ВЫБОР МЕТОДОВ И СТАНДАРТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЛУЧЕВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В НЕЙРОХИРУРГИИ

А.В. Горожанин – зав. 19-Б нейрохирургического отд.
А.А. Шестаков – врач-нейрохирург 19-Б нейрохирургического отд.
Д.В. Вакатов – врач-нейрохирург 19-Б нейрохирургического отд.
А.В. Араблинский – д.м.н., профессор, зав. отд. лучевой диагностики
И.А. Данченко – врач-рентгенолог отд. лучевой диагностики

Городская клиническая больница им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения Москвы

Важнейшие условия благополучного выполнения нейрохирургических вмешательств – адекватность хирургического доступа, точность ориентации в анатомических структурах, соблюдение принципов функциональной доступности. Технические средства для достижения этих целей получили название «навигационные системы». Область их применения – нейроонкология, сосудистая нейрохирургия, вертеброхирургия.
Для эффективного использования нейронавигации необходимо рациональное и комплексное применение методов предоперационной визуализации. Объем и выбор способов такого обследования пациентов должны определяться характером поражения головного мозга и планируемой тактикой оперативного вмешательства. От правильности соблюдения протоколов обследования зависят верность и безошибочность построения виртуальной трехмерной модели, ее точное соответствие и последующее совмещение с анатомией пациента.
Ограничивающим фактором в использовании возможностей нейронавигации становится shift-феномен – несоответствие нейровизуализационных данных на поздних этапах интракраниального хирургического вмешательства, обусловленных изменением расположения структур головного мозга. Полное нивелирование данного феномена достигается применением интраоперационной визуализации – МРТ и КТ установок.

Ключевые слова: *нейронавигация, shift-феномен (смещение мозга), нейровизуализация, навигационная система.*

Введение

Важнейшие условия благополучного выполнения нейрохирургических вмешательств – точность хирургического доступа, правильная ориентация хирурга в патологически измененных анатомических структурах, соблюдение принципов функциональной доступности.

Основная цель операции – устранение патологического процесса с обеспечением хорошего качества жизни больного в послеоперационном периоде. Без этих прогнозов проведение хирургического вмешательства считается нецелесообразным.

Статья поступила в редакцию в июле 2010 года.

Прогресс нейровизуализационных методов, развитие компьютерных технологий и дальнейшего внедрения технических достижений в практическую хирургию привели к появлению новых возможностей четкой ориентации в анатомических структурах как головного мозга, так и позвоночника [1, 2]. Технические средства для достижения этих целей получили название «навигационные системы» (рис. 1). Их постоянное усовершенствование приводит к повышению точности и упрощению использования в практической нейрохирургии с сокращением времени планирования и непосредственно операционного.

Применение навигационных систем (НС) позволяет совместить современные методики нейровизуализации с топографией навигируемой патологически измененной анатомической области и в создаваемой виртуальной модели точно отслеживать нахождение и движение инструмента в режиме реального времени. В процессе операции хирург может непрерывно контролировать нахождение инструмента по отношению к объекту хирургии и важным анатомическим структурам. Использование НС дает возможность заранее построить оптимальный предоперационный план и соотносить позицию и траекторию хирургической атаки с заранее выбранным направлением [1, 3].

В настоящее время существует традиционный рамочный стереотаксис, заключающийся в фиксации на черепе в строго определенном положении (заранее рассчитанном) специальных упоров и ограничителей. Установка рамы – достаточно трудоемкий и продолжительный по времени процесс. Совершенствование технологического прогресса привело к появлению безрамной (frameless) навигации, принципиально отличающейся от традиционной отсутствием специальных громоздких приспособлений на голове [4].

Метод современной безрамной нейронавигации позволяет

- снизить травматичность открытого оперативного вмешательства;
- оптимизировать его планирование и проведение;
- уменьшить риск воздействия на важные анатомические и функциональные структуры;
- повысить радикализм нейрохирургических вмешательств.

Область применения НС – нейроонкология, сосудистая нейрохирургия, вертеброхирургия [1, 2, 5].

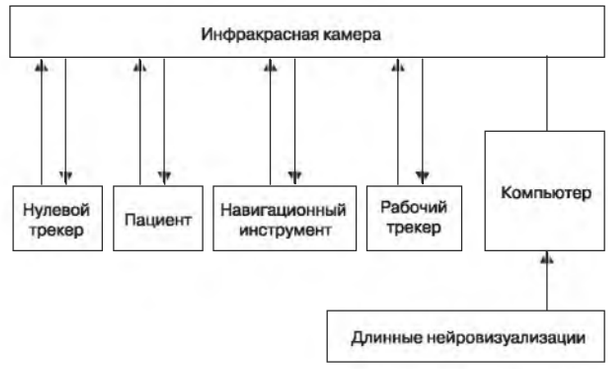

Рис. 1. *Общий принцип устройства навигационной системы*

С помощью этого метода проводят

- биопсию глубинно расположенных очагов поражения головного мозга;
- локализацию и установку катетера при дренировании глубинных полостных очагов – абсцессов, коллоидных кист, а также установку шунтов при гидроцефалии;
- стимуляционные функциональные нейрохирургические вмешательства при эпилепсии;
- деструктивную навигационную хирургию при поражении экстрапирамидной системы – паркинсонизме, дистонии, гемибализме;
- пункционную аспирацию и дренирование внутримозговых гематом;
- стереотаксическую радиохирургию;
- точную локацию границ и глубины очага при открытой хирургии с планированием доступа (опухоли головного мозга, АВМ, аневризмы);
- трансназальную транссфеноидальную хирургию опухолей хиазмальной селлярной локализации и ската;
- пластическое замещение дефектов черепа с использованием навигации для интраоперационного моделирования имплантата любой заданной формы;
- спинальную навигацию для установки транспедикулярных фиксирующих систем, особенно в сложных условиях – индивидуально или патологически измененных корнях дуг позвонков.

Количество нейрохирургических вмешательств, проводимых с использованием хирургической навигации, постоянно расширяется. Типичные операции под контролем НС – краниальные биопсии, резекция опухолей головного и спинного мозга, шунтирование и установка дренажей, операции на основании

черепа, сложные трансназальные и мини-инвазивные доступы. Применение НС позволяет оптимизировать хирургический доступ с отчетливой тенденцией к его минимализации. Этот метод способствует уверенному внедрению в практическую церебральную нейрохирургию принципов Keyhole доступов (хирургия через «замочную скважину»). Нейрохирург теперь может четко ориентироваться в различных анатомических мозговых структурах, включая глубинные. Использование функциональной МРТ и функциональных атласов НС позволяет более точно соблюдать принципы функциональной доступности при манипуляции на головном мозге. Применение НС в вертеброхирургии предоставляет возможность минимализировать разрезы, уменьшить лучевую нагрузку. Все эти достоинства НС позволяют прогнозировать их быстрое распространение в практической нейрохирургии, а их появление является революционным.

Дальнейшее усовершенствование этих безрамных систем дало возможность обсудить их применение в функциональной нейрохирургии.

Выбор методов предоперационных обследований

Современные нейровизуализирующие способы исследования позволяют обеспечить выявление различных патологических процессов в подавляющем большинстве наблюдений. Каждый из этих методов, обладая своими информационными возможностями, не является конкурирующим – они дополняют друг друга, детализируя различные стороны диагноза. Наиболее часто в нейрохирургической практике используют методику МРТ и КТ [6].

Преимущества КТ:

- удобство и точность проведения регистрации;
- возможность регистрации с костными метками;
- быстрота и относительная дешевизна исследования;
- возможность увидеть острые и подострые субарахноидальные и паренхиматозные кровоизлияния;
- четкая визуализация костных структур.

Ее недостатки:

- не всегда возможно определить острые и подострые ишемические инфаркты мозга, его отек;
- нечеткая дифференцировка белого вещества от серого;
- пациент подвергается лучевой нагрузке.

Преимущества МРТ по сравнению с КТ:

- отсутствие артефактов на границе вещества мозга и костных структур;
- более четкая визуализация ряда патологических процессов;
- удобство использования функциональных атласов как опций НС.

К неудобствам МРТ относятся нечеткая визуализация острых или подострых паренхиматозных и субарахноидальных кровоизлияний, большая продолжительность исследования [7–9].

При опухолевом поражении МРТ позволяет уточнить топографо-анатомические взаимоотношения, особенности распространения и направления роста опухоли (рис. 2), а КТ вносит дополнительную диагностическую информацию в определение гистобиологических качеств опухоли и позволяет визуализировать степень ее отграничения и перифокального отека. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) обладает не только высокой степенью достоверности в установлении диагноза, но и обеспечивает раннее выявление рецидивирования процесса.

Для эффективного использования НС нужно рациональное и комплексное применение методов предоперационной визуализации у больных с объемными образованиями головного мозга. Масштаб и выбор способов должны определяться характером поражения головного мозга и планируемой тактикой оперативного вмешательства. Необходимо учитывать анатомические и функциональные особенности зоны вмешательства, возможность радикальности удаления опухоли и вероятных технических сложностей, а также общее состояние пациента [1, 2, 5].

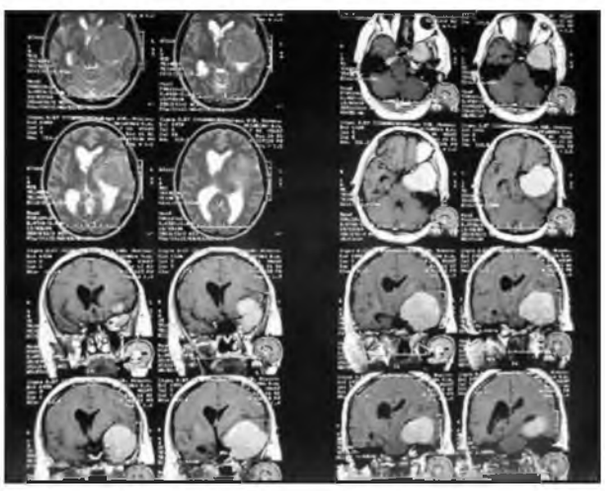

Рис. 2. *Менингиома малого крыла основной кости*

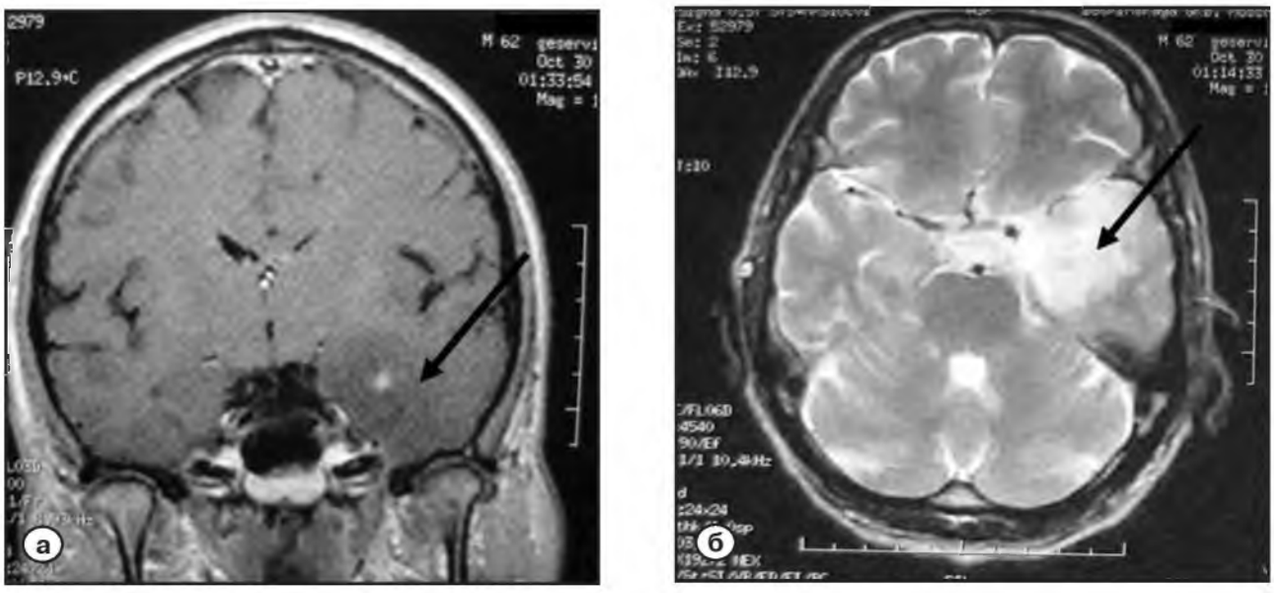

Рис. 3. *Диффузная астроцитома полюса левой височной доли*
а – фронтальные сканы, режим Т1;
б – аксиальные сканы, режим Т2 (область диффузного повышения интенсивности сигнала с незначительным масс-эффектом)

Лучевое обследование в предоперационный период носит комплексный характер. В него входит выполнение МРТ и/или КТ с внутривенным введением контрастного вещества или без него. При необходимости – специальные методики МРТ и КТ по показаниям, ПЭТ и ОФЭКТ для определения степени злокачественности и предположительной гистологической структуры образования [10,11].

При проведении КТ с контрастным усилением в большинстве случаев удается довольно четко визуализировать новообразование. Но в ряде случаев опухоль по плотности может совсем или мало отличаться от окружающей мозговой ткани.

При КТ возможна оценка васкуляризации образования, для определения вовлечения в патологический процесс крупных сосудов выполняют СКТ-ангиографию с болюсным введением и КТ-перфузию [8, 10, 11].

КТ и МРТ обладают различными возможностями. По сравнению с КТ у МРТ более высокое (рис. 3) тканевое разрешение, что позволяет путем применения дополнительных методик оценить

а) васкуляризацию образования (МР-перфузия),

б) вовлечение в процесс крупных венозных и артериальных сосудов (МР-ангиография),

в) метаболизм (МР-спектроскопия),

г) характер диффузии (МР-диффузия),

д) положение новообразования относительно функционально значимых зон (функциональная МРТ),

е) а также проводящих путей (МР-трактография) головного мозга,

ж) изменения ликвороциркуляции (МР-миелография).

Очевидно, использование МРТ в качестве первого визуализирующего метода предоставляет большие возможности для детализации и углубления исследования, чем КТ [1, 8, 12].

ПЭТ и ОФЭКТ объединяет направленность на получение гистологического диагноза по специфическим чертам метаболизма или накопления радиофармпрепарата. Лучевое обследование выполняют как в предоперационный период, так и в ходе открытых оперативных вмешательств, а также после них.

В ГКБ им. С.П. Боткина в подавляющем большинстве случаев нейронавигацию осуществляют на базе данных КТ. В нескольких случаях одновременно использовали данные СКТ и МРТ (методика *fusion*).

Преимущественное применение СКТ было обусловлено быстротой выполнения, доступностью методики при условии достаточной информативности для проведения оперативного вмешательства.

Но в связи с постоянно увеличивающимся спектром вмешательств с применением нейронавигации постепенно смещается приори-

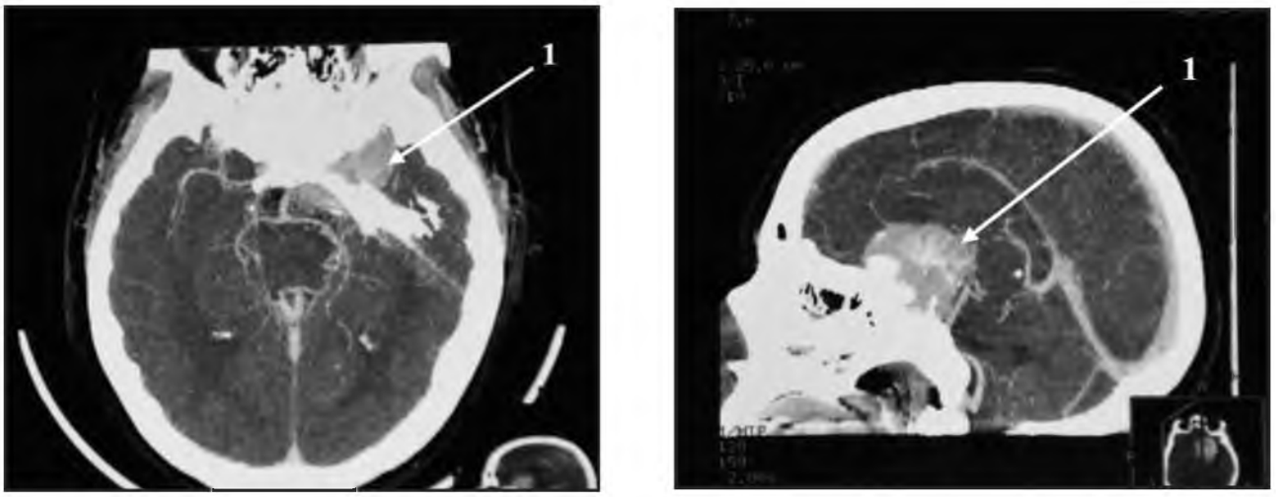

Рис. 4. *СКТ головного мозга с болюсным контрастированием у пациента с менингиомой большого крыла основной кости слева. Опухоль обрастает ВСА, ПМа А1, СМА М1, ЗСА*

тет в сторону показателей МРТ. Для навигирования сосудов головного мозга оптимальна болюсная СКТ (рис. 4).

Включение в стандарт предоперационной подготовки режима СКТ-ангио облегчает поиск и точную идентификацию сосудов мозга во время операции с применением НС.

Fusion (слияние)

Для расширения возможности рассмотрения анатомических и функциональных структур при навигировании определенной цели в операции иногда недостаточно данных СКТ головного мозга. Хирургу требуются одновременно и показатели МРТ в режимах Т1, Т2, FLAIR, функциональное МРТ, ПЭТ. Процесс виртуального компьютерного наложения результатов различных визуализационных методов называется «Fusion» («слияние»).

Подобное встраивание снимка одного вида томографии поверх режима другого в разных аппаратах может осуществляться как вручную (самим хирургом), так и автоматически (рис. 5). Предоперационное планирование процесса автоматического слияния длится не более 2–3 минут.

Ручное слияние изображений трудоемко и длительно по времени. Оно заключалось в синхронном симметричном обозначении опорных точек на однотипных сканах СКТ и МРТ. Требовалось не менее 7 точек [1, 5, 13]. Как правило, это середина хрусталиков, верхушка передних и иногда височных рогов, перегородка основной пазухи, межножковая цистерна и т. д.

Сейчас в большинстве современных аппаратов его проводят автоматически.

Протокол выполнения КТ и МРТ исследований для НС

От правильности их соблюдения зависят точность и безошибочность построения виртуальной трехмерной модели, ее верное соответствие и последующее совмещение с анатомией пациента. КТ и МРТ необходимо выполнять по специальному протоколу для правильного построения виртуальной 3D модели головы на станции НС.

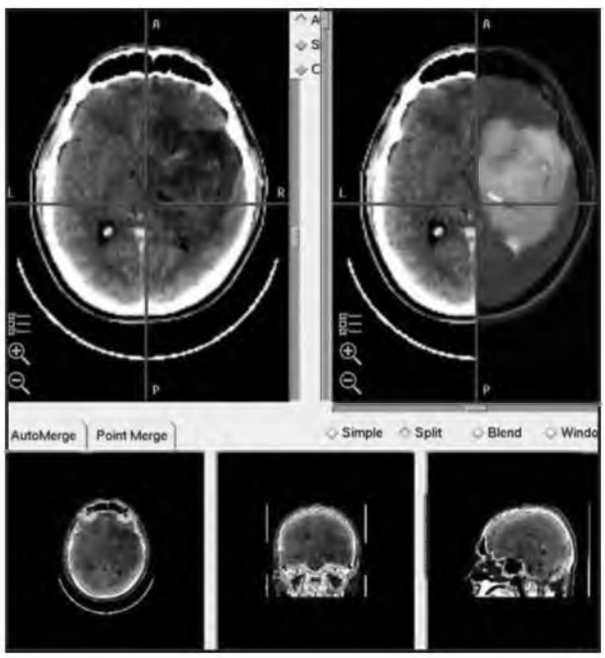

Рис. 5. *Процесс автоматического слияния данных СКТ (черно-белое изображение) и МРТ (красная фоновая 3D модель головы) режимов*

Рекомендательные протоколы с разной полнотой требований были выпушены практически всеми фирмами – производителями навигационных станций. В большинстве случаев использовали внутривенное контрастирование.

Обобщенный протокол для КТ

(как сумма всех проанализированных с комментариями)

1) угол гентри 0^0
(нет наклона лучевой трубки компьютерного томографа)
2) разрешение матрицы снимков 256 × 256 или 512 × 512
(последнее предпочтительнее)
3) используются аксиальные неперекрещивающиеся срезы в шаговом режиме
(в некоторых протоколах запрещены промежуточные срезы, сделанные с помощью реконструкции. У нормального взрослого человека общая «высота» сканов – 250 мм)
4) шаговый режим имеет некоторое предпочтение
5) строго вертикальное положение головы
6) границы исследования должны включать как саму зону интереса, так и окружающие контактные области
7) исследование проводят от альвеолярного отростка верхней челюсти (должно быть видно твердое нёбо) до апикальной части головы (по опыту желательно наличие еще хотя бы 1–2 «пустых» срезов)
(в некоторых НС есть ограничение по количеству сканов, участвующих в построении 3D модели головы. При срезах толщиной 0,65 мм без ущерба можно пожертвовать «нижними» верхней челюсти, не входящими в области интереса)
8) алгоритм сканирования стандартный мягкотканый
9) ушные раковины не сдавливать, должен быть виден кончик носа
10) шею не сгибать, не наклонять в стороны
12) в случае использования накожных наклеивающихся маркеров необходимо убедиться в их жесткой фиксации
(исследование желательно проводить в день или за короткий промежуток времени до операции)
13) максимальная толщина сканов – 1 мм применяется для всех штатных процедур с сохранением высокого качества
(3 мм считается толстым и может быть применен только для разметки доступа на черепе)
14) толщина сканов должна быть постоянной на протяжении всего исследования
15) для правильного и точного наложения до- и интраоперационных томограмм исследование желательно проводить на однотипных аппаратах
16) запись и хранение на CD диске (или передача по сети) в режиме Dicom в несжатом виде
17) введение контрастного вещества
18) сканирование снизу вверх

При выполнении МРТ исследования надо дополнительно

1) соблюдать принципиальные параметры укладки больного на аппарате (указаны выше)
2) не выполнять скошенных сканов
3) использовать одиночные завершенные серии
4) разрешение матрицы снимков – 256 × 256

Полученные данные переносили в формате Dicom на станцию нейронавигации, где осуществляли дальнейшую обработку и подготовку к оперативному лечению. Загрузку данных делали через дисковод (CD, DVD) или через сеть. КТ сканирование проводили на 16-слойном томографе General Electric без наклона гентри, единой зоной, с толщиной среза 1,25–2,5 мм. При необходимости использовали внутривенное усиление контрастного вещества (ультравист, омнипак) в обьеме 40–50 мл. СКТ-ангиографию выполняли с внутривенным болюсным введением 50–100 мл неионного контрастного вещества со скоростью 3–5 мл в секунду, задержкой сканирования 10–13 секунд. Для реконструкции данных для головы применяли толщину среза 1–3 мм.
Анализ осуществляли с использованием двух- и трехмерных реконструкций.
При МРТ сканирование осуществляли строго в трансверзальной плоскости вне зависимости от наклона головы, с толщиной среза, не превышающей 5 мм. Полученные данные переносили в формате Dicom на станцию нейронавигации, где осуществляли дальнейшую обработку и подготовку к оперативному лечению.
МРТ выполняли на аппаратах General Electric (1,5 Тесла). Получали Т1- и Т2-взвешенные томограммы, FLAIR. При необходимости исследование выполняли с внутривенным контрастным усилением (магневист, омнискан, гадовист). По показаниям проводили МР-ангиографию. Ее проводили как в бесконтрастном варианте (время-пролетная или фазо-

контрастная), так и с введением контрастного вещества.

Сдерживающие факторы применения нейронавигации

Ограничения в ее использовании – наличие смещения головного мозга, нызываемого «shift-феномен». Это сдвиг его структур после изменения внутричерепных соотношений – рассечения ТМО, опорожнения кистозного компонента опухоли, вскрытия желудочковой системы или в момент удаления внутримозговой опухоли [2, 5, 14,15].

В связи с трансформацией объема компонентов полости черепа (мозговое вещество, кровь, ликвор, ткань опухоли) происходят изменения топографо-анатомических соотношений в ходе оперативного вмешательства (рис. 6). Они не суммируются и не распознаются НС. Опираясь на дооперационные томограммы, она продолжает выдавать теперь уже ложное положение очага (рис. 7).

Причина возникновения такого смещения имеет многофакторный характер – это и своеобразность анатомического строения внутренних структур головного мозга (развитость сосудистой сети и пучков белого вещества), положение головы пациента, особенности электролитного и жидкостного баланса, варианты проведения анестезии.

Факторы, влияющие на величину и возникновение этого феномена:

- размеры и глубина расположения объемного образования;
- его гистологическая природа;
- выраженность дислокационного синдрома и перитуморозного отека;
- отношение к фиксированным структурам (фалькс, тенториум, парастволовые зоны, парасагиттальные отделы, мозолистое тело и т. д.);
- первичное или повторное хирургическое вмешательство (выраженность рубцово-спаечного процесса);
- ранее проведенная лучевая терапия;
- интраоперационное положение головы пациента.

В ходе операции показателями, влияющими на выраженность смещения, оказывались установка люмбального дренажа, размер краниотомии, дренирование желудочковой системы, полнота удаления опухоли [1, 2].

Смещение мозга – постоянный динамический процесс, который нельзя разделить на отдельные временные интервалы и тяжело прогнозировать без понимания его проявления в различных участках мозга и от ступени проводимого вмешательства. Но можно условно выделить несколько этапов, во время которых это происходит. Максимальное смещение мозга – во время укладки больного и поворота головы, рассечения ТМО, проведения резекции пораженных участков мозга, ушивания

Рис. 6. *В окуляры микроскопа, синхронизированного с НС, определяются границы опухоли (метастаз медуллобластомы) до удаления (общая граница опухоли в данном направлении – пунктир, граница опухоли с учетом глубины фокусного расстояния – непрерывная линия)*

Рис. 7. *Несоответствие границ после удаления опухоли*

ТМО. К основным факторам, влияющим на возникающее смещение мозга, относятся глубина расположения, наличие отека, характер и объем очага поражения [15].

Интраоперационная визуализация – метод нивелирования проблемы «shift-феномена»

Использование НС позволяет улучшить интраоперационную ориентацию. Нейронавигация не подменяет собой хирургическую технику, но достоверно дает возможность улучшить точность, радикальность и безопасность вмешательства.

Применение таких методик помогает в нейронавигации интраоперационных изменений анатомии в режиме реального времени или при физиологических и функциональных исследованиях, а также позволяет навигировать без регистрации пациента. Кроме того, возможно наложение интраоперационных снимков на предоперационные диагностические исследования (МРТ, КТ, фМРТ). К ограничивающим факторам относится дороговизна таких способов.

Существуют различные варианты проведения интраоперационных визуализирующих методик. Одна из наиболее ранних – применение МРТ с открытого типа во время проведения операции (GE Signa System). Используемый инструментарий и анестезиологическое оборудование должны быть немагнитными. Нужно дополнительное оснащение операционной защитными экранами. Достоверно значимых интраоперационных осложнений при применении этого способа не наблюдалось.

Можно проводить интраоперационную верификацию посредством помещения больного в МРТ-сканер с последующим продолжением операции (Siemens Magnetom System). Третий вариант – возможность доставки сканера в обычную операционную (Medtronic PoleStar) – концепция «МРТ в операционную, а не операционная в МРТ». Эти сканеры не высокопольные (0,1–0,2 Тесла), но качество снимков позволяет достоверно определять остаточный объем опухоли [20]. При использовании таких аппаратов возможно проведение операции с расположением пациента лежа, на боку и сидя.

Преимущества синхронизации с интраоперационным СКТ/МРТ:

- дублирующая невиртуальная верификация любого инструмента в полости черепа и реальное взаимоотношение с окружающими тканями;
- выявление возможных осложнений (кровоизлияние, shift-феномен) в режиме onlain;
- введение новых координат цели в связи с изменившимися условиями хирургии (shift-феномен).

Недостатки синхронизации с СКТ головного мозга:

- увеличение времени хирургического вмешательства за счет периода СКТ-сканирования и введения новых расчетов;
- возможная потеря условий стерильности;
- необходимость прибегать к экранированию помещения и защите операционной бригады/пациента от рентгеновских лучей (при СКТ).

Проведение МР-трактографии с последующим импортом данных в НС для проведения интраоперационного контроля (рис. 8) выступает перспективной методикой, позволяющей визуализировать пучки нервов между двумя любыми точками анатомии, в зоне хирургического интереса, для точного анализа и предоперационного планирования. Использование комбинации интраоперационного нейрофизиологического мониторинга и нейронавигации дает возможность добиваться радикальности удаления с хорошими функциональными исходами [5, 17, 18].

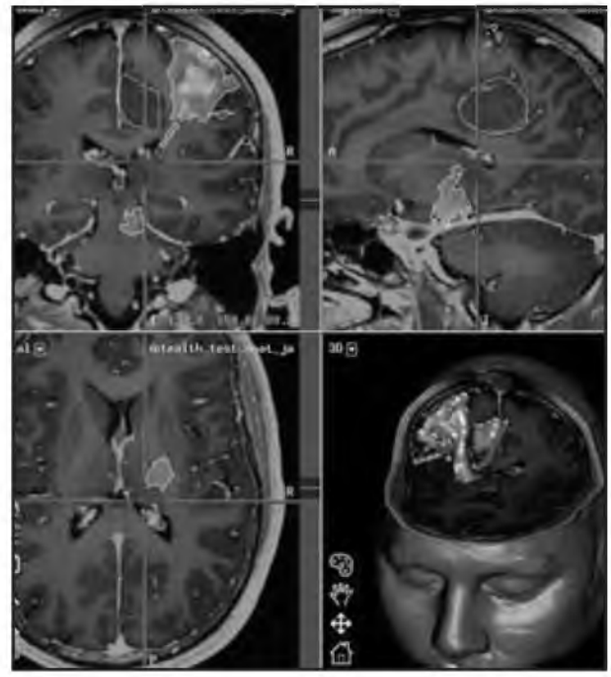

Рис. 8. *МР-трактография при проведении предоперационного планирования*

Заключение

1. Предоперационное лучевое обследование нужно проводить в тесном сотрудничестве нейрохирурга и специалиста лучевой диагностики. Метод и объем исследований должны определяться в интересах планируемого хирургического лечения на основе прогноза хода операции с учетом характера самого новообразования, анатомических и функциональных особенностей зоны вмешательства. Так же необходимо учитывать наличие вторичных изменений, индуцированных патологическим процессом, и индивидуальных особенностей строения и функциональной организации головного мозга.

Использование НС позволяет не только добиться радикальности операции, но и избежать повреждения функционально важных анатомических структур.

2. Применение нейронавигации дает возможность минимизировать и оптимизировать размер краниотомии. При малых размерах новообразования, локализации вблизи функционально значимых зон и крупных сосудистых коллекторов, глубинном расположении очага поражения использование НС облегчает его поиск и делает хирургические манипуляции минимально травматичными.

3. При хирургии внутримозговых образований для минимизации последствий shift-феномена необходимо применение дополнительных методик для повышения радикальности удаления новообразования – взять на вооружение флюоресцентный способ или интраоперационную ультразвуковую визуализацию. Для нивелирования этой патологии наиболее действенно использование интраоперационных МРТ- и КТ-установок.

4. Точное соблюдение протоколов предоперационного обследования больных дает возможность добиваться высокой точности работы НС. ■

Список литературы

1. Barnett G.H., Maciunas R.J., Roberts D.W. Computer-assisted neurosurgery Taylor&Fracis. 2006.
2. Eben A., Maciunas R.J. Advanced neurosurgical navigation. *Thieme Midical Publishers.* 1999, 279–301.
3. Кандель Э.И. Функциональная и стереотаксическая нейрохирургия. М.: Медицина. 1981; 41–45.
4. Spiegel E.A. et al. Stereotactic apparatus for operations on the human brain. *Science.* 1947; 106: 349–350.
5. Roberts D.W. et al. A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope. *J. Neurosurg.* 1986; 65: 545–549.
6. Nicolato A. Computerized tomography and magnetic resonance guided stereotactic brain biopsy in non-immunocompromised and AIDS patients. *Surg. Neurol.* 1997; 48: 267–277.
7. Дуэйн Хейнс. Нейроанатомия. Атлас структур, срезов и систем. М.: Логосфера. 2008; 4–8.
8. Гайдар Б.В. Практическая нейрохирургия С.-Пб: Гиппократ. 2002; 167–172.
9. Hernes T.A. et al. Stereoscopic navigation-controlled display of preoperative MRI and intraoperative 3D ultrasound in planning and guidance of neurosurgery. New technology for minimally invasive image-guided surgery approaches. SINTEF Unimed. Norway, Trondheim. *Medical. Technical. Research. Centre.*
10. Giese A., Westphal M. Treatment of malignant glioma. A problem beyond the margins of resection. *J. Cancer. Res. Clin. Oncol.* 2001; 127: 217–225.
11. Мацко Д.Е., Коршунов А.Г. Атлас опухолей центральной нервной системы. С.-Пб. 1998.
12. Улитин А.Ю. Эпидемиология первичных опухолей головного мозга среди населения крупного города и пути совершенствова-

ния организации медицинской помощи больным с данной патологией (на модели Санкт-Петербурга). Автореф. дис. канд. мед. наук. С.-Пб. 1997.
13. Horsley V., Clarke R.H: The structure and functions of the cerebellum examined by a new method. *Brain.* 1908; 31: 45–124.
14. Greenberg M.S. Handbook of neurosurgery. Thieme: Fifth. Edition. 2001.
15. Collaco L.M. et al. Stereotactic biopsy and cytological diagnosis of solid and cystic intracranial lesions. *Cytopathology.* 2003; 14: 131–135.
16. Christopher M., Owen M.E. Linskey frame-based stereotaxy in a frameless era: current capabilities, relative role and the positive and negative predictive values of blood through the needle. *J. Neurooncology.* 2009; 93: 139–149.
17. Del Curling O., Kelly Jr. Elster. An analysis of the natural history of cavernos angiomas. *J. Neurosurgery.* 1991; 75 (5): 702–708.
18. Woodworth G.F. et al. Frameless image-guided stereotactic brain biopsy procedure. Diagnostic yield, surgical morbidity and comparison with the frame-based technique. *J. Neurosurg.* 2006; 104 (2): 233–237.

APPLICATION OF NAVIGATION SYSTEMS IN NEUROSURGERY: CHOICE OF RADIODIAGNOSTICS' METHODS AND REALIZATION STANDARDS

A.V. Gorozhanin, A.A. Shestakov, D.V. Vakatov, A.V. Arablinsky, I.A.Danchenko

The major condition of neurosurgical intervention safe performance are adequacy of surgical access, exactness of orientation in anatomic structures, observance of principles of functional availability. Technical means to achieve these aims are known as «navigation systems». Such computer-assisted methods have found application in neuro-oncology, vascular neuro-surgery, spinal neurosurgery. Rational and complex methods of preoperative visualization are necessary for an effective use of computer-assisted neuronavigation. Volume and methods of pre-operation patient's inspection must be determined by characteristic of brain defeat and planned tactics of operative intervention. Correctness of protocol observance allows to construct the exact and correct virtual three-dimensional model and its exact accordance and subsequent combination with the anatomy of patient.

The limiting factor in capacity utilization is neuronavigation shift – the phenomenon – the discrepancy neuroimaging data in the later stages of intracranial surgery, due to changes in the dislocation structures of the brain. Full alignment of this phenomenon is achieved by the use of intraoperative imaging – MRI and CT units.

Key words: *neuronavigation, neuronavigation shift, neurovisualization, navigation system.*

Адрес для корреспонденции:
Шестаков Андрей Александрович
Тел.: (917) 583-25-83
E-mail: shestakov_doc@mail.ru