальное угловое смещение, измеренное в этой плоскости.

Для контроля указанных измерений нами были проведены измерения перемещений эндоскопа в пространстве при помощи изготовленной нами системы оптического трекинга. Устройство для оптического трекинга содержит 3 инфракрасных светодиода Osram SFH485P, питающихся от литиевого элемента CR2032. Элементы устройства собраны в пластиковом корпусе, выполненном по технологии 3D печати и имеющем специальную геометрию расположения светодиодов. Корпус устройства имеет стандартный байонетный разъем для фиксации на эндоскопе типа K. Storz. Внешний вид устройства приведен на **рисунке 1**.

Для проведения трекинга нами использовалась веб-камера Logitech HD Pro Webcam C920, из которой был удален ИК-фильтр, и программное обеспечение Free Track и Open Track. Использование ИК-диодов в

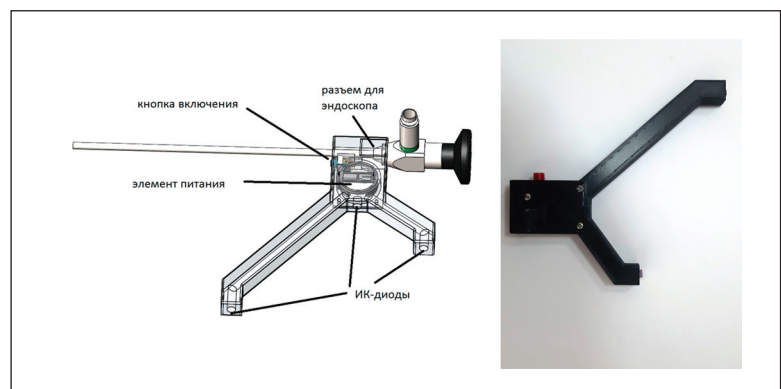


Рисунок 1. Изготовленная нами система оптического трекинга для проведения измерений перемещения эндоскопа в пространстве.

Figure 1. An optical tracking system manufactured by us for measuring the movement of the endoscope in space.



Рисунок 2. Использование системы оптического трекинга для определения характеристик движения эндоскопа в полости носа в модельном опыте.

Figure 2. The use of an optical tracking system to determine the characteristics of the endoscope movement in the nasal cavity in a model.

устройстве оптического трекинга совместно с подобной камерой позволяет проводить исследования даже при значительной освещенности помещения. Это программное обеспечение предназначено специально для целей оптического трекинга при помощи подобных устройств и имеет функции логирования, что позволяет получить файл, содержащий таблицу перемещений объекта трекинга в пространстве. Эти данные использовались нами в электронной таблице для вычисления максимальных значений показателей перемещения

эндоскопа. При указании начального положения эндоскопа выбирался эндоскоп, расположенный в точке входа и ориентированный плоскостями относительно положения черепа или модели в пространстве, схожего с положением черепа на томограмме. С помощью указанного устройства проводились измерения на черепах и их моделях (**рисунок 2**), силиконовой модели тренажера для эндоскопического осмотра K. Storz 723128, а также при проведении реальных эндоскопических вмешательств на околоносовых пазухах.

Исследование проводилось при проведении эндоскопических оперативных вмешательств пациентам лор-клиники Саратовского ГМУ по поводу различных заболеваний полости носа и околоносовых пазух. Всего таким образом проведено 45 различных оперативных вмешательств. КТ этих больных не использовались для измерений по предыдущей методике. Следует отметить, что для всех видов исследований подбирались больные старше 16 лет, то есть исследование проведено на взрослых лицах и его результаты справедливы для данной возрастной категории. Проведение такого исследования на детях различного возраста в различные периоды роста и формирования лицевого скелета должно являться предметом отдельного исследования и не рассматривается в пределах данной работы.

Все исследования были объединены по группам, согласно стандартным протоколам эндоскопических операций, проводимых эндоназально: «Передняя этмоидотомия», «Задняя этмоидотомия», «Фронтотомия», «Гайморотомия», «Сфенотомия», «Аденотомия».

		Передняя этмоидотомия	Фронтотомия	Гайморотомия	Задняя этмоидотомия	Сфенотомия	Аденотомия
Угол отклонения в сагиттальной плоскости, град	M	38,67	36,77	27,61	27,05	24,66	1,64
	σ	8,37	7,33	5,61	5,08	4,67	0,81
	max	56,40	52,60	37,60	35,10	31,70	4,20
	min	22,40	25,00	19,30	21,30	19,60	0,00
Угол отклонения в фронтальной плоскости, град	M	13,08	12,07	27,88	15,45	9,25	0,90
	σ	3,30	3,45	6,70	4,19	2,65	15,70
	max	18,50	20,40	41,10	23,50	14,60	26,00
	min	6,60	6,60	19,20	8,10	4,30	71,60
Угол отклонения в горизонтальной плоскости, град	M	14,21	13,77	14,09	10,25	6,27	1,62
	σ	3,04	3,08	2,86	2,43	1,56	0,71
	max	19,20	20,60	20,50	20,10	10,00	4,00
	min	9,00	8,50	10,00	6,90	3,50	1,00
Смещение в сагиттальной плоскости, мм	M	35,01	41,93	46,66	54,41	63,86	72,05
	σ	6,88	7,70	8,53	9,71	10,89	11,78
	max	46,34	56,94	58,85	66,34	75,33	87,33
	min	26,05	32,16	36,88	41,96	51,38	60,00
Смещение в фронтальной плоскости, мм	M	20,18	25,97	21,91	27,80	29,97	1,53
	σ	4,61	5,14	4,61	5,47	6,03	1,00
	max	27,50	39,10	33,21	37,14	39,12	5,30
	min	10,60	20,24	14,43	20,24	21,12	0,00
Смещение в горизонтальной плоскости, мм	M	29,71	36,31	43,59	51,72	59,58	71,86
	σ	5,65	6,66	7,68	8,92	10,28	11,76
	max	42,37	47,55	55,31	64,86	75,40	87,33
	min	20,60	23,37	30,95	39,44	50,11	60,00

Таблица 1. Данные измерения перемещения эндоскопа при различных видах эндоскопических эндоназальных хирургических вмешательств, полученные при измерениях по КТ (жирным шрифтом выделены максимальные значения среди углов отклонения эндоскопа в различных плоскостях, а также показано максимальное линейное смещение эндоскопа).

Table 1. Measurement data of endoscope displacement for various types of endoscopic endonasal surgical interventions, obtained by CT measurements (boldface numerals indicate the maximum values among the angles of endoscope deflection in different planes, and also show the maximum linear displacement of the endoscope).

	Угол отклонения в сагиттальной плоскости (при передней этмоидотомии)			Угол отклонения в горизонтальной плоскости (при фронтотомии)			Линейное смещение (при аденотомии)		
	Max, град	M, град	σ	Max, град	M, град	σ	Max, мм	M, мм	σ
по данным КТ	56,40	38,67	8,37	20,60	13,77	3,08	87,33	71,86	11,76
трекинг на черепахах	52,36	38,45	8,85	16,40	12,75	5,05	86,40	73,55	12,85
трекинг при операции	49,78	34,32	8,42	16,85	12,54	4,55	85,80	70,85	12,54

Таблица 2. Сравнение данных о перемещении эндоскопа, полученных путем измерений по КТ, с данными, полученными путем оптического трекинга при имитации операций на черепахах и при выполнении реальных оперативных вмешательств.

Table 2. Comparison of the data on the endoscope movement obtained by CT measurements with the data obtained by optical tracking when simulating operations on the skulls, and when performing real surgical interventions.

Аденотомия внесена нами в список оперативных вмешательств, потому что она, хотя и не является FESS, в современной практике выполняется обычно под контролем эндоскопа, при этом часто применяется эндоназальный способ эндоскопического контроля. В ходе выполнения оперативных вмешательств измерения проведены при выполнении передней этмоидотомии (10 случаев), задней этмоидотомии (4), фронтотомии (4), гайморотомии (12), сфенотомии (5), аденотомии (10). При этом в процессе одной операции могли сочетаться различные типы выделенных нами для исследования эндоскопических операций.

Полученные в ходе исследования данные обрабатывались при помощи Microsoft Excel 2013 и Statsoft Statistica 6.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования основных характеристик движения эндоскопа в полости носа при проведении FESS по данным КТ приведены в **таблице 1**.

В таблице приведены средние значения, полученные при этих измерениях, среднее квадратичное отклонение, максимальные и минимальные величины, которые необходимы для статистического сравнения данных, а также необходимые для окончательных выводов данные о максимальном угловом отклонении и линейном смещении в каждой плоскости. Графически

результаты исследования представлены в виде углов смещения при различных вариантах эндоскопических хирургических вмешательств на лепестковой диаграмме (**рисунок 3**). На этой диаграмме хорошо заметно, при каких хирургических вмешательствах и в какой плоскости наблюдается наибольшее отклонение.

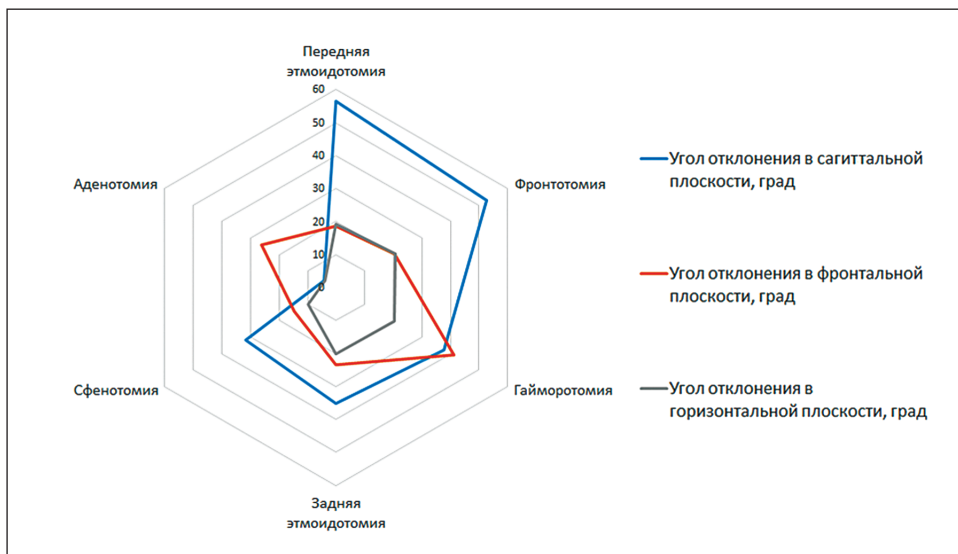
В **таблице 2** приведены результаты модельных опытов и хирургических вмешательств и их статистическое сравнение с данными, полученными при измерениях по КТ.

В таблице приводятся только данные, необходимые для дальнейшей работы и выбранные с учетом максимального результата исследований, полученных по КТ. Статистическое сравнение проведено нами по критерию Стьюдента, учитывая, что это независимые выборки с нормальным распределением. Результаты этих исследований не отличаются статистически значимо от исследований, проведенных нами по КТ (при $p=0,05$). При этом средняя величина угловых отклонений при реальных операциях несколько меньше, чем измеренная по данным КТ: влияет сложная геометрия полости носа и наличие мягких тканей, что ограничивает движения эндоскопа.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное нами исследование позволяет установить основные характеристики перемещения эндоскопа в полости носа при заданной точке входа в области ноздри – максимальное линейное и угловое его смещение при проведении различных типов FESS хирургических вмешательств для взрослых лиц. Подобное исследование перемещения эндоскопа схоже по результатам с представленными в [13] и [14], однако оно проводилось при помощи систем оптического трекинга (в модельных опытах и при проведении реальных оперативных вмешательств), а также по данным КТ.

Рисунок 3. Результаты исследования, представленные в виде углов смещения при различных вариантах эндоскопических хирургических вмешательств на лепестковой диаграмме.
Figure 3. The results of the study, presented as angles of displacement for various options for endoscopic surgery on a radar diagram.



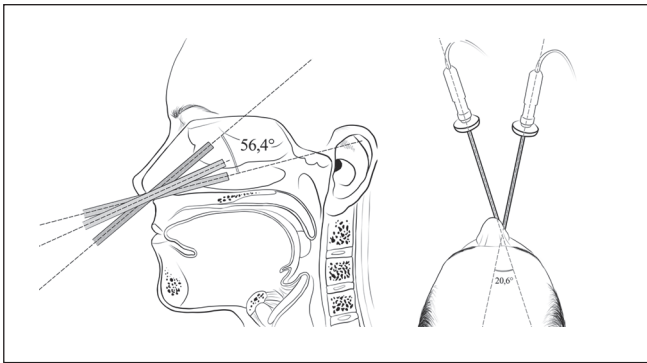


Рисунок 4. Угловые смещения, которые должно обеспечивать роботизированное устройство, следующие: в сагиттальной плоскости – $56,4^\circ$ и удвоенное смещение по горизонтальной плоскости (так как каждое измерение сделано по одной половине полости носа) – $20,6 \times 2 = 41,2^\circ$.

Figure 4. The angular displacements that the robotic device must provide should be as follows: in the sagittal plane – $56,4^\circ$, and doubled displacement along the horizontal plane (since each measurement is made on one half of the nasal cavity) – $20,6 \times 2 = 41,2^\circ$.

операциях и их имитации на черепах и моделях, так как значимые статистические различия между результатами, полученными этими методами измерений, отсутствуют. Линейное смещение эндоскопа выбирается максимальное из всех измеренных, так как за это перемещение отвечает обычно одна ось роботизированного устройства, соответственно это 87,33 мм (при проведении аденотомии). Угловые смещения, которые должно обеспечивать роботизированное устройство, следующие: в сагиттальной плоскости – $56,4^\circ$ и удвоенное смещение по горизонтальной плоскости (так как каждое измерение сделано по одной половине полости носа) – $20,6 \times 2 = 41,2^\circ$ (рисунок 4).

Учитывая заданное нами расположение роботизированного устройства, смещения во фронтальной плоскости являются интегрированным показателем угловых перемещений в двух предыдущих плоскостях. Отсутствие статистических различий между полученными различными способами данными о перемещении эндоскопа в полости носа говорит о достаточном сходстве этих данных между собой и подтверждает их достоверность. Таким образом, можно считать, что полученные нами данные о предельных перемещениях эндоскопа в полости носа достаточно точны и репрезентативны и могут быть использованы в дальнейшей разработке хирургического робота-ассистента.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были установлены основные характеристики траектории перемещения эндоскопа в пространстве при FESS путем измерений по данным КТ высокого разрешения, с использованием оптического трекинга положения эндоскопа в пространстве в модельных опытах на моделях полости носа и черепах, а также при проведении эндоскопических хирургических вмешательств на полости носа и околоносовых пазухах у взрослых лиц.

Результаты исследования движения эндоскопа в полости носа, полученные нами различными способами, статистически значимо не отличаются и могут служить основными критериями разработки специализированного робота-ассистента, держащего и перемещающего эндоскоп в пространстве при проведении FESS. ■

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Hirschmann A. Endoscopy of the nose and its accessory sinuses. *The Laryngoscope*. 1903;13(10):810. doi: 10.1288/00005537-190310000-00015
- Tajudeen BA, Kennedy DW. Thirty years of endoscopic sinus surgery: What have we learned? *World Journal of Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery*. 2017;3(2):115-121. doi: 10.1016/j.wjorl.2016.12.001
- Messerlinger W. Endoscopy of the nose. Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1978.
- Stammberger H. Functional Endoscopic Sinus Surgery: The Messerklinger Technique Decker, 1991.
- Kane KJ. The early history and development of endoscopic sinonasal surgery in Australia: 1985–2005. *Australian Journal of Otolaryngology*. 2018;1(1):7. doi: 10.21037/ajo.2018.01.08
- Castelnuovo P, Dallan I, Battaglia P, et al. Endoscopic endonasal skull base surgery: past, present and future. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2010;267:649-663. doi: 10.1007/s00405-009-1196-0
- Briner HR, Simmen D, Jones N. Endoscopic sinus surgery: advantages of the bimanual technique. *Am J Rhinol*. 2005;19:269-273. doi: 10.1177/194589240501900310
- Manickavasagam J, Segaram S, Harkness P. Functional endoscopic sinus surgery chopstick technique. *Laryngoscope*. 2010;120(5):975-7. doi: 10.1002/lary.20862 PMID: 20422694
- Raman R, Prepageran N. Novel use of a Leyla-Yasargil retractor as an endoscope holder during endoscopic sinus surgery. *Ear Nose Throat J*. 2004;83(4):270. doi: 10.1177/014556130408300416, PMID: 15147098
- Hanna EY, Holsinger C, DeMonte F, et al. Robotic endoscopic surgery of the skull base: a novel surgical approach. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2007;133:1209-1214. doi: 10.1001/archotol.133.12.1209
- Dallan I, Castelnuovo P, Seccia V, Battaglia P, et al. Combined transnasal transcervical robotic dissection of posterior skull base: feasibility in a cadaveric model. *Rhinology*. 2012;50(2):165-470. doi: 10.4193/rhin11.117
- Trévillet V, Garrel R, Dombre E, et al. Robotic endoscopic sinus and skull base surgery: review of the literature and future prospects. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2013;130(4):201-7. doi: 10.1016/j.anorl.2012.03.010. Epub 2013 May 28. PMID: 23725665
- Kristin J, Geiger R, Kraus P, Klenzner T. Assessment of the endoscopic range of motion for head and neck surgery using the SOLOASSIST endoscope holder. *Int J Med Robot*. 2015;11(4):418-23. doi: 10.1002/rcs.1643. Epub 2015 Feb 1. PMID: 25640259
- Nathan CO, Chakradeo V, Malhotra K, D'Agostino H, Patwardhan R. The voice-controlled robotic assist scope holder AESOP for the endoscopic approach to the sella. *Skull Base*. 2006;16(3):123-131. doi: 10.1055/s-2006-939679
- Mareev GO, Mareev OV. Problems of creating systems of surgical robotics (part 1). *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2014;5:218-222. (In Russ.). [Мареев Г.О., Мареев О.В. Проблемы создания систем хирургической робототехники (часть 1). *Мир науки, культуры, образования*. 2014;5:218-222].