



Талабаев М.В., Соловьева А.Ю.✉

Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,
Минск, Беларусь

Зависимость между расстоянием от новообразования до коры прецентральной извилины и кортикоспинальных трактов и риском развития нового двигательного дефицита у детей

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Талабаев М.В. – концепция, редактирование, обзор литературы, написание статьи; Соловьева А.Ю. – построение и расчет данных для статистического анализа, редактирование, иллюстрации.

Подана: 04.11.2023

Принята: 11.12.2023

Контакты: hannasalayueva@gmail.com

Резюме

Цель. Изучить связи между расстоянием от новообразования до отделов мозга, связанных с функцией движения, определенным по данным магнитно-резонансной томографии 3,0Т и навигационной системы, и риском развития нового неврологического дефицита.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили данные о 40 пациентах с новообразованиями перироландической локализации. В статье проведен статистический анализ и установлены регрессионные взаимосвязи между расстоянием от новообразования головного мозга до коры прецентральной извилины и кортикоспинальных трактов и риском развития нового двигательного дефицита у пациентов детского возраста.

Результаты. В процессе исследования получены данные о том, что расстояние от новообразования до прецентральной извилины менее 1,5 мм и расстояние до «точки руки» менее 4,5 мм увеличивает риск развития нового двигательного дефицита ($p < 0,05$). Расстояние до кортикоспинальных трактов менее 5,5 мм также статистически значимо ухудшает функциональный результат операции ($p < 0,05$).

Заключение. Предоперационное планирование с изучением расстояний до анатомических образований, отвечающих за двигательную функцию, может быть использовано для оценки риска развития нового двигательного дефицита и может быть важным аргументом при принятии решения о выполнении операции в сознании.

Ключевые слова: опухоль, детская нейрохирургия, функционально значимые области, кортикоспинальные тракты, прецентральная извилина



Talabaev M., Salauyeva A.✉

Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Belarus

The Correlation Between the Distance from the Neoplasm to the Precentral Gyrus Cortex and Corticospinal Tracts and the Risk of Developing a New Motor Deficit in Children

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Talabaev M. – concept, editing, literature review, article writing; Salauyeva A. – construction and calculation of data for statistical analysis, editing, illustrations.

Submitted: 04.11.2023

Accepted: 11.12.2023

Contacts: hannasalayeva@gmail.com

Abstract

Purpose. To study the relationship between the distance from the tumor to the parts of the brain associated with the motor function, determined by the data of magnetic resonance imaging 3.0T and the navigation system, on the risk of developing a new neurological deficit.

Materials and methods. The data on 40 patients with neoplasms of perirolandic localization served as the material for the study. In the article was presented the results of a statistical analysis and established regression correlations between the distance from the brain tumor to the cortex of the precentral gyrus and corticospinal tracts, and the risk of developing a new motor deficit in pediatric patients.

Results. During the study, data were obtained that the distance from the tumor to the precentral gyrus of less than 1.5 mm and the distance to the "hand-knob" of less than 4.5 mm are statistically significantly associated with the risk of developing a new motor deficit ($p < 0.05$). A distance to the corticospinal tracts of less than 5.5 mm also statistically significantly worsens the functional result of the operation ($p < 0.05$).

Conclusion. Preoperative planning with the study of the distance to the anatomical formations responsible for motor function can be used to assess the risk of developing a new motor deficit and be an important argument when deciding whether to perform an awake operation.

Keywords: tumor, pediatric neurosurgery, eloquent brain areas, corticospinal tracts, precentral gyrus

■ ВВЕДЕНИЕ

Сохранение функции во время операции при поражениях перироландической локализации представляет собой сложную задачу для нейрохирургов, особенно у пациентов без неврологических нарушений [1–5]. Хирургическое удаление является первым и наиболее эффективным методом лечения новообразований головного мозга, влияющим как на показатели выживаемости, так и на качество жизни [1, 6–8].

Проводя предоперационное обследование, нейрохирург отвечает на вопросы о характере новообразования, его размерах, расположении относительно функционально значимых отделов, возможной инвазии в окружающий мозг, ожидаемом неврологическом дефиците. Тема риска развития нового неврологического дефицита всегда обсуждается в ходе предоперационного общения с пациентом и его родственниками. Хирургическое лечение патологии, расположенной в области центральной борозды мозга, исторически сопровождалось увеличением частоты неполного удаления и высоким уровнем нового неврологического дефицита [1, 9]. Очевидно, что чем ближе к функциональным отделам расположен патологический процесс, тем выше риск нарушений. Вопрос прогнозирования операционных рисков в зависимости от расстояния до патологического процесса обсуждается и до настоящего времени не решен.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Попытка изучения связи между расстоянием от новообразования до отделов мозга, связанных с функцией движения, определенным по данным магнитно-резонансной томографии 3,0Т и навигационной системы, и риском развития нового неврологического дефицита.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили данные о пациентах с новообразованиями перироландической локализации. Всем пациентам была проведена предоперационная структурная магнитно-резонансная томография (МРТ), по результатам которой проводилось измерение кратчайшего расстояния от края новообразования до коры прецентральной извилины у 28 пациентов, у 29 – до «точки руки», а также определено кратчайшее расстояние от патологического процесса до кортикоспинальных трактов (КСТ) по МРТ диффузно-тензорной трактографии (ДТТ), интегрированной в навигационную систему, у 40 пациентов.

Границу опухоли определяли в T2 или T2 FLAIR изображениях при низкоконтрастных опухолях и кавернозных мальформациях или по границе накопления контрастного вещества в T1 изотропных изображениях или T2 FLAIR изображениях при высококонтрастных опухолях.

Исследования выполнялись на основе использования сверхпроводящего магнита с напряженностью поля 3,0 Тесла Discovery MP750w 3.0T фирмы General Electric и магнита с напряженностью поля 1,5 Тесла Optima MR450w фирмы General Electric. В протокол исследования структурной МРТ головного мозга входили такие последовательности: T1(Ax FSPGR 3D), Ax T2 PROPELLER, Ax SWAN, Ax DTI (6 Direction), Ax T2 FLAIR, Cor T2 PROPELLER, 3D 3 SLAB ASSET TOF, T1(Ax FSPGR 3D) + contrast. Сканирования DTI, а также изображения ADC были реконструированы вместе с цветными картами FA. Значения FA и ADC выбранных областей интереса (ROI) были измерены и сравнены.

При построении МРТ-трактографии на навигационной станции использовались различные отделы головного мозга в зависимости от локализации и распространенности новообразования. Это могли быть внутренняя капсула (коллено и заднее бедро) или ножки среднего мозга. Для резекции опухоли использовалась микрохирургическая техника «субпиального» удаления в пределах функциональных границ.



Оценка неврологического статуса проводилась перед операцией, сразу после, через один и через 6 месяцев после вмешательства.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Расстояние от новообразования до коры прецентральной извилины и риск развития нового двигательного дефицита

Проанализирована связь между расстоянием от края новообразования до ближайшей точки коры прецентральной извилины и вероятностью развития нового неврологического дефицита у 50 пациентов с процессами, имеющими перироландическое расположение. Измерение проводилось на аксиальных сканах МРТ-исследования головного мозга в T2-режиме (рис. 1). Возраст пациентов составлял от 0,69 до 18,3 года, медиана возраста – 11,9 года, из них было 20 (40%) мальчиков, 30 (60%) девочек. После операции парез развился в 11 (22%) случаях.

Установлено, что медиана расстояния в группе пациентов с развившимися после операции парезами ($n=11$) составила 1,0 мм [мин. 0 – макс. 10,0]. У пациентов без новых неврологических нарушений ($n=39$) медиана расстояния составила 5,0 мм [мин. 0 – макс. 20,0]. Разница оказалась статистически значима, $p_{\text{Манна-Уитни}}=0,0190$, развитие двигательного дефицита после операции связано с расстоянием от новообразования до коры прецентральной извилины (рис. 2).

Кроме того, было определено расстояние от опухоли до коры прецентральной извилины, которое приводит к возникновению нового неврологического дефицита, с помощью ROC-анализа (рис. 3).

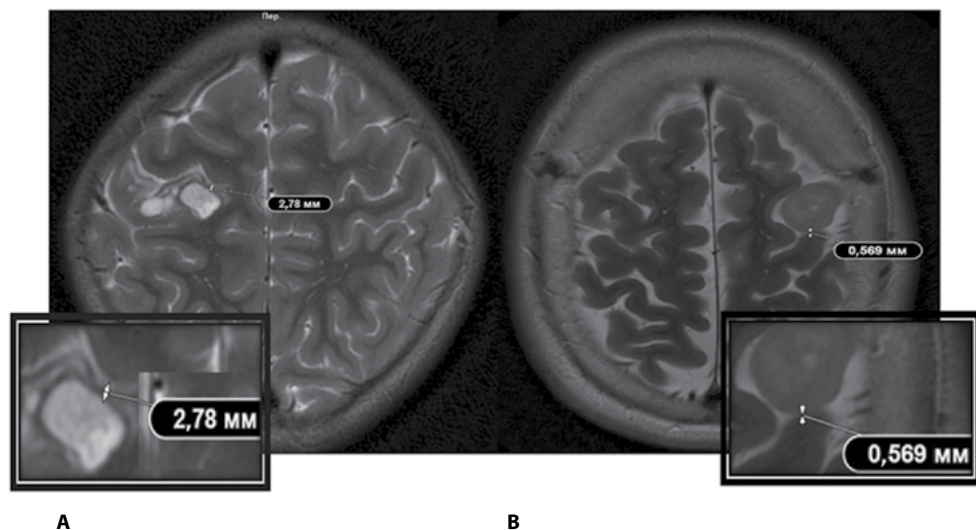


Рис. 1. Расстояние от новообразования до коры прецентральной извилины: А – новообразование постцентральной извилины; В – новообразование средней лобной извилины
Fig. 1. Distance from the neoplasm to the cortex of the precentral gyrus: А – tumor of the postcentral gyrus; В – tumor of the middle frontal gyrus

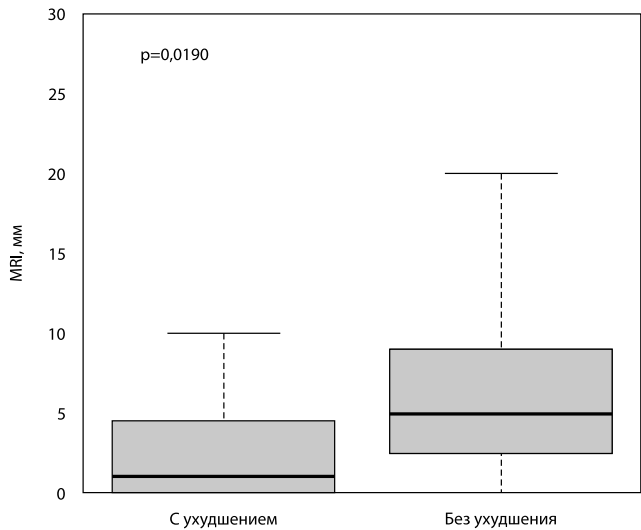


Рис. 2. Распределение расстояния от новообразования до коры прецентральной извилины у пациентов с ухудшением неврологического статуса и без ухудшения
Fig. 2. Distribution of the distance from the neoplasm to the precentral gyrus cortex in patients with deterioration of neurological status and without deterioration

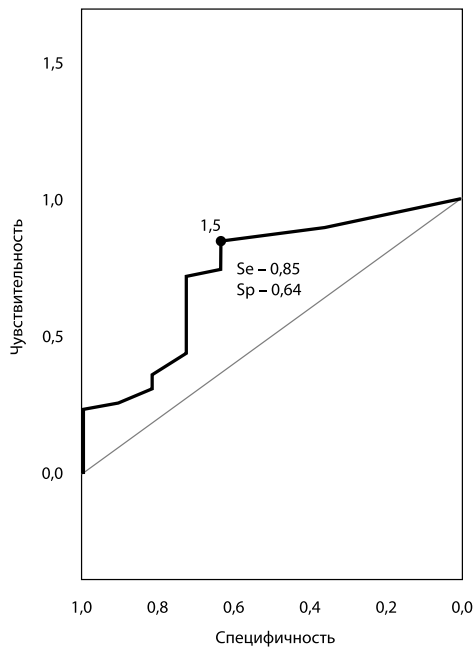


Рис. 3. ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности развития новых двигательных нарушений (парезов) от расстояния от новообразования до коры прецентральной извилины
Fig. 3. ROC-curve characterizing the dependence of the probability of developing new motor disorders (paresis) depending on the distance from the neoplasm to the precentral gyrus



Таблица 1

Результат регрессионного анализа влияния расстояния от новообразования до коры прецентральной извилины на риск возникновения двигательных нарушений

Table 1

The result of regression analysis of the influence of the distance from the neoplasm to the precentral gyrus cortex on the risk of motor disorders

Расстояние от новообразования до коры прецентральной извилины	В (регрессионный коэффициент)	ОШ	95% ДИ ОШ	P
<1,5 мм		1		
≥1,5 мм	0,43	1,54	1,20–1,95	0,0092

Площадь под ROC-кривой составила $AUC=0,73\pm0,03$ (95% ДИ: 0,53–0,92), что говорит о том, что расстояние от опухоли до коры прецентральной извилины может быть предиктором возникновения неврологического дефицита, расстояние менее 1,5 мм сопряжено с риском развития нового двигательного дефицита. При уменьшении этого расстояния ниже указанной величины неврологический дефицит наступает с чувствительностью 85% и специфичностью 64%.

Для установления отношения шансов возникновения нового неврологического дефицита в группах с расстояниями менее 1,5 мм и более 1,5 мм построена однофакторная прогностическая модель с использованием метода бинарной логистической регрессии (табл. 1).

Таким образом, расстояние <1,5 мм статистически значимо увеличивает риск развития нового неврологического дефицита в 1,54 раза, $p=0,0092$.

Расстояние до «точки руки» и риск развития нового двигательного дефицита

Проанализирована связь между расстоянием от края новообразования до «точки руки», определенным в аксиальной проекции у 30 пациентов с процессами, имеющими перироландическое расположение (рис. 4).

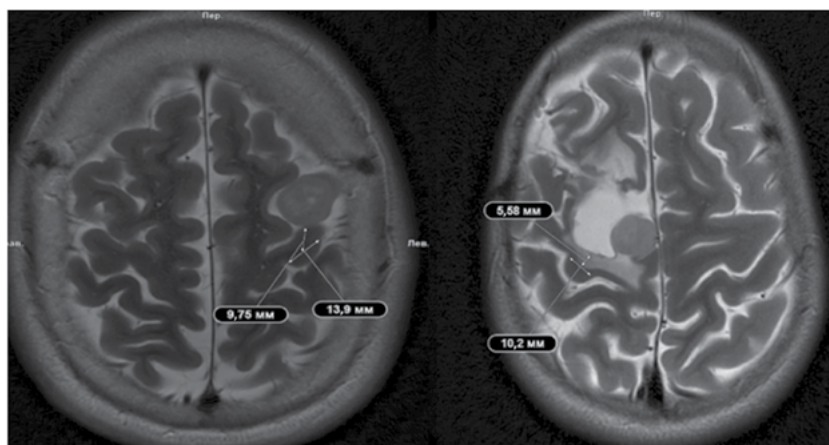


Рис. 4. Расстояние от края новообразования до «точки руки» у пациентов с новообразованиями перироландической локализации

Fig. 4. Distance from the tumor to the "hand-knob" in patients with tumors of perirolandic localization

Возраст пациентов составлял от 0,69 до 17,6 года, медиана возраста – 11,3 года, из них было 11 (36,7%) мальчиков и 19 (63,3%) девочек. Ухудшение двигательной функции после операции наступило у 5 (16,7%). Установлено, что в группе пациентов ($n=5$) с новым неврологическим дефицитом медиана расстояния составила 2,0 мм [мин. 0 мм – макс. 10,0 мм], в группе пациентов без ухудшения двигательной функции ($n=25$) медиана расстояния составила 11,0 мм [мин. 1,0 – макс. 25,0 мм]. Разница статистически значима, $p_{\text{Манна – Уитни}}=0,0164$ (рис. 5).

С использованием ROC-анализа установлено расстояние от опухоли до «точки руки», которое приводит к возникновению неврологического дефицита (рис. 6).

Площадь под ROC-кривой составила $AUC=0,85\pm0,03$ (95% ДИ: 1,13–1,93), что говорит о том, что расстояние от опухоли до «точки руки» может быть предиктором возникновения неврологического дефицита. Расстояние $\leq 4,5$ мм сопряжено с риском развития нового двигательного дефицита. При уменьшении этого расстояния ниже указанной величины неврологический дефицит наступает с чувствительностью 79% и специфичностью 80%.

Для установления отношения шансов возникновения нового неврологического дефицита в группе с расстояниями менее 4,5 мм и более 4,5 мм была построена однофакторная прогностическая модель с использованием метода бинарной логистической регрессии (табл. 2).

Таким образом, расстояние менее 4,5 мм увеличивает шансы возникновения дефицита в 1,48 раза, $p=0,0079$.

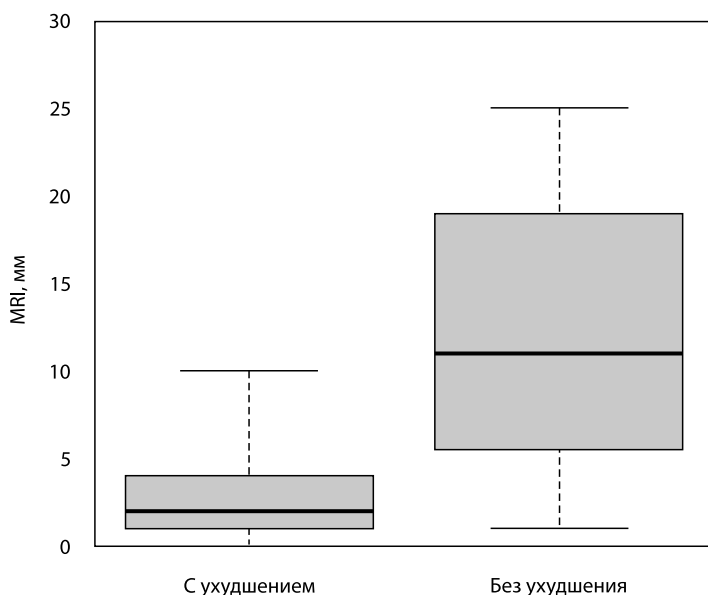


Рис. 5. Распределение расстояния от новообразования до «точки руки» у пациентов с ухудшением неврологического статуса и без ухудшения

Fig. 5. Distribution of the distance from the neoplasm to the "hand-knob" in patients with deterioration of neurological status and without deterioration

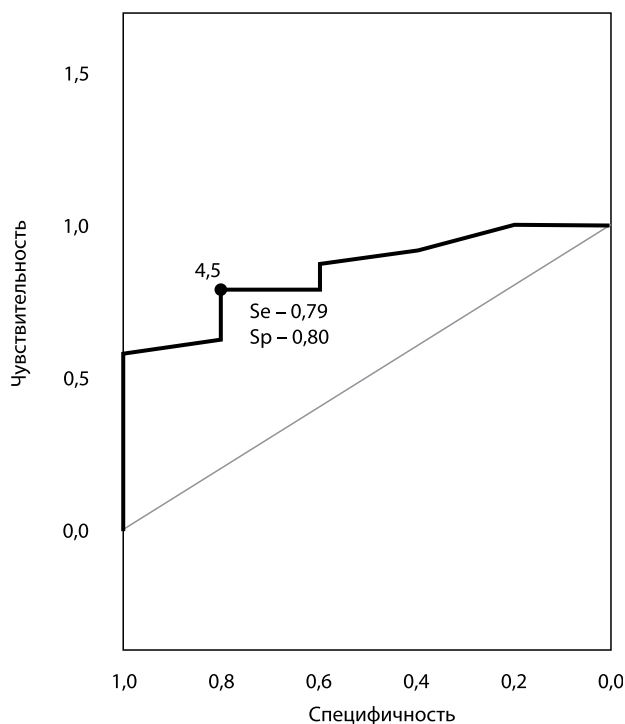


Рис. 6. ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности развития новых двигательных нарушений (парезов) от расстояния от новообразования до «точки руки»
Fig. 6. ROC-curve characterizing the dependence of the probability of developing new motor disorders (paresis) depending on the distance from the tumor to the "hand-knob"

Таблица 2
Результат регрессионного анализа влияния расстояния от новообразования до «точки руки» на риск возникновения двигательных нарушений
Table 2
The result of regression analysis of the influence of the distance from the tumor to the "hand-knob" on the risk of motor disorders

Расстояние от опухоли до «точки руки»	В (регрессионный коэффициент)	ОШ	95% ДИ ОШ	P
<4,5 мм		1		
≥4,5 мм	0,43	1,48	1,13–1,93	0,0079

Расстояние до кортикоспинальных трактов и риск развития нового двигательного дефицита

Развитие двигательного дефицита при новообразованиях перироландической локализации может быть связано не только с травмой прецентральной извилины, но и с повреждением кортикоспинальных трактов. Была проанализирована связь между расстоянием от края новообразования до кортикоспинальных трактов, определенная в аксиальной проекции у 40 пациентов. Возраст пациентов составлял

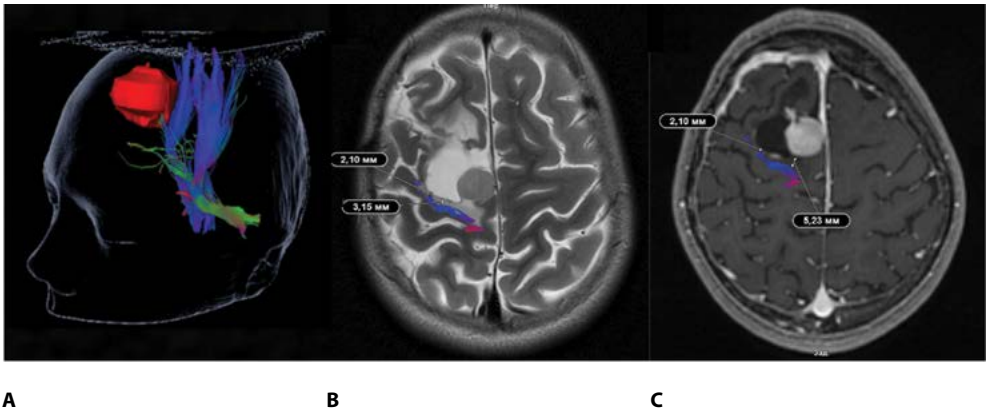


Рис. 7. Расстояние от опухоли до кортикоспинальных трактов: А – 3D-реконструкция; В – расстояние от кортикоспинального тракта до кистозного компонента опухоли; С – расстояние от кортикоспинального тракта до солидного компонента опухоли, накапливающего контраст
Fig. 7. Distance from the tumor to the corticospinal tracts: A – 3D reconstruction; B – distance from the corticospinal tract to the cyst of the tumor; C – distance from the corticospinal tract to the tumor with contrast

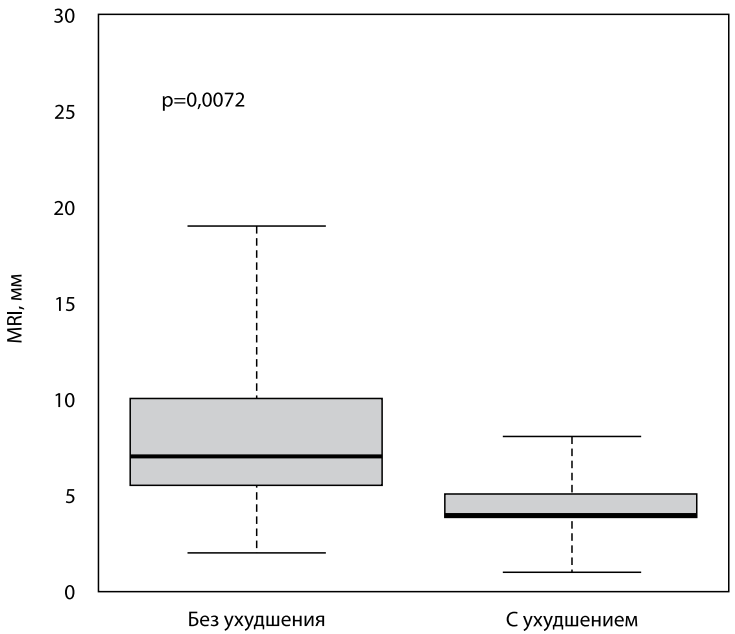


Рис. 8. Распределение расстояния от новообразования до кортикоспинальных трактов у пациентов с ухудшением неврологического статуса и без ухудшения
Fig. 8. Distribution of the distance from the neoplasm to the corticospinal tracts in patients with deterioration of neurological status and without deterioration



от 0,69 до 18,03 года, медиана возраста – 10,48 года, из них 21 (52,5%) мальчик, 19 (47,5%) девочек.

Затем измерялось кратчайшее расстояние от опухоли до кортикоспинальных трактов в одной из трех проекций. Расстояние измерялось в навигационной станции, в которую загружались результаты МРТ головного мозга, включая МРТ ДТТ (рис. 7).

Установлено, что развитие двигательного дефицита после операции связано с расстоянием от опухоли до кортикоспинальных трактов. У пациентов ($n=9$) с новым неврологическим дефицитом медиана расстояния составила 4 мм [мин. 1,0 мм; макс. 8,0 мм], в группе без ухудшения двигательной функции ($n=31$) медиана расстояния составила 7,0 мм [мин. 2,0 мм; макс. 19,0 мм], разница статистически значима, $p_{\text{Манна - Уитни}}=0,0072$ (рис. 8).

Для определения расстояния от опухоли до КСТ, которое приводит к возникновению неврологического дефицита, проведен ROC-анализ (рис. 9).

Площадь под ROC-кривой составила $AUC=0,80\pm0,03$ (95% ДИ: 0,65–0,95), что говорит о том, что расстояние от опухоли до кортикоспинальных трактов может быть предиктором возникновения неврологического дефицита, расстояние менее 5,5 мм сопряжено с риском развития нового двигательного дефицита. При расстоянии

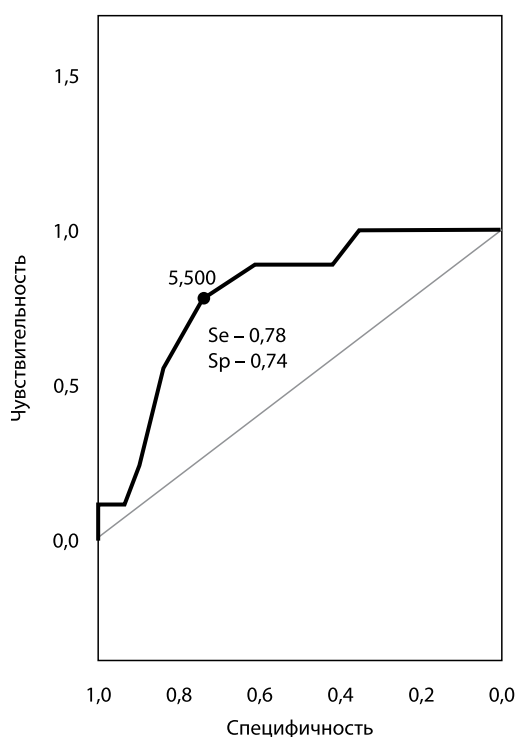


Рис. 9. ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности развития новых двигательных нарушений (парезов) от расстояния от новообразования до кортикоспинальных трактов
Fig. 9. ROC-curve characterizing the probability of developing new motor states (paresis) depending on the distance from the neoplasm to the corticospinal tracts

Таблица 3
Результат регрессионного анализа влияния расстояния от новообразования до кортикоспинальных трактов на риск возникновения двигательных нарушений
Table 3
The result of regression analysis of the influence of the distance from the tumor to the corticospinal tracts on the risk of motor disorders

Расстояние от опухоли до кортикоспинальных трактов	В (регрессионный коэффициент)	ОШ	95% ДИ ОШ	P
<5,5 мм		1		
≥5,5 мм	0,43	1,47	1,15–1,88	0,0037

менее 5,5 мм неврологический дефицит наступает с чувствительностью 78% и специфичностью 74%. Для установления отношения шансов возникновения нового неврологического дефицита в группе с расстояниями <5,5 мм и ≥5,5 мм была построена однофакторная прогностическая модель с использованием метода бинарной логистической регрессии (табл. 3).

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Основной целью нейрохирургического лечения внутричерепных опухолей и КМ является достижение баланса между объемом резекции и сохранением неврологических функций. Многочисленные, в том числе достаточно недавние, исследования показали, что максимальная резекция опухоли является наиболее важным фактором, улучшающим показатели выживаемости [10–12]. Риск хирургического вмешательства в двигательных отделах головного мозга достаточно высок. В литературе данные как о временном, так и о постоянном дефиците широко варьируются: от 22% до 42,8% и от 3,5% до 12,7% соответственно [3, 13–15].

Большинство работ, посвященных изучению связи между расстоянием и риском развития нового неврологического дефицита, являются результатом изучения взрослых пациентов. Публикации, касающиеся пациентов детского возраста, малочисленны и описывают небольшое число наблюдений. Несколько исследований показали, что уровень двигательных нарушений, вероятно, увеличится, когда расстояние между опухолью и моторной корой уменьшается [5, 16, 17]. В исследовании S. Fang и соавторов на 35 взрослых пациентах установлено, что расстояние от опухоли до «точки руки» менее 4 мм увеличивало риск развития нового неврологического дефицита, особенно в случае смещения «точки руки» в результате воздействия новообразования [18]. В своей работе, описывающей эффективность МРТ ДТИ у 7 пациентов детского возраста, K. Helton и соавторы получили связь между показателем фракционной анизотропии и тяжестью неврологического дефицита [19].

Ранее были проведены исследования, показавшие взаимосвязь дооперационного двигательного дефицита с поражением КСТ по данным МРТ ДТТ [20, 21]. В работе Erin J. установлено, что у 46% пациентов с расстоянием до КСТ менее 1,0 см развился новый неврологический дефицит [22]. Rosenstock T. получил данные о том, что расстояние менее 8 мм сопряжено с риском двигательных нарушений, а в работе Nico Sollmann и соавторов показано, что расстояние более 12 мм было безопасным для удаления [5, 23]. Все эти публикации основаны на результатах хирургии взрослых.



В нашем исследовании получены данные о том, что расстояние от новообразования до прецентральной извилины менее 1,5 мм и расстояние до «точки руки» менее 4,5 мм статистически значимо сопряжено с риском развития нового двигательного дефицита. Кроме того, получены данные о том, что расстояние до КСТ менее 5,5 мм также статистически значимо ухудшает функциональный результат операции. Полученные результаты важны с точки зрения оценки индивидуальных рисков нейрохирургического лечения, а также должны учитываться в разговоре с пациентом и его законными представителями перед операцией, кроме того, они могут быть важным фактором при принятии решения о показаниях к хирургии в сознании, если возраст и психологическое состояние пациента позволяют.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предоперационное планирование с изучением расстояний до анатомических образований, отвечающих за двигательную функцию, может быть использовано для оценки риска развития нового двигательного дефицита и может быть важным аргументом при принятии решения о выполнении операции в сознании.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Krishnan R., Raabe A., Hattingen E., Széleányi A., Yahya H., Hermann E., Zimmermann M., Seifert V. Functional magnetic resonance imaging-integrated neuronavigation: correlation between lesion-to-motor cortex distance and outcome. *Neurosurgery*. 2004;55(4):904–914; discussion 914–915. doi: 10.1227/01.neu.0000137331.35014.5c
2. Nossek E., Korn A., Shahar T. Intraoperative mapping and monitoring of the corticospinal tracts with neurophysiological assessment and 3-dimensional ultrasonography-based navigation. Clinical article. *J Neurosurg*. 2011;114(3):738–746. doi: 10.3171/2010.8.JNS10639
3. Seidel K., Beck J., Stieglitz L., Schucht P., Raabe A. Low-threshold monopolar motor mapping for resection of primary motor cortex tumors. *Neurosurgery*. 2012;71(suppl 1 operative):104–114; discussion 114–115. doi: 10.1227/NEU.0b013e31824c02a0
4. Prabhu S.S., Gasco J., Tummala S., Weinberg J.S., Rao G. Intraoperative magnetic resonance imaging-guided tractography with integrated monopolar subcortical functional mapping for resection of brain tumors. Clinical article. *J Neurosurg*. 2011;114(3):719–726. doi: 10.3171/2010.9.JNS10481
5. Sollmann N., Wildschuetz N., Kelm A., Conway N., Moser T., Bulbas L., Kirschke J.S., Meyer B., Krieg S.M. Associations between clinical outcome and navigated transcranial magnetic stimulation characteristics in patients with motor-eloquent brain lesions: a combined navigated transcranial magnetic stimulation-diffusion tensor imaging fiber tracking approach. *Journal of neurosurgery*. 2008;128(3):800–810. doi: 10.3171/2016.11.JNS162322
6. Duffau H., Taillandier L. New concepts in the management of diffuse low-grade glioma: Proposal of a multistage and individualized therapeutic approach. *Neuro-oncology*. 2015;17(3):332–342. doi: 10.1093/neuonc/nou153
7. Capelle L., Fontaine D., Mandonnet E., Taillandier L., Golmard J.L., Bauchet L., Pallud J., Peruzzi P. Spontaneous and therapeutic prognostic factors in adult hemispheric World Health Organization Grade II gliomas: a series of 1097 cases: clinical article. *Journal of neurosurgery*. 2013;118(6):1157–1168. doi: 10.3171/2013.1.JNS121
8. De Witt Hamer P.C., Klein M., Hervey-Jumper S.L., Wefel J.S., Berger M.S. Functional Outcomes and Health-Related Quality of Life Following Glioma Surgery. *Neurosurgery*. 2021;88(4):720–732. doi: 10.1093/neuros/nyaa365
9. Boling W., Olivier A., Fabinyi G. Historical contributions to the modern understanding of function in the central area. *Neurosurgery*. 2002;50:1296–1309. doi: 10.1097/00006123-200206000-00022
10. Bandopadhyay P., Bergthold G., London W.B., Goumnerova L.C., Morales La Madrid A., Marcus K.J. Long-term outcome of 4,040 children diagnosed with pediatric low-grade gliomas: an analysis of the Surveillance Epidemiology and End Results (SEER) database. *Pediatric blood cancer*. 2014;61(7):1173–1179. doi: 10.1002/pbc.24958
11. Sanai N., Berger M.S. Operative techniques for gliomas and the value of extent of resection. *Neurotherapeutics: the journal of the American Society for Experimental Neurotherapeutics*. 2009;6(3):478–486. doi: 10.1016/j.nurt.2009.04.005
12. Ius T., Isola M., Budai R., Pauletto G., Tomasino B., Fadiga L., Skrap M. Low-grade glioma surgery in eloquent areas: volumetric analysis of extent of resection and its impact on overall survival. A single-institution experience in 190 patients: clinical article. *Journal of neurosurgery*. 2012;117(6):1039–1052. doi: 10.3171/2012.8.JNS12393
13. Ostrý S., Belšan T., Otáhal J., Beneš V., Netuka D. Is intraoperative diffusion tensor imaging at 3.0T comparable to subcortical corticospinal tract mapping? *Neurosurgery*. 2013;73(5):797–807. doi: 10.1227/NEU.00000000000000087
14. Zolal A., Hejčl A., Vachata P., Bartoš R., Humhej I., Malucelli A., Nováková M., Hrach K., Derner M., Sameš M. The use of diffusion tensor images of the corticospinal tract in intrinsic brain tumor surgery: a comparison with direct subcortical stimulation. *Neurosurgery*. 2012;71(2):331–340. doi: 10.1227/NEU.0b013e31825b1c18
15. Maesawa S., Fujii M., Nakahara N., Watanabe T., Wakabayashi T., Yoshida J. Intraoperative tractography and motor evoked potential (MEP) monitoring in surgery for gliomas around the corticospinal tract. *World Neurosurg*. 2010;74(1):153–161. doi: 10.1016/j.wneu.2010.03.022

16. Bailey P.D., Zacà D., Basha M.M., Agarwal S., Gujar S.K., Sair H.I. Presurgical fMRI and DTI for the prediction of perioperative motor and language deficits in primary or metastatic brain lesions. *J Neuroimaging*. 2015;25:776–784. doi: 10.1111/jon.12273
17. Wood J.M., Kundu B., Utter A., Gallagher T.A., Voss J., Nair V.A. Impact of brain tumor location on morbidity and mortality: a retrospective functional MR imaging study. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2011;32:1420–1425. doi: 10.3174/ajnr.A2679
18. Fang S., Liang J., Qian T., Wang Y., Liu X., Fan X., Li S., Wang Y., Jiang T. Anatomic Location of Tumor Predicts the Accuracy of Motor Function Localization in Diffuse Lower-Grade Gliomas Involving the Hand Knob Area. *AJNR. American journal of neuroradiology*. 2017;38(10):1990–1997. doi: 10.3174/ajnr.A5342
19. Helton K.J., Phillips N.S., Khan R.B., Boop F.A., Sanford R.A., Zou P., Li C.S., Langston J.W., Ogg R.J. Diffusion tensor imaging of tract involvement in children with pontine tumors. *AJNR. American journal of neuroradiology*. 2006;27(4):786–793.
20. Ahn S., Lee S.K. Diffusion tensor imaging: exploring the motor networks and clinical applications. *Korean journal of radiology*. 2011;12(6):651–661. doi: 10.3348/kjr.2011.12.6.651
21. Laundre B.J., Jellison B.J., Badie B., Alexander A.L., Field A.S. Diffusion tensor imaging of the corticospinal tract before and after mass resection as correlated with clinical motor findings: preliminary data. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2005;26:791–796.
22. Meyer E.J., Gaggi W., Gilloon B., Swan B., Greenstein M., Voss J. The Impact of Intracranial Tumor Proximity to White Matter Tracts on Morbidity and Mortality: A Retrospective Diffusion Tensor Imaging Study. *Neurosurgery*. 2017;80(2):193–200. doi: 10.1007/s00381-018-3828-4
23. Rosenstock T., Grittner U., Acker G., Schwarzer V., Kulchytska N., Vajkoczy P. Risk stratification in motor area-related glioma surgery based on navigated transcranial magnetic stimulation data. *Journal of neurosurgery*. 2017;126(4):1227–1237. doi: 10.3171/2016.4.JNS.152896