АНАЛИЗ ГЕМОРРАГИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ БИОПСИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Куканов К. К.[1], Тастанбеков М. М.[1], Сафаров Б. И.[1], Пустовой С. В.[1], Улитин А. Ю.[1], Песков В. А.[1], Лавровский П. В.[1], Яковенко И. В.[2], Кондаков Е. Н.[1], Олюшин В. Е.[1], Себелев К. И.[1], Берснев В. П.[1]

[1] Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт им. проф. А. Л. Поленова — филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Россия;

[2] ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Минздрава России, Россия

ANALYSIS OF HEMORRHAGIC COMPLICATIONS DURING STEREOTAXIC BIOPSIA OF THE BRAIN TUMOR

Kukanov K. K.[1], Tastanbekov M. M.[1], Safarov B. I.[1], Pustovoy S. V.[1], Peckov V. A.[1], Lavrovsky P. V.[1], Yakovenko I. V.[1], Kondakov E. N.[1], Olushin V. E.[1], Sebelev K. I.[1], Bersnev V. P.[1]

[1] A. L. Polenov Russian Research Institute of Neurosurgery — branch of V. A. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Health of Russia; [2] North-Western State Medical University named I. I. Mechnikov, Ministry of Health of Russia, Russia

РЕЗЮМЕ

Основой для диагностики глубинных поражений головного мозга является стереотаксическая биопсия (СТБ). СТБ является самой частой стереотаксической процедурой. Самыми частыми осложнениями СТБ являются кровоизлияния. Риск кровоизлияний варьирует от 0,9%–59,8% по данным различных авторов. В работе произведён анализ частоты и структуры геморрагических осложнений при СТБ, выявлены прогностические факторы высокого риска и предложены профилактические меры по снижению числа кровоизлияний. Последнее десятилетие характеризуется интенсивным развитием малоинвазивной хирургической техники и широким ее внедрением в клиническую практику нейрохирургических стационаров. И в нашей стране, и за рубежом за указанный период отмечается значительный рост активности использования стереотаксических методик. Это касается как функциональных стереотаксических вмешательств, так и операций, выполняемых у пациентов с очаговыми патологическими образованиями головного мозга.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биопсия, опухоль головного мозга, нейроонкология .

SUMMARY

Sterotactic biopsy (STB) is the basis for the diagnosis of deep brain lesions. STB is the most common stereotactic procedure. The most frequent complications are hemorrhage STB. The risk of hemorrhage varies from 0.9%–59.8% according to various authors. The paper analyzes the frequency and structure of hemorrhagic complications in STB, identifies prognostic high-risk factors and proposes preventive measures to reduce the number of hemorrhages. The last decade is characterized by intensive development of minimally invasive surgical technique and its wide introduction into clinical practice of neurosurgical hospitals. Both in our country and abroad during this period there is a significant increase in the use of stereotactic techniques. This applies to both functional stereotactic interventions and operations performed in patients with focal pathological formations of the brain.

KEY WORDS: biopsy, brain tumor, neurooncology.

Введение

Основой для диагностики глубинных поражений головного мозга является стеротаксическая биопсия (СТБ). СТБ является самой частой стереотаксической процедурой [1,2,4,14]. История возникновения стереотаксиса начинается в конце 1940-х годов, когда остро встал вопрос о необходимости проведения минимально инвазивных методик при нейрохирургических вмешательствах. Шпигель (Spiegel) и Викс (Wycis) разработали первый стереотаксический аппарат, который впоследствии был усовершенствован Лекселлом (Lars Leksell). В 1949 г. Лекселл сообщил о первом успешном применении «легкого в обращении и практичного в рутинной клинической работе» стереотаксического аппарата [16,17]. С появлением ангиографии, рентгена, компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии (МРТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) совершенствовалась методика предоперационного планирования. В результате расширялись показания и возможности для проведения стереотаксической биопсии. СТБ имеет ряд преимуществ перед обычной интраопера-

ционной биопсией — она, безусловно, менее травматична и более безопасна, особенно у больных в тяжелом состоянии [3,5,6,14,16]. В настоящее время СТБ является широко распространенным минимально инвазивным вмешательством в нейрохирургической практике. Техника ее постоянно совершенствуется. Морфологическая верификация патологического образования головного мозга имеет решающее значение для определения тактики лечения пациента. Знание гистологического диагноза необходимо для построения правильного плана лечения пациентов с опухолями головного мозга (лучевой терапии, химиотерапии) и определения прогноза заболевания. Самыми частыми осложнениями СТБ являются кровоизлияния.

Последнее десятилетие характеризуется интенсивным развитием малоинвазивной хирургической техники и широким ее внедрением в клиническую практику нейрохирургических стационаров. И в нашей стране, и за рубежом за указанный период отмечается значительный рост активности использования стереотаксических методик. Это касается как функциональных стереотаксических вмешательств, так и операций, выполняемых у пациентов с очаговыми патологическими образованиями головного мозга [4,14,16,23].

Материалы и методы

В работе проведен ретроспективный анализ стереотаксических биопсий у больных с объемными образованиями головного мозга за 2016–2017 год, выполненных на базе РНХИ им. А. Л. Поленова. Оценены риски послеоперационных геморрагических осложнений и возможные методы их снижения. Каждый пациент проходил предоперационную подготовку в которую входило:

- осмотр неврологом, нейрохирургом, отоларингологом, терапевтом, анестезиологом.
- оценка функциональной активности по шкале Карновского на момент поступления и на момент выписки из стационара.
- оценка данных лабораторных и инструментальных методов исследования
- предоперационная разметка и планирование СТБ

Стереотаксическая биопсия выполнялась на аппаратах рамного стереотаксиса (CRW Radionics, Laitinen), безрамного стереотаксиса (Radionics OmniSight) (Рис. 1).

Стереотаксическая разметка выполнялась на компьютерном томографе. СТБ проводилась по общепринятой методике биопсийной канюлей с боковым окном (CRW Radionics), биопсийной канюлей с прямым ходом (Laitinen).

Алгоритм выполнения стереотаксической биопсии с применением рамный аппаратов включает 5 этапов:

1 этап — фиксация стереотаксической рамы (в случаях использования рамных систем).

2 этап — стереотаксическая мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). При планировании стереотаксической биопсии используется тонкосрезовое сканирование с шагом в 1 мм в аксиальной плоскости.

3 этап — планирование процедуры стереотаксической биопсии. Результатом планирования является определение координат X, Y, Z (точки входа, целевой точки), углов на дуге с учетом выбранной стороны и кольце стереотаксической системы и дистанции между точкой входа и заданной целью. По полученным координатам на координирующей раме последовательно собирается стереотаксическая система (Рис. 1 (а)).

5 этап — забор биопсийного материала.

На наш взгляд, целесообразно внутривенное введение во время премедикации препаратов Транексамовой кислоты (при отсутствии противопоказаний) с целью обеспечения надёжного гемостаза.

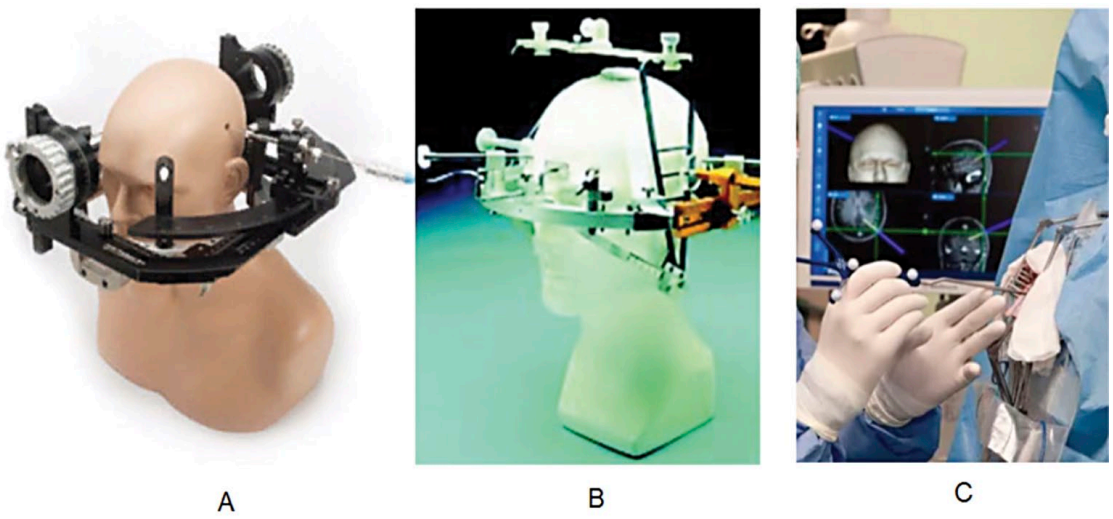

Рис. 1. Применяемые методы стереотаксиса.

A — стереотаксическая система CRW Radionics. B — стереотаксический аппарат L. V. Laitinen. C — безрамная система навигации Radionics OmniSight.

На следующей день после проведенной биопсии выполняется контрольная МСКТ головного мозга с целью исключения кровоизлияний. Как правило, пациенты выписываются уже через 48 часов после выполненной операции.

В дальнейшем проводилась итоговая гистологическая верификация на постоянных препаратах, а также иммуногистохимическое (ИГХ) исследование.

Все пациенты были разделены на две группы: первая группа больных включала в себя 9 (45%) биопсий стереотаксическим аппаратом Laitinen, вторая группа — 9 (45%) биопсий стереотаксическим аппаратом CRW Radionics. Пациенты, которым СТБ выполнялась безрамной системой Radionix Omnisight, были выделены из общего числа пациентов и для сравнения не включались, ввиду того, что выполнение безрамной нейронавигации отличается от рамной навигации по методике выполнения, выборка из 2-х случаев мала и не может быть оценена статистически.

В случаях возникновения геморрагических осложнений производилась оценка по данным клинической картины и компьютерной томографии головного мозга. Все кровоизлияния были разделены на две группы — клинически значимые и клинически незначимые. Объем (V) гематомы в мм^3 оценивался в программе Slicer 3D v 4.2, в зависимости от объема выставлялась балльная оценка по предложенной шкале. Статистическая оценка проводилась в программе Matlab Statistics Toolbox v. R2017 и Open Office Calc v. 4.1.4.

Результаты

Всего за период с 2016 по 2017 год проведено 20 СТБ, из них 6 женщинам, 14 — мужчинам. Более половины пациентов (55%) входили в группу трудоспособного населения (Рис. 2). Возраст больных варьировал от 24 до 78 лет, средний возраст составил 57,5 лет. Время появления первых симптомов заболевания до установления диагноза составило от 0,5 до 12 месяцев, медиана начала развития клинической симптоматики составила 1,5 месяца (Рис. 3).

Все лимфомы в данной выборке были первичными неходжкинскими лимфомами ЦНС. Выборка небольшая, однако прослеживается тенденция к снижению времени появления первых симптомов до поступления в стационар в зависимости от степени злокачественности опухоли (диффузная астроцитома 12 мес., анапластическая астроцитома — 10 мес., глиобластома — 2 мес.), при лимфопролиферативном процессе — в среднем, 1,5 месяца. У одного больного заключительный гистологический диагноз не полу-

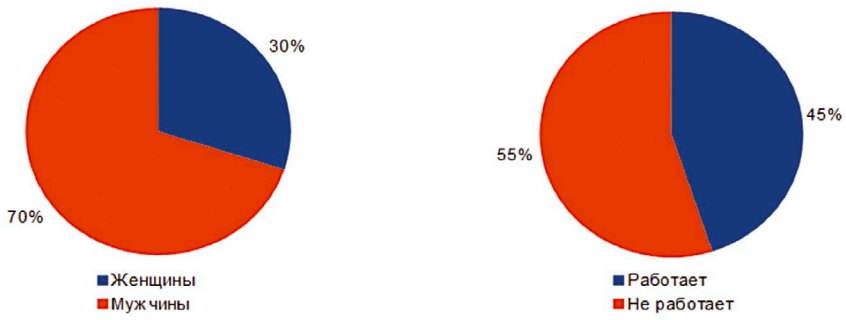

Рис. 2. Распределение больных по полу и трудовому статусу.

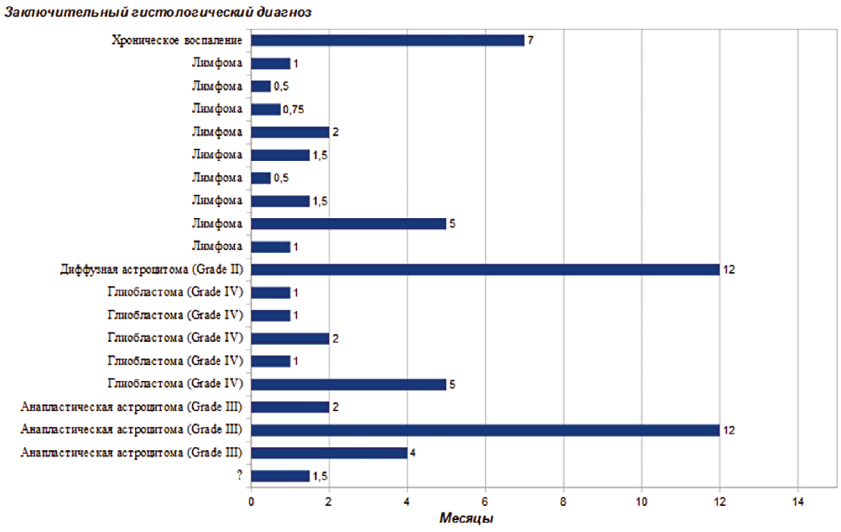

Рис. 3. Анамнез заболевания: зависимость времени начала (месяцы (n)) развития клинической симптоматики от гистологического диагноза

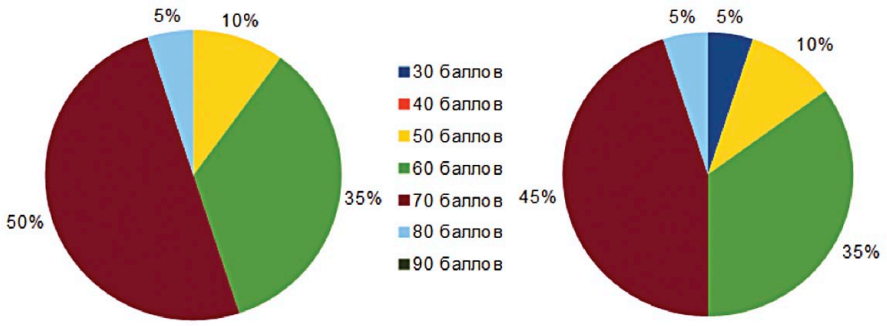

Рис. 4. Оценка по шкале Карновского на момент поступления и на момент выписки.

чен («диагноз между тучноклеточной астроцитомой и лимфопролиферативным процессом). Средний балл функционального состояния по шкале Карновского на момент поступления составил 65, на момент выписки — 60 баллов (рис. 4).

Обращает на себя внимание высокая частота психических нарушений (75%), в связи с чем сбор анамнеза у большинства больных затруднен. Головная боль отмечена у 55% больных, атаксия выявлена у 60% пациентов. Выпадение полей зрения наблюдалось у 35% больных, а застойные диски зрительных нервов отмечены в 15% наблюдений (таблица 1).

Оценка послеоперационных геморрагических осложнений.

Всем пациентам после биопсии выполнялся послеоперационный МСКТ контроль. Послеоперационные кровоизлияния делились на клинически значимые и клинически незначимые (таблица 2). Для перевода качественных признаков кровоизлияния в количественные нами была введена бальная система оценки (Рис. 5). Всего при интроскопии обнаружено наличие кровоизлияния (40%) случаях. Из них клинически незначимые в 25% (5 случаев), крупное диффузное кровоизлияние с клинической картиной (5%), внутрижелудочковое с выраженной клинической картиной (10%). Путем объемного рендера получен объем кровоизлияний в каждом случае (рис. 6).

Результаты гистологического исследования полученного материала. Во время проведения стереотаксической биопсии в 90% случаев проводилась экспресс — гистологическое исследование материала. Мы провели оценку результатов экспресс-биопсии на соответствие совпадения с окончательным гистологическим заключением (рис. 7).

В нашей выборке расхождение результатов экспресс биопсии и результатов заключительного гистологического диагноза по типу опухоли (нейроэпителиальная, лимфопролиферативная) составила 16,6%.

Таблица 1

Неврологическая симптоматика на момент поступления и состояние глазного дна.

Симптом	Абсолютные значения	(%)
Головная боль	11	55%
Поражение черепных нервов	1	5%
Парциальные припадки	2	10%
Генерализованные эпилептические припадки	1	5%
Медленно развивающиеся моно и гемипарезы	5	25%
Интеллектуально-мнестические нарушения	15	75%
Головокружение	6	30%
Инсультообразное начало (резкое нарушение речи или парезы)	3	15%
Изолированная рвота	1	5%
Расстройство походки	12	60%
Выпадение полей зрения	7	35%
Застойные диски зрительных нервов	3	15%

Таблица 2

Частота и тяжесть послеоперационных кровоизлияний.

Тип кровоизлияния	Баллы	Абсолютные значения	%
Малое точечное в зоне биопсии или по ходу иглы без клинической картины (объем < 300 мм^3)	1	4	20,00% (4/20)
Малое точечное с неврологической клиникой	2	0	0,00% (0/20)
Крупное диффузное без клинической картины (объем > 300 мм^3)	3	1	5,00% (1/20)
Крупное диффузное с клинической картиной (объем >300 мм^3)	4	1	5,00% (1/20)
Внутрижелудочковое	5	2	10,00% (2/20)
ВСЕГО	40,00% (8/20)		

Таблица 3

Сводная таблица объемов, тяжести кровоизлияний, гистологических диагнозов и исходов.

Гистологический диагноз	Количество	Частота кровоизлияний всего (%) баллы
Лимфома	9	4/9 (44%) 1+1+1+5
Астроцитома диффузная (Grade II)	1	0 (0%) 0
Астроцитома анапластическая (Grade III)	3	2/3 (67%) 1+3
Глиобластома (Grade IV)	5	2/5 (40%) 5+4
Хроническое воспаление	1	0 (0%) 0
Нет окончательного диагноза требуется (ИГХ).	1	0 (0%) 0

Обсуждение результатов и заключение.

Высокая частота кровоизлияний в данной выборке потребовала поиска факторов риска данных осложнений. Какие же факторы, возможно, могли бы стать причиной высокой частоты кровоизлияний (40%), клинически значимые в 15%, клинически незначимые в 25%? По нашему мнению, возможными факторами повышающими вероятность геморрагических осложнений во время стереотаксической биопсии могут являться: методика стереотаксиса, степень анаплазии опухоли, локализация и объём патологического процесса, состояние системы свертывания крови, пол, возраст пациентов, опыт хирурга (рис 8).

Проведем анализ каждого из факторов отдельно:

1) Стереотаксический метод.

Все пациенты были разделены на две группы: первая группа больных включала в себя 9 (45%) биопсий стереотаксическим аппаратом Laitinen, вторая группа — 9 (45%) биопсий стереотаксическим аппаратом CRW Radionics (таблица 3). Абсолютный риск кровоизлияния при выполнении стерео-

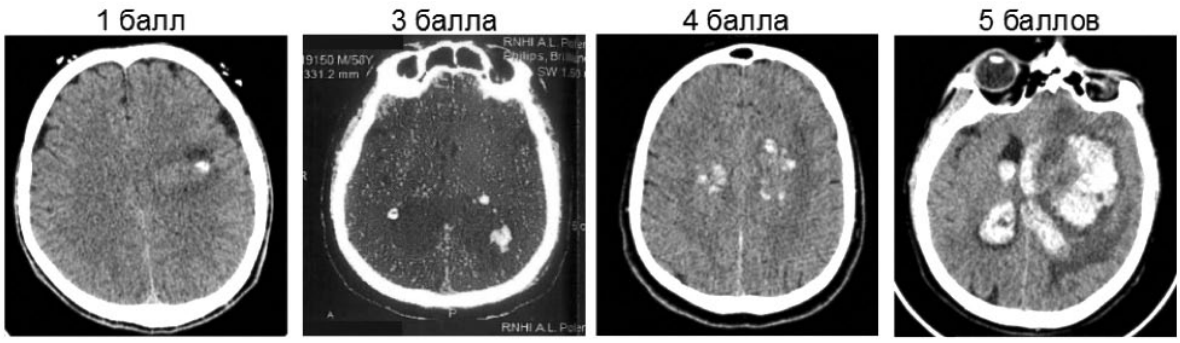

Рис. 5. Примеры соответствия объема кровоизлияния предложенным баллам

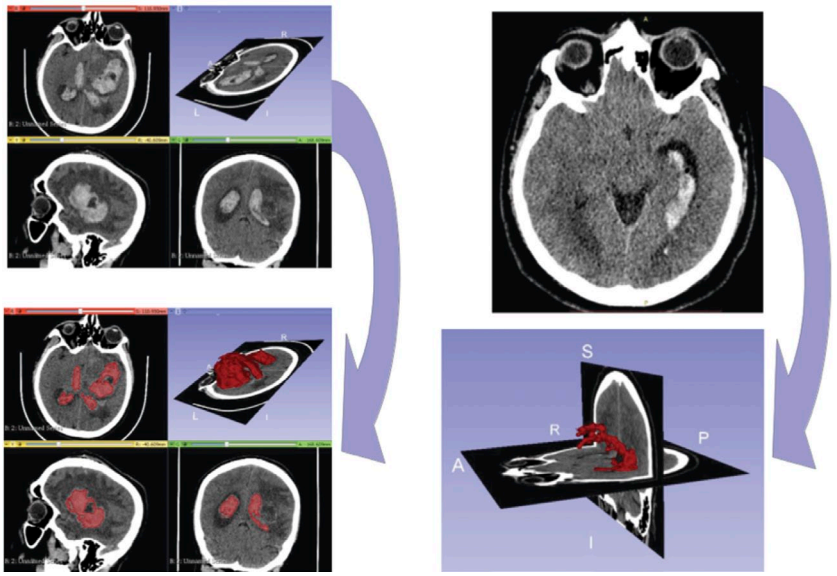

Рис. 6. Пример сегментации кровоизлияний и подсчет объема по данным компьютерной томографии.

Рис. 7. Распределение заключительных гистологических диагнозов.

Рис. 8. Блок схема: возможные факторы влияющие на вероятность развития геморрагических осложнений.

таксической биопсии аппаратом Laitinen составил 55,55%, из них 22% — риск клинически значимого кровоизлияния. Абсолютный риск кровоизлияния при выполнении СТБ аппаратом CRW Radionics составил 33,3%, из них 11% — риск клинически значимого кровоизлияния (V=2805,23 мм^3) ($p<0,05$). Относительный риск геморрагического осложнения СТБ с аппаратом Laitinen оказался в 1,66 раз выше, чем при использовании аппарата CRW Radionics, а также частота клинически значимого кровоизлияния выше при использовании аппарата Laitinen (в два раза ($p<0,05$)).

Следует отметить, что оба клинически значимых кровоизлияния (V=9166,59 мм^3 и V=96453,6 мм^3) из первой группы оперированных больных были субэпендимарными с выраженной клинической картиной и высоким риском витальных расстройств. Во второй группе больных таких тяжелых осложнений не наблюдалось, а единственное значимое кровоизлияние в объеме 2805,23 мм^3 было диффузным в строму опухоли. В одном (5%) наблюдении потребовалось удаление внутримозговой гематомы, установка вентрикулярного дренажа. Летальность в исследуемой группе составила 0%.

Общее количество баллов, (по нашей шкале тяжести кровоизлияния), набранных в 1 группе больных составило 15, во второй группе — 6 баллов.

Наиболее тяжелые осложнения в виде внутрижелудочковых кровоизлияний наблюдались в 2016 г.

Из рисунка 9 можно сделать вывод о тенденции к снижению частоты и тяжести кровоизлияний в 2017 г. по сравнению с 2016 г., вероятно, это связано с началом использования более современного стереотаксического аппарата (CRW Radionix).

2) Степень злокачественности опухоли.

Для каждого вида опухоли оценивалась частота кровоизлияний, количество баллов по нашей шкале тяжести кровоизлияний (таблица 4).

Риск кровоизлияния при лимфопролиферативном процессе составил 44%, однако клинически значимое кровоизлияние наблюдалось только в 11% наблюдений. Риск кровоизлияния при глиобластоме составил 40%, оба кровоизлияния были клинически значимыми. По данным корреляционного анализа Спирмена имеется прямая связь ($\rho=0,95$) между степенью анаплазии астроцитарной опухоли и тяжестью кровоизлияния.

3) Локализация и объем опухоли.

Локализация процесса оценивалась по данным магнитно-резонансной томографии и компьютерной томографии головного мозга. У 19 (95%) пациентов на момент поступления имелись очаги поражения более, чем в одной анатомической области головного мозга (таблица 5).

Поражение мозолистого тела наблюдалось у 14 (70%) больных, что являлось основной из причин хирургической настороженности и принятия решения в пользу стереотаксической биопсии опухоли. Теменная доля поражена у 10 (50%), перивентрикулярная зона у 8 (40%) больных.

Нами произведена оценка степени распространённости неопластического процесса (количество пораженных анатомических областей головного мозга) в зависимости от морфологии опухоли (таблица 6).

При лимфомах мозолистое тело было поражено в 55% случаев, базальные ганглии в 22% случаев, таламус был интактен в 100% случаев.

При глиобластомах в 80% случаев патологический процесс располагался перивентрикулярно, мозолистое тело было поражено в 80% наблюдений. Базальные ганглии и таламус интактны в 100% случаев, при анапластических астроцитомах мозолистое тело было поражено в 100% случаев.

По данным корреляционного анализа имеется слабая связь ($\rho=0,286$) между количеством вовлеченных областей головного мозга в патологический процесс и тяжестью кровоизлияния.

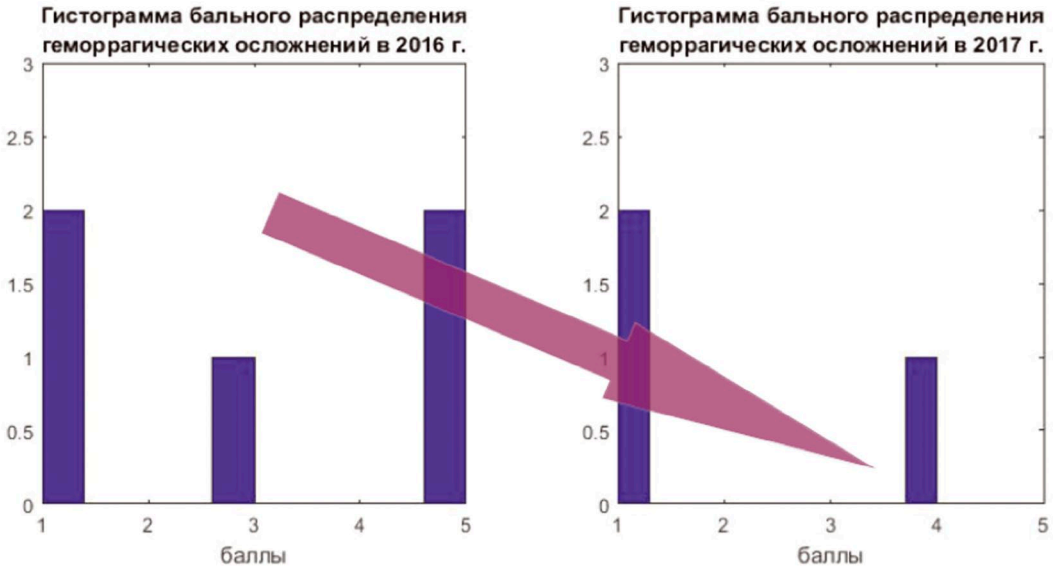

Рис. 9. Распределение кровоизлияний по годам (в баллах)

Таблица 4

Распределение гистологических диагнозов (оценка частоты и тяжести кровоизлияний)

Гистологический диагноз	Количество	Частота кровоизлияний всего (%) баллы
Лимфома	9	4/9 (44%) 1+1+1+5
Астроцитома диффузная (Grade II)	1	0 (0%) 0
Астроцитома анапластическая (Grade III)	3	2/3 (67%) 1+3
Глиобластома (Grade IV)	5	2/5 (40%) 5+4
Хроническое воспаление	1	0 (0%) 0
Нет окончательного диагноза требуется (ИГХ).	1	0 (0%) 0

Таблица 5

Локализация опухоли.

Локализация	Абсолютные значения	(%)
Лобная доля	7	35,00%
Височная доля	7	35,00%
Теменная доля	10	50,00%
Затылочная доля	4	20,00%
Базальные ганглии	3	15,00%
Таламус	3	15,00%
Перивентрикулярно	8	40,00%
Интравентрикулярно	1	5,00%
Мозжечок	2	10,00%
Мозолистое тело	14	70,00%

Таблица 6

Оценка степени распространённости опухоли в зависимости от гистологической структуры опухоли

Количество пораженных областей головного мозга	Морфология опухоли
5 5 6 2 2 2 2 1 3	Лимфома
4	Астроцитома диффузная (Grade II)
4 5 5	Астроцитома анапластическая (Grade III)
2 2 5 2 2	Глиобластома (Grade IV)

4) Пол, возраст, состояние свертывающей системы.

По данным корреляционного анализа имеется слабая связь (ρ=–0,089) между степенью тяжести кровоизлияния и возрастом больного; между тяжестью кровоизлияния и полом больного также выявлена слабая связь (ρ=0,101). На момент поступления всем пациентам оценивалась свертывающая система крови (коагулограмма, агрегатограмма). В нашем исследовании ни у одного больного с кровоизлиянием после СТБ изменений свертывающей системы крови до операции не наблюдалось.

Выводы

Риск кровоизлияния не зависит от вовлеченных в неопластический процесс областей головного мозга (ρ=0,28), пола и возраста больного. Имеется прямая корреляционная связь между степенью ана-

плазии астроцитарной опухоли и тяжестью кровоизлияния (ρ=0,95). Преобладает высокая частота кровоизлияний при лимфопролиферативном процессе и глиобластомах, однако, в первом случае они чаще всего клинически незначимых. Введение в практику использования современного стереотаксического аппарата CRW Radionics снизило частоту и тяжесть геморрагических осложнений после СТБ в два раза ($p<0,05$).

Использование тактики (Kulkarni AV 1998 г.), когда после СТБ и КТ контроля пациент без неврологического ухудшения выписывается в день проведения процедуры нецелесообразно. Это подтверждает наше исследование, а также данные Grossman et all. 2005.

Снижению рисков внутричерепных кровоизлияний при СТБ опухолей могут способствовать:

- тщательное предоперационное планирование траектории биопсии в программе Surgi Plan®;
- использование при планировании траектории введения биопсийной иглы наиболее информативных методов нейровизуализации «опасных» структур (МРТ, МРТ-АГ, Fusion МРТ-КТ-ангиография и др.);
- использование современных стереотаксических установок нейрохирургом, прошедшим дополнительную специализацию и обучение работы на данных аппаратах;
- использование современных биопсийных канюль;
- применение предоперационной превентивной гемостатической терапии у пациентов с подозрением на высокую степень анаплазии опухоли.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

ORCID авторов:

Куканов Константин Константинович — 0000-0002-1123-8271
Тастанбеков Малик Маратович — 0000-0003-3675-9302
Сафаров Бобир Ибрагимович — 0000-0003-3675-9302
Лавровский Павел Владимирович — 0000-0002-1451-0648
Пустовой Сергей Владимирович — 0000-0002-6081-1193
Улитин Алексей Юрьевич — 0000-0002-8343-4917
Яковенко Игорь Васильевич — 0000-0002-7941-5027

Список литературы

1. Абраков Л. В. Основы стереотаксической нейрохирургии. Л.: Медицина, 1975. 232 с.
2. Аничков А. Д., Полонский Ю. З., Низковолос В. Б. Стереотаксические системы.— СПБ.: Наука, 2006.— 142 с
3. Кандель Э. И. Функциональная и стереотаксическая нейрохирургия. М.: Медицина, 1981. 368 с.
4. Холявин А. И., Аничков А. Д. Методы наведения в современной стереотаксической нейрохирургии.— Москва.: Российская академия наук, 2017.— 170 с.
5. Гвоздев П. Б. Эволюция стереотаксической нейрохирургии: путь от функционального стереотаксиса до нейронавигации. Уральский нейроонкологический центр.
6. Шашкин Ч. С. Стереотаксическая биопсия опухолей головного мозга / Ч. С. Шашкин, Б. Б. Жетписбаев, Р. М. Абдулгужина, Е. С. Жуков // Нейрохирургия и неврология Казахстана.— 2013.— № 4.— С. 23–25.
7. Суслова Т. А. Стереотаксическая биопсия новообразования головного мозга (роль операционной медсестры в проведении операции) Т. А. Суслова // Медицинская сестра.— 2007.— № 2.— С. 3–4.
8. Богданова Ю. В. Проблемы разработки стереотаксических систем наведения хирургического инструмента на примере биопсии головного мозга / Ю. В. Богданова, А. М. Гуськов, И. В. Жидких, О. С. Нарайкин, В. А. Шурхай // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана.— 2012.— № 12.— С. 15–28.
9. Зинкевич Я. П. Повышение диагностической информативности стереотаксической биопсии путем применения технологии совмещения мультимодальных изображений при очаговых поражениях головного мозга / Я. П. Зинкевич, В. Д. Розуменко, О. Ю. Чувашова, Т. А. Малышева, А. В. Розуменко, С. С. Макеев, В. И. Цимбалюк // Украинский нейрохирургический журнал.— 2014.— № 4.— С. 71–77.
10. Кирпа И. Ю. Использование системы нейронавигации при стереотаксической биопсии очаговых образований головного мозга: опыт 107 операций / И. Ю. Кирпа // Украинский журнал хирургии.— 2013.— № 4.— С. 35–39.
11. Чувашова О. Ю. Анализ результатов стереотаксической биопсии по данным магниторезонансной томографии и гистологического исследования при очаговом поражении головного мозга / О. Ю. Чувашова, А. Б. Грязов, К. Р. Костюк, Т. А. Малышева // Украинский нейрохирургический журнал.— 2007.— № 1.— С. 40–43.
12. Ким С. А. Применение безрамной навигации при эндоскопических вмешательствах у детей с многоуровневой гидроцефалией / С. А. Ким, Г. В. Летягин, В. Е. Данилин, А. А. Сысоева, Д. А. Рзаев, Г. И. Мойсак // Вопросы Нейрохирургии — 2015. № 4.— С. 61–70.
13. Сирко А. Г. Применение навигационной системы Steals Station Treon Plus в хирургии внутричерепных менингиом / А. Г. Сирко, Н. А. Зорин, Ю. Е. Новик, И. Ю. Кирпа, В. И. Шпонька // Украинский нейрохирургический журнал.— 2010.— № 1.— С. 39–46.
14. Холявин А.И. принципы расчетной предоперационной подготовки многоцелевого стереотаксического наведения у пациентов с глиомами головного мозга. автореф. дис.дра мед. наук. СПб.; 2012.
15. Шурхай В. А. Навигационные системы в нейрохирургии / В. А. Шурхай, С. А. Горяйнов, Е. В. Александрова, А. Спаллоне, А. А. Потапов // Вопросы нейрохирургии.— 2016.— № 6.— С. 107–114.
16. Andres M. Lozano, Philip L. Gildenberg. Ronald R. Tasker. Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery.Vol. 1 Springer — Verlag, Berlin, Heidelberg 2009.
17. Christianto B. Lumenta, Concezio Di Rocco, Jens Haase, Jan Jakob A. Mooij (edits.). Neurosurgery (European Manual of Medicine). Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010.

18. Christina A. Frame-based stereotactic biopsy of deep-seated and midline structures in 511 procedures: feasibility, risk profile, and diagnostic yield / A. Christina, J. Minartz, T. Blau, V. Hafkemeyer, D. Rueb, et. al. // Acta Neurochirurgica.— https://doi.org/10.1007/s00701–019–04020–1
19. Nikkhah G., PinskerM. Stereotactic and Functional Neurosurgery. Springer-Verlag Wien.— 2013.
20. Marigil M. Outpatient neurosurgery in neuro-oncology / M. Marigil, M. Bernstein // Neurosurg Focus 2018.— № 44 (6): E19.— P. 1–7.
21. Lefranc M. Frameless robotic stereotactic biopsies: a consecutive series of 100 cases / M. Lefranc, C. Capel, Anne-Sophie Pruvot-Occean, A. Fichten, C, Desenclos, P. Toussaint, D/ Le Gars // J Neurosurg November 7, 2014 P 1–11
22. Marcus J. Computer-Assisted Versus Manual Planning for Stereotactic Brain Biopsy: A Retrospective Comparative Pilot Study / J. Marcus, N. Vakharia, R. Sparks, R. Rodionov et al. // Operative Neurosurgery.— 2019 V. 0 № 0 1 P1–6
23. Pincus D. W. Brainstem stereotactic biopsy sampling in children / D. W. Pincus, E. O. Richter, A. T. Yachnis et al. //.J Neurosurg (2 Suppl Pediatrics).— 2006. № 104.— P.— 108–114.
24. Kreth F. W. The risk of haemorrhage after image guided stereotactic biopsy of intra-axial brain tumours a prospective study. / F. W. Kreth, A. Muacevic, R. Medele, K. Bise, T. Meyer, H. J. Reulen // Acta Neurochir (Wien).—2001 № 143(6): P.— 539–45; discussion P. 545–6.
25. Mcgirt M. J. Independent predictors of morbidity after image-guided stereotactic brain biopsy: a risk assessment of 270 cases / M. J. Mcgirt, G. F. Woodworth, B.S., A. L. Coon et al. // J Neurosurg.— 2005 № 102.— P. 897–901.
26. Mohyeldin A. Real-time magnetic resonance imaging–guided frameless stereotactic brain biopsy: technical note / A. Mohyeldin, R. R. Lonser, B. Elder // J Neurosurg.— 2016 № 124.— P. 1039–1046.