

Возможности применения оптической навигационной системы в интраоперационной оценке объема удаленной метастатической опухоли тела позвонка

© О.И. КИТ¹, Д. Е. ЗАКОНДЫРИН², А.А. ГРИНЬ³, Э.Е. РОСТОРГУЕВ¹, С.С. ДЫДЫКИН², Ю.Л. ВАСИЛЬЕВ², А.В. ГАВРИЛОВ⁴, В.О. КАРПУНИН⁵, М.А. НЕЛИПА², В.Д. ДУБКОВ², М.А. ЕРЕМЕЕВ⁶, Е.А. ПИНЧУК⁶, И.Н. УСМАНОВА⁷, И.А. ЛАКМАН⁸

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии» Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия;

²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия;

³ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», Москва, Россия;

⁴ФГОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия;

⁵ООО «Гаммамед-Софт», Москва, Россия;

⁶ГБУЗ «Мелитопольская областная больница» Минздрава Запорожской области, Мелитополь, Россия;

⁷ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Уфа, Россия;

⁸ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Минобрнауки России, Уфа, Россия

РЕЗЮМЕ

Обоснование. Использование в лечении пациентов с метастатическими опухолями позвонков комбинации хирургической декомпрессии спинного мозга и стабилизации позвоночника с последующей конформной лучевой терапией остатков опухоли делает актуальным расчет и визуализацию объема частично удаленной метастатической опухоли позвонка без интраоперационной рентгеновской компьютерной томографии (РКТ).

Цель исследования. Оценка алгоритма расчета объема циторедуктивно удаленной части тела позвонка, пораженного опухолью с использованием оптической навигационной системы.

Материал и методы. На трупах 6 человек проводили моделирование типичного заднего доступа и навигируемую резекцию тела позвонка из заднебокового транспедикулярного доступа на нескольких уровнях. Оперированы 15 пациентов, которым выполнили паллиативное хирургическое лечение по поводу метастатических опухолей позвоночника, включающее декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство с использованием навигационной системы. В ходе анатомического эксперимента с использованием навигационной системы вычисляли объем полости после удаления части тела позвонка. Затем выполняли сопоставление объемов резецированной части позвонка, вычисленных во время анатомического эксперимента или в ходе оперативного вмешательства, с результатами, полученными позже по данным РКТ.

Результаты. При анализе данных лабораторной и клинической фаз эксперимента установлено, что расчетные показатели объема удаленной части тел позвонков на различных уровнях, вычисленные на основании интраоперационных измерений и по результатам контрольной РКТ, статистически значимо не различаются.

Заключение. Навигационная система в условиях экспериментальных вмешательств на биологических моделях и при хирургическом лечении пациентов с метастатическим поражением позвоночника показала высокую точность программных алгоритмов при вычислении объема циторедукции опухолевой ткани.

Ключевые слова: оптическая навигационная система, метастатическая опухоль позвоночника, расчет объема удаленной опухоли.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кит О.И. — <https://orcid.org/0000-0003-3061-6108>

Закондырин Д.Е. — <https://orcid.org/0000-0002-0925-415X>

Гринь А.А. — <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Росторгуев Э.Е. — <https://orcid.org/0000-0003-2937-0470>

Дыдыкин С.С. — <https://orcid.org/0000-0002-1273-0356>

Васильев Ю.Л. — <https://orcid.org/0000-0003-3541-6068>

Гаврилов А.В. — <https://orcid.org/0000-0002-7838-584X>

Карпунин В.О. — <https://orcid.org/0000-0001-7301-3775>

Нелипа М.А. — <https://orcid.org/0000-0002-2223-6706>

Дубков В.Д. — <https://orcid.org/0009-0003-9642-160X>

Еремеев М.А. — e-mail: banderlogin.2010@mail.ru

Пинчук Е.А. — e-mail: elizaveta.p.1996@mail.ru

Усманова И.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-1781-0291>

Лакман И.А. — <https://orcid.org/0000-0001-9876-9202>

Автор, ответственный за переписку: Закондырин Д.Е. — e-mail: russiandoctor@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Кит О.И., Закондырин Д.Е., Гринь А.А., Росторгуев Э.Е., Дыдыкин С.С., Васильев Ю.Л., Гаврилов А.В., Карпунин В.О., Нелипа М.А., Дубков В.Д., Еремеев М.А., Пинчук Е.А., Усманова И.Н., Лакман И.А. Возможности применения оптической навигационной системы в интраоперационной оценке объема удаленной метастатической опухоли тела позвонка. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал)*. 2025;9(2 вып. 2):121–128. <https://doi.org/10.17116/operhirurg20259022121>

Possibilities of using optical navigation system in intraoperative assessment of volume of distant metastatic tumor of vertebral body

© O.I. KIT¹, D.E. ZAKONDYRIN², A.A. GRIN³, E.E. ROSTORGUEV¹, S.S. DYDYKIN², YU.L. VASILIEV², A.V. GAVRILOV⁴, V.O. KARPUNIN⁵, M.A. NELIPA², V.D. DUBKOV², M.A. EREMEEV⁶, E.A. PINCHUK⁶, I.N. USMANOVA⁷, I.A. LAKMAN⁸

¹National Medical Research Centre for Oncology, Rostov-on-Don, Russia;

²Sechnov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;

³Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russia;

⁴Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

⁵Gammamed-Soft, Ltd, Moscow, Russia;

⁶Metitopol Region Hospital, Melitopol, Russia

⁷Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;

⁸Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

ABSTRACT

Background. The use of a combination of surgical decompression of the spinal cord and stabilization of the spine with subsequent conformal radiation therapy of tumor remnants in the treatment of patients with metastatic vertebral tumors makes it relevant to calculate and visualize the volume of a partially removed metastatic vertebral tumor without intraoperative X-ray computed tomography (CT).

Objective. The purpose of the study was to evaluate the algorithm for calculating the volume of the cytoreductively removed part of the body of the vertebra affected by the tumor using optical navigation.

Material and methods. On 6 human cadavers, a typical posterior approach and navigated resection of the vertebral body from a posterolateral transpedicular approach at several levels were simulated. A total of 15 patients underwent palliative surgical treatment for metastatic tumors of the spine, including decompressive and stabilizing intervention using a navigation system. During the anatomical experiment, the volume of the cavity after removal of a part of the vertebral body was calculated using a navigation system. Then, the volumes of the resected part of the vertebra, calculated during the anatomical experiment or during the surgical intervention, were compared with the results calculated later using the CT neuroimaging data.

Results. When analyzing the data from the laboratory and clinical phases of the experiment, it was found that the calculated indicators of the volume of the removed part of the vertebral bodies at different levels, calculated on the basis of intraoperative measurements and according to the results of control CT, do not differ statistically significantly.

Conclusion. The navigation system under the conditions of experimental interventions in biological models and in the surgical treatment of patients with metastatic spinal involvement showed high accuracy of software algorithms in calculating the volume of cytoreduction of tumor tissue.

Keywords: optical navigation system, metastatic tumor of spine, calculation of volume of removed tumor.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Kit O.I. — <https://orcid.org/0000-0003-3061-6108>

Zakondyrin D.E. — <https://orcid.org/0000-0002-0925-415X>

Grin A.A. — <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Rostorguev E.E. — <https://orcid.org/0000-0003-2937-0470>

Dydykin S.S. — <https://orcid.org/0000-0002-1273-0356>

Vasiliev Yu.L. — <https://orcid.org/0000-0003-3541-6068>

Gavrilov A.V. — <https://orcid.org/0000-0002-7838-584X>

Karpunin V.O. — <https://orcid.org/0000-0001-7301-3775>

Nelipa M.A. — <https://orcid.org/0000-0002-2223-6706>

Dubkov V.D. — <https://orcid.org/0009-0003-9642-160X>

Eremeev M.A. — e-mail: banderlogin.2010@mail.ru

Pinchuk E.A. — e-mail: elizaveta.p.1996@mail.ru

Usmanova I.N. — <https://orcid.org/0000-0002-1781-0291>

Lakman I.A. — <https://orcid.org/0000-0001-9876-9202>

Corresponding author: Zakondyrin D.E. — e-mail: russiandoctor@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Kit OI, Zakondyrin DE, Grin AA, Rostorguev EE, Dydykin SS, Vasiliev YuL, Gavrilov AV, Karpunin VO, Nelipa MA, Dubkov VD, Eremeev MA, Pinchuk EA, Usmanova IN, Lakman IA. Possibilities of using optical navigation system in intraoperative assessment of volume of distant metastatic tumor of vertebral body. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy*. 2025;9(2 вып 2):121–128. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/operhirurg20259022121>

Введение

Количество статей, связанных с навигационными системами в хирургии первичных и метастатических опухолей позвоночника, постоянно увеличива-

ется с 2010 г. [1]. На основании накопленного опыта сформулированы показания к навигационному сопровождению в нейрохирургии и онковертебрологии: установка стабилизирующих позвоночный столб педикулярных систем, определение границ резекции

опухоли, наведение инструмента для локальной абляции патологического очага.

Данные с оценкой эффективности навигационных систем посвящены преимуществам их при имплантации педикулярных винтов в сравнении с «free-hand» методикой с использованием С-дуги [2–4]. Ряд авторов [5, 6] указывают на возможность интраоперационной навигации идентифицировать границы опухоли в костной ткани по отношению к спинномозговому каналу и другим анатомическим ориентирам позвоночного столба.

Особенностью доступных публикаций является интегрированное применение навигационных систем с интраоперационным рентгеновским компьютерным томографом, например, O-ARM («Medtronic», США), что позволяет контролировать как объем удаленной опухоли, так и положение установленных металлоконструкций. Однако этот технический комплекс является громоздким, требует нестандартных площадей операционной и в настоящее время мало доступен для большинства медицинских организаций Российской Федерации.

Таким образом, внедрение в хирургическую практику принципов сепарационной хирургии метастазов предполагает интраоперационную оценку объема удаленной метастатической опухоли для последующего планирования конформной лучевой терапии без использования интраоперационного рентгеновского компьютерного томографа, интегрированного с навигационным комплексом.

Цель исследования: оценка разработанного алгоритма расчета объема удаленной части опухоли с использованием оптической навигационной системы.

Материал и методы

При планировании лабораторной и клинической фаз исследования использовали отечественную навигационную систему МультитрекО, разработанную группой компаний ООО «Гаммамед-Софт», с участием лаборатории медицинских компьютерных систем Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцина Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Система разработана при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (проект №26048). На медицинское изделие в 2019 г. получено регистрационное удостоверение РЗН 2019/9001.

Лабораторную фазу проводили на базе кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России на фиксированных формалином торсах 6 трупов взрослых людей старческого возраста (4 женских и 2 мужских), которые до и после эксперимента подвергались компьютерной томографии с использованием передвижного компьютерного томографа (рис. 1).

Во время эксперимента проводили моделирование типичного заднего доступа к соответствующему отделу позвоночника. Регистрацию модели в навигационной системе осуществляли «по поверхности» костных структур с использованием DICOM данных рентгеновской компьютерной томографии (РКТ). Осуществляли навигируемую резекцию тела позвонка из заднебокового транспедикулярного доступа на трех уровнях в грудном (Th_{III} , Th_{VII} и Th_{XI}) и одном уровне в поясничном (L_{III}) отделах позвоночника (рис. 2). В ходе эксперимента с использованием разработанных программных алгоритмов системы измеряли размеры полости, полученной после удаления части тела позвонка, в трех взаимно перпендикулярных осях (для вычисления ее объема — аналога объема удаленной опухоли). После этого аналогичные размеры измеряли с использованием возможностей приложения Radiant Dicom Viewer версии 2023.1 (64-bit) по результатам повторной РКТ препарата. Для надежности все измерения выполняли трижды. Расчет объема удаленной части позвонка проводили по формуле:

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times a \times b \times c,$$

где a — переднезадний размер, b — ширина, c — высота послеоперационной полости в теле позвонка. Методику измерений размеров полости в теле позвонка иллюстрирует рис. 3.

Клиническую фазу исследования выполняли в период с 01.01.2024 по 31.12.2024 на базе ГБУЗ «Мелитопольская областная больница» Минздрава Запорожской области. В отделении нейрохирургии данно-

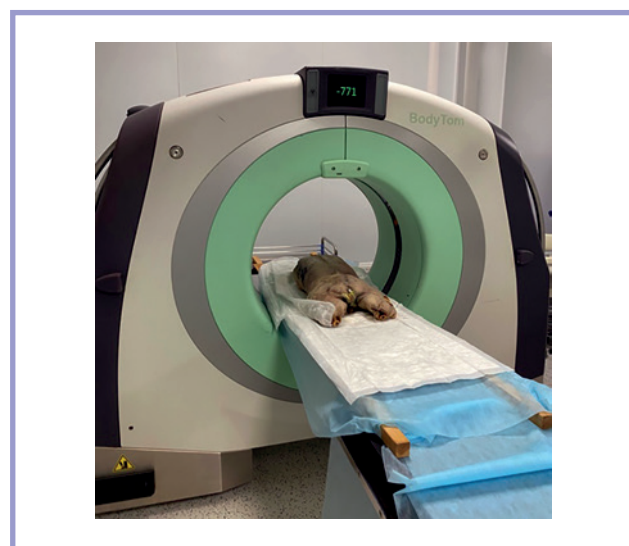


Рис. 1. РКТ биологической модели (торс человека) на передвижном компьютерном томографе.

Fig. 1. CT scan of a biological model (human torso) on a mobile CT scanner.

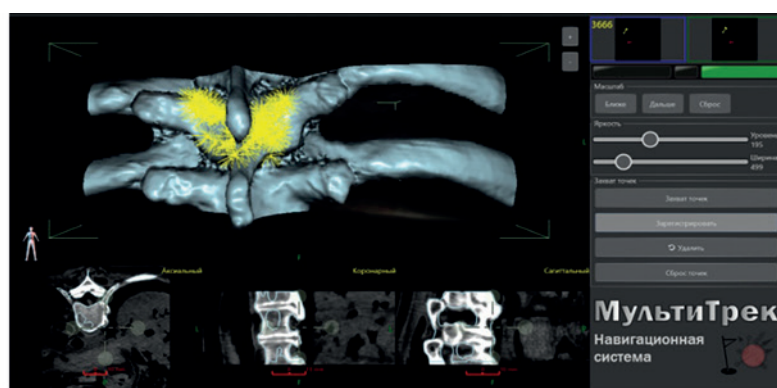
го учреждения оперированы 15 пациентов, которым выполнили паллиативное хирургическое лечение по поводу метастатических опухолей позвоночника, включающее декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство с использованием навигационной системы. Всем больным проводили вычисление объема удаленной опухоли тела позвонка как интраоперационно (рис. 4), так и по результатам РКТ-нейровизуализации, выполненной в раннем послеоперационном периоде, по методике, аналогичной описанной выше (рис. 5).

Мы выполняли сопоставление объемов резецированной части позвонка, полученных во время эксперимента или в ходе оперативного вмешательства с использованием навигационной системы, с результатами, полученными позже по данным РКТ. Цифровые значения фиксировали в электронной базе Microsoft Excel, после чего проводили анализ в программе Sta-

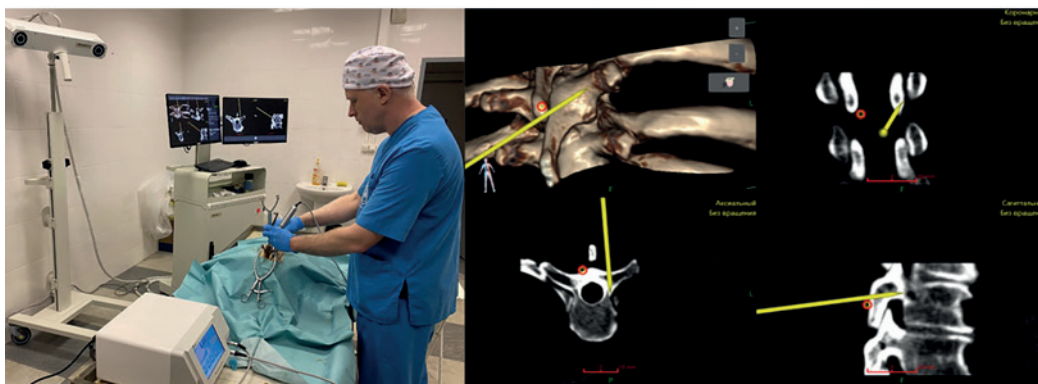
tistica 7.0. Для каждой группы показателей определяли тип распределения данных. При отклонении распределения от нормального закона для описания использовали значения медианы, 1-го и 3-го квартилей ($Me [Q_1; Q_3]$), а при дальнейшем сравнении групп — методы непараметрической статистики с учетом коэффициента на небольшой объем выборки. При сравнении двух независимых групп использовали критерий Манна—Уитни. Пороговый уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Результаты и обсуждение

Использование оптической навигации при резекции метастатической опухоли позвонка для достижения объема циторедукции, оптимального для последующей конформной лучевой терапии в рамках



а/а



б/б

Рис. 2. Лабораторная фаза исследования с использованием биологической модели: резекция тела позвонка под интраоперационным навигационным контролем (на основе предоперационных РКТ-изображений) с измерением объема удаленного тела позвонка.

а — регистрация зоны операции; б — навигируемая резекция тела позвонка.

Fig. 2. Laboratory phase of the study using a biological model: resection of the vertebral body under intraoperative navigation control (based on preoperative CT images) with measurement of the volume of the removed vertebral body.

а — registration of the surgical area; б — navigated resection of the vertebral body.

а — resection volume during extended biopsy in patient B-v ($V=3.6 \text{ cm}^3$), б — resection volume during partial corpectomy in patient F-os ($V=32.1 \text{ cm}^3$). The posterior border of the vertebral body is marked with a yellow line.

концепции сепарационной хирургии сообщали единичные авторы [7, 8].

Нейрохирургические вмешательства, нацеленные на полную резекцию, долгое время оставались стандартными методами лечения большинства злокачественных и доброкачественных опухолей. В настоящее время более половины новообразований центральной нервной системы и позвоночника устраняется хирургическим путем с помощью менее агрессивных методик. Эти методики предполагают лечение адьювантными способами, такими как стереотаксическая радиохирургия, для достижения максимального контроля над опухолью. Попытки достичь максимального уровня безопасности хирургической резекции без какого-либо контроля может привести к осложнениям или необратимым неврологическим повреждениям.

Нами осуществлен контроль возможностей математических алгоритмов оптической навигационной системы, а именно, проведена оценка объема резекции тела позвонка (объем удаленной опухоли). В исследование включены данные телеметрии, полученные в ходе эксперимента на 6 торсах, фиксированных

Таблица 1. Данные о расчетном объеме удаленной части позвонка по результатам трех серий измерений на 6 биологических моделях

Table 1. Data on the estimated volume of the removed part of the vertebra based on three series of measurements on 6 biological models.

Уровень резекции	Компьютерная навигация, см ³ Me [Q ₁ ; Q ₃]	КТ-контроль, см ³ Me [Q ₁ ; Q ₃]	p
Th _{III}	8,3 [7,9; 8,3]	8,5 [8,3; 8,7]	>0,05
Th _{VII}	9,6 [9,4; 9,7]	10,0 [9,8; 10,2]	>0,05
Th _X	10,0 [9,7; 10,3]	10,5 [10,4; 10,7]	>0,05
L _{III}	13,5 [13,4; 13,8]	13,9 [13,7; 14,2]	>0,05
Th _{III} —L _{III}	9,7 [8,9; 11,9]	10,3 [9,3; 12,2]	>0,05

формалином трупов взрослых людей, на которых были резецированы под навигационным контролем тела 24 позвонков. Провели сравнение объемов удаленных частей позвонков, вычисленных после измерения размеров полости во время эксперимента и по результатам контрольной РКТ препарата (**табл. 1**).

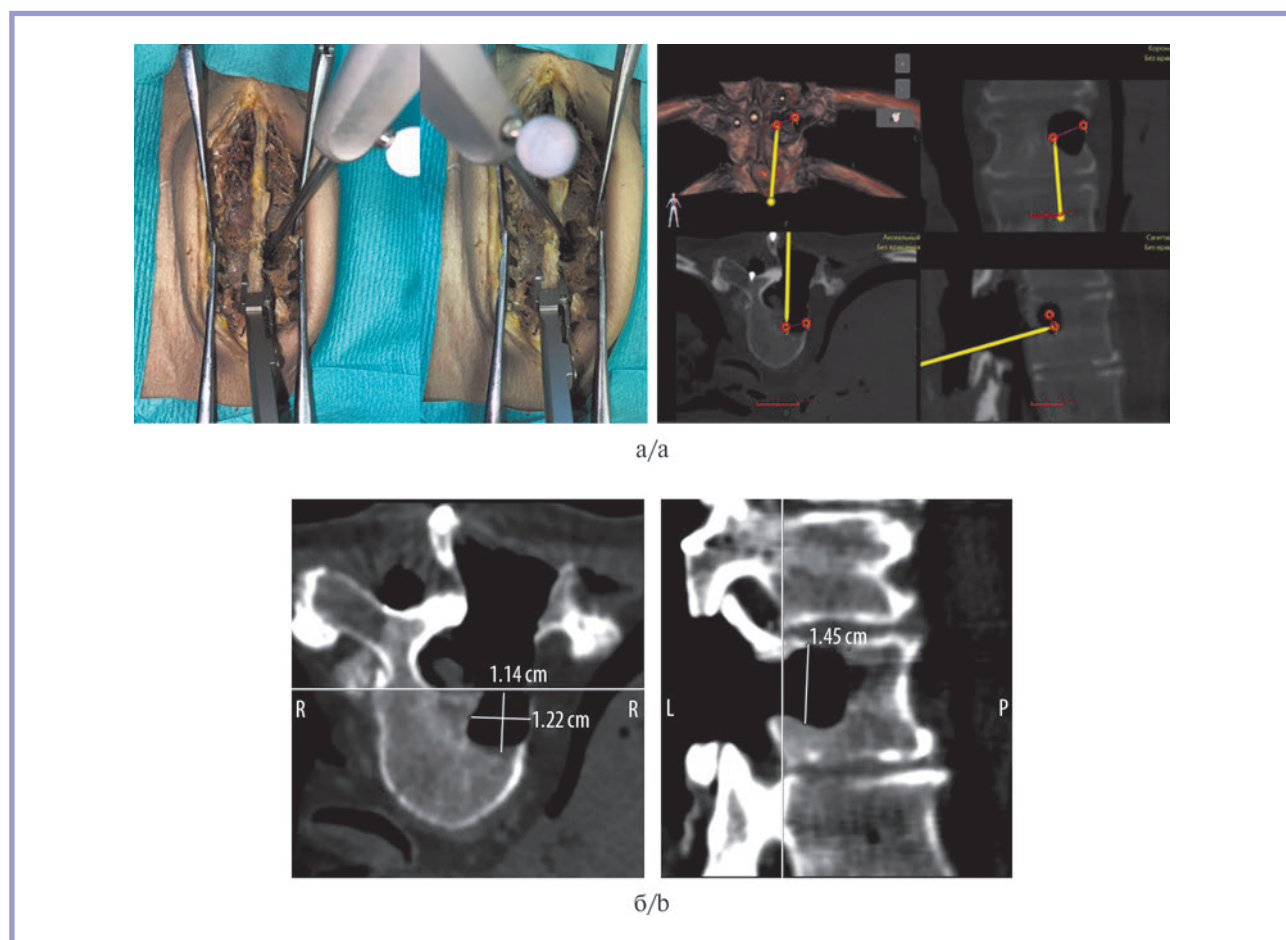


Рис. 3. Измерение размеров полости в теле позвонка.

а — с использованием регистрационного зонда; б — по результатам контрольной РКТ.

Fig. 3. Measurement of the cavity size in the vertebral body.

а — using a registration probe; б — based on the results of control CT scan.

Таблица 2. Данные о расчетном объеме удаленной части позвонка на основании результатов трех серий измерений у 15 пациентов

Table 2. Data on the estimated volume of the removed part of the vertebra based on the results of three series of measurements in 15 patients

Компьютерная навигация, Me [Q ₁ ; Q ₃], см ³	КТ-контроль, Me [Q ₁ ; Q ₃], см ³	p
2,95 [2,0; 14,1]	2,85 [2,0; 14,1]	>0,05

При анализе данных установлено, что расчетные показатели объема удаленной части тел позвонков на различных уровнях, вычисленные на основании интраоперационных измерений и по результатам контрольной РКТ, несколько различаются. При измерении размеров послеоперационной полости в теле позвонка в программе просмотра изображений расчетные значения ее объема были больше на 0,2–0,5 см³, что при сравнении медиан по соответствующим двум выборкам расчетных значений для отдельных позвонков и для всех резецированных позвонков в тесте Манна–Уитни не является статистически значимым различием между выборками.

Среди 15 пациентов, у которых интраоперационно вычисляли объем резекции тела позвонка, у 10 (67%) опухоль тела удалена в объеме расширенной биопсии, у 5 (33%) — в объеме частичной корпорэктомии (см. рис. 5).

Во всех случаях объем резекции новообразования ограничивался кровопотерей вследствие обильного кровоснабжения ткани опухоли. Ограничением методики оказалась невозможность оценки объема удаленного эпидурального компонента опухоли тела позвонка. Результаты вы-

числения объема удаленной части тела позвонка на основании измерений, выполненных во время операции и по данным контрольной РКТ, представлены в табл. 2.

Анализ показал, что расчетные показатели объема удаленной части тела позвонка у отдельных пациентов, вычисленные на основании интраоперационных измерений и по результатам контрольной КТ, практически не различаются. Разброс расчетных значений объема удаленной опухоли при различных попытках измерений в случае использования навигации составляет в среднем до 0,2 см³, а при измерении в программе для просмотра изображений — до 0,4 см³. Данный факт, вероятно, обусловлен отеком мягких тканей в зоне ложа удаленной опухоли и размыванием на контрольных компьютерных томограммах границ послеоперационной полости в теле позвонка. При сравнении медиан по соответствующим двум выборкам расчетных значений объема удаленной опухоли у всех 15 пациентов в тесте Манна–Уитни не выявили статистически значимых различий между выборками (разница расчетных величин составила в среднем до 0,1 см³).

В процессе исследования выполнялось сравнение объемов резекции тел позвонков, рассчитанного на основе измерений, выполненных интраоперационно с использованием навигационной системы, и данными полученными в послеоперационном периоде с помощью РКТ.

Наше исследование имело как лабораторную (анатомический эксперимент на трупах людей), так и клиническую части (во время операций по удалению метастатических опухолей позвоночного столба). В тесте Манна–Уитни не выявлено статистически значимых различий между выборками величин как при резекции тел позвонков на трупах,

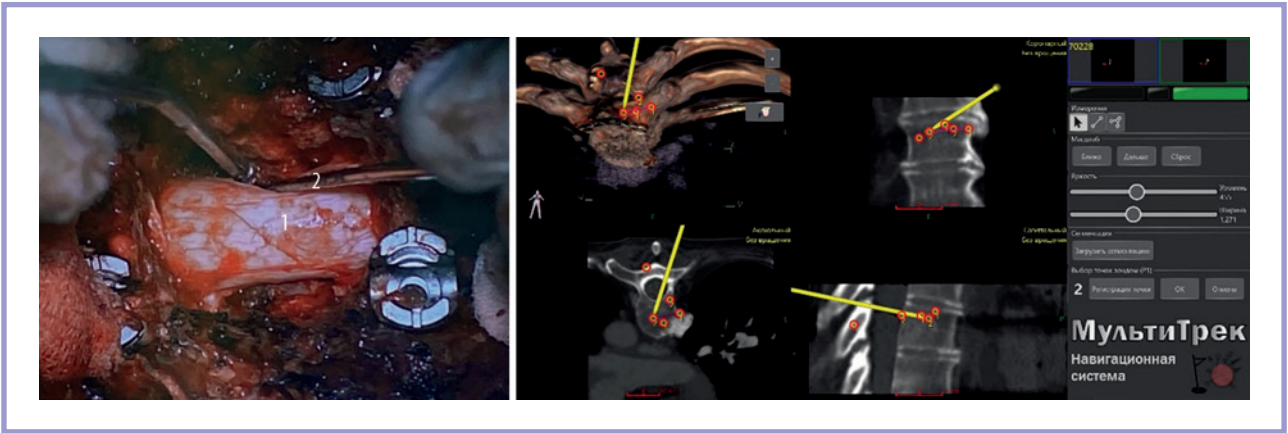


Рис. 4. Интраоперационное измерение размеров полости после резекции опухоли в теле позвонка с использованием регистрационного зонда и навигационной системы.

1 — мешок твердой мозговой оболочки, 2 — регистрационный зонд, введенный в полость в теле позвонка.

Fig. 4. Intraoperative measurement of the cavity size after tumor resection in the vertebral body using a registration probe and navigation system.

1 — dural sac, 2 — registration probe inserted into the cavity in the vertebral body.

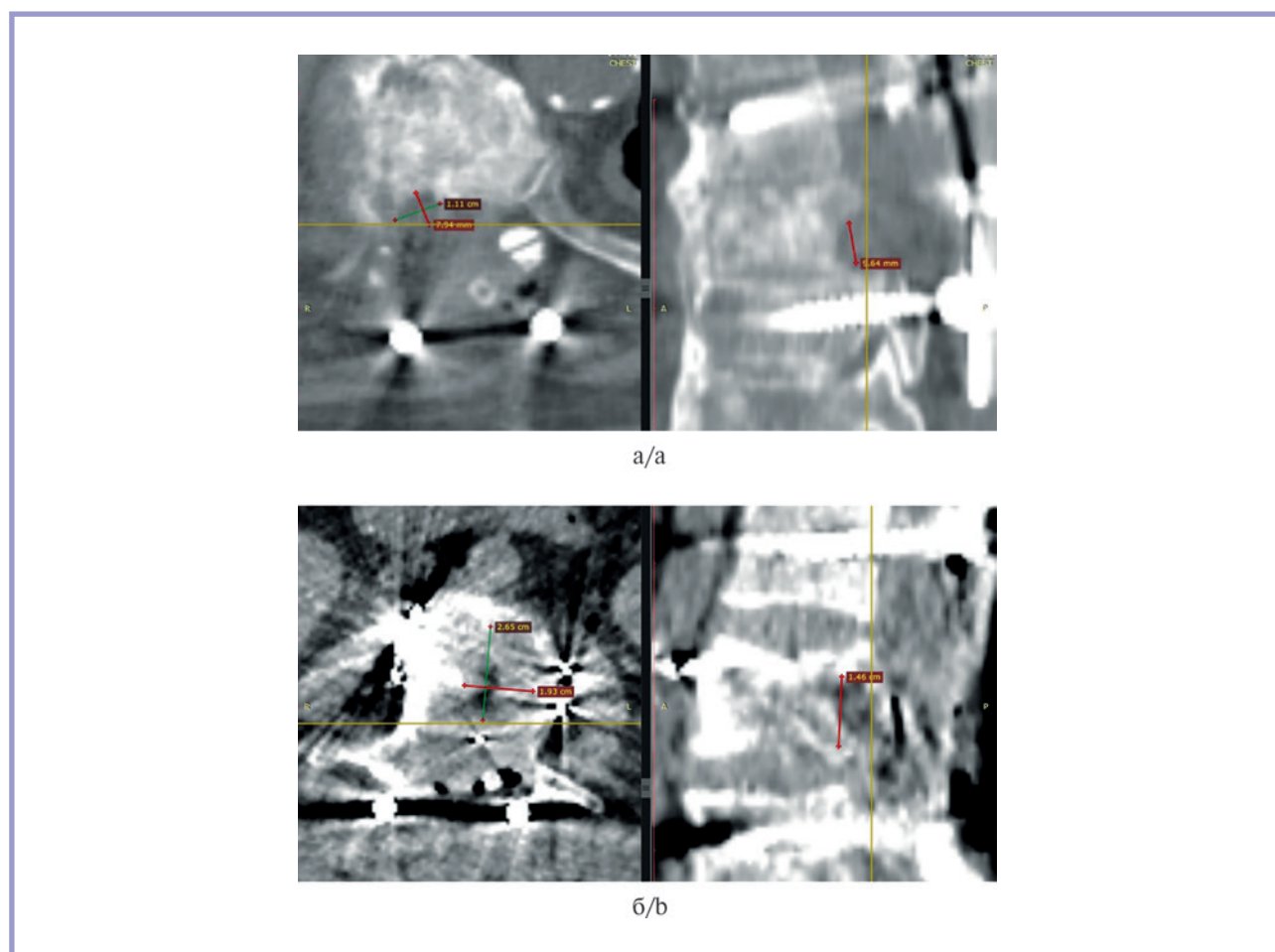


Рис. 5. Измерение размеров полости по данным контрольной РКТ.

а — объем резекции при расширенной биопсии у больного Б-ва ($V=3,6 \text{ см}^3$), б — объем резекции при частичной корпорэтомии у больного Ф-оса ($V=32,1 \text{ см}^3$). Желтой линией обозначена задняя граница тела позвонка.

Fig. 5. Measurement of the cavity size according to control CT data.

a — resection volume during extended biopsy in patient B-v ($V=3.6 \text{ cm}^3$), b — resection volume during partial corpectomy in patient F-os ($V=32.1 \text{ cm}^3$). The posterior border of the vertebral body is marked with a yellow line

так и при парциальном удалении опухоли тела позвонка у пациентов с метастатическим поражением позвоночника.

Нами установлено, что при резекции опухоли позвонка разница в точности расчета на основе интраоперационных измерений, выполненных с использованием навигационной системы и контрольной КТ, в $0,2\text{—}0,5 \text{ см}^3$ нивелируется до $0,1 \text{ см}^3$ вследствие наличия послеоперационного отека стенок полости после удаления опухоли из тела позвонка.

Достоинством использованной навигационной системы в сравнении с аналогами является возможность измерения размеров полости в теле позвонка после парциального удаления новообразования и расчет объема удаленной опухоли в ходе оперативного вмешательства. Точная интраоперационная оценка объема удаленной из тела опухоли позволяет планировать облучение остаточной ее части. Ранее подобную информацию было возможно получить только с использованием интраоперационной РКТ.

Заключение

Объективный контроль резекции опухоли позвонка является важным параметром для последующего планирования конформных видов лучевой терапии.

Использованная навигационная система в ходе экспериментальных вмешательств на биологических моделях и в условиях хирургического лечения пациентов с метастатическим поражением позвоночника показала высокую точность вычисления объема резекции интраоперационно.

Использование алгоритмов навигационной системы для расчета объема резекции пораженного опухолью тела позвонка в отсутствие контроля методом интраоперационной компьютерной томографии обоснованно и может быть рекомендовано для объективизации хода оперативного вмешательства и оптимизации последующей конформной лучевой терапии.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования — Кит О.И.,
Гринь А.А.
Сбор и обработка материала — Закондырин Д.Е.,
Росторгуев Э.Е., Дубков В.Д., Карпунин В.О.,
Еремеев М.А.
Написание текста — Пинчук Е.А., Нелипа М.А.,
Усманова И.Н., Лакман И.А.
Редактирование — Дыдыкин С.С., Васильев Ю.Л.,
Гаврилов А.В.

Participation of authors:

Concept and design of the study — Kit O.I., Green A.A.
Data collection and processing — Zakondyrin D.E.,
Rostorguev E.E., Dubkov V.D., Karpunin V.O., Eremeev M.A.
Text writing — Pinchuk E.A., Nelipa M.A., Usmanova I.N.,
Lakman I.A.
Editing — Dydydkin S.S., Vasiliev Yu.L., Gavrilov A.V.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Kelly PD, Zuckerman SL, Yamada Y, Lis E, Bilsky MH, Layfer I, Barzilai O. Image guidance in spine tumor surgery. *Neurosurg. Rev.* 2020;43(3):1007-1017. <https://doi.org/10.1007/s10143-019-01123-2>
2. Rawicki N, Dowdell JE, Sandhu HS. Current state of navigation in spine surgery. *Ann Transl Med.* 2021;9(1):85. <https://doi.org/10.21037/atm-20-1335>
3. Otomo N, Funao H, Yamanouchi K, Isogai N, Ishii K. Computed tomography-based navigation system in current spine surgery: a narrative review. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(2):241. <https://doi.org/10.3390/medicina58020241>
4. Ivanov M, Radatz M. Role of navigation in the surgery of spine tumours. *Acta Neurochir.* 2023;135:173-178. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36084-8_28
5. Суфианов А.А., Манашук В.И., Набиев Д.Н., Шапкин А.Г., Зайцев М.К., Теблов Г.Э., Х Аль Захрани А.А., Талыбов Р.С., Абриль Арена Х.Л. Хирургическое лечение пациентов с первичными и метастатическими опухолями позвоночника с использованием мобильного интраоперационного компьютерного томографа O-ARM. *Нейрохирургия.* 2019;21(4):39-49. Sufianov AA, Manashchuk VI, Nabiev DN, Shapkin AG, Zaytsev MK, Tebloev GE, X Al Zahrani AA, Talybov RS, Abril Arenas HL. Surgical treatment of patients with primary and metastatic spinal tumor with use of the O-Arm intraoperative portable computed tomography scanner. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery.* 2019; 21(4):39-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2019-21-4-39-49>
6. Kim SI, Mittal S, Ko YI, Ko MS, Kim YH. The role of intraoperative navigation in guiding spine tumor resection for achieving an adequate surgical margin: an institutional case series. *J Korean Soc Spine Surg.* 2024;31(1):10-17. <https://doi.org/10.4184/jkss.2024.31.1.10>
7. Nasser R, Drazin D, Nakhla J, Al-Khouja L, Brien E, Baron EM, Kim TT, Patrick Johnson J, Yassari R. Resection of spinal column tumors utilizing image-guided navigation: a multicenter analysis. *Neurosurg Focus.* 2016;41(2):E15. <https://doi.org/10.3171/2016.5.FOCUS16136>
8. De Robertis M, Lo Faro L, Bianchini L, Baram A, Anselmi L, Clerici E, Navarra P, Riva M, Scorsetti M, Pessina F, Brembilla C. Hybrid therapy with SBRT target-tailored tumor resection for high-grade metastatic epidural spinal cord compression (MESCC): Illustrative Case. *J Clin Med.* 2025;14(5):1688. <https://doi.org/10.3390/jcm14051688>

Поступила 25.03.2025

Received 25.03.2025

Принята к печати 24.04.2025

Accepted 24.04.2025