

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОГО И ЭНДОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДОВ БИОПСИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Куканов К. К., Зрелов А. А., Самочерных К. А., Олюшин В. Е.,
Потемкина Е. Г., Улитин А. Ю.

Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт им. проф. А. Л. Поленова —
филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»
Минздрава России, Санкт-Петербург

COMPARATIVE ANALYSIS OF STEREOTACTIC AND ENDOSCOPIC METHODS OF BRAIN TUMOR BIOPSY (LITERATURE REVIEW)

Kukanov K. K., Zrelov A. A., Samochernykh K. A., Olyushin V. E., Ulitin A. Yu.

A. L. Polenov Russian Research Institute of Neurosurgery — branch of V. A. Almazov National Medical Research Center, Ministry
of Health of Russia, Saint Petersburg, Russia

АБСТРАКТ

Стремление на современном этапе минимизировать хирургическую травму мозга в условиях бластоматозного поражения ставит перед нейроонкологами задачу применения малоинвазивных методик для верификации патологического процесса. Однако единого мнения о использовании той или иной методики для проведения вмешательства по-прежнему не существует. Анализ современной литературы за последнее десятилетие показывает, что, несмотря на научно-технические достижения в реализации диагностических неинвазивных методов, актуальным всё же остаётся прямая оценка неопластической ткани. Маргинальные точки зрения рассматривают как применение микрохирургических вмешательств, так и стереотаксических процедур с использованием навигационных систем. Целью данной работы является сравнение на современном этапе развития нейрохирургии особенностей применения малоинвазивных методов (стереотаксического и эндоскопического) исследования патологических процессов головного мозга. Проведен ретроспективный анализ литературы, посвященный данной теме.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опухоль мозга, стереотаксическая биопсия, эндоскопическая биопсия, эндоскопическая диагностика.

ABSTRACT

The desire at the present stage to minimize surgical brain injury in the conditions of blastomatous lesions poses the task of neurooncologists to use minimally invasive techniques to verify the pathological process. However, there is still no consensus on the use of a particular technique for intervention. The analysis of modern literature over the last decade shows that the direct assessment of neoplastic tissue is still relevant despite scientific and technical achievements in the implementation of diagnostic non-invasive methods. Marginal point of view considers the using of minimally invasive surgery as well as stereotactic procedures using navigation systems. The aim of this work is to compare features of the use of minimally invasive methods (stereotactic and endoscopic) of study of pathological processes of the brain at the present stage of development of neurosurgery. A retrospective analysis of the literature devoted to this topic is carried out.

KEY WORDS: brain tumor, stereotactic biopsy, endoscopic biopsy, endoscopic diagnosis.

Введение

При выявлении патологических образований внутримозговой локализации часто проводится дифференциальная диагностика с неопухолевыми заболеваниями головного мозга, и методом выбора у этой группы пациентов может являться проведение прямой биопсии исследуемого процесса. На наш взгляд, наиболее часто используются в чём-то схожие малоинвазивные методы проведения данного вмешательства: стереотаксическая и эндоскопическая биопсии бластоматозного процесса. В последнее десятилетие в литературе представлено немалое количество публикаций, посвященных качественному сравнению

этих методов, однако единого мнения по-прежнему не существует.

В представленной работе проведен как краткий исторический, так и современный анализ данных отечественной и зарубежной литературы, посвященной малоинвазивной диагностике неопластических образований головного мозга, в том числе при проведении дифференциального диагноза с неопухолевыми заболеваниями головного мозга.

Материалы и методы

Осуществлен поиск публикаций по ключевым словам «stereotactic biopsy of brain tumors» и «endoscopic biopsy of brain tumors» в базах данных PubMed

и Medscape с последующим анализом. Обнаружены 58 источников, удовлетворяющих поисковому запросу. В большинстве из них содержится описание методики биопсии интратенториальных опухолей больших полушарий головного мозга, уклон делался в основном на техническую часть проблемы.

Обсуждение

Первые публикации стереотаксических вмешательств отмечены в литературе уже в конце 1940-х годов, когда рассматривалась необходимость применения малоинвазивных методик при нейрохирургических операциях. Так, например, Шпигель (Spiegel) и Вискс (Wycis) в 1947 году разработали и описали первый стереотаксический аппарат, который впоследствии был усовершенствован Лекселлом (Lars Leksell), и уже в 1949 году Лекселл сообщил о первом успешном применении «легкого в обращении и практичного в рутинной клинической работе» стереотаксического аппарата [1–5].

Одно из первых описаний эндоскопической биопсии опухоли головного мозга появилось у Fukushima T., который в 1973 году использовал для этой цели гибкий фиброскоп [7]. Пять лет спустя он же опубликовал данные о выполнении эндоскопической биопсии внутрижелудочковых опухолей у 21 пациента, из которых правильный гистологический диагноз был поставлен чуть более чем в половине наблюдений [8].

Последнее десятилетие характеризуется интенсивным развитием малоинвазивной хирургической техники и ее широким внедрением в клиническую практику нейрохирургических клиник. С появлением ангиографии, компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии (МРТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) совершенствовалась и методика предоперационного планирования [6]. В связи с чем и в нашей стране, и за рубежом за указанный период отмечается значительный рост активности использования стереотаксических и эндоскопических методик [4, 9–12].

В результате расширялись показания и возможности для проведения стереотаксической биопсии, появлялись и количественные расчёты при проектировании эндоскопических подходов к новообразованию.

На наш взгляд, проведенный сравнительный анализ позволит не только характеризовать каждый из указанных методов, но и дополнит имеющиеся алгоритмы лечебно-диагностического процесса.

Особенности стереотаксической биопсии опухолей

Сравнительный анализ различных нейронавигационных систем для биопсии (ISG Magic Wand, Cygnus PFS, SMN), проведенный Benradette E. с соавт. (2001) в лабораторных условиях показал, что, независимо от используемой технологии (механический манипулятор, электромагнитный или оптический принцип слежения соответственно), средняя точность систем существенно не отличалась и колебалась в пределах от 1,67 до 2,6 мм. По мнению авторов, определяющими факторами при выборе навигационной системы для биопсии будут являться пор-

тативность, простота применения и совместимость с операционным микроскопом [13].

И действительно, ряд современных публикаций посвящены основным тенденциям в хирургии — это интраоперационная роботоассистенция, позволяющая повысить безопасность операции, увеличить точность проведения хирургического вмешательства за счет высокоточной интраоперационной навигации [14–16].

В нейрохирургии такие системы опробованы при выполнении «экономных» краниотомий, прецизионного подхода к глубинным образованиям головного мозга с целью биопсии опухолевых, воспалительных и других образований, имплантации шунтирующих систем, электродов [17]. По своей сути роботизированные системы могут явиться дальнейшим вариантом развития навигационных систем.

Преимущества использования навигационных систем при стереотаксической биопсии (СТБ) в современной нейрохирургии очевидны. Нейронавигация является одной из наиболее высокотехнологичных и востребованных методик, позволяющих объединить множество различных исследований для оценки анатомической и функциональной составляющих в дооперационном и интраоперационном периодах. Все это позволяет выполнять хирургические манипуляции с большей точностью и безопасностью, значительно быстрее в сравнении с традиционными методами открытой биопсии. Использование нейронавигационных систем помимо клинической имеет очень большую научную ценность. Интегративный характер нейронавигации позволяет проводить совмещение данных различных модальностей: анатомических, нейровизуализационных, молекулярных, нейрофизиологических, что повышает эффективность, результативность и доказательность проводимых с ее использованием клинических исследований.

Следует также отметить, что, несмотря на малоинвазивный характер методики, самым частым осложнением при СТБ является кровоизлияние, при этом риск кровоизлияния варьирует от 0,9%–59,8% [11, 18, 19].

Проведенный в РНХИ проф. А.Л. Поленова анализ геморрагических осложнений при СТБ опухолей выявил, что риск кровоизлияния не зависит от вовлеченных в неопластический процесс областей головного мозга ($p=0,28$), пола и возраста больного, при прямом корреляционном анализе связи между степенью анаплазии астроцитарной опухоли и тяжестью кровоизлияния ($p=0,95$). Авторами также отмечено преобладание высокой частоты кровоизлияний при лимфопрлиферативном процессе и глиобластомах, однако в первом случае они чаще всего клинически незначимые [10]. Учитывая вышеописанные наблюдения, использование тактики, когда после СТБ и КТ контроля пациент без неврологического ухудшения выписывается в день проведения процедуры, — целесообразно [10].

Несколько иначе рассматривается применение эндоскопии при биопсии новообразований головного мозга.

Особенности эндоскопической биопсии опухолей

Изучая современную литературу о применении нейроэндоскопии при новообразованиях головного мозга чётко прослеживаются маргинальные точки зрения, рассматривающие как ассистирующее применение эндоскопа при микрохирургических вмешательствах, так и отдельно как процедуру, направленную на прямое исследование внутримозгового бластоматозного процесса с использованием навигационных систем или без.

Azab W.A. (2014) в своем литературном обзоре проанализировал 43 серии наблюдений применения эндоскопии в диагностике опухолей головного мозга (таблица 1 с дополнениями). Диагностическая эффективность в каждой группе рассчитывалась как процент биопсий, в результате которых был поставлен гистологический диагноз к общему количеству выполненных биопсий. При использовании жесткого эндоскопа диагностическая эффективность составила 93,54%, а в случае применения фиброскопа — 75,76% [21].

Таблица 1.

Обзор литературы, посвященной эндоскопической биопсии опухолей головного мозга.

Автор	Эндоскопический инструментарий	Количество биопсий	Локализация опухоли	Диагностическая эффективность (%)
Tanei et al. (2012) (37)	Эндоскоп, навигация	6	Интрапаренхиматозная	100
DomínguezPáez et al. (2011) (38)	Эндоскоп	28	Интра и/или перивентрикулярная	89
Tsuda et al. (2011) (39)	Эндоскоп, навигация	9	Интрапаренхиматозная	100
Morgenstern et al. (2011) (40)	Эндоскоп	15	Пинеальная область	86.67
Chibbaro et al. (2012) (12)	Эндоскоп, навигация	8	Пинеальная область	100
Song et al. (2010) (41)	Эндоскоп	5	Интра и/или перивентрикулярная	100
Akai et al. (2008) (42)	Эндоскоп, навигация	3	Интрапаренхиматозная	100
AlTamimi et al. (2008) (36)	Эндоскоп	8	Пинеальная область	75
Kim et al. (2013) (43)	Эндоскоп, навигация	23	Супраселлярная	95.7
Wong et al. (2011) (44)	Эндоскоп	25	Пинеальная область	84.0
Naftel et al. (2011) (45)	Эндоскоп, навигация	20	Интравентрикулярная	90
Tirakotai et al. (2007) (31)	Эндоскоп, рамная навигация	29	Пери- и интравентрикулярная	100
Prat and Galeano (2009) (46)	Эндоскоп, навигация	22	Интравентрикулярная	100
Najjar et al. (2010) (47)	Эндоскоп	8	Интравентрикулярная	100
Roopesh Kumar et al. (2007) (32)	Эндоскоп	24	3 желудочек	100
Nagahisa et al. (2013) (48)	Эндоскоп, навигация	21	Интравентрикулярная интрапаренхиматозная	100
Depreitere et al. (2007) (26)	Эндоскоп, фиброскоп	31	Интрапаренхиматозная	Всего 69 Эндоскоп 19/25=76 Фиброскоп 3/7=43
Ahn and Goumnerova (2010) (29)	Эндоскоп, фиброскоп	33	Пери- и интравентрикулярная	Всего 23/33=70 Эндоскоп 17/21=81.0 Фиброскоп 5/11=45.5
Fiorindi and Longatti (2008) (49)	Фиброскоп	23	Пери- и интравентрикулярная	82.6
Endo et al. (2009) (50)	Фиброскоп	1	Пинеальная область	100
Shono et al. (2007) (51)	Фиброскоп	12	3 желудочек	100
Mohanty et al. (2011) (23)	Эндоскоп, фиброскоп	87	Пери- и интравентрикулярная	83
Oppido et al. (2011) (52)	Эндоскоп, фиброскоп	60	Пери- и интравентрикулярная	90
Hayashi et al. (2011) (53)	Эндоскоп, фиброскоп	691	Пери- и интравентрикулярная	89.7
Kinfe et al. (2010) (54)	Эндоскоп, фиброскоп	17	Перивентрикулярная	100

Jinguji et al. (2013) (55)	Эндоскоп, фиброскоп	11	ХСО	100
Husain et al. (2010) (27)	Не указано	178	Множественные	80,3
Constantini et al. (2013) (28)	Не указано	293	Пери- и интравентрикулярная	90,4
Pettorini et al. (2013) (56)	Не указано	14	Пинеальная область	92,8
Giannetti et al (2015) (57)	Не указано	50	Пери- и интравентрикулярная	89,6
Roth et al (2015) (33)	Эндоскоп, фиброскоп	6	Пинеальная область, 4 желудочек, водопровод Четверохолмная пластинка	100
Ahmed et al. (2015) (58)	Не указано	46	Пинеальная область	85
Akiyama Y. et al (2014) (22)	жесткий эндоскоп (ViewSite)	10 из 18	Пери- и интравентрикулярная	100

По мнению Akiyama Y. с соавт. (2014), использование эндоскопической техники для биопсии опухолей в желудочковой системе, в области базальных цистерн или паравентрикулярно позволяет обследовать поверхность опухоли, проводить точный выбор фрагмента опухоли, который с высокой вероятностью является гистологически репрезентативным, что улучшает точность диагностики [22]. Кроме того, можно избежать биопсии из высокоvascularизированных зон опухоли и выполнить электрокоагуляцию при необходимости, что в отличие от СТБ уменьшает вероятность геморрагических осложнений во время процедуры по сравнению с выполнением закрытой стереотаксической биопсией [22,23].

Jackson R. J. с соавт. (2001) считают, что применение эндоскопа в случае окклюзионного процесса в водопроводе мозга или 4 желудочке, помимо непосредственно биопсии опухоли, позволяет дополнительно выполнить эндоскопическое формирование искусственного вентрикулосубарахноидального сообщения [24].

Одним из недостатком СТБ по сравнению с использованием эндоскопической техники является отсутствие прямой интраоперационной визуализации процедуры, что может создавать проблемы, например, при изменении интракраниальной топографии вследствие истечения цереброспинальной жидкости при локализации опухоли в желудочковой системе [22].

Другое мнение изложено в работе Ballosier A. и соавт. (2016), которыми при сравнении эндоскопического и стереотаксического способов диагностики опухолей пинеальной области показано превосходство стереотаксического метода в отношении большей диагностической эффективности и меньшей частоты послеоперационных изменений [25].

При этом ряд авторов отмечают, что при доступе к глубоко расположенным новообразованиям в большинстве случаев необходимо использование ретракторов. Применение тубусных ретракторов, используемых при эндоскопическом подходе к опухоли, способно уменьшить тракционное повреждение головного мозга по сравнению с использованием стандартных ретракторов. Однако развившееся при этом кровотечение может значительно ухудшать интрао-

перационную визуализацию и заставить хирурга прекратить манипуляцию [22].

Таким образом, с технической точки зрения одним из недостатков, присущих современным стереотаксическим системам для биопсии, являются их узкие рабочие каналы, что может приводить к ошибкам в выставлении гистологического диагноза из-за небольших фрагментированных или неадекватных образцов опухолевой ткани [26–28].

При использовании фиброскопов вероятность диагностической ошибки из-за ограничения по качеству визуализации также высока [23,26,29].

Ригидные нейроэндоскопы позволяют использовать микроинструмент для биопсии большего диаметра и, следовательно, получать более крупные образцы опухолевой ткани. Кроме того, визуализация имеет более высококачественное изображение [23,30–32].

Для биопсии опухолей задних отделов 3 желудочка (позади межталамической спайки), водопровода мозга, 4 желудочка, пинеальной области Roth J. с соавт. (2015) рекомендуют использовать комбинацию гибкого и жесткого эндоскопа [33].

Следует отметить, что хотя внутрижелудочковые анатомические структуры обычно являются хорошими ориентирами, которые придают нейрохирургу пространственную ориентацию, навигационная эндоскопия была бы очень важна в случаях с маленькими или искаженными желудочками, а также при расположении новообразования в заднем отделе 3 желудочка и перивентрикулярных зонах [31].

При этом в ряде работ сообщается о диагностической эффективности в 100%, 87,5%, 57% и 25% при поражении бокового желудочка, шишковидной железы, таламуса и четверохолмной пластинки соответственно [29], также сообщается о высоком уровне неудач при биопсии опухолей червя мозжечка и других структур задней черепной ямки [23, 26].

Решение этой проблемы описывает Azab W. A. с соавт. (2014), рекомендуя сочетанное применение эндоскопической техники с нейронавигационными системами, позволяющее повысить диагностическую эффективность до 98% по сравнению с обратной ситуацией (92,67%) [21].

Таблица 2.

Сравнение преимуществ и недостатков стереотаксической и эндоскопической техник для биопсии опухолей головного мозга

СТБ		Эндоскопия	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Высокая точность	Больше вероятность геморрагических осложнений	Меньше вероятность геморрагических осложнений	Может быть сложность забора гистологического материала вследствие расположения опухоли вне хода эндоскопа
Меньшая инвазивность процедуры по сравнению с использованием эндоскопа	Ограничение возможности биопсии опухолей ЗЧЯ (особенно при рамной навигации)	Возможность наложения дополнительного вентрикуло-субарахноидального сообщения	Большая травматичность по сравнению со стереотаксической биопсией
Возможность терапевтического воздействия на опухоль (введение в опухоль радио-активных веществ, криодеструкция, термодеструкция)	Сложности биопсии опухолей внутри-желудочковой локализации (при изменении интракраниальной топографии вследствие истечения цереброспинальной жидкости)	Возможность забора максимально репрезентативных образцов опухолевой ткани вследствие прямого визуального контроля	
Меньшая длительность оперативного вмешательства			

Следует также отметить, что в большинстве работ авторы не указали количество образцов опухолевой ткани, взятых в ходе выполнения эндоскопической биопсии. Напротив, при выполнении биопсии опухоли с использованием стереотаксической рамной навигации, чаще опухоль забиралась в трех зонах.

Сравнение обеих представленных методик на основании проведенного нами анализа литературы представлено в таблице 2.

Заключение

Таким образом, анализ современных литературных данных позволяет сделать предположение, что при выполнении биопсии новообразований головного мозга допустимо использовать как стереотаксическую, так и эндоскопическую техники, а также их сочетание.

При этом стереотаксическая техника обладает высокой точностью, является менее инвазивной, оказывает меньшую травматизацию для окружающих тканей, однако присутствует риск геморрагических осложнений.

На наш взгляд, снижению риска кровоизлияний при СТБ опухолей головного мозга может являться:

- тщательное предоперационное планирование траектории биопсии (например, в программе Surgi Plan®);
- использование при планировании траектории введения биопсийной иглы наиболее информативных методов нейровизуализации «опасных» структур (MPT, MPT-АГ, Fusion MPT-КТ-ангиография и др.);
- использование одного современного стереотаксического аппарата нейрохирургом, прошедшим

дополнительную специализацию и обучение работы на данном аппарате;

- применение предоперационной гемостатической терапии у пациентов с подозрением на высокую степень анаплазии опухоли.

Следует также отметить, что СТБ имеет ряд преимуществ перед обычной интраоперационной биопсией — она, безусловно, менее травматична и более безопасна, особенно у больных в тяжелом состоянии.

В тоже время, когда бластоматозный процесс локализуется вдоль классической оси направления эндоскопа (передний рог бокового желудочка, межжелудочковое отверстие, III желудочек, водопровод мозга, IV желудочек) оправдано применение классического эндоскопа для выполнения биопсии опухолей головного мозга [34].

В прочих случаях, при локализации патологического процесса вне прямого хода, допустимо использовать гибкий фиброскоп [34–36]. Также эндоскопия может использоваться для биопсии опухолей не только желудочковой или паравентрикулярной локализации, но и при расположении опухоли в других ликворосодержащих полостях: цистерна мозолистого тела, хиазмально-селлярная область, Сильвиева щель, цистерна четверохолмия, большая затылочная и мосто-мозжечковая цистерны как альтернатива стереотаксической биопсии опухоли [34].

На наш взгляд, использование нейроэндоскопа предпочтительно для опухолей внутрижелудочковой или паравентрикулярной локализации, особенно в случаях, когда имеет место окклюзионная вентрикуломегалия и целесообразно проведение тривентрикуломи. При этом применение эндоскопа обе-

спечивает прямую визуализацию опухоли, позволяет выбирать наиболее репрезентативные фрагменты образования для биопсии и снизить вероятность геморрагических осложнений.

Дальнейшее описание сравнительного анализа этих методик в последующих работах будет проведено нами уже с подробной характеристикой собственного материала и предложением по усовершенствованию обоих способов.

Конфликт интересов отсутствует.

ORCID авторов:

Куканов К. К. 0000-0002-1123-8271

Зрелов А. А. 0000-0002-0307-7842

Самочерных К. А. 0000-0003-0350-0249

Олюшин В. Е. 0000-0002-9960-081X

Улитин А. Ю. 0000-0002-8343-4917

Список литературы:

1. Абраков Л. В. Основы стереотаксической нейрохирургии. Л.: Медицина; 1975. 232 стр.
2. Кандель Э. И. Функциональная и стереотаксическая нейрохирургия. М. Медицина. 1981. 368 стр.
3. Холявин А. И., Аничков А. Д. Методы наведения в современной стереотаксической нейрохирургии. Москва.: Российская академия наук; 2017. 170 стр.
4. Шашкин Ч. С., Жетписбаев Р. М., Абдулгузина Р. М., Жуков Е. С. Стереотаксическая биопсия опухолей головного мозга. Нейрохирургия и неврология Казахстана. 2013;23-5.
5. Гвоздев П. Б. Эволюция стереотаксической нейрохирургии: путь от функционального стереотаксиса до нейронавигации. Екатеринбург.: Уральский нейроонкологический центр. 2013. 180 стр.
6. Зинкевич Я. П., Розуменко В. Д., Чувашова О. Ю., Малышева Т. А., Розуменко А. В. Повышение диагностической информативности стереотаксической биопсии путем применения технологии совмещения мультимодальных изображений при очаговых поражениях головного мозга. Украинский нейрохирургический журнал. 2014; 4: 71-7.
7. Fukushima T., Ishijima B., Hirakawa K., Nakamura N., Sano K. Ventriculofiberscope: a new technique for endoscopic diagnosis and operation. Technical note. J Neurosurg. 1973 Feb; 38(2):251-6.
8. Fukushima T. Endoscopic biopsy of intraventricular tumors with the use of a ventriculofiberscope. Neurosurgery. 1978 Apr;2(2):110-3.
9. Кирпа И. Ю. Использование системы нейронавигации при стереотаксической биопсии очаговых образований головного мозга: опыт 107 операций. Украинский журнал хирургии. 2013; 4: 35-9.
10. Куканов К. К. Анализ геморрагических осложнений при стереотаксической биопсии опухолей головного мозга. Российский Нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова. 2019;4.
11. Lozano A. M., Gildenberg P. L., Tasker R. R. Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery. Springer. 2009. 3287 p.
12. Marigli M., Bernstein M. Outpatient neurosurgery in neuro-oncology. Neurosurg Focus. 2018;44(6): E19.
13. Benardete E. A., Leonard M. A., Weiner H. L. Comparison of frameless stereotactic systems: accuracy, precision, and applications. Neurosurgery. 2001 Dec;49(6):1409-15; discussion 1415-1416.
14. Lefranc M., Capel C., Pruvot-Ocean A.-S., Fichten A., Desenclos C., Toussaint P. et al. Frameless robotic stereotactic biopsies: a consecutive series of 100 cases. J Neurosurg. 2015 Feb;122(2):342-52.
15. Marcus H. J., Vakharia V. N., Sparks R., Rodionov R., Kitchen N., McEvoy A. W. et al. Computer-Assisted Versus Manual Planning for Stereotactic Brain Biopsy: A Retrospective Comparative Pilot Study. Oper Neurosurg (Hagerstown). 2019 Aug 5;
16. Mullin J. P., Smithson S., Gonzalez-Martinez J. Stereo-Electro-Encephalo-Graphy (SEEG) With Robotic Assistance in the Presurgical Evaluation of Medical Refractory Epilepsy: A Technical Note. J Vis Exp. 2016 13;(112).
17. Mohyeldin A., Lonser R. R., Elder J. B. Real-time magnetic resonance imaging-guided frameless stereotactic brain biopsy: technical note. J Neurosurg. 2016 Apr;124(4):1039-46.
18. Hamisch C. A., Minartz J., Blau T., Hafkemeyer V., Rueß D., Hellerbach A. et al. Frame-based stereotactic biopsy of deep-seated and midline structures in 511 procedures: feasibility, risk profile, and diagnostic yield. Acta Neurochir (Wien). 2019 Oct;161(10):2065-71.
19. Nikkha G., Pinsker M. Stereotactic and Functional Neurosurgery. Wien: Springer-Verlag; 2013. 112 p.
20. Шурхай В. А., Горайнов С. А., Александрова Е. В. Навигационные системы в нейрохирургии. Вопросы нейрохирургии. 2016;6:107-14.
21. Azab W. A., Nasim K., Chelghoum A., Parwez A., Salaheddin W. Endoscopic biopsy of brain tumors: Does the technique matter? Surg Neurol Int 2014. 159.
22. Akiyama Y., Wanibuchi M., Mikami T., Horita Y., Komatsu K., Suzuki K., Otaki S., Mikuni N. Rigid endoscopic resection of deep-seated or intraventricular brain tumors. Neurol Res. 278-82. doi: 10.1179/1743132814Y.0000000439
23. Mohanty A., Santosh V., Devi B. I., Satish S., Biswas A. Efficacy of simultaneous single-trajectory endoscopic tumor biopsy and endoscopic cerebrospinal fluid diversion procedures in intra- and paraventricular tumors. Neurosurg Focus. 2011 Apr;30(4): E4.
24. Jackson R. J., Fuller G. N., Abi-Said D., Lang F. F., Gokaslan Z. L., Shi W. M., et al. Limitations of stereotactic biopsy in the initial management of gliomas. Neuro-oncology. 2001;3(3):193-200.
25. Balossier A., Blond S., Reyns N. Endoscopic Versus Stereotactic Procedure for Pineal Tumor Biopsies: Focus on Overall Efficacy Rate. World Neurosurg. 2016 Aug;92:223-8.
26. Depreitere B., Dasi N., Rutka J., Dirks P., Drake J. Endoscopic biopsy for intraventricular tumors in children. J Neurosurg. 2007 May;106(5 Suppl):340-6.
27. Husain N., Kumari M., Husain M. Tumor irrigation fluid enhances diagnostic efficacy in endoscopic biopsies of intracranial space-occupying lesions. Acta Neurochir (Wien). 2010 Jan;152(1):111-7.
28. Constantini S., Mohanty A., Zymberg S., Cavalheiro S., Mallucci C., Hellwig D. et al. Safety and diagnostic accuracy of neuroendoscopic biopsies: an international multicenter study. J Neurosurg Pediatr. 2013 Jun;11(6):704-9.
29. Ahn E. S., Goumnerova L. Endoscopic biopsy of brain tumors in children: diagnostic success and utility in guiding treatment strategies. J Neurosurg Pediatr. 2010 Mar;5(3):255-62.

30. Chibbaro S., Di Rocco F., Makiese O., Reiss A., Poczos P., Mirone G. et al. Neuroendoscopic management of posterior third ventricle and pineal region tumors: technique, limitation, and possible complication avoidance. *Neurosurg Rev.* 2012 Jul;35(3):331–8; discussion 338–340.
31. Tirakotai W., Hellwig D., Bertalanffy H., Riegel T. The role of neuroendoscopy in the management of solid or solid-cystic intra- and periventricular tumours. *Childs Nerv Syst.* 2007 Jun;23(6):653–8.
32. Roopesh Kumar S. V., Mohanty A., Santosh V., Satish S., Devi B. I., Praharaj S. S. et al. Endoscopic options in management of posterior third ventricular tumors. *Childs Nerv Syst.* 2007 Oct;23(10):1135–45.
33. Roth J., Constantini S. Combined rigid and flexible endoscopy for tumors in the posterior third ventricle. *J Neurosurg.* 2015 Jun; 122(6):1341–6.
34. Хачатрян В.А., Самочерных К.А. Эндоскопия в детской нейрохирургии. СПб.: Издательский дом 'Бранко'. 2015. 276 p.
35. Souweidane M.M., Sandberg D. I., Bilsky M. H., Gutin P. H. Endoscopic biopsy for tumors of the third ventricle. *Pediatr Neurosurg.* 2000;33(3):132–7.
36. Al-Tamimi Y.Z., Bhargava D., Surash S., Ramirez R.E., Novegno F., Crimmins D. W., Tyagi A. K., Chumas P. D. Endoscopic biopsy during third ventriculostomy in paediatric pineal region tumours. 2008; 24(11):1323–6.
37. Tanei T., Nakahara N., Takebayashi S., Hirano M., Nagatani T., Nishihata T. et al. Endoscopic biopsy for lesions located in the parenchyma of the brain: preoperative planning based on stereotactic methods. Technical note. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2012;52(8):617–21.
38. Domínguez-Páez M., Puch-Ramírez M., Rodríguez-Barceló S., Medina-Imbroda J.M., Romero-Moreno L., Ibáñez-Botella G. Neuroendoscopic biopsy. Experience in 31 patients and literature review. *Neurocirugia (Astur).* 2011;419–27; discussion 428.
39. Tsuda K., Ishikawa E., Zaboronok A., Nakai K., Yamamoto T., Sakamoto N. et al. Navigation-guided endoscopic biopsy for intraparenchymal brain tumor. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2011;51(10):694–700.
40. Morgenstern P.F., Osbun N., Schwartz T. H., Greenfield J. P., Tsiouris A. J., Souweidane M. M. Pineal region tumors: an optimal approach for simultaneous endoscopic third ventriculostomy and biopsy. *Neurosurg Focus.* 2011 Apr;30(4): E3.
41. Song J.H., Kong D.-S., Seol H. J., Shin H. J. Transventricular Biopsy of Brain Tumor without Hydrocephalus Using Neuroendoscopy with Navigation. *J Korean Neurosurg Soc.* 2010 Jun;47(6):415–9.
42. Akai T., Shiraga S., Sasagawa Y., Okamoto K., Tachibana O., Lizuka H. Intra-parenchymal tumor biopsy using neuroendoscopy with navigation. *Minim Invasive Neurosurg.* 2008 Apr;51(2):83–6.
43. Kim K., Yeon J. Y., Seol H. J., Shin H. J. Transventricular endoscopic biopsy of suprasellar tumors: a pediatric case series. *Childs Nerv Syst.* 2013 Aug;29(8):1285–91.
44. Wong T.T., Chen H. H., Liang M. L., Yen Y. S., Chang F. C. Neuroendoscopy in the management of pineal tumors. 2011;27(6):949–59.
45. Naftel R.P., Shannon C. N., Reed G. T., Martin R., Blount J. P., Tubbs R. S. et al. Small-ventricle neuroendoscopy for pediatric brain tumor management. *J Neurosurg Pediatr.* 2011 Jan;7(1):104–10.
46. Prat R., Galeano I. Endoscopic biopsy of foramen of Monro and third ventricle lesions guided by frameless neuronavigation: usefulness and limitations. *Clin Neurol Neurosurg.* 2009 Sep;111(7):579–82.
47. Najjar M.W., Azzam N. I., Baghdadi T. S., Turkmani A. H., Skaf G. Endoscopy in the management of intra-ventricular lesions: preliminary experience in the Middle East. *Clin Neurol Neurosurg.* 2010 Jan;112(1):17–22.
48. Nagahisa S., Watabe T., Sasaki H., Nishiyama Y., Hayashi T., Hasegawa M. et al. Surgical navigation-assisted endoscopic biopsy is feasible for safe and reliable diagnosis of unresectable solid brain tumors. *Neurosurg Rev.* 2013 Oct; 36(4):595–600; discussion 600–601.
49. Fiorindi A., Longatti P. A restricted neuroendoscopic approach for pathological diagnosis of intraventricular and paraventricular tumours. *Acta Neurochir (Wien).* 2008 Dec;150(12):1235–9.
50. Endo H., Fujimura M., Kumabe T., Kanamori M., Watanabe M., Tominaga T. Application of high-definition flexible neuroendoscopic system to the treatment of primary pineal malignant B-cell lymphoma. *Surg Neurol.* 2009 Mar;71(3):344–8.
51. Shono T., Natori Y., Morioka T., Torisu R., Mizoguchi M., Nagata S. et al. Results of a long-term follow-up after neuroendoscopic biopsy procedure and third ventriculostomy in patients with intracranial germinomas. *J Neurosurg.* 2007 Sep;107(3 Suppl):193–8.
52. Oppido P.A., Fiorindi A., Benvenuti L., Cattani F., Cipri S., Gangemi M. et al. Neuroendoscopic biopsy of ventricular tumors: a multicentric experience. *Neurosurg Focus.* 2011 Apr;30(4): E2.
53. Hayashi N., Murai H., Ishihara S., Kitamura T., Miki T., Miwa T. et al. Nationwide investigation of the current status of therapeutic neuroendoscopy for ventricular and paraventricular tumors in Japan. *J Neurosurg.* 2011 Dec;115(6):1147–57.
54. Kinfe T.M., Capelle H.-H., Mirzayan M. J., Boschert J., Weigel R., Krauss J. K. Stereotactic versus endoscopic surgery in periventricular lesions. *Acta Neurochir (Wien).* 2011 Mar;153(3):517–26.
55. Jinguiji S., Nishiyama K., Yoshimura J., Yoneoka Y., Harada A., Sano M. et al. Endoscopic biopsies of lesions associated with a thickened pituitary stalk. *Acta Neurochir (Wien).* 2013 Jan;155(1):119–24; discussion 124.
56. Pettorini B.L., Al-Mahfoud R., Jenkinson M. D., Avula S., Pizer B., Mallucci C. Surgical pathway and management of pineal region tumours in children. *Childs Nerv Syst.* 2013 Mar;29(3):433–9.
57. Giannetti A.V., Alvarenga A. Y.H., de Lima T. O.L., Pedrosa HA-SR, Souweidane M. M. Neuroendoscopic biopsy of brain lesions: accuracy and complications. *J Neurosurg.* 2015 Jan;122(1):34–9.
58. Ahmed A.I., Zaben M.J., Mathad N. V., Sparrow O. C.E. Endoscopic biopsy and third ventriculostomy for the management of pineal region tumors. *World Neurosurg.* 2015 Apr;83(4):543–7.