

Лекция 3. Различные методы исследования в неврологии

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для уточнения топического и нозологического неврологического диагноза, помимо лабораторных исследований, дающих главным образом информацию о составе жидких сред (кровь, моча, цереброспинальная жидкость), иммунологических и биологических исследований, применяются электрофизиологические, рентгенологические, ультразвуковые методы, а в последние десятилетия и неинвазивные методы визуализации головного и спинного мозга: компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭГ). Данные, полученные с помощью этих методов, в процессе диагностики поражений и заболеваний нервной системы нередко имеют очень важное, а иногда и решающее значение.

Дополнительными специальными методами исследования надо пользоваться в случаях действительной целесообразности их применения. За исключением экстремальных ситуаций к ним надо прибегать, если создавшееся после клинического обследования больного мнение о диагнозе нуждается в уточнении. Исключением из этого правила являются острые заболевания и поражения мозга, прежде всего инсульты и случаи черепно-мозговой травмы, при которых точный диагноз необходим незамедлительно, к тому же методы визуализации патологического процесса нередко имеют решающее значение для определения тактики лечения больного.

В процессе составления плана проведения физиологических, рентгенологических и других специальных исследований надо учитывать их информативность и возможность возникновения побочных явлений и осложнений. Необоснованных исследований следует избегать, так как они ведут к дополнительной затрате времени и излишним материальным расходам, а некоторые из методов, особенно инвазивные, могут оказаться безразличны для состояния пациента.

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

1. Диагностика электровозбудимости нервно-мышечного аппарата

К электродиагностике прибегают при решении вопросов о характере и степени поражения периферических двигательных нейронов и иннервируемых ими мышечных волокон. В ряде случаев при анализе результатов исследования возникают и некоторые дополнительные возможности уточнения диагноза.

Для исследования электровозбудимости можно пользоваться различными приборами, в частности отечественным аппаратом КЭД (классическая электродиагностика), пантостатом и др. Эти приборы получают ток от собственной электробатарей или от электросети. Из электродов один индифферентный площадью 50-100 см², другой - активный, в форме шарика или пуговки площадью 3-5 см². Активный электрод

соединен с рукояткой, снабженной прерывателем тока. Прибор имеет трансформаторную систему и амперметр для определения силы тока, а также приспособление, позволяющее делать активным то катод, то анод.

Раздражение нерва и мышцы постоянным (гальваническим) током и импульсным (переменным, фарадическим) с частотой 40-50 Гц, длительностью импульса 1 мс позволяет судить о количественном и качественном изменении их возбудимости. При раздражении мышцы (прямое раздражение) или нерва (непрямое раздражение), обеспечивающего двигательную иннервацию этой мышцы, в норме возникает мышечное сокращение. Раздражение осуществляется с определенных участков кожи, именуемых двигательными (моторными) точками, которые располагаются в местах расположения нерва близко к поверхности тела; поиску этих точек помогают созданные на основании анатомических представлений и эмпирических данных схематические рисунки.

Исследование электровозбудимости мышц и нерва переменным током позволяет определить только количественное изменение порога их возбудимости. При силе переменного тока выше пороговой в течение всего периода прямого или непрямого раздражения мышцы возникают ее тетанические сокращения.

Исследование электровозбудимости мышцы и нерва постоянным током дает более полное представление о состоянии нервно-мышечного аппарата. Постоянный ток в норме вызывает молниеносное сокращение мышцы лишь в момент замыкания и размыкания электрической цепи (*закон полярного раздражения Дюбуа-Реймона*), при этом порог возбудимости нервов варьирует в пределах от 0,5 до 3,0 мА.

В норме катод (отрицательный полюс) сильнее раздражает мышцу (вызывает ее сокращение при меньшей силе тока), чем анод (положительный полюс), т.е. катодзамыкательное сокращение (КЗС) больше анодзамыкательного (АЗС). Кроме того, анодзамыкательное сокращение больше анодразмыкательного (АРС), а последнее - катодразмыкательного (КРС). В итоге *полная формула нормальной электрической реакции (полярная формула) выглядит так: КЗС>АЗС>АРС>КРС.*

При *периферическом параличе мышцы* (ее денервации) исследование электровозбудимости, реакция ее на раздражение электрическим током изменяется качественно, при этом обнаруживается **реакция перерождения** (РП), reactio degenerationis (RD).

Признаки реакции перерождения: 1) на раздражение нерва как переменным, так и постоянным током мышечных сокращений нет; 2) раздражение мышцы переменным током также не вызывает ее реакции, прямое же раздражение мышцы постоянным током сопровождается ее сокращением, но при этом АЗС>КЗС, а само сокращение мышцы не быстрое, как в норме, а вялое, червеобразное. *Такое состояние электровозбудимости наступает приблизительно через 2 нед после перерыва нерва или после гибели тел соответствующих периферических мотонейронов* и называется **полной реакцией перерождения (ПРП).**

При длительной (более года) полной реакции перерождения мышцы может вообще исчезнуть ее способность реагировать как на импульсный, так и на постоянный ток. Такая полная утрата электровозбудимости мышцы указывает на развитие в ней необратимых дегенеративных процессов.

При *периферическом парезе* мышцы вследствие неполного нарушения функции иннервирующего ее двигательного нерва может наблюдаться **неполная** (частичная) **реакция перерождения**; в таких случаях при непрямом раздражении переменным и постоянным электрическим током, а также при прямом раздражении переменным электрическим током возбудимость мышцы сохраняется, но она резко снижена, и при этом раздражении постоянным током катодзамыкательное сокращение оказывается приблизительно таким же, как и анодзамыкательное, т.е. КЗС = АЗС, а темп сократительной реакции мышцы замедленный.

При *центральной парезе* или *параличе* наблюдается снижение порога электровозбудимости, *при миопатии* он повышается. При *миотонии* возникает так называемая миотоническая реакция: раздражение мышцы сопровождается длительным ее сокращением и медленным расслаблением. При *миастении* может быть выявлена патологическая утомляемость мышцы, при этом каждое последующее мышечное сокращение сопровождается повышением порога возбудимости; в таких случаях для получения эффекта требуется постепенное увеличение силы тока.

Таким образом, исследование электровозбудимости нервно-мышечного аппарата способствует дифференциации первичного и вторичного поражения мышцы и распознаванию характера паралича или пареза, а также нозологической диагностике некоторых нервно-мышечных заболеваний. Наличие полной или неполной (частичной) реакции перерождения указывает на степень поражения структур периферической нервной системы или мышцы. Кроме того, *состояние электровозбудимости помогает составить представление о более вероятном прогнозе.* Повреждение периферического нерва, протекающее без реакции перерождения или с частичной реакцией перерождения, позволяет надеяться на сравнительно быстрое (через 4-6 нед) восстановление функции иннервируемых этим нервом мышц. Выявление полной реакции перерождения указывает на тяжелое поражение нервно-мышечного аппарата и делает шансы на восстановление нарушенных функций сомнительными. **Полная утрата электровозбудимости мышцы указывает на практически абсолютную невозможность восстановления ее функции.**

2. Электромиография

Электромиография (ЭМГ, классическая ЭМГ) - более современный и информативный метод диагностики нервно-мышечных заболеваний, основанный на регистрации спонтанных колебаний электрических потенциалов мышечных и нервных волокон. Впервые запись ЭМГ осуществил в 1907 г. Н. Piper. Однако распространение на практике метод получил в 30-е годы. В 1948 г. R. Hodes предложил методику определения

скорости распространения возбуждения (СРВ) по двигательным волокнам периферических нервов в клинических условиях. В том же году М. Dawson и G. Scott разработали методику определения СРВ по афферентным волокнам периферических нервов, что и положило начало электронейрографии.

При суммарной ЭМГ анализируются биопотенциалы множества двигательных единиц, образующих интерференционную, или суммарную, кривую. По одной из классификаций суммарной ЭМГ выделяется 4 типа.

1-й тип - ЭМГ с быстрыми, частыми, изменчивыми по амплитуде колебаниями потенциала (частота колебаний 50-100 Гц). ЭМГ этого типа регистрируется в норме, а в случаях снижения амплитуды колебаний потенциала регистрируется у больных с различными формами миопатии, радикулоневрита, центральными парезами мышц.

2-й тип - уменьшенная частота колебаний на ЭМГ (менее 50 Гц), когда визуально хорошо прослеживаются отдельные колебания потенциалов, частота которых может быть менее 10 Гц (тип ПА, тип «частотокола») или более высокой - до 35 Гц (тип ПБ); проявляется в случаях невритических и нейрональных поражений.

3-й тип - залпы частых осцилляций длительностью 80-100 мс (частота колебаний 4-10 Гц), характерен для всех заболеваний, при которых имеют место повышение мышечного тонуса по экстрапирамидному типу и насильственные движения - гиперкинезы.

4-й тип - «биоэлектрическое молчание» - отсутствие биоэлектрической активности мышцы, несмотря на попытку вызывать произвольное или тоническое напряжение мышц. Наблюдается при вялых параличах в случае поражения всех или большей части иннервирующих их периферических мотонейронов.

При проведении ЭМГ исследуется потенциал в мышце, возникающий при ее прямой, не прямой или рефлекторной стимуляции, при этом чаще проверяется реакция мышцы в ответ на стимуляцию иннервирующего ее нерва. Среди вызванных электрических ответов выделяются М-ответ - потенциал, возникающий при электрическом раздражении двигательных волокон нерва, Н-ответ - рефлекторный, возникающий в мышце при раздражении низкопороговых чувствительных волокон нерва, и F-ответ - проявляющийся в мышце при электрической стимуляции двигательных аксонов нерва, обусловленный антидромным проведением волны возбуждения от места стимуляции к телу мотонейрона, возбуждения его и обратного проведения волны возбуждения до иннервируемых этим мотонейроном мышечных волокон.

Развитие метода и совершенствование диагностической аппаратуры способствовали формированию его направлений: 1) собственно электромиографические исследования, т.е. регистрация спонтанной мышечной активности в покое и при различных формах двигательной активности (**глобальная ЭМГ**); 2) стимуляционная электромиография и **электронейрография**. Сочетание этих двух направлений нередко обозначается термином **электронейромиография**.

Наиболее информативной оказалась классическая ЭМГ с игольчатыми электродами.

В настоящее время ЭМГ является основным методом в диагностике болезней периферических мотонейронов, нервов, мышц, нервно-мышечной передачи.

Возможности метода. ЭМГ позволяет получить объективные сведения, способствующие решению следующих вопросов.

- 1) Имеется ли повреждение чувствительных волокон нерва?
- 2) Снижение мышечной силы у больного нейрогенной природы или речь идет о первичной миопатии?
- 3) Нарушена ли нейромышечная передача?
- 4) Имеется ли валлеровское перерождение нервных волокон и продолжается ли процесс денервации?
- 5) Если нерв поврежден, то преимущественно страдают осевые цилиндры нервных волокон или их миелиновая оболочка?
- 6) В случае невропатии: связана ли хроническая частичная денервация мышц с повреждением нервных корешков, ствола нерва или объясняется полиневропатическим процессом?

Таким образом, ***применение ЭМГ-исследования дает возможность выявить поражения нейромоторного аппарата: первично-мышечного, невральное, переднеронового***, при этом возникает возможность дифференцировать единичные или множественные невропатии (моно- и полиневропатии), аксональные и демиелинизирующие невропатии; провести топическую диагностику поражения спинномозговых корешков, нервного сплетения или периферического нерва; определить уровень компрессии нерва при туннельных синдромах, а также состояние нервно-мышечной передачи.

Использование метода игольчатой миографии дает возможность определить некоторые особенности денервационно-реиннервационного процесса, что важно для оценки тяжести поражения периферических нервов, прогноза и, соответственно, планирования лечебной тактики.

Диагностика должна проводиться с учетом клинической картины заболевания, поскольку изменения электрической активности мышц связаны с определенными симптомами, а не с нозологическими формами.

Методика. Для проведения ЭМГ используют специальный аппарат - электромиограф, состоящий из электронного усилителя и регистрирующей системы (осциллографа). Он обеспечивает возможность усиления биотоков мышцы в 1 млн раз и более и регистрирует их в виде графической записи. Отведение мышечных биопотенциалов осуществляется с помощью поверхностных или игольчатых электродов. Поверхностные электроды позволяют регистрировать суммарную электрическую активность многих мышечных волокон. Игольчатые электроды, погружаемые в мышцу, могут регистрировать биоэлектрические потенциалы отдельных ***двигательных единиц*** (ДЕ) - понятие, введенное Ч. Шеррингтоном для обозначения комплекса, состоящего из периферического мотонейрона, его аксона,

ветвлений этого аксона и совокупности иннервируемых мотонейроном мышечных волокон.

При анализе ЭМГ учитывается частота биопотенциалов, величина их амплитуды (вольтаж), а также общая структура осциллограмм (монотонность осцилляций или их расчлененность на залпы, частота и длительность этих залпов и пр.).

ЭМГ проводится при различном состоянии исследуемых мышц: их расслаблении и произвольном сокращении, рефлекторных изменениях их тонуса, возникающих во время сокращения других мышц, во время вдоха, а также при эмоциональном возбуждении и пр.

У здорового человека в покое (при произвольном расслаблении мышц) на ЭМГ наблюдаются слабые, низкоамплитудные (до 10-15 мкВ), высокочастотные колебания. Рефлекторное повышение тонуса сопровождается небольшим усилением амплитуды биопотенциалов мышцы (до 50-100 мкВ). При произвольном мышечном сокращении возникают частые высокоамплитудные колебания (до 1000-3000 мкВ).

При заболеваниях, сопровождающихся денервацией мышцы, вовлечение в патологический процесс чувствительных волокон нерва позволяет дифференцировать невропатию от поражения клеток передних рогов спинного мозга. При ЭМГ возможно объективное раннее (иногда в доклинической стадии)

выявление нарушений функции нервно-мышечного аппарата, определение уровня его поражения (центральный, сегментарный, невропатический, нервно-мышечных синапсов, миопатический), а также характера (аксонопатия, миелинопатия), степени и стадии поражения периферических нервов. Установление характера невропатического процесса имеет важное значение, так как способствует диагностике основного заболевания и разработке наиболее рациональной программы лечения.

Если электродиагностические данные указывают на аксонопатию, особенно в случае прогрессирующей полиневропатии с подострым или хроническим течением, есть основание считать вероятным наличие метаболических нарушений или экзогенной интоксикации. Если же в процессе электродиагностики выявляется первичная демиелинизация нерва, среди возможных причин заболевания следует рассмотреть приобретенную демиелинизирующую невропатию, обусловленную нарушением иммунитета, или наследственные невропатии, отдельные формы которых сопровождаются равномерным и резко выраженным снижением скорости проведения возбуждения по нервам.

ЭМГ позволяет также судить о состоянии нервно-мышечной передачи, способствует выявлению ее нарушения; кроме того, дает возможность контролировать регенеративный процесс после травматического поражения нерва, помогая таким образом решать вопрос о целесообразности в этих случаях нейрохирургического вмешательства.

При первичной мышечной патологии характерно снижение амплитуды биопотенциалов, укорочение длительности одиночного потенциала и

увеличение процента полифазных потенциалов (в норме до 15-20%). При поражении периферических нервов возникает снижение амплитуды осцилляций, возможно появление неритмичных потенциалов фибрилляции с амплитудой до 200 мкВ. Если развивается периферический паралич с дегенерацией нервных и мышечных волокон, биопотенциалы исчезают (наступает биоэлектрическое «молчание»).

Поражение структур передних рогов спинного мозга сопровождается уменьшением частоты осцилляций; фасцикуляции в таких случаях отражаются на графике ритмичными потенциалами с амплитудой до 300 мкВ и частотой 5- 35 Гц - «ритм частотола». При центральных парезах во время произвольных движений снижается амплитуда колебаний, в то же время при рефлекторных повышении мышечного тонуса амплитуда биопотенциалов резко увеличивается и появляются частые несинхронные колебания.

При исследовании *функции периферического нерва* важную информацию можно получить при определении скорости проведения импульсов и параметров вызванных потенциалов действия. С этой целью проводится электронейромиография - метод, при котором классическая ЭМГ сопровождается электрической стимуляцией периферического нерва с последующим анализом параметров вызванных потенциалов, регистрируемых с мышцы (стимуляционная электромиография) или с иннервирующего ее нерва (стимуляционная электронейрография). Возможны регистрация и анализ параметров вызванных потенциалов (ВП) мышцы и нерва (латентный период, форма, амплитуда и длительность ВП), определение скорости проведения импульсов по двигательным и чувствительным волокнам периферических нервов, подсчет моторносенсорного и краниокаудального коэффициентов асимметрии и выявление отклонения их от нормы, определение числа функционирующих двигательных единиц (ДЕ).

Метод определения скорости проведения импульсов применим для исследования любого доступного периферического нерва. Обычно он определяется у срединного, локтевого, большеберцового и малоберцового нервов, реже - у локтевого и седалищного нервов. Электронейромиографию следует проводить при исследовании функционального состояния как двигательных, так и чувствительных волокон. Для определения скорости проведения импульсов (СПИ) сначала измеряется время наступления потенциала действия мышцы (в мил- лисекундах) при стимуляции двигательного нерва возле самой мышцы (латентное время - T_2 - ответа в дистальной точке) и в точке, расположенной проксимальнее по ходу нерва на некотором расстоянии (латентное время - T_1 - в проксимальной точке). Зная расстояние между двумя точками стимуляции (S) и разность латентных периодов ($T_1 - T_2$), можно вычислить скорость проведения нервного импульса (скорость распространения возбуждения - CPB) по формуле:

$$\text{СПИ, или CPB} = S / (T_1 - T_2) \text{ мм/мс}$$

Для большинства нервов в норме СПИ, или CPB, составляет 45-60 мм/мс или м/с.

При *аксонной дегенерации*, например при алкогольной или диабетической невропатии, на фоне выраженных денервационных изменений скорость проведения возбуждения снижается незначительно, при этом амплитуда потенциалов действия нервов и мышц прогрессивно уменьшается по мере того, как поражение распространяется по составляющим нерв волокнам. При аксонной полиневропатии можно установить ее субклиническое течение, активность и степень реиннервации.

При *сегментарной демиелинизации*, например при синдроме Гийена-Барре, скорость проведения возбуждения снижается гораздо больше - до 60% от нормы. С электрофизиологической точки зрения демиелинизация характеризуется другими особенностями. Они включают десинхронизацию (дисперсию) вызванных потенциалов действия мышцы, непропорциональное увеличение латентного времени ответа в дистальной точке, замедление F-ответов (потенциалов действия, направляющихся к спинному мозгу и возвращающихся назад к мышце) и блокаду проводимости. Блокада проводимости определяется по внезапному резкому падению амплитуды вызванного потенциала действия мышцы при стимуляции нерва в точках на все большем отдалении (в проксимальном направлении) от регистрирующего электрода.

Проверяя скорость проведения импульса по нерву, можно оценить выраженность вторичного валлеровского перерождения, диагностировать и отдифференцировать *миотонию* от продолжительной мышечной активности невропатической природы; проанализировать и четко отличить мышечный спазм от физиологической контрактуры, для которой характерно электрическое «молчание».

Снижение скорости проведения возбуждения по отдельным нервам - признак *мононевропатии* - может быть, например, проявлением туннельного синдрома, тогда как снижение скорости проведения по симметричным нервам на всех или, как это бывает чаще, на нижних конечностях указывает на наличие *полиневропатии*.

Экстрапирамидные гиперкинезы на ЭМГ характеризуются залпами частых высокоамплитудных колебаний, возникающих на фоне низкоамплитудной кривой. При миотонии на ЭМГ при движении выявляется характерное нарастающее снижение амплитуды биопотенциалов - «миотоническая задержка».

Возможна и компьютерная обработка частотного спектра ЭМГ по методу Фурье, позволяющая определить суммарную мощность спектра, распределение и мощность отдельных частотных диапазонов.

3. Вызванные потенциалы

Метод вызванных потенциалов (ВП) осуществляется путем регистрации биоэлектрических ответов головного мозга на определенные экзогенные или эндогенные раздражители. Установленные биоэлектрические потенциалы мозга, полученные в результате неинвазивной стимуляции специфических афферентных путей, позволяют с помощью компьютерной обработки полученной информации судить о функциональном состоянии

этих путей. **Коротковолновые вызванные потенциалы (ВП)** представляют собой ответную реакцию мозговых структур на дозированный раздражитель различной модальности (свет, звук, соматосенсорные раздражения). ВП возникают вследствие трансформации энергии раздражителя в поток нервных импульсов, который подвергается сложной обработке на пути следования к коре больших полушарий. ***ВП позволяют выявить субклиническое поражение сенсорных путей, объективизировать его наличие, а иногда и уровень поражения исследуемых афферентных структур.*** Вместе с тем этот метод не способствует определению причины нарушения их функций.

Зрительные вызванные потенциалы (ЗВП) регистрируются в срединно-затылочной области при поочередной стимуляции каждого глаза. Исследование результатов ЗВП позволяет установить наличие поражения зрительного анализатора, что имеет важное значение, например при диагностике рассеянного склероза. ***У большинства больных, перенесших ретробульбарный неврит, определяются изменения ЗВП.***

Слуховые ВП ствола (СВПС) возникают при направлении в ухо звуковых стимулов (серии щелчков) с помощью наушников. СВПС позволяют определить локализацию выявить наличие поражения слуховых путей при регистрации биоэлектрических сигналов, регистрируемых в теменной области, в зоне макушки (вертекса - от лат. vertex вершина, верхушечная точка). Потенциалы регистрируются в течение 10 с после слуховой стимуляции и отражают последовательную активность различных уровней слухового анализатора. При клинической интерпретации основное внимание уделяется первым пяти пикам, длительности их латентного периода и величине межпиковых интервалов. Это позволяет судить об уровне поражения слухового анализатора (на уровне VIII черепного нерва, его ядер, верхней оливы, боковой петли, нижнего бугра четверохолмия). СВПС могут способствовать ранней диагностике патологических процессов (например, очагов демиелинизации, роста глиальных опухолей, инфарктных очагов и пр.), возникших на уровне периферического отдела слухового анализатора или поражающих ствол мозга.

Исследование звуковых и зрительных вызванных потенциалов позволяет объективизировать наличие у пациентов нарушений соответственно слуха или зрения, что может быть использовано с экспертной целью, а также для оценки состояния слуха и зрения у людей, контакт с которыми ограничен из-за наличия у них интеллектуально-мнестических расстройств.

Соматосенсорные ВП (ССВП) исследуют, стимулируя электротоком определенные периферические нервы, при этом биоэлектрическую активность регистрируют как на поверхности головы, так и на различных уровнях позвоночника. ССВП, полученные при стимуляции, например большеберцового и малоберцового нервов, позволяют определить локализацию поражения на уровне этих нервов, пояснично-крестцового сплетения, спинного мозга, ствола головного мозга и таламусов. Практически

любое заболевание, поражающее соматосенсорные пути, например рассеянный склероз, опухоли спинного мозга, спондилогенная шейная миелопатия и др., сопровождается изменениями ССВП.

Дифференцируются ранние и поздние компоненты ВП. Ранние компоненты связаны с быстропроводящими (миелиновыми) проекционными нервными волокнами и характеризуются короткими латентными периодами; тогда как поздние компоненты ВП отражают проведение импульсов по неспецифическим структурам, в частности по РФ ствола, и по структурам вегетативной нервной системы, для них характерны более длительные латентные периоды.

Вызванные потенциалы позволяют определять наличие и степень повреждения различных отделов нервной системы, в частности стволовых и подкорковых структур мозга. В клинической практике чаще применяют акустические стволовые вызванные потенциалы (АСВП) и коротколатентные соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП).

Исследование вызванных потенциалов может проводиться для контроля функциональной целостности структур центральной нервной системы во время оперативного вмешательства с тем, чтобы по возможности раньше распознать их дисфункцию и избежать их необратимых повреждений.

4. Электроэнцефалография

Электроэнцефалография (ЭЭГ) - метод исследования функционального состояния головного мозга, основанный на регистрации его биоэлектрической активности через неповрежденные покровные ткани головы. На ЭЭГ регистрируется электрическая активность мозга, генерирующаяся в коре, синхронизирующаяся и модулирующаяся таламусом и ретикулярными активирующими структурами. Первая запись биотоков головного мозга была произведена в 1928 г. Хансом Бергером (H. Berger).

Регистрация биоэлектрических потенциалов головного мозга и графическое их изображение фотографическим методом или путем чернильной записи производится специальным прибором - электроэнцефалографом. Его основным узлом являются высокочувствительные электронные усилители, позволяющие на бумажной ленте в реальном времени получать картину изменения колебаний биопотенциалов в разных областях коры больших полушарий, и осциллографические системы регистрации. Современные электроэнцефалографы - это многоканальные приборы (чаще 16, иногда 20 и более усилительно-регистрирующих блоков - каналов), позволяющие одновременно регистрировать биотоки, отводимые от нескольких симметричных отделов головы. Исследование должно проводиться в свето- и звукоизолированном помещении. В процессе регистрации биотоков мозга пациент находится в кресле в удобном положении (полулежа), при этом ему не следует: а) находиться под воздействием седативных средств; б) быть

голодным (в состоянии гипогликемии); в) быть в состоянии психоэмоционального возбуждения.

Электроды для ЭЭГ могут быть пластинчатые, чашечные, игольчатые. Они крепятся на голове пациента с помощью резиновых жгутов, липкой ленты или специальной шапочки симметрично относительно сагиттальной линии головы по общепринятой международной схеме. Стандартные зоны отведения (и соответствующие им электроды) следующие: затылочные (occipitalis, O_1 и O_2), теменные (parietalis, P_3 и P_4), центральные (centralis, C_3 и C_4), лобные (frontalis, F_3 и F_4), лобные полюсные (polus, Fp_1 и Fp_2), нижнелобные (F_7 , F_8), височные (temporalis, T_3 , T_4), задневисочные (T_5 , T_6). Кроме того, по сагиттальной линии головы располагаются сагиттальные электроды: теменной сагиттальный (P_z), центральный сагиттальный (C_z) и лобный сагиттальный (F_z). В качестве референтных электродов используются электроды, которые закрепляются на мочках ушей зажимами. По международной системе они обозначаются как электроды A_1 и A_2 (от лат. auriculus - ушной).

Отведения ЭЭГ бывают монополярные или биполярные. При монополярном отведении измеряются потенциалы между активной точкой на голове и относительно неактивной зоной, не дающей собственных ритмических колебаний (референтным электродом, чаще - ушным или наложенным на область сосцевидного отростка). При биполярном отведении измеряют разность потенциалов между двумя активными зонами мозга, например затылочным и теменным отведением (О-Р). Для диагностических целей целесообразно использовать комбинацию моно- и биполярных отведений.

Записанная кривая, отражающая характер биотоков мозга, называется электроэнцефалограммой (ЭЭГ).

Электроэнцефалограмма отражает суммарную активность большого количества клеток мозга и состоит из многих компонентов. Анализ электроэнцефалограммы позволяет выявить на ней волны, различные по форме, постоянству, периодам колебаний и амплитуде (вольтажу). У здорового взрослого человека, находящегося в состоянии покоя, на ЭЭГ обычно выявляются: а) **альфа-волны**, которые характеризуются частотой 8-13 Гц и амплитудой 30-100 мкВ, они симметричные, синусообразной формы, лучше выражены при закрытых глазах пациента, преимущественно определяются в затылочно-теменной области; эти волны нарастают и убывают спонтанно и обычно быстро исчезают, когда пациент сосредоточивает внимание или открывает глаза; б) **бета-волны** с частотой колебаний больше 13 Гц (чаще 16-30) и амплитудой до 15 мкВ, на «нормальных» электроэнцефалограммах они симметричны и особенно характерны для лобной области; в) **дельта-волны**, имеющие частоту 0,5-3 Гц и амплитуду до 20-40 мкВ; г) **тета-волны** с частотой 4-7 Гц и с амплитудой в тех же пределах (рис. 16.1).

При выраженной альфа-активности дельта- и тета-ритмы у здорового взрослого человека практически не заметны, так как они перекрываются

имеющим более выраженную амплитуду альфа-ритмом. Однако при угнетении альфаритма, обычно возникающем при возбуждении пациента, а также в дремотном состоянии и при неглубоком сне (первая и вторая стадии), дельта- и тета-ритм на ЭЭГ проявляются, и амплитуда их может нарастать соответственно до 150 и 300 мкВ. При глубоком сне (третья стадия) на ЭЭГ максимально регистрируется медленная активность. Медленные волны чаще проявляются в виде диффузных, реже локальных (в зоне патологического очага в мозге), ритмических колебаний, формирующихся во «вспышки».

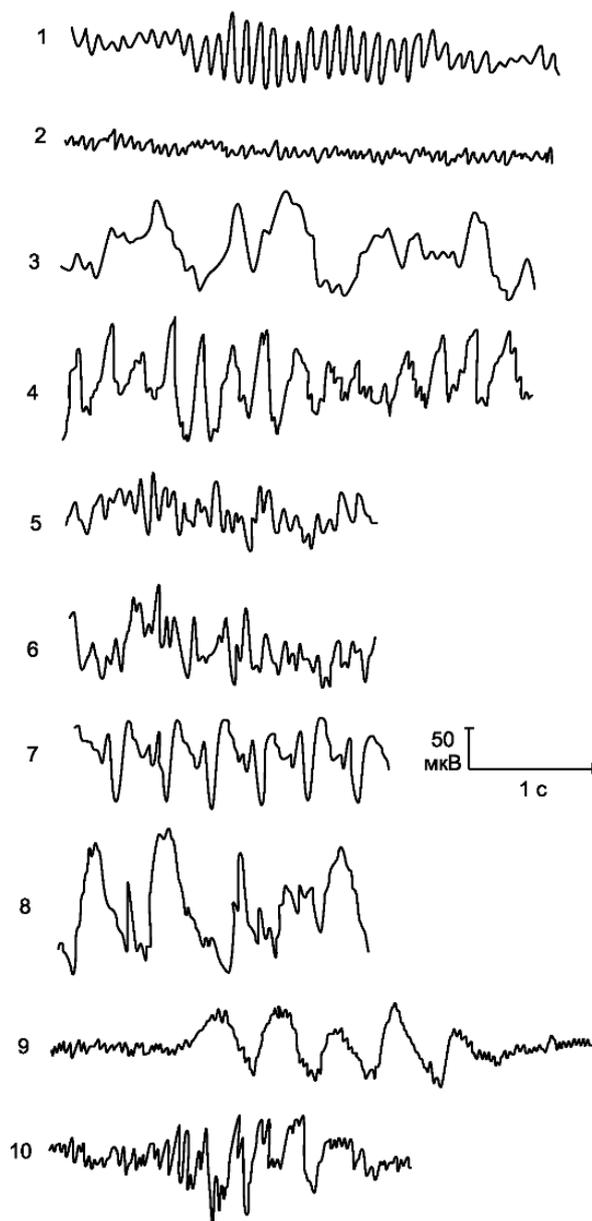


Рис. 16.1. Проявления биоэлектрической активности головного мозга на электроэнцефалограмме. 1 - альфа-ритм; 2 - бетаритм; 3 - дельта-ритм; 4 - тета-ритм; 5 - пики; 6 - острые волны; 7 - пик-волна; 8 - острая волна; 9 - пароксизм дельтаволн; 10 - пароксизм острых волн.

Уровень бодрствования влияет на характер ЭЭГ. В норме у спящего взрослого человека ритм биоэлектрической активности симметричен, при

этом появляются нарастающие по амплитуде медленные волны и сонные веретена в теменных зонах. Любая ориентировочная реакция на внешние воздействия находит отражение на ЭЭГ здорового человека в виде временного уплощения кривой. Эмоционально-психическое возбуждение обычно сопровождается появлением быстрых ритмов.

В процессе перехода от младенческого состояния к взрослому характер нормальной ЭЭГ постепенно меняется. В раннем детском возрасте на ней отражены главным образом медленные колебания, которые постепенно сменяются более частыми, и к 7 годам формируется альфа-ритм. Полностью процесс эволюции ЭЭГ завершается к 15-17 годам, приобретая к этому возрасту черты ЭЭГ взрослого человека (рис. 16.2).

В возрасте старше 50-60 лет нормальная ЭЭГ отличается от таковой у лиц молодого возраста уменьшением частоты дельта-ритма, нарушением его регуляции и увеличением числа тета-волн.

Признаком патологической активности на ЭЭГ взрослого бодрствующего человека являются тета- и дельта-активность, а также эпилептическая активность.

Особенно значимым ЭЭГ-обследование оказывается при выявлении эпилептической активности, указывающей на предрасположенность к судорожным состояниям и проявляющейся следующими признаками: 1) острые волны (пики) - колебание потенциала, имеющего крутое нарастание и крутой спад, при этом острота волны обычно превышает амплитуду фоновых колебаний, с которыми они сочетаются; острые волны могут быть единичными или групповыми, выявляются в одном или многих отведениях; 2) комплексы пик-волна, представляющие собой колебания потенциала, состоящие из острой волны (пика) и сопутствующей ей медленной волны; при эпилепсии эти комплексы могут быть единичными или следуют друг за другом в виде серий; 3) пароксизмальные ритмы - ритмы колебаний в форме всплеск высокой амплитуды разной частоты, обычны пароксизмальные ритмы тета- и дельта-колебаний или медленных волн 0,5-1,0 Гц.

По данным ЭЭГ возможно отличить диффузное поражение мозга от локального патологического процесса, установить сторону и в определенной степени локализацию патологического очага, дифференцировать поверхностно расположенный патологический очаг от глубинного, распознать коматозное состояние и степень его выраженности, выявить фокальную и генерализованную эпилептическую активность.

Расширению возможностей ЭЭГ в определении функционального состояния мозга и некоторых его патологических состояний, прежде всего эпилептической активности, способствуют специальные **провокационные пробы**: проба с гипервентиляцией - глубокие дыхательные движения с частотой 20 в мин, ведущие к алкалозу и сужению сосудов мозга; проба со световым раздражителем - фотостимуляцией с помощью мощного источника света (стробоскопа); проба со звуковым раздражителем. Так, реакции больного на фотостимуляцию говорят о том, что обследуемый по

крайней мере воспринимает свет. Если реакция на фотостимуляцию отсутствует в одном полушарии, то можно судить о том, что на его стороне имеет место нарушение проводимости зрительных импульсов от подкорковых центров до коркового отдела зрительного анализатора. Если фотостимуляция провоцирует появление на ЭЭГ патологических волн, стоит думать о наличии повышенной возбудимости корковых структур. Более продолжительная фотостимуляция может спровоцировать появление на

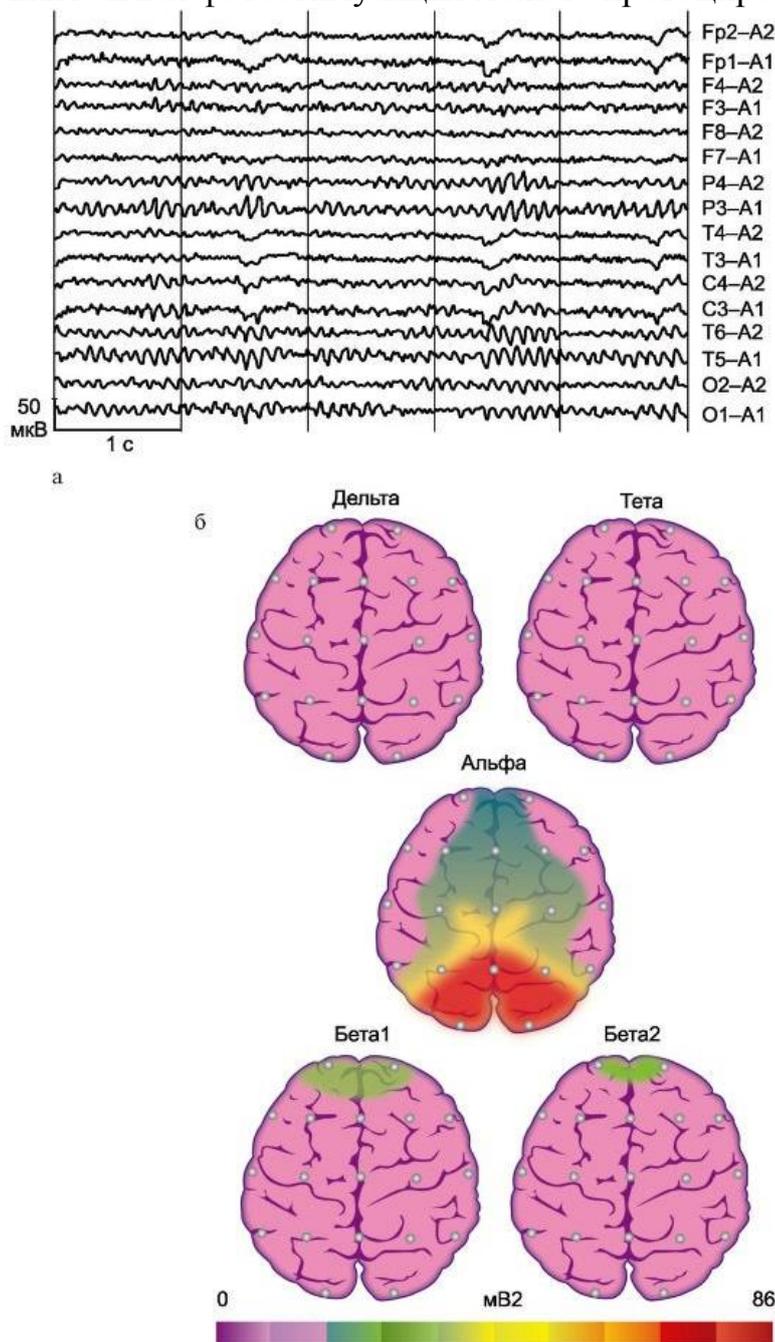


Рис. 16.2. Электроэнцефалограмма и ее топоселективная картограмма в норме. а - монополярные ЭЭГ-отведения (по международной системе «10-20»): О - окципитальные; Р - париетальные; С - центральные; Т - темпоральные; F - фронтальные; Fp - нижние лобные; нечетные цифровые индексы соответствуют электродам над левым полушарием мозга, четные - над правым; б - распространение активности 10 Гц на картограмме.

ЭЭГ истинных судорожных разрядов, а при особенно высокой готовности к судорожным состояниям иногда развиваются отчетливые миоклонические подергивания мышц лица, шеи, плечевого пояса, рук, которые могут переходить в генерализованные истинные мышечные судороги (фотопароксизмальная реакция).

Информативность электроэнцефалограммы повышается, если запись ее производится у пациента, находящегося в состоянии сна.

С помощью ЭЭГ получают информацию о функциональном состоянии мозга при разных уровнях сознания пациента. Достоинством этого метода являются его безвредность, безболезненность, неинвазивность.

Электроэнцефалография нашла широкое применение в неврологической клинике. Особенно значимы данные ЭЭГ в диагностике эпилепсии, возможна их определенная роль в распознавании опухолей внутричерепной локализации, сосудистых, воспалительных, дегенеративных заболеваний головного мозга, коматозных состояний. ЭЭГ с применением фотостимуляции или стимуляции звуком может помочь дифференцировать истинные и истерические расстройства зрения и слуха либо симуляцию таких расстройств. ЭЭГ может быть использована при мониторинге наблюдения за больным. Отсутствие на ЭЭГ признаков биоэлектрической активности головного мозга является одним из важнейших критериев его смерти.

В нейрохирургических учреждениях во время операции при наличии показаний может производиться запись биотоков с обнаженного мозга - **электрокортикография**. Иногда в условиях нейрохирургической операционной запись электроэнцефалограммы ведется с помощью электродов, погруженных в мозг.

Использование современной компьютерной техники или специализированных спектроанализаторов позволяет производить автоматическую обработку ЭЭГ, что дает возможность выявить количественные характеристики ее частотного состава. Возможность **компрессированного спектрального анализа** ЭЭГ, основанного на компьютеризированной трансформации первичной ЭЭГ в спектр мощности по быстрому преобразователю Фурье, дает возможность оценивать ЭЭГ количественно, представить ее в более наглядной форме, так как на спектрограммах находит отражение мощность или амплитуда частотных составляющих ЭЭГ за данный исследуемый отрезок времени (эпоху), что позволяет определить соотношение мощности разных ритмов ЭЭГ и выявить те частоты, которые не выявляются при простом рассмотрении кривой ЭЭГ, и таким образом повысить информативность результатов обследования.

Топоселективное картирование электрической активности мозга. В процессе анализа многоканальной ЭЭГ имеется возможность трансформировать результаты обследования в числовую форму в виде спектра мощности электрогенеза коры полушарий большого мозга. Затем полученные данные представляются в виде карты распределения мощности различных видов электрической активности мозга. На карте особенности

электрической активности в различных участках коры мозга воспроизводятся в условном цвете, а при черно-белом изображении - в виде штриховки; при этом каждой величине мощности (когерентности) соответствует свой цвет или плотность штриховки (см. рис. 16.2б).

Метод позволяет объективно оценить выраженность асимметрии ЭЭГ, наличие и генерализованных, и очаговых изменений электрической активности мозга, проявляющихся непосредственно во время ЭЭГ-исследования.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ

Ультразвук представляет собой механически распространяющиеся колебания среды с частотой выше, чем у слышимого звука (больше 18 кГц). Он обладает способностью проникать в ткани и в зависимости от их особенностей в той или иной степени ими поглощается или отражается. На величину отраженного сигнала, помимо коэффициента отражения, существенное влияние оказывает форма отражающей поверхности. С помощью методов ультразвукового исследования обычно выявляют взаимоотношения различных тканей, в частности тканей черепа и его содержимого, с разным акустическим сопротивлением на основе эхолокации. Под акустическим сопротивлением среды подразумевается ее способность проводить ультразвуковую энергию.

Безопасной для пациента признается интенсивность ультразвука, представляющая собой количество энергии, проходящей за 1 с через 1 см² площади, не превышающей 0,05 Вт/см².

1. Эхоэнцефалография

Эхоэнцефалография (ЭхоЭГ) - метод, основанный на регистрации ультразвука, отраженного от границ внутричерепных образований и сред с различным акустическим сопротивлением (кости черепа, мозговое вещество, кровь, ЦСЖ). В неврологическую практику его ввел шведский врач Л. Лекселл (Leksell L., 1956). Предназначенный для этого аппарат эхоэнцефалограф создает возбуждающий генераторный импульс и обеспечивает возможность регистрации отраженного эхосигнала на экране осциллографа (эхоэнцефалоскопия), которая может быть зафиксирована и в записи (собственно эхоэнцефалография).

В процессе эхоэнцефалографии может быть использован режим эхолокации (эмиссионный метод), при этом применяется один и тот же пьезодатчик для излучения и приема отраженного от мозговых структур ультразвука, а при трансмиссионном режиме локализации сигнал, излучаемый из одного пьезодатчика, принимается другим пьезоэлементом.

Полученную эхоэнцефалограмму составляют *начальный комплекс* - эхосигнал от мягких тканей головы и черепной кости, находящихся непосредственно под ультразвуковым зондом; эхосигналы от различных внутримозговых структур и *конечный комплекс* - эхосигналы от внутренней поверхности костей черепа и мягких тканей противоположной стороны (рис. 16.3). Из эхосигналов от внутримозговых структур важнейшим является

сигнал с наибольшей амплитудой - М-эхо (первый диагностический критерий Лекселла), отраженный от срединных структур головного мозга, расположенных в сагиттальной плоскости (III желудочек и его стенки, прозрачная перегородка, большой серповидный отросток, межполушарная щель, эпифиз); расположенные по сторонам от М-эха дополнительные сигналы значительно меньшей амплитуды (второй диагностический критерий Лекселла) в норме обычно являются отражением от стенок боковых желудочков.

В норме структуры, образующие М-эхо, расположены строго в сагиттальной плоскости и находятся на одинаковом расстоянии от симметричных точек правой и левой сторон головы, поэтому на эхоэнцефалограмме при отсутствии патологии сигнал М-эхо в равной степени отстоит от начального и конечного комплексов.

Отклонение срединного М-эха более чем на 2 мм в одну из сторон должно рассматриваться как проявление патологии. Наиболее информативным показателем наличия в супратенториальном пространстве объемного патологического очага (опухоль, абсцесс, локальный отек мозга, внутричерепная гематома) следует считать смещение срединного М-эха в сторону, противоположную расположению этого очага. Появление на ЭхоЭГ большого количества отраженных сигналов между начальным комплексом и сигналом М-эха указывает на вероятное наличие отека головного мозга.

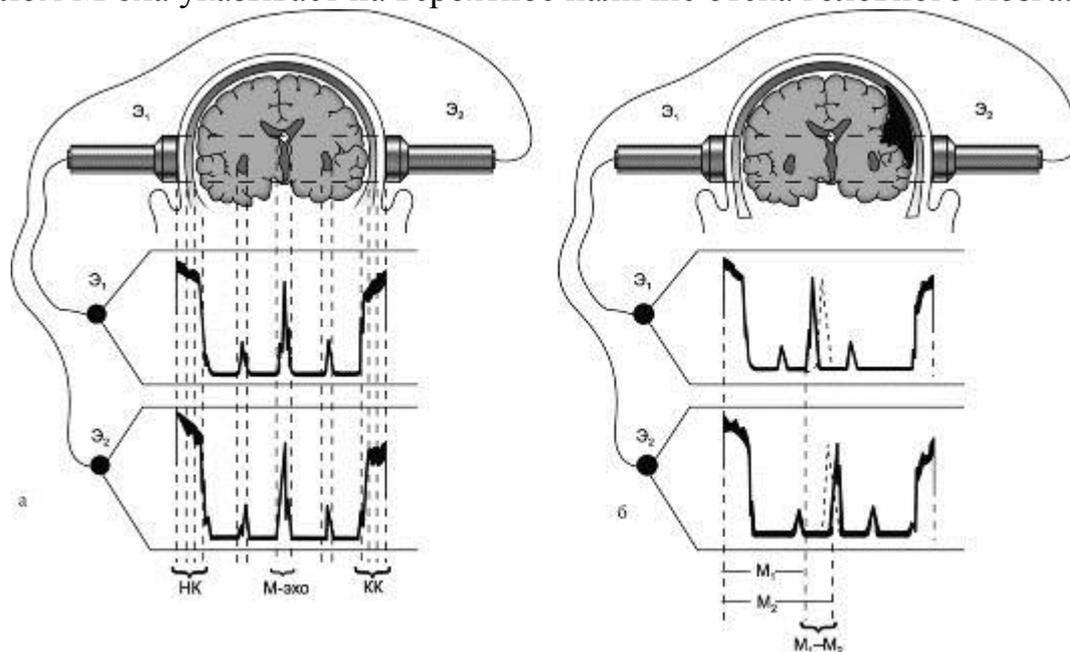


Рис. 16.3. Эхоэнцефалограммы.

а - эхоэнцефалограмма в норме: смещение срединных структур головного мозга отсутствует; НК - начальный комплекс; М-эхо - срединный комплекс; КК - конечный комплекс; б - эхоэнцефалограмма при смещении срединных структур головного мозга; М1 и М2 - расстояние до срединных структур головного мозга слева и справа; Э - электроды.

Если сигнал срединного М-эха состоит из двух импульсов или имеет зазубренные вершины и широкое основание, это свидетельствует о расширении III желудочка мозга. Различное число эхосигналов левого и

правого полушарий мозга рассматривается как ультразвуковая межполушарная асимметрия, причиной которой может быть патологический очаг различного происхождения в одном или в обоих полушариях мозга. Дополнительные сигналы от патологических структур, находящихся в полости черепа (третий диагностический критерий Лекселла), указывают на наличие в полости черепа тканей с разной плотностью. Они могут быть различного происхождения, поэтому их не следует переоценивать при определении сущности обуславливающих их причин.

В последние годы разработаны методы многоосевой ЭхоЭГ и эхопульсография, позволяющая оценивать форму и амплитуду пульсирующих эхосигналов от сосудов и стенок желудочковой системы, определять степень дислокации сосудов и судить о выраженности внутричерепной гипертензии.

2. Ультразвуковая доплерография

Метод ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) основан на эффекте Допплера. Иоганн Кристиан Допплер (Doppler I.K.) - австрийский математик и физик, в 1842 г. сформулировал принцип, который позволяет оценить направление и скорость движения любого объекта по изменениям отраженного от него эхосигнала. Основанное на этом принципе неинвазивное ультразвуковое исследование внечерепных сосудов получило широкое распространение в клинической практике во второй половине XX в., когда S. Satomura (1959), D. Franklin и соавт. (1966) показали возможность измерения скорости кровотока в сосудах при использовании эффекта Допплера. В настоящее время УЗДГ может рассматриваться как метод графической регистрации линейной скорости кровотока и его направления в магистральных артериях головы.

В процессе исследования производится локация в определенных проекциях магистральных сосудов (**экстракраниальная доплерография**) посредством ультразвуковых датчиков с различной частотой излучения (2, 4, 8 МГц). Сдвиг частоты (разность между частотой излучения и частотой отраженных ультразвуковых волн - доплеровская частота) пропорционален скорости движения крови, в частности эритроцитов, в сосудах и косинусу угла между осью сосуда и датчика. При пересечении потоком эритроцитов ультразвукового луча возникает отраженный сигнал, содержащий набор частот (доплеровский спектр). Набор частот в спектре меняется в течение сердечного цикла. Во время систолы профиль скорости кровотока уплощается и максимум частотного спектра смещается в сторону высоких частот, а ширина спектра уменьшается. Этим обусловлено формирование спектрального «окна». В период диастолы распределение частот более равномерное.

Допплерограмма за сердечный цикл имеет форму пульсограммы. Режимы излучения ультразвукового сигнала непрерывный и импульсный. Непрерывный сигнал позволяет измерять линейную скорость кровотока на относительно больших глубинах, импульсный режим дает возможность определить глубину залегания сосуда и объемную скорость кровотока. В

результате в процессе УЗДГ удастся получить информацию о состоянии и функции экстракраниальных отделов сонных и позвоночных артерий (экстракраниальная доплерография).

При исследовании сонных артерий определенное значение имеет измерение скорости и направления кровотока в конечной ветви глазничной артерии - надблоковой артерии (ветвь внутренней сонной артерии), анастомозирующей с угловой артерией, и тыльной артерией носа (ветви наружной сонной артерии) в медиальном углу глазницы - доплеровский офтальмический анастомоз (рис. 16.4). При УЗДГ могут быть получены сведения о функционировании этого анастомоза и направленности по нему кровотока, что позволяет судить о возможном стенозе (или окклюзии) в системе внутренней сонной артерии.

Для определения путей коллатерального кровообращения применяются тесты компрессии в доступных для этого местах общей сонной и ветвей наружной сонной артерии.

Таким образом, метод УЗДГ позволяет чрескожно производить измерение линейной скорости кровотока и его направление в неглубоко расположенных сосудах, в том числе в экстракраниальных отделах сонных и позвоночных артерий.

По характеру кровотока в сосуде (ламинарный, турбулентный) можно определить наличие стеноза артерии и его степень.

Кровоток в исследуемых артериях можно оценить по качественным (аудиовизуальным) и количественным характеристикам. Среди качественных показателей учитываются форма доплерограммы, распределение частот в спектре, направленность кровотока, звуковые характеристики доплеровского сигнала. С помощью количественных характеристик можно определить ряд параметров доплерограммы и вычислить индексы по специально разработанным формулам.

В 70-х годах XX в. созданы методики, позволившие получать изображение артерий, что привело к разработке методов ультразвуковой ангиографии, которая, однако, дает возможность судить лишь о состоянии просвета сосуда, не давая при этом информации о его стенке. К тому же в результате УЗДГ, оценивая функциональное состояние сосуда (объемную скорость кровотока и пр.), нельзя определить состояние самого сосуда и выявить сужение его просвета, не превышающее 60%.

Ультразвуковая эхотомография (УЗЭТ), или ультразвуковая ангиография, разработанная в 70-х годах XX в., позволяет визуализировать исследуемые крупные артериальные сосуды, оценивая при этом ширину их просвета и пульсацию. Кроме изучения анатомических особенностей сосудов, оценивают их функциональное состояние с учетом показателей объемной скорости кровотока, характера, локализации и распространенности патологического процесса, но и этот метод не дает возможности выявить начальные изменения в магистральных артериях и достоверно различать интактную артерию и артерию со стенозом менее 60%.

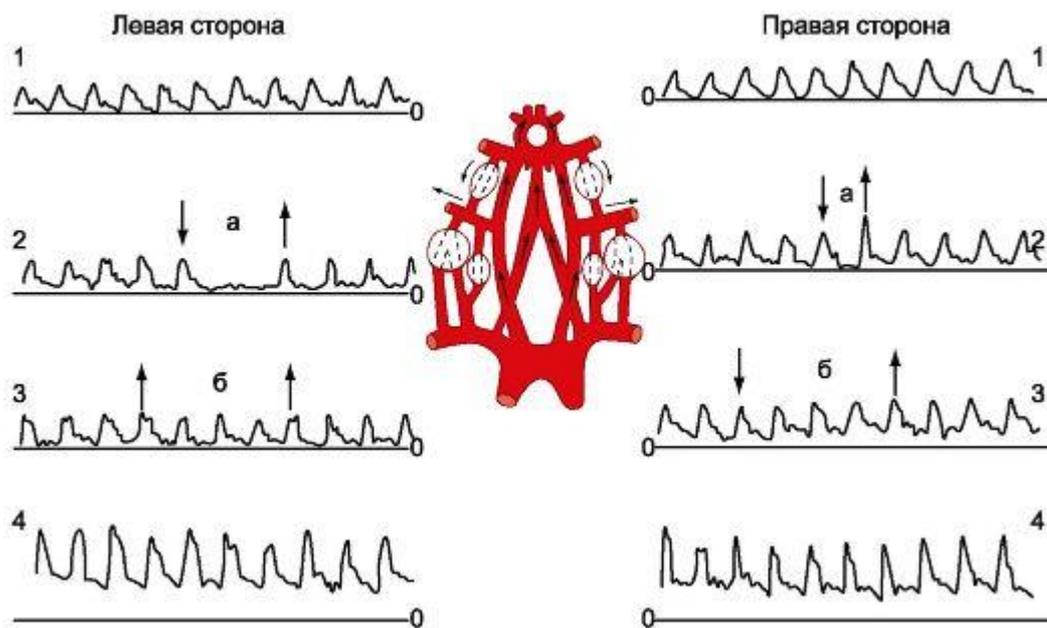


Рис. 16.4. Ультразвуковая доплерограмма (УЗДГ) сонных артерий в норме. 1-3 - надблоковая артерия; 4 - общая сонная артерия; а - компрессия общей сонной артерии; б - компрессия ветвей наружной сонной артерии.

Дуплексное сканирование (ДС) - метод ультразвукового исследования, сочетающий в себе возможности УЗДГ и УЗЭТ, что позволяет одновременно оценивать состояние сосудов и их просвета, а также особенности кровотока в этих сосудах. Диагностические возможности ДС увеличиваются в связи с визуализацией его результатов, при этом удается получить ультразвуковое изображение стенки и просвета сосудов в черно-белом изображении или в режиме цветного доплеровского картирования.

Одним из достоинств дуплексного сканирования является его способность выявлять небольшие атеросклеротические изменения в магистральных артериях, определять морфологию бляшки, диагностировать наличие, уточнять локализацию, степень и протяженность множественных поражений артерий (рис. 16.5).

Показаниями к проведению дуплексного сканирования магистральных артерий головы являются:

- 1) факторы риска развития атеросклероза этих сосудов, в частности проявления недостаточности мозгового кровообращения;
- 2) шум, выявляемый при аускультации магистральных сосудов головы;
- 3) асимметрия или отсутствие пульса и артериального давления на руках;
- 4) наличие в анамнезе острых нарушений мозгового кровообращения и признаков дисциркуляторной энцефалопатии;
- 5) наличие объемных патологических процессов на шее;
- 6) скаленус-синдром.

Несомненна диагностическая ценность метода для выявления сужения просвета экстракраниальных сосудов (от небольших изменений до окклюзии), изучения морфологических особенностей атеросклеротической

бляшки, оценки способности магистральных артерий головы участвовать в кровоснабжении мозга.

Дуплексное сканирование информативно при диагностике атеросклероза, неспецифического аортоартериита, деформаций и аневризм экстракраниальных сосудов, ангиодисплазии, а также экстравазальной компрессии артерий, имеющей различное происхождение.

В 1982 г. R. Aaslid и соавт. предложили метод **транскраниальной ультразвуковой доплерографии (ТКУЗДГ)**, позволяющий оценить состояние кровотока в крупных внутричерепных сосудах. С тех пор началось внедрение ультразвуковых устройств, работающих в режиме пульсирующих колебаний и генерирующих ультразвуковые волны высокой частоты (1-2 МГц), способные проникать через кости черепа.

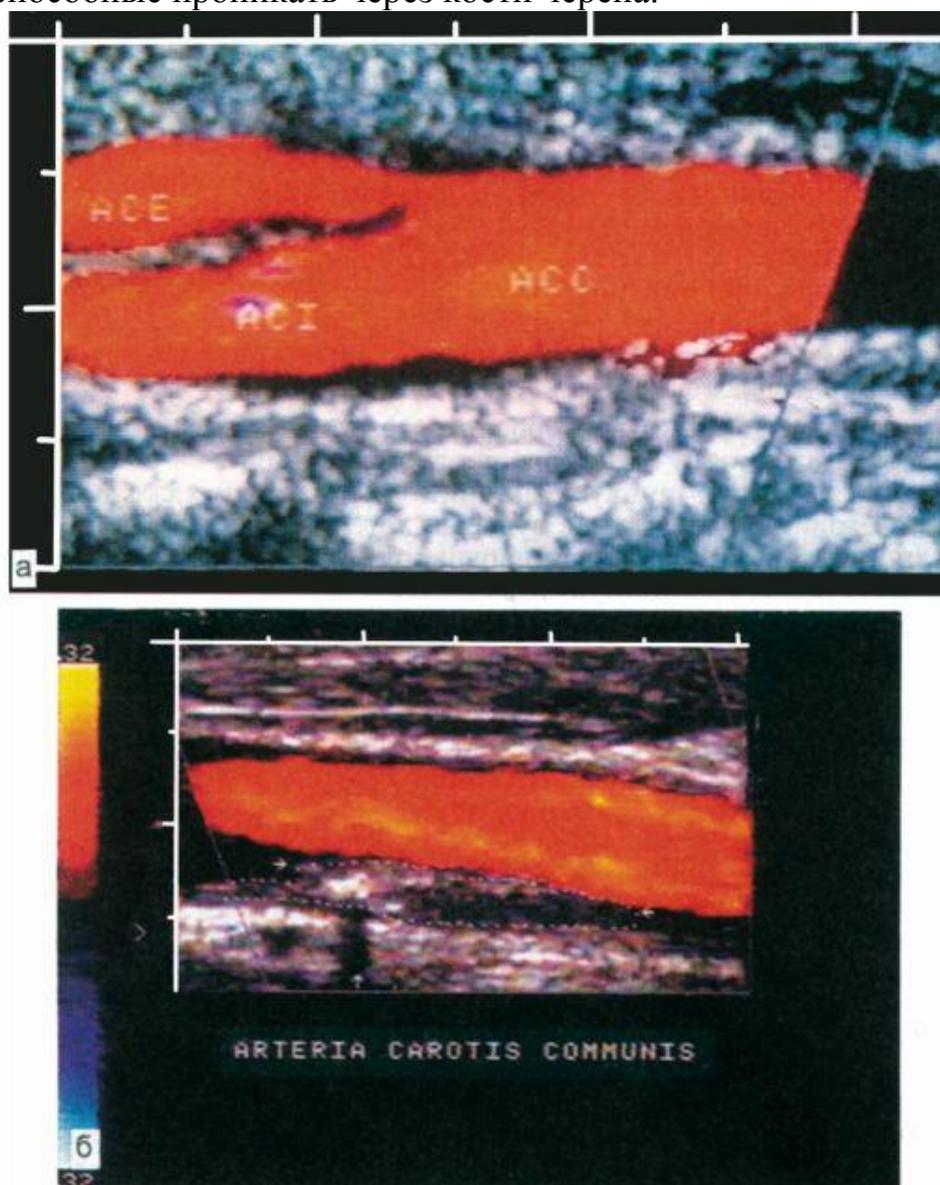


Рис. 16.5 Ультразвуковое изображение в режиме цветового доплеровского картирования бифуркации общей сонной артерии в норме (а) и при наличии атеросклеротической бляшки в общей сонной артерии (б).

Воспринимаемые при проведении ТКУЗДГ сигналы анализируются с помощью быстрого преобразователя Фурье, создающего возможность получить качественные и количественные данные о состоянии кровотока в исследуемых сосудах. Метод позволяет одновременно измерять максимальную линейную скорость (систолическую), минимальную линейную скорость (диастолическую), среднюю скорость кровотока и индекс пульсации, отношение разности величин систолической и диастолической линейной скорости кровотока к средней его скорости.

Исследование проводится через основные черепные «окна»: трансорбитальное, транстемпоральное («окно» через чешую височной кости) и трансокципитальное («окно» большого затылочного отверстия). Так, исследование средней мозговой артерии проводится через височное «окно», а для исследования кровотока и транскраниальное дуплексное сканирование в общей и во внутренней сонных артериях используется субмандибулярный доступ; основной артерии - через большое затылочное отверстие.

Транскраниальная доплерография может быть применена для регистрации кровотока не только во внутричерепных артериях, но и в венозной системе головного мозга и способствовать получению информации о состоянии венозного оттока из полости черепа. Поскольку венозный застой ведет к внутричерепной гипертензии, он может провоцировать псевдотуморозный синдром.

В настоящее время транскраниальная доплерография позволяет выявлять источник и пути коллатерального кровообращения при окклюзирующих поражениях магистральных артерий шеи, определять резервные возможности сосудистой системы мозга, диагностировать окклюзирующие поражения и спазм сосудов артериального круга большого мозга (артериальный круг большого мозга), проводить мониторинг во время нейрохирургических вмешательств, операций на сердце и магистральных сосудах, в некоторых случаях выявлять аневризмы, уточнять экстратуморальную структуру опухолей головного мозга, оценивать эффективность лечения сосудисто-мозговой патологии.

Транскраниальное дуплексное сканирование артерий способствует выявлению стеноза артерий виллизиева круга, спазм мозговых артерий, особенности коллатерального кровообращения при окклюзирующих поражениях магистральных сосудов головы.

4. РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Среди рентгенологических методов исследования наиболее простым и доступным является рентгенография. При обследовании неврологических больных особенно часто применяется рентгенография черепа (краниография) и позвоночника (спондилография).

1. Краниография

Рентгенографию черепа (краниографию) проводят прежде всего в двух проекциях: боковой и прямой (фронтальной).

Обзорный снимок черепа в боковой проекции дает представление о состоянии черепа в целом: свода и основания черепа, турецкого седла, черепных швов, лицевого скелета. Для его получения больного укладывают на стол таким образом, чтобы сагиттальная плоскость черепа была параллельна плоскости стола. Центральный рентгеновский луч направляется на 2 см выше линии, соединяющей верхненаружный край глазницы с наружным слуховым проходом. При правильной укладке на краниограмме должны наслаиваться друг на друга наружные слуховые проходы, верхние стенки глазниц и клиновидные отростки; обращается внимание на четкость контуров турецкого седла.

Для получения краниограммы в прямой (фронтальной) проекции больного укладывают вниз лицом, при этом он только лбом прикасается к кассете. Правильность укладки проверяется по симметричности сосцевидных отростков. На снимке обычно хорошо видны чешуя лобной кости, передние отделы теменных костей, венечный шов. Стоит иметь в виду, что к 35 годам окостенение (синостоз) этого шва заканчивается и он становится неразличимым. На жестких снимках у пациентов в возрасте до 25-30 лет можно видеть ламбдовидный и сагиттальный (стреловидный) швы, а в 1-2% случаев и так называемый метопический шов, расположенный на лобной кости в сагиттальной плоскости и таким образом оказывающийся как бы продолжением сагиттального.

В процессе изучения краниограмм обращается внимание на размеры и форму черепа, линии основания черепа, выраженность дуг его свода, толщину костей и ее идентичность в симметричных костных структурах, состояние черепных швов, у детей раннего возраста - на размеры родничков. Особое внимание уделяется форме и размерам турецкого седла.

По показаниям, возникающим обычно при черепно-мозговой травме или при подозрении на наличие объемных внутричерепных новообразований, проводится **краниография при специальных укладках больного.**

Для визуализации основания черепа, состояния его отверстий (рваного, овального, остистого), турецкого седла, вершин пирамид височных костей проводят аксиальную краниографию. При подозрении на поражение задней черепной ямки иногда целесообразно получить заднюю полуаксиальную рентгенограмму, на которой можно видеть большое затылочное отверстие и внутренние слуховые проходы.

Если есть основания думать о возможности невриномы VIII нерва, может быть произведена **рентгенография пирамид височных костей по Стейнверсу** (на снимке при этом выявляются внутренние слуховые проходы, вершины и верхние грани пирамид височных костей), а также снимки височных костей: **косой, по Шюллеру**, и аксиальный, **по Майеру**, позволяющие определить состояние внутреннего слухового прохода, ячеек сосцевидного отростка и среднего уха.

Для определения изменений в стенках глазниц проводится передняя полуаксиальная рентгенограмма, по которой можно судить о состоянии глазниц, малых и больших крыльев клиновидной кости и верхних глазных щелей, а также решетчатой кости, лобной и верхнечелюстной (гайморовой) пазухи. При подозрении на опухоль зрительного нерва для выявления их каналов проводятся косые рентгенограммы глазниц по Розе.

В детской нейрохирургической практике для выявления участков истончения и выбухания костей свода черепа целесообразно получить тангенциальные рентгенограммы, выполненные при такой позиции головы больного, при которой исследуемый участок кости занимает краеобразующее положение.

Краниография может выполняться на фоне введенных в ликворные вместилища контрастных веществ. Если в качестве контраста используется воздух, то такой метод называется **пневмоэнцефалографией** или **пневмовентрикулографией**. Они отличаются друг от друга прежде всего тем, что в первом случае воздух вводится в конечную или в большую цистерну, во втором - в задний или передний рог одного из боковых желудочков (чаще правого желудочка) мозга. Эти методы позволяют уточнить проходимость, объем и форму ликворных пространств, при гидроцефалии дают возможность визуализировать объем и возможную деформацию желудочков мозга. При подозрении на объемный процесс в хиазмально-селлярной области (арахноидальная киста, краниофарингиома, аденома гипофиза) может быть информативной **пневмоцистернография**, при которой воздух вводится в небольшом количестве через поясничный прокол, при этом его перемещение в субарахноидальном пространстве обеспечивается изменением в определенной последовательности положения головы больного.

Введение воздуха в ликворные пространства ввиду раздражения им стенок желудочковой системы сопровождается резкой распирающей головной болью, иногда рвотой, выраженной общей вегетативной реакцией и подчас весьма тяжело переносится пациентом.

Следует отметить, что краниография после предварительного введения в ликворные пространства воздуха в настоящее время, если имеется такая возможность, успешно заменяется визуализирующими мозг неинвазивными методами: КТ или МРТ-исследованиями, позволяющими получить в большинстве случаев достаточно достоверную информацию о состоянии ликворных путей.

2. Ангиография головного мозга

Ангиография головного мозга (АГ) - это инвазивный метод, представляющий собой серийную краниографию, производимую в процессе внутриартериального введения рентгенконтрастного вещества. Делается серия ангиограмм, отражающих состояние артериального, капиллярного и венозного отделов сосудистой системы мозга или бассейнов определенных мозговых сосудов. Этот метод был предложен в 1927 г. португальским неврологом Е. Моницем (Moniz E.), впервые его применил в клинике в 1936

г. с целью выявления внутричерепной гематомы W. Lohr. Распространение АГ сосудов мозга получила лишь с 50-х годов прошлого века, когда появились подходящие контрастные препараты. В нашей стране метод был внедрен в 1954-1957 гг. ростовскими нейрохирургами В.А. Никольским и Э.С. Темировым.

В настоящее время ангиографические исследования выполняются на рентгеновских аппаратах - сериографах. В качестве рентгеноконтрастного вещества применяются урографин, уротраст, верографин, трийодтраст и другие трийодистые препараты, а также современные рентгеноконтрастные вещества: омнипак, ультравист и др.

Варианты ангиографии сосудов мозга: **каротидная, вертебральная и селективная**, при которых удается получить ангиограмму бассейна отдельных артерий головного мозга. При каротидной и вертебральной ангиографии проводится прямая чрескожная пункция соответствующего магистрального сосуда головы и через пункционную иглу вводится контрастный препарат. При селективной ангиографии контрастное вещество вводится через катетер, обычно погруженный в бедренную артерию (по Сельдингеру), и далее ретроградно относительно тока крови введенное в соответствующий артериальный мозговой сосуд.

При анализе характера полученных ангиограмм учитывается линейная скорость мозгового кровотока. В норме она составляет 5-8 с, при внутричерепной гипертензии - до 10-15 с. Обычно для заполнения бассейна сонной артерии вводят 8-10 мл контрастного вещества за 1-2 с. В период прохождения контраста через сосудистую систему (артерии, капиллярную сеть и вены) мозга производится серия снимков черепа в прямой и боковой проекциях.

Ангиография нередко позволяет визуализировать сосуды внутричерепной опухоли и, следовательно, способствует ее выявлению. Бедные сосудами опухоли и другие объемные очаги на ангиограммах можно распознать по косвенным признакам, в частности по смещению и деформации расположенных вблизи сосудов мозга. Ангиография особенно информативна при выявлении врожденных аномалий сосудов, участвующих в кровоснабжении мозга, артериальных аневризм и артериовенозных соустьев, стеноза или окклюзии отдельных сосудов; в таких случаях ангиография может обеспечивать информацию, превышающую по значимости более популярные в настоящее время такие неинвазивные методы обследования, как КТ и МРТ. Кроме того, АГ способствует получению важной информации при диагностике таких объемных патологических очагов, как внутричерепные опухоли и гематомы, абсцессы, паразитарные кисты.

Принимая во внимание высокую степень информативности ангиографии, нельзя не учитывать и возможных осложнений применения этого инвазивного метода рентгеновского исследования. При введении контрастного вещества в сосудистое русло возможны рефлекторные расстройства дыхания, рвота, сердечно-сосудистые реакции (изменения АД,

брадиаритмия, пароксизмальная тахикардия, экстрасистолия), иногда с клинической картиной коллапса. Из неврологических расстройств возможны судорожные припадки, переходящие нарушения мозгового кровообращения, очень редко - инсульты. Сосудистомозговые расстройства в таких случаях обычно объясняются спазмом мозговых сосудов. Возникающий при ангиографии отек и иногда сопутствующая дислокация мозга, вероятно, являются следствием реакции на йодсодержащее контрастное вещество в связи с проникновением йода через гематоэнцефалический барьер, что особенно вероятно при его повреждении (черепно-мозговая травма, внутричерепная опухоль и пр.). Осложнения встречаются в 0,4-1,9% случаев; их возникновение зависит от многих причин, в частности от общего состояния больного, его иммунной системы, характера основной церебральной патологии и техники проведения ангиографии.

Дигитальная (цифровая) субтракционная ангиография, при которой контраст вводится внутривенно в меньшем количестве, основана на вычитании бесконтрастного рентгенологического изображения из контрастного, что позволяет элиминировать сигналы от костей и улучшает четкость изображения сосудов. Метод обладает меньшей, чем обычная КТ, разрешающей способностью, но может помочь диагностике, например, таких форм сосудистой патологии, как стеноз сонной артерии или тромбоз сагиттального синуса.

3. Спондилография

Рентгенография позвоночника, или спондилография, проводится для уточнения характера поражения позвоночного столба, а также сопряженных с вертебральной патологией заболеваний спинного мозга и периферической нервной системы.

Обычно делаются рентгеновские снимки фрагмента позвоночника, охватывающего в среднем 4-6 позвонков, во взаимно перпендикулярных проекциях (задней и боковой). Изучаются стенки и просвет позвоночного канала и межпозвонковых отверстий, форма, структура и контуры тел позвонков, их дуг, суставных, остистых и поперечных отростков, а также состояние межпозвонковых дисков и суставов; особое значение придается дорсальной поверхности тел позвонков, патологическим обызвествлениям в позвоночном канале и в паравертебральных тканях. Могут быть выявлены остеофиты, расщепление дужек позвонков, сакрализация V поясничного или люмбализация I крестцового позвонков, катушечная форма тел позвонков, их разрежение (трабекулярность), характерное для гормональной спондилопатии, гемангиомы тел позвонков, компрессионный перелом тела позвонка, клин Урбана (вклинение фрагмента тела разрушенного позвонка в позвоночный канал), обычно неравномерное истончение корней дужек позвонка и расширение позвоночного канала (симптом Элсберга-Дайка), характерные для экстрamedулярной внутрипозвоночной опухоли, и др.

Анализ спондилограмм и раннее выявление признаков развивающейся патологии подчас затруднительны ввиду сложности анатомического

строения объекта обследования и наслоения на него изображений других органов и тканей.

Дополнительная информация может быть получена на так называемых функциональных спондилограммах, выполненных при обычном положении позвоночника и при максимальном его сгибании, разгибании и наклонах в стороны. Это помогает определению биомеханических возможностей позвоночника и состояния отдельных его сегментов. Информативность функциональных спондилограмм особенно значительна при дегенеративных изменениях в позвоночнике, при последствиях травматического его поражения (но не в острой фазе!). Возможно выявление нестабильности позвоночника, спондилолистеза и других проявлений остеохондроза, а также кальцинации связочного аппарата позвоночного столба, особенно значительной при анкилозирующем спондилоартрите (болезни Бехтерева).

4. Миелография

С целью расширения возможностей спондилографии в распознавании прежде всего внутривозвоночных новообразований американский нейрохирург W.E. Dandy (1886-1946) в 1919 г. предложил метод **пневмомиелографии** - спондилографии в процессе введения при поясничном проколе в конечную (терминальную) ликворную цистерну воздуха. Воздушный пузырь, создаваемый в субарахноидальном пространстве, распространяется вверх и в случае сужения и тем более перекрытия патологическим очагом этого пространства на спинальном уровне (чаще при экстремедуллярной опухоли или кистозном арахноидите) задерживается под его нижним полюсом.

Метод совершенствовался и получил значительное распространение, но контрастность воздуха зачастую оказывается недостаточной; вместо него стали вводить йодсодержащие растворы, нерастворимые в цереброспинальной жидкости (раствор йода в маковом масле - липоидол, или йодлипол), которые обычно вводили через цистернальный прокол (прокол большой, или прокол мозжечково-мозговой цистерны). Тяжелое контрастное вещество, спускаясь по субарахноидальным спинальным пространствам, задерживалось над верхним полюсом, перекрывающего спинальные ликворные пути патологического очага. Не удаленный во время операции липоидол оставался в подбололочечном пространстве в течение многих лет, иногда обуславливая клинические проявления асептического арахноидита.

Ввиду возможных осложнений после введения липоида несколько позже были предложены водорастворимые органические соединения йода. Наибольшее признание получили йодфенилундецилаты (пантопак, майодил и др.). Эти препараты могут вводиться через поясничный прокол (**восходящая миелография**). Имея меньшую вязкость по сравнению с липоидолом, они заполняют очень узкие, щелевидные пространства, корешковые «карманы», со временем всасываются и выделяются из организма.

С внедрением в практику КТ и особенно МРТ значимость миелографии уменьшилась и стала реже производиться. Однако для повышения

эффективности обследования больного КТ иногда комбинируется с миелографией.

МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МОЗГА

Для визуализации мозга применяют группу современных неинвазивных методов исследования: компьютерную, магнитно-резонансную, позитронноэлектронную томографию. Эти методы основаны на различных технических принципах, позволяющих видеть на дисплее, а затем и на рентгеновской пленке точные изображения срезов головы, в частности головного мозга. Возникает возможность судить о состоянии ткани мозга на любой глубине, о его ликворных путях, а также о хрящевых структурах, в том числе межпозвоночных дисках. Возможно выявление очагов деструкции в ткани мозга, участков демиелинизации, гидроцефалии, деформации желудочков мозга и подболоочечных пространств и, наконец, объемных патологических очагов: гематом, опухолей, абсцессов, мозговых кист, инфекционных гранул, а при проведении позитронно-электронной томографии удастся наблюдать за состоянием некоторых метаболических процессов.

1. Компьютерная томография

Компьютерная аксиальная томография (КТ) головного мозга была введена в клиническую практику в 70-х годах XX в. и до настоящего времени является наиболее распространенным неинвазивным методом визуализации живых тканей и, в частности, ткани мозга (рис. 16.6).

Метод компьютерной томографии теоретически разработал в 1962-1963 гг. американский ученый А. McCormack. Практическую реализацию идеи - создание аппарата для исследования головы и первый опыт сканирования мозга осуществил в 1971-1972 гг. С. Hounsfield - инженер английской фирмы электромузыкальных инструментов EMI. В 1979 г. А. McCormack и С. Hounsfield была присуждена Нобелевская премия по медицине и биологии. К этому времени уже было создано 26 моделей компьютерного томографа.

Компьютерная томография - неинвазивный метод исследования анатомических структур, основанных на компьютерной обработке рентгенологических изображений. Внедрение в практику компьютерного томографа ознаменовало новый этап развития медицинской техники и значительно расширило возможности диагностики многих неврологических заболеваний.

При проведении компьютерной томографии осуществляется круговое просвечивание объекта рентгеновскими лучами и последующее построение с помощью компьютера его послойного изображения.

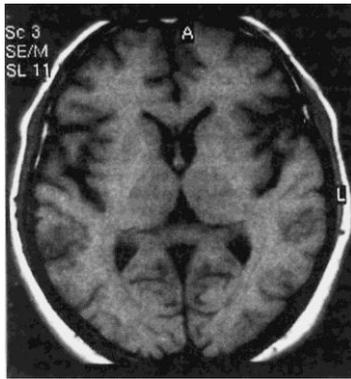


Рис. 16.6. МРТ головного мозга пациента 65 лет, возрастная норма.

Компьютерный томограф состоит из сканирующего устройства, стола для пациента, консоли и специализированной компьютерной техники. Сканирующее устройство представляет собой круговую раму с вращающейся рентгеновской трубкой и блоком детекторов, число которых в современных аппаратах достигает 3-5 тыс., что позволяет значительно ускорить время сканирования каждого среза - до 2-5 с. Консоль в сочетании с компьютерной техникой осуществляет управление сканированием и обработку данных, реконструкцию изображения, архивирование томограмм.

Компьютер выполняет математическую реконструкцию вычисленных коэффициентов абсорбции (КА) рентгеновских лучей и их пространственное распространение на многоклеточной матрице с последующей трансформацией в виде черно-белого или цветного изображения на экране дисплея. Изображение среза при этом имеет большое количество полутонов, зависящих от КА.

КА обозначается в относительных единицах (Н) по шкале (единицы Хаунсфилда). Шкала составлена в соответствии с физическими замерами КА, при этом КА различных тканей сравнивается с поглощающей способностью воды. Диапазон шкалы плотностей в настоящее время определяется в пределах от - 1000 ед. Н до +1000 ед. Н, при этом за 0 принимается КА воды. Плотность кости равна +500 ед. Н, плотность воздуха -500 ед. Н.

КТ обеспечивает **денситометрию** - определение плотности тканей и сред организма. *Гиперденсивными* (более плотными, чем обычная мозговая ткань, и дающими яркий сигнал) являются гематомы, менингиомы, цистицерки, очаги кальцификации; *гиподенсивными* (низкая плотность с темным сигналом) оказываются зоны ишемического инфаркта, энцефалитических очагов, некоторые глиальные и метастатические опухоли, кисты, редко выявляемые на КТ очаги демиелинизации.

При КТ единственным фактором, определяющим контрастность изображения тканей, является их *электронная плотность*. Существует линейная зависимость между степенью поглощения рентгеновских лучей и гематокритом, концентрацией белков и гемоглобина, что определяет высокую плотность острых гематом. Вклад кальция крови в рентгеновскую плотность гематом незначителен. Атом железа, входящий в состав гемоглобина, также не играет существенной роли, так как составляет всего 0,5% от массы молекулы. Таким образом, **характер изображения**

внутричерепной гематомы на КТ определяется ее плотностью, объемом, локализацией и такими параметрами, как толщина среза, уровень и ширина окна (заданная оператором часть из полного диапазона шкалы коэффициентов поглощения, которой соответствует перепад величины яркости от белого до черного), *угол сканирования*. Участки пониженной плотности в острых гематомах могут быть обусловлены наличием жидкой несвернувшейся крови, что возможно при очень быстром кровоизлиянии. Атипично низкую плотность на КТ могут иметь острые гематомы у больных с выраженной анемией из-за низкой концентрации гемоглобина и у больных с коагулопатиями, при которых происходит неполноценное формирование кровяного сгустка. Со временем плотность гематомы обычно уменьшается приблизительно на 1,5 ед. Н в сут. *Между 1 и 6 нед (чаще через 2-4 нед) после инсульта внутричерепные гематомы проходят стадию изоденсивности (идентичная электронная плотность), а затем и гиподенсивности по отношению к мозговой ткани*. Появление участка повышенной плотности в хронической гематоме чаще обусловлено повторным кровотечением, при этом на дисплее возникает изображение, напоминающее кровоизлияние в опухоль.

В процессе КТ-исследования может быть произведено контрастное усиление изображения сосудов путем введения в кровяное русло, обычно в вену, контрастных веществ (гипак, урографин и др.), что помогает в некоторых случаях выявить патологический очаг, определить его границы и степень васкуляризации. *Иногда контрастное вещество вводится в ликворные пути*, что помогает уточнить состояние у больного ликворных путей, в частности ликворных цистерн, и судить таким образом о ликвородинамике.

С внедрением в клиническую практику КТ на получаемых изображениях срезов головы впервые удалось видеть ткань мозга, изучать его строение на уровне различных срезов, установить наличие деформации мозговых желудочков, дислокации и атрофии мозговой ткани, в частности атрофические процессы в мозге при дисциркуляторной энцефалопатии. Высокая разрешающая способность КТ позволяет видеть на экране дисплея и фотопленке не только желудочковую систему, субарахноидальные пространства и их деформации, но и дифференцировать белое и серое вещество мозга, кровоизлияния в полости черепа, мозговые кисты, внутричерепные новообразования.

К сожалению, ишемические очаги диагностируются на КТ обычно лишь на вторые сутки, редко удается обнаружить очаги демиелинизации при рассеянном склерозе. Значение метода в диагностике поражений мозга уменьшается и в связи с тем, что изображения срезов головы и позвоночника можно получить только в одном, поперечном к оси тела (аксиальном) направлении. Эти ограничения возможностей КТ могут быть преодолены путем применения МРТ.

Вместе с тем КТ имеет и некоторые преимущества в сравнении с МРТ: на КТ раньше выявляется кровоизлияние, четче, чем на КТ, определяются признаки костной патологии.

По показаниям, в частности для диагностики внутричерепных новообразований, при КТ применяется контрастирование, которое, однако, ограничивается возможностью изменения функции почек и аллергическими реакциями.

Сочетание КТ и цистернографии после ведения через поясничный прокол в субарахноидальное пространство рентгенопозитивного контрастного вещества известно как **компьютерно-томографическая цистернография (КТЦГ)**.

Внедрению КТЦГ в клиническую практику способствовала разработка неионных рентгеноконтрастных веществ, таких как омнипак, ультравист. Метод эффективен для уточнения диагноза при гидроцефалии, порэнцефалии, кистах различной локализации и ликворных фистул (ликвореи). КТЦГ удачно соединяет возможности визуализации мозговых и костных структур и движения контрастного вещества, отражающего некоторые особенности состояния ликвородинамики.

Противопоказанием к КТЦГ является аллергическая реакция на контрастное вещество и блокада субарахноидальных путей выше места поясничного прокола, посредством которого контраст после премедикации (церукал, антигистаминные препараты, транквилизаторы) медленно (1-2 мл/с) вводится в подбололочные пространства. При введении контраста возможно возникновение умеренных корешковых болей, тошнота. Если исследование проводится больному натошак, рвота у него обычно не возникает. Возможны преходящие проявления менингизма. После исследования больному рекомендуется постельный режим и употребление повышенного количества жидкости в течение суток.

Проявлением расширения возможностей метода КТ головы является **трехмерная компьютерно-томографическая реконструкция (ТКТР)** - одно из последних достижений рентгеновской КТ, позволяющее получать объемные изображения костей, мягких тканей и сосудов в различных плоскостях и под различными углами. Этот метод стал применяться после внедрения в практику компьютеров нового поколения - **спиральных рентгеновских томографов**, которые позволяют получить реконструированные изображения, что особенно важно для изучения особенностей черепно-мозговой травмы, сопровождающейся переломом и выраженной деформацией костей черепа. Для получения ТКТР под разными углами строятся проекции срезов черепа (от 3 до 6), что обеспечивает формирование стереоскопического изображения заданной зоны черепа и мозга, при этом возникает возможность выявления деталей повреждений черепа сложной конфигурации и изучения их как с внешней стороны, так и с внутренней стороны костей черепа.

2. Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография (МРТ) - современный неинвазивный диагностический метод, обеспечивающий визуализацию глубоко расположенных биологических тканей, нашедший широкое применение в медицинской практике, в частности в неврологии и нейрохирургии.

МРТ, как следует из названия, основан на явлении ядерного магнитного резонанса (ЯМР), открытого в 1946 г. F. Bloch. Суть ЯМР сводится к следующему. Ядра химических элементов в твердом, жидком или газообразном веществе можно представить как быстро вращающиеся вокруг своей оси магниты. Если эти ядра-магниты поместить во внешнее магнитное поле, то оси вращения начнут прецессировать (т.е. вращаться вокруг направления силовой линии внешнего магнитного поля), причем скорость прецессии зависит от величины напряженности магнитного поля. Если теперь исследуемый образец облучить радиоволной, то при равенстве частоты радиоволны и частоты прецессии наступит резонансное поглощение энергии радиоволны «замагниченными» ядрами. После прекращения облучения ядра атомов будут переходить в первоначальное состояние (релаксировать), при этом энергия, накопленная при облучении, будет высвобождаться в виде электромагнитных колебаний, которые можно зарегистрировать с помощью специальной аппаратуры.

В медицинских томографах по ряду причин используется регистрация ЯМР на протонах - ядрах атомов водорода, входящих в состав молекулы воды. В силу того, что используемый в МРТ метод чрезвычайно чувствителен даже к незначительным изменениям концентрации водорода, с его помощью удастся не только надежно идентифицировать различные ткани, но и отличать нормальные ткани от опухолевых (Damadian R., 1971).

Современные томографы позволяют путем сканирования получить томограммы в произвольно ориентированной плоскости без изменения положения пациента. В МРТ-исследовании используются аналогичные КТ, принципы пространственного кодирования информации и обработки данных. За одно сканирование сбор данных обычно производится приблизительно с 20 уровней черепа и мозга с толщиной среза в 4-5 мм. Время сканирования зависит от поставленных задач и параметров магнитно-резонансного томографа и составляет в среднем 2-7 мин. В конечном итоге на экране дисплея появляются изображения срезов исследуемой ткани, в частности ткани мозга. При стандартном сканировании в процессе МР-томографии используются программы, позволяющие получить изображения, контрастность которых определяется в основном T_1 - и T_2 -релаксационным временем. T_1 - это величина, характеризующая среднее время пребывания протонов на верхнем энергетическом уровне (T_1 - время продольной релаксации); T_2 - константа, отражающая скорость распада синхронной прецессии протонов (T_2 - время поперечной релаксации).

На МРТ, выполненных в режиме T_1 , мозговое вещество выглядит более светлым, чем на томограммах в режиме T_2 . ЦСЖ на томограммах T_1 , представляется более темной, чем на томограммах T_2 .

Интенсивность сигналов от патологически измененных тканей зависит от релаксационного времени (T_1 и T_2).

МРТ-исследование позволяет дифференцировать некоторые особенности состава исследуемых тканей и происходящих в них метаболических изменениях, в частности изменение гидрофильности ткани по результатам изучения интенсивности сигналов атомов водорода, натрия, калия, фосфора, кальция и других элементов в нормальной и патологически измененной ткани мозга.

Метод МРТ создает возможность визуализировать на экране дисплея, а затем и на пленке срезы черепа и головного мозга, позвоночного столба и спинного мозга. Информация, полученная в режимах T_1 и T_2 , позволяет дифференцировать серое и белое вещество мозга, судить о состоянии его желудочковой системы, субарахноидального пространства, выявлять многие формы патологии, в частности объемные процессы в мозге, зоны демиелинизации, очаги воспаления и отека, гидроцефалию, травматические повреждения, гематомы, абсцессы, кисты, очаги проявления нарушений мозгового кровообращения по ишемическому и геморрагическому типу (кстати, ишемические очаги в мозге могут быть выявлены в гиподенсивной форме уже через 2-4 ч после инсульта).

Немаловажным преимуществом МРТ перед КТ является возможность получения изображения в любой проекции: аксиальной, фронтальной, сагиттальной. Это позволяет визуализировать субтенториальное пространство, позвоночный канал, выявить невриному слухового нерва в полости внутреннего слухового прохода, опухоль гипофиза, субдуральную гематому в подостром периоде, даже в тех случаях, когда на КТ она не визуализируется. МРТ стала основным методом выявления некоторых форм аномалий: аномалии мозолистого тела, аномалии Арнольда-Киари, очаги демиелинизации в паравентрикулярном и других отделах белого вещества мозга при рассеянном склерозе. На МРТ раньше, чем на КТ, выявляются очаги ишемии мозга; их можно выявить в стволе мозга, в мозжечке, в височной доле. На МРТ хорошо видны контузионные очаги, абсцессы мозга и зоны отека мозговой ткани. Важная роль отводится МРТ при выяснении причин деменции. В то же время изменения мозговой ткани зачастую неспецифичны и подчас сложно дифференцировать, например, очаги ишемии и демиелинизации.

Ценная информация выявляется на МР-томограммах позвоночника, особенно на сагиттальных срезах, при этом визуализируются структурные проявления остеохондроза, в частности состояние позвонков и связочного аппарата, межпозвонковых дисков, их пролабирование и воздействие на твердую мозговую оболочку, спинной мозг, конский хвост; визуализируются также внутривerteбральные новообразования, проявления гидромиелии, гематомииелии и многие другие патологические процессы.

Диагностический потенциал МРТ можно повысить предварительным введением некоторых контрастных веществ. В качестве вводимого в кровяное русло контрастного вещества обычно

применяется элемент из группы редкоземельных металлов - *гадолиний*, обладающий свойствами парамагнетика. Стандартная доза препарата (0,1 ммоль/кг) вводится внутривенно. Оптимальное контрастирование отмечается на T₁-взвешенных снимках; значительно слабее контрастное усиление на T₂-взвешенных снимках. При сохранности гематоэнцефалического барьера (ГЭБ) контрастное вещество в головной мозг не проникает. В местах нарушенной целостности ГЭБ введенный внутривенно гадолиний проникает в вещество мозга, вызывая усиление МР-сигнала. В таких случаях накопление контрастного вещества в менингиомах, метастатических опухолях, аденомах гипофиза проявляется практически сразу после введения, а, например, при некоторых демиелинизирующих заболеваниях мозга контрастное вещество накапливается медленно и в связи с этим МРТ следует проводить не сразу после введения контраста, а через 30-40 мин.

Преимущество МРТ перед КТ наиболее очевидно при исследовании тех отделов нервной системы, изображение которых нельзя получить с помощью КТ из-за перекрытия исследуемой мозговой ткани прилежащими костными структурами. Кроме того, при МРТ можно различать недоступные КТ изменения плотности ткани мозга, белое и серое вещество, выявлять поражение ткани мозга (очаги демиелинизации) при рассеянном склерозе и пр.

При МРТ больной не подвергается ионизирующему облучению. Вместе с тем для применения МРТ есть некоторые ограничения. Так, МРТ противопоказана при наличии в полости черепа металлических инородных тел, так как существует опасность их смещения под действием магнитного поля и, следовательно, дополнительного повреждения близлежащих структур головного мозга. Противопоказана МРТ при наличии у больных наружного водителя ритма, беременности, выраженной клаустрофобии (боязни пребывания в небольшом помещении). Осложняет применение МРТ-обследования его длительность (30-60 мин), в течение которого пациент должен находиться в неподвижном состоянии.

Противопоказания к магнитно-резонансной томографии

Абсолютные:

- Металлическое инородное тело в глазнице.
- Гемопoэтическая анемия (при контрастировании).
- Внутричерепные аневризмы, клипированные ферромагнитным материалом.

Относительные:

- Металлические осколки в других органах и тканях.
- Наружный водитель ритма.
- Беременность.
- Тяжелая клаустрофобия.
- Внутричерепные аневризмы, клипированные неферромагнитным материалом.

3. Позитронная эмиссионная томография

Позитронная эмиссионная томография (ПЭТ) - метод, который, помимо визуализации мозга, позволяет получить информацию о характере

происходящих в нем метаболических процессов в норме и при патологии. В настоящее время этот метод получил распространение только в высокоразвитых странах ввиду его высокой стоимости.

Суть метода ПЭТ заключается в высокоэффективном способе слежения за чрезвычайно малыми концентрациями ультракороткоживущих радионуклидов (УКЖР), которыми помечены изучаемые в организме ткани, что позволяет исследовать происходящие в них метаболические процессы. Используется свойство неустойчивости ядер УКЖР, в которых количество протонов превышает количество нейтронов. При переходе ядра в устойчивое состояние оно излучает позитрон, свободный пробег которого (около 1 мм) заканчивается столкновением с электроном и их аннигиляцией. Аннигиляция сопровождается появлением фотонов с энергией 511 кэВ, летящих в строго противоположных направлениях. Эти фотоны можно зарегистрировать с помощью системы детекторов. Если детекторы расположить в виде кольца вокруг исследуемого объекта, то можно зарегистрировать все акты аннигиляции в этой плоскости, а при присоединении к системе электронно-вычислительного комплекса, используя специальные программы реконструкции, - получить изображение распределения концентрации УКЖР.

Для уменьшения радиационной нагрузки на пациента при ПЭТ-обследовании применяют короткоживущие изотопы с периодами полураспада от 2 до 110 мин. Это практически исключает возможность транспортировки ПЭТ-изотопов на значительные расстояния. Такова основная причина того, что на территории лечебного учреждения, как правило, размещается весь комплекс оборудования, необходимый для проведения ПЭТ-исследования, включающий циклотрон: ускоритель, на котором производятся УКЖР, радиохимическую лабораторию по производству РФП, линию транспортировки РФП и ПЭТ-камеру.

В процессе исследования больных ПЭТ позволяет изучать состояние мозгового кровотока, уровень потребления мозговой тканью кислорода, глюкозы, синтез белков, выявлять маркеры опухолей и контролировать некоторые другие параметры, определяющие характер различных метаболических процессов. Выявляя с помощью меченых УКЖР нарушения мозгового кровотока и особенности происходящих в мозговой ткани обменных процессов, можно расширить диапазон возможностей диагностики определенных заболеваний, в частности болезней неврологического профиля.

При поражении мозга ПЭТ-исследование может визуализировать изменения в мозговой ткани, которые нельзя выявить другими методами. Так, при инсульте в острой стадии ПЭТ позволяет рано выявить нежизнеспособные участки мозговой ткани, оценить их объем и локализацию. При эпилепсии ПЭТ с $^{18}\text{-F}$ ФДГ¹ дает возможность в межприступном периоде обнаружить участок мозга, в котором имеется снижение метаболизма глюкозы, характерное для эпилептогенного фокуса и его перифокальной зоны.

При хорее Гентингтона, когда на КТ и МРТ не удастся обнаружить патологических изменений, при ПЭТ может быть выявлено понижение метаболизма глюкозы в полосатом теле.

Таким образом, ПЭТ может во многом содействовать уточнению патогенеза некоторых заболеваний нервной системы и во многих клинических случаях способствовать уточнению клинического диагноза. Этот метод практически не имеет противопоказаний для применения и со временем, надо надеяться, станет более доступным для невропатологов и нейрохирургов.

ЛЮМБАЛЬНАЯ ПУНКЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИКВОРА

Люмбальная пункция (поясничная пункция, пункция субарахноидального пространства спинного мозга, спинномозговая пункция, поясничный прокол) - введение иглы в субарахноидальное пространство спинного мозга с диагностической или лечебной целью.

ЦЕЛИ И ПОКАЗАНИЯ

Люмбальную пункцию проводят с диагностической или лечебной целью.

- С диагностической целью пункцию проводят для исследования ликвора. При анализе ликвора обязательно определяют цвет, прозрачность, клеточный состав. Возможно изучение биохимического состава ликвора, проведение микробиологических тестов, в том числе его посев на специальные среды. Во время люмбальной пункции проводят измерение ликворного давления, исследуют проходимость субарахноидального пространства спинного мозга с помощью компрессионных тестов.

- С лечебной целью люмбальную пункцию выполняют для выведения ликвора и нормализации ликвороциркуляции, контроля состояний, связанных с сообщающейся гидроцефалией, а также для санации ликвора при менингитах различной этиологии и введения лекарственных препаратов (антибиотиков, антисептиков, цитостатиков).

Выделяют абсолютные и относительные показания к проведению люмбальной пункции.

- Абсолютные показания: подозрение на инфекцию ЦНС (менингит, энцефалит, вентрикулит), онкологическое поражение оболочек головного и спинного мозга, нормотензивную гидроцефалию; диагностика ликвореи и выявление ликворных фистул с помощью введения в субарахноидальное пространство красителей, флюоресцирующих и рентгеноконтрастных веществ; диагностика субарахноидального кровоизлияния при невозможности проведения КТ.

- Относительные показания: лихорадка неясного генеза у детей до 2 лет, септическая эмболия сосудов, демиелинизирующие процессы, воспалительные полиневропатии, паранеопластические синдромы, системная красная волчанка и др.

ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ

При наличии объёмного образования головного мозга, окклюзионной гидроцефалии, признаках выраженного отёка мозга и внутричерепной гипертензии существует риск осевого вклинения при проведении люмбальной пункции, его вероятность повышается при использовании толстых игл и выведении большого количества ликвора. В этих условиях люмбальную пункцию проводят только в случаях крайней необходимости, а количество выводимого ликвора должно быть минимальным. При появлении симптомов вклинения во время пункции (в настоящее время это крайне редкая ситуация) рекомендовано срочное эндолюмбальное введение необходимого количества жидкости. Другие противопоказания к проведению люмбальной пункции не считают столь абсолютными. К ним относят инфекционные процессы в пояснично-крестцовой области, нарушения свёртывания крови, приём антикоагулянтов и антиагрегантов (риск эпидурального или субдурального кровоизлияния со вторичным сдавлением спинного мозга). Осторожность при проведении люмбальной пункции (выведение минимального количества ликвора) необходима при подозрении на кровоизлияние из разорвавшейся аневризмы сосудов мозга (риск повторного разрыва) и блокаде субарахноидального пространства спинного мозга (риск появления или усиления неврологического дефицита).

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ

Люмбальную пункцию можно выполнять в положении больного лёжа или сидя. Последнее положение в настоящее время используют крайне редко. Обычно пункцию проводят в положении больного лёжа на боку с наклоном головы вперёд и согнутыми в тазобедренных и коленных суставах ногами. Конус спинного мозга у здорового взрослого человека в большинстве случаев расположен между средними отделами позвонков L_I и L_{II} . Дуральный мешок обычно заканчивается на уровне S_{II} . Линия, соединяющая гребни подвздошных костей, пересекает остистый отросток L_{IV} либо промежуток между остистыми отростками L_{IV} и L_V (линия Якоби). Взрослым люмбальную пункцию обычно проводят в промежутке L_{III} - L_{IV} , у детей следует стараться проводить процедуру через промежуток L_{IV} - L_V . Проводят обработку кожных покровов в области прокола раствором антисептика, затем местное обезболивание путём введения анестетика внутрикожно, подкожно и по ходу прокола. Специальной иглой с мандреном выполняют пункцию субарахноидального пространства в сагиттальной плоскости параллельно остистым отросткам (под небольшим углом). Срез иглы должен быть ориентирован параллельно длиннику тела. Костная преграда, как правило, возникает при отклонении от средней линии. Часто при прохождении иглы через жёлтые связки и твёрдую мозговую оболочку отмечают ощущение провала. При отсутствии такого ориентира положение иглы можно проверить по появлению ликвора в павильоне иглы, для этого нужно периодически вынимать мандрен. При появлении типичных корешковых болей в процессе введения иглы процедуру следует немедленно прекратить, иглу извлечь на достаточное расстояние и провести пункцию с некоторым наклоном иглы в

сторону контралатеральной ноги. Если игла упирается в тело позвонка, необходимо подтянуть её на 0,5-1 см. Иногда просвет иглы может прикрыть корешок спинного мозга, в этом случае может помочь лёгкое вращение иглы вокруг её оси и её подтягивание на 2-3 мм. Иногда даже при попадании иглы в дуральный мешок ликвор получить не удаётся в связи с выраженной ликворной гипотензией. В этом случае помогает приподнимание головного конца, можно попросить больного покашлять, применить компрессионные пробы. При многократных пункциях (особенно после химиотерапии) в месте проколов развивается грубый спаечный процесс. Если при соблюдении всех правил появления ликвора добиться не удалось, целесообразна попытка провести пункцию на другом уровне. Редкими причинами невозможности осуществить люмбальную пункцию бывают опухоль позвоночного канала и далеко зашедший гнойный процесс.

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИКВОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И КОМПРЕССИОННЫЕ ТЕСТЫ

Сразу после появления ликвора в павильоне иглы возможно измерение давления в субарахноидальном пространстве с помощью подсоединения к игле пластиковой трубочки или специальной системы. Пациент в процессе измерения давления должен быть максимально расслаблен. Нормальное давление жидкости в положении сидя составляет 300 мм вод.ст., лёжа - 100-200 мм вод.ст. Косвенно уровень давления можно оценить по скорости вытекания ликвора (60 капель в минуту условно соответствует нормальному давлению). Давление увеличивается при воспалительных процессах мозговых оболочек и сосудистых сплетений, нарушении оттока жидкости в связи с повышением давления в венозной системе (венозная застой). Для определения проходимости субарахноидальных пространств используют ликвородинамические пробы.

- **Проба Квеккенштедта.** После определения начального давления ликвора производят компрессию яремных вен не дольше 10 с. При этом в норме давление возрастает в среднем на 10-20 см вод.ст. и нормализуется через 10 с после прекращения компрессии.

- **При пробе Стукея** в течение 10 с кулаком надавливают на живот в области пупка, создавая застой в системе нижней полой вены, куда оттекает кровь из грудного и пояснично-крестцового отделов спинного мозга, эпидуральных вен. В норме при этом давление также повышается, но медленнее и не так значительно, как при пробе Квеккенштедта.

ПРИМЕСЬ КРОВИ В ЛИКВОРЕ

Примесь крови в ликворе наиболее типична для субарахноидального кровоизлияния. В отдельных случаях при люмбальной пункции может быть повреждён сосуд, и в ликворе появляется примесь "путевой крови". В случае интенсивного кровотечения и при невозможности получить ликвор необходимо изменить направление или пунктировать другой уровень. При получении ликвора с кровью следует провести дифференциальную диагностику между субарахноидальным кровоизлиянием и примесью

"путевой крови". Для этой цели ликвор собирают в три пробирки. При субарахноидальном кровоизлиянии ликвор во всех трёх пробирках окрашена практически одинаково. В случае травматичной пункции ликвор от первой к третьей пробирке будет постепенно очищаться. Другой способ - оценка цвета надсадочной жидкости: ликвор жёлтого цвета (ксантохромный) - надёжный признак кровоизлияния. Ксантохромия появляется уже через 2-4 ч после субарахноидального кровоизлияния (результат деградации гемоглобина из распавшихся эритроцитов). Небольшое субарахноидальное кровоизлияние бывает трудно визуально отличить от воспалительных изменений, в этом случае следует дождаться результатов лабораторного исследования. Редко ксантохромия может быть следствием гипербилирубинемии.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ЛИКВОРА

Для стандартного исследования ликвор берут в три пробирки: на общий, биохимический и микробиологический анализы.

Стандартный клинический анализ ликвора включает оценку плотности, рН, цвета и прозрачности ликвора до и после центрифугирования, оценку общего цитоза (в норме не более 5 клеток на 1 мкл), определение содержания белка.

В зависимости от необходимости и возможностей лаборатории исследуют также количество лимфоцитов, эозинофилов, нейтрофилов, макрофагов, изменённых клеток, полибластов, плазмоцитов, клеток арахноэндотелия, клеток эпидермы, зернистых шаров, опухолевых клеток.

Относительная плотность спинномозговой жидкости в норме составляет 1,005-1,008, она повышена при воспалительных процессах, снижена при избыточном образовании жидкости. В норме рН составляет 7,35-7,8, он снижается при менингитах, энцефалитах, параличе, повышается при параличе (до лечения), сифилисе мозга, эпилепсии, хроническом алкоголизме.

Жёлтый цвет ликвора возможен при высоком содержании белка, в случае перенесённого субарахноидального кровоизлияния и при гипербилирубинемии. При метастазах меланомы и желтухе ликвор может быть тёмным. Значительный нейтрофильный цитоз характерен для бактериальной инфекции, лимфоцитарный - для вирусных и хронических заболеваний. Эозинофилы характерны для паразитарных заболеваний. При наличии 200-300 лейкоцитов в 1 мкл ликвор становится мутным. Для дифференцировки лейкоцитоза, обусловленного субарахноидальным кровоизлиянием, необходим подсчёт лейкоцитов с учётом того, что в крови на 700 эритроцитов приходится примерно 1 лейкоцит. Содержание белка в норме не превышает 0,45 г/л и возрастает при менингитах, энцефалитах, опухолях спинного и головного мозга, различных формах гидроцефалии, блоке субарахноидального пространства спинного мозга, карциноматозе, нейросифилисе, СГБ, воспалительных заболеваниях. Существенную роль играют также коллоидные реакции - реакция Ланге ("золотая реакция"), коллоидная мастичная реакция, реакция Таката-Ара и др.

При биохимическом анализе ликвора оценивают содержание глюкозы (в норме в пределах 2,2-3,9 ммоль/л) и лактата (в норме в пределах 1,1-2,4 ммоль/л). Оценку следует проводить с учётом того, что содержание глюкозы ликвора зависит от концентрации глюкозы крови (40-60% этого значения). Снижение содержания глюкозы - частый признак менингитов различной этиологии (чаще бактериального происхождения, в том числе туберкулёзного), повышение концентрации глюкозы ликвора возможно при ишемическом и геморрагическом инсульте.

Пониженное содержание хлоридов в ликворе характерно для менингита, особенно туберкулёзного, для нейросифилиса, бруцеллёза, повышение - для опухолей мозга, абсцесса мозга, эхинококкоза.

РЕЖИМ ПОСЛЕ ЛЮМБАЛЬНОЙ ПУНКЦИИ

После люмбальной пункции принято в течение 2-3 ч соблюдение постельного режима во избежание постпункционного синдрома, обусловленного продолжением вытекания ликвора через дефект в твёрдой мозговой оболочке.

ОСЛОЖНЕНИЯ ЛЮМБАЛЬНОЙ ПУНКЦИИ

Суммарный риск осложнений оценивают в 0,1-0,5%. К возможным осложнениям относят следующие.

- Осевое вклинение:
 - острое вклинение при пункции в условиях внутричерепной гипертензии;
 - хроническое вклинение как следствие повторных люмбальных пункций;
- Менингизм.
- Инфекционные осложнения.
- Головные боли, как правило, проходящие в положении лёжа.
- Геморрагические осложнения, обычно связанные с нарушениями свёртывания крови.
- Эпидермоидные кисты как следствие использования некачественных игл или игл без мандрена.
- Повреждения корешков (возможно развитие стойкого болевого синдрома).
- Повреждение межпозвонкового диска с образованием грыжи диска.

Введение в субарахноидальное пространство контрастных веществ, анестетиков, химиопрепаратов, антибактериальных препаратов может вызвать менингеальную реакцию. Она характеризуется повышением в первые сутки цитоза до 1000 клеток, повышением содержания белка при нормальном содержании глюкозы и стерильном посеве. Эта реакция обычно быстро регрессирует, но в редких случаях может привести к арахноидиту, радикулиту или миелиту.

Нейрорентгенология - часть общей рентгенологии, уделяющая основное внимание диагностическим исследованиям головного и спинного

мозга. Методы современной диагностики заболеваний ЦНС можно разделить на три основные подгруппы: рентгенологические, методы с использованием МРТ и радиологические. Наиболее часто применяют первые две группы методов нейрорентгенологии.

Спектр методов обследования больных с различными типами поражений ЦНС, существующий в настоящее время в арсенале нейрорентгенолога, весьма широк: от кранио- и миелографии, применяемых ещё с 1920-х гг., до новейших методик спиральной КТ и МРТ. Такие методы, как пневмоэнцефало-, миело- и цистернография и вентрикулография с воздухом, ушли в прошлое и представляют только исторический интерес. За последние десятилетия существенно сократилось применение таких рентгенологических методов, как кранио- и спондилография. Менее инвазивными стали церебральная ангиография и миелография за счёт применения малотоксичных водорастворимых неионных контрастных препаратов и использования цифровой обработки данных.

РЕНТГЕНОГРАФИЯ

Кранио- и спондилография - неинвазивные и простые методы рентгенологического исследования черепа и позвоночника, что позволяет использовать их даже в военно-полевых условиях (например, переносные рентгеновские аппараты, работающие на аккумуляторных батареях). Несмотря на то что в последнее время применение этих методов заметно сократилось, они по-прежнему остаются в арсенале нейрорентгенолога. Их используют как методы скрининга (при травме и др.), а также в диагностике заболеваний ЦНС, сопровождающихся специфическими костными изменениями.

Краниография - важный метод диагностики обызвествлённых образований, расположенных в полости черепа. Образование петрификатов характерно для некоторых опухолей мозга (краниофарингиомы, олигодендроглиомы, менингиомы) и паразитарных заболеваний. Показанием к использованию рентгенологического метода, как и прежде, остаётся диагностика локальных и системных поражений костей свода черепа, лицевого скелета и позвоночника. К ним относят оценку состояния структур турецкого седла при аденомах гипофиза, гиперостозов при менингиомах, деструктивных костных поражений при метастазах, первичных новообразованиях и системных заболеваниях. Простота применения краниографии всё ещё позволяет использовать её как метод изучения динамики гидроцефалии и состояния черепных швов в детском возрасте. В широкой клинической практике мирного и (особенно) военного времени рентгенологические методы остаются первичными методами диагностики при травматических поражениях черепа и позвоночника.

При первичной диагностике опухолевых образований головного мозга краниографию в настоящее время практически не применяют, она уступила место таким методам, как КТ и МРТ.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

КТ - метод диагностики, основанный на рентгеновском излучении. Движение рентгеновской трубки томографа происходит по окружности, в центре которой расположен исследуемый объект. В отличие от нелинейной томографии, где рентгеновское излучение освещает весь объект, в КТ коллимированный пучок рентгеновских лучей проходит лишь через его тонкий слой. Изображения поперечных сечений головного мозга представлены в цифровом виде.

Первые послойные сечения объекта (фантома) были построены в 1963 г. физиком А. Cormak, а первое устройство для рентгенологических исследований головы представили G. Hounsfield и J. Ambrose в 1970 г. на ежегодном конгрессе Британского института рентгенологии. Первый компьютерный томограф - аппарат "EMI-scanner", дававший цифровое изображение поперечного сечения головы, был построен в Англии в 1972 г. В 1973 г. G. Hounsfield опубликовал подробное описание своей "компьютерной системы поперечного сканирования (аксиальной томографии)". Эту дату можно считать началом эры рентгеновской КТ.

КТ - цифровой метод визуализации. Изображения поперечных сечений объекта составлены из отдельных элементов - пикселей, яркость которых в единицах Хаунсфилда вычисляют с помощью компьютера по результатам сканирования. На томограммах первого КТ-сканера "EMI-scanner" были заметны отдельные пиксели и различимы лишь крупные объекты, например боковые желудочки. Уменьшение размера поля обзора при фиксированной матрице изображения привело к уменьшению размера пиксела и способствовало повышению пространственного разрешения.

На рис. 3-1 показана эволюция схемы сканирования в КТ-сканерах в процессе их совершенствования. Для обозначения конструктивных особенностей аппарата производители "пошаговых" КТ-сканеров использовали термин "поколение".

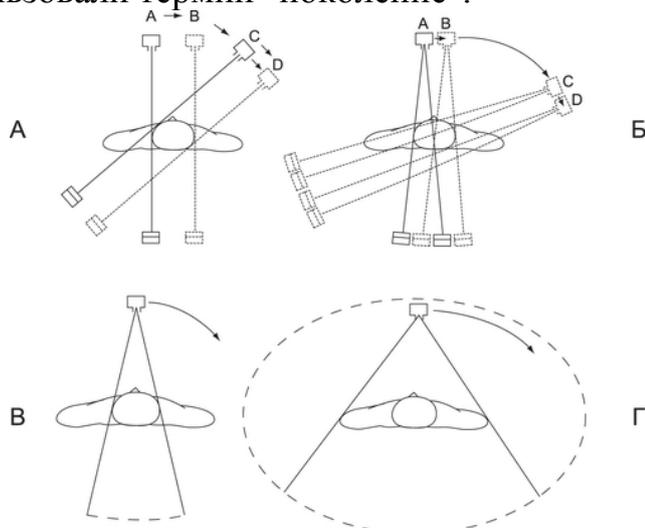


Рис. 3-1. Эволюция схемы сканирования в КТ-сканерах .А , Б - КТ-сканеры I и II поколений, трансляционно-ротационный метод сканирования, время полного оборота трубки от 5 до 1,5 мин. А, В, С, D - положение рентгеновской трубки; В, Г - ротационный тип сканирования, трубки с

широким веерным пучком, 700-2000 подвижных или неподвижных детекторов, время полного оборота от 1 мин до нескольких секунд.

В КТ-сканерах I и II поколений был использован трансляционно-ротационный метод сканирования, рентгеновская трубка с узким, так называемым карандашным (рис. 3-1, А) или веерным (рис. 3-1, Б), лучом и несколькими (порядка 30) детекторами. Полный оборот система трубка-детектор совершала примерно за 5 (см. рис. 3-1, А) или 1-2 мин (см. рис. 3-1, Б). Такие аппараты производили в начале 80-х годов XX века.

В КТ последующих поколений использован ротационный тип сканирования, трубка с широким веерным пучком, 700-1320 подвижных детекторов (рис. 3-1, В) или кольцо стационарных детекторов. Время полного оборота сократилось и составило от 1 мин до нескольких секунд (рис. 3-1, Г).

Сканеры последних поколений (после 2000 г.) имеют очень высокое быстродействие, достигаемое за счёт применения новейших технологий: питание трубки за счёт технологии "скользящего кольца", импульсный режим излучения трубки, динамический фокус, матрицы твердотельных полупроводниковых детекторов (100% чувствительность), мощные компьютеры. Существуют системы с несколькими рентгеновскими трубками.

В настоящее время современные томографы представляют собой аппараты со спиральным типом сканирования, поэтому принято выделять сканеры с разным количеством "спиралей" (1, 2, 4, 6, 16, 32, 64, 128, 256, 320).

КТ совершила революционные изменения в нейрорентгенологии, сделав возможным разграничение близких по плотности нормальных и патологических тканей паренхимы мозга (плотностное разрешение). Этот метод стали называть самым важным изобретением со времени открытия Рентгеном X-лучей.

В настоящее время КТ используют во всех областях нейрорентгенологии: от получения простых анатомических изображений до вычисления сложных функциональных параметров, например локального мозгового кровотока. Этот метод успешно конкурирует с МРТ, причём это стало особенно заметно с появлением мультиспирального режима сканирования.

Спиральная и мультиспиральная КТ. В спиральном режиме сканирования к непрерывному вращению рентгеновской трубки добавлено синхронное движение стола. Фокус рентгеновской трубки движется по круговой траектории относительно изоцентра апертуры штатива, а относительно пациента траектория его движения представляет винтовую линию, или спираль, что и дало этому режиму сканирования название "спиральная КТ".

В настоящее время широко применяют так называемые мультиспиральные сканеры, использующие многорядную матричную

систему детекторов и регистрирующие данные одновременно для нескольких спиральных траекторий (рис. 3-2). Переход от сканера с одним рядом детекторов и периодом вращения трубки 1 с к сканеру с 4-рядной системой детекторов и периодом вращения трубки 0,5 с дал возможность потенциально увеличить эффективность использования рентгеновского излучения при сканировании в восемь раз. Эффективность сканирования 16-спирального сканера по сравнению с обычной КТ возрастает в 38 раз. В настоящее время ведущими фирмами-производителями томографов разработаны 8-, 10- и 16-спиральные сканеры. На ежегодном съезде Североамериканского общества рентгенологов в 2007 г. были представлены 256- и 320-спиральные КТ-сканеры с возможностью одномоментного исследования области в 16 см за один оборот рентгеновской трубки. Поскольку за время сканирования мультиспиральный сканер регистрирует "сырые" данные для некоторой области (объёма) тела пациента, эти аппараты стали называть объёмными КТ-сканерами.

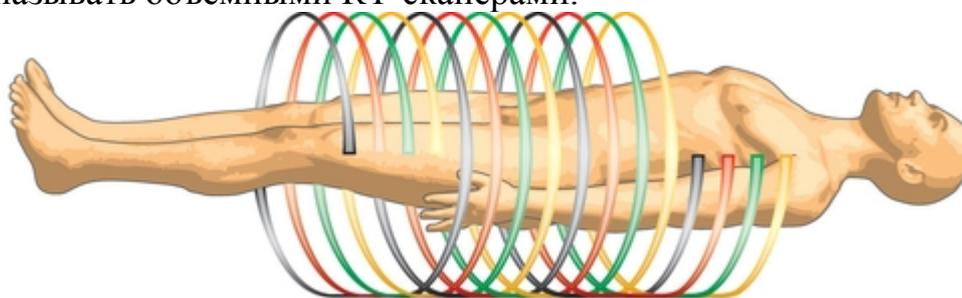


Рис. 3-2. Спиральный режим сканирования (схема движения трубки относительно тела пациента).

Основное преимущество мультиспиральной КТ - высокое разрешение (тонкие срезы) и высокая скорость сканирования. Важный момент - снижение дозы облучения пациента, которого достигают, уменьшая силу анодного тока трубки и сокращая время экспозиции. При исследованиях позвоночника мультиспиральные КТ-сканеры используют специальные программы снижения эффективной дозы.

В настоящее время КТ (послойная и объёмная) - один из наиболее широко распространённых методов визуализации патологических процессов в нейрорентгенологии. КТ применяют при обзорных исследованиях покровных тканей, костей черепа и позвонков, желудочков мозга и субарахноидальных пространств, паренхимы головного и спинного мозга. Все структуры на КТ-срезах имеют реальные размеры. Высокое быстродействие позволяет обследовать тяжёлых больных. С быстротой получения КТ-изображений при высоком качестве и разрешении в настоящее время не может соперничать ни один метод визуализации, даже сверхбыстрое МР-сканирование. Использование внутривенного контрастного усиления при КТ-обследовании пациентов с подозрением на объёмный процесс мозга - неотъемлемая часть протокола, существенно повышающая чувствительность метода при идентификации различных поражений.

Спиральная КТ полностью заменила линейную томографию и успешно конкурирует с субтракционной ангиографией в выявлении сосудистой патологии, например мешотчатых аневризм. Метод спирального сканирования воплощён в миниатюрных интраоперационных спиральных КТ-сканерах для немедленной внутриоперационной оценки состояния операционной раны (например, для исключения гематомы) или остатков опухоли. Такие аппараты легко перемещать, они обладают минимальным рентгеновским воздействием на медицинский персонал.

КТ-миелоцистернография - метод, сочетающий возможности КТ и миелографии. Его относят к инвазивным методам получения изображений, так как необходимо введение контрастного вещества в субарахноидальное пространство.

В отличие от рентгеновской миелографии при КТ-миелографии требуется меньшее количество контрастного вещества. В настоящее время КТ-миелографию используют в стационарных условиях, чтобы определять проходимость ликворных пространств спинного и головного мозга, окклюзирующие процессы, различные типы назальной ликвореи, диагностировать кистозные процессы интракраниальной и позвоночно-паравerteбральной локализации.

КТ-ангиография. В отличие от катетеризационной субтракционной церебральной ангиографии КТ-ангиографию сосудов головы и шеи можно проводить в амбулаторных условиях, так как контрастное усиление обеспечивают через кубитальную вену. Высокое разрешение спиральной КТ позволяет проводить построение объёмных (3D) моделей сосудистой системы (рис. 3-3). По мере совершенствования аппаратуры скорость исследования постоянно сокращается. Так, время регистрации данных при КТ-ангиографии сосудов шеи и головного мозга на 6-спиральном сканере занимает от 30 до 50 с, а на 16-спиральном - 15-20 с. В настоящее время это исследование, включая 3D-обработку, проводят практически в реальном времени.

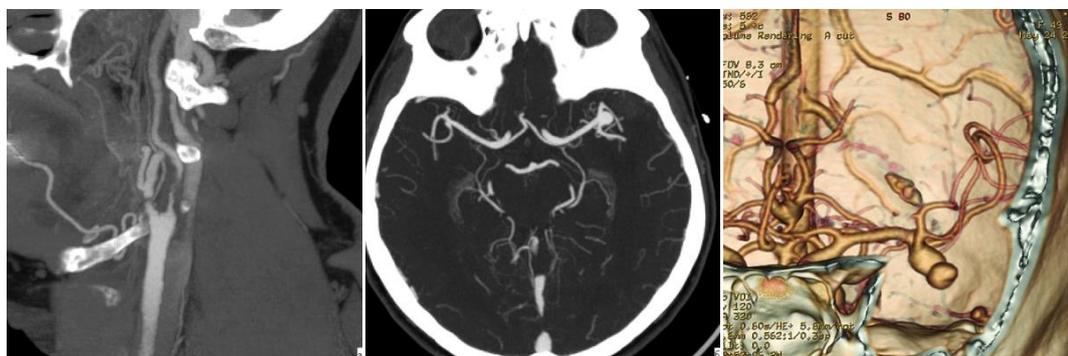


Рис. 3-3. КТ-ангиография магистральных артерий шеи при стенозе начального сегмента внутренней сонной артерии и головы (а); при мешотчатой аневризме левой средней мозговой артерии (б); 3D-реконструкция данных КТ-ангиографии: вид спереди на мешотчатую аневризму (в).

Создание цифрового метода КТ помогло найти пути использования магнитно-резонансных сигналов для визуализации сечений головного мозга, т.е. способствовало созданию МРТ. В своей Нобелевской лекции G. Hounsfield рассмотрел перспективу использования для томографии физического явления ядерного магнитного резонанса. Он отметил, что новый диагностический метод, возможно, будет обладать ещё более высокой тканевой контрастностью, чем КТ.

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Ещё в 1950-х годах было исследовано явление ядерного магнитного резонанса, установлена природа магнитных свойств вещества, определены физико-химические факторы, от которых зависела величина магнитно-резонансного сигнала (МР-сигнала), и был разработан способ измерения *in vitro* релаксационных параметров вещества с помощью последовательности радиоимпульсов, получившей название импульсной последовательности "спиновое эхо" [Bloch F., 1946; Purcell E., 1946; Hahn E., 1949]. Затем был найден способ выделения томографического слоя и метод сканирования, позволяющий задавать координаты и вычислять МР-сигнал от каждого вокселя - объекта для построения изображения среза.

За создание методов МР-визуализации, реализованных в современных МРТ-сканерах, P. Layterbour и P. Mansfield получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине в 2003 г.

Первый МР-сканер для медицинской диагностики появился в 1982 г. МРТ-сканеры I поколения (начало 1980-х годов) были низкопольными, предназначались только для исследований головы и использовали в основном импульсную последовательность "спиновое эхо" (стандартный режим).

В МРТ-сканерах II поколения (начало 1990-х годов) постоянное магнитное поле за счёт применения сверхпроводящих магнитов стало выше (1,0-1,5 Тл), апертура магнита - шире, появилась возможность исследовать не только голову, но и всё тело. Время сканирования сократилось за счёт использования "быстрых" импульсных последовательностей - "быстрое спиновое эхо" и "градиентное эхо". Появилась возможность визуализировать движение протонов с магистральным кровотоком (например, МР-ангиография).

МРТ-сканеры III поколения (с 2000 г.) с магнитными полями 1,5 Тл и выше имеют мощные, быстро нарастающие градиенты. В этих томографах наряду со стандартными и быстрыми импульсными последовательностями используют эхопланарные методы сканирования (время исследования - доли секунды). Они позволяют проводить магнитно-резонансную спектроскопию (МР-спектроскопию), получать изображения, взвешенные по химическому сдвигу. Сверхбыстрые методы сканирования визуализируют молекулярное движение (диффузионное движение протонов в тканях - трактография,

движение протонов с региональным кровотоком - перфузионная МРТ, функциональная МРТ).

Широкий набор импульсных последовательностей обеспечивает различный тип тканевой контрастности на МРТ-изображении, что предоставляет большие, чем при КТ, возможности для характеристики различных тканей ЦНС и признано одним из преимуществ МРТ.

Рутинная МРТ-диагностика (импульсная последовательность "спиновое эхо") включает обязательное получение томограмм, взвешенных по T1 и T2 (T1- и T2-режимы). Такие режимы сканирования обязательны для всех МР-томографов независимо от напряжённости поля. Стандартное время сканирования для каждого режима последовательности "спиновое эхо" в зависимости от типа томографа составляет от 5 до 12 мин.

"Быстрое спиновое эхо" позволяет сократить время получения T2-взвешенных МР-изображений до 2-3 мин, что заметно увеличивает пропускную способность томографа.

"Сверхбыстрое спиновое эхо" позволяет получать T2-взвешенные томограммы за ещё более короткое время (50 срезов за 20 с). Эту программу используют в основном для обследования тяжёлых больных, пациентов с клаустрофобией и детей, но она обладает низким отношением контраст-шум.

В МРТ, так же как в КТ, применяют дополнительное контрастирование тканей с помощью внутривенного введения контрастных препаратов. Действие контрастных веществ в МРТ основано на магнитных свойствах парамагнетиков и ферромагнетиков сокращать время T1- и T2-релаксации ткани. В качестве контрастных веществ используют соединения гадолиния. Внутривенное введение контрастного препарата приводит к усилению яркости сигнала на T1-МРТ от тканей, содержащих контрастное вещество (позитивное контрастирование, рис. 3-4).

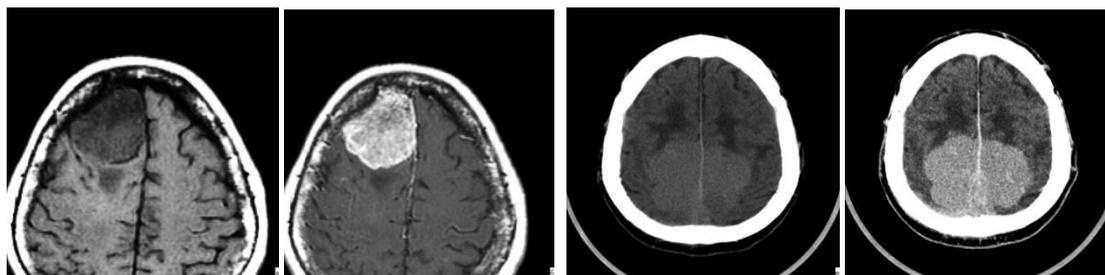


Рис. 3-4. МРТ до (а) и после (б) внутривенного контрастного усиления выявляет менингиому правой лобной парасагиттальной области. КТ до (в) и после (г) контрастирования : большая менингиома . Дополнительное внутривенное контрастное усиление позволяет лучше визуализировать размеры и распространённость опухолей.

Появление быстрых и сверхбыстрых импульсных последовательностей открыло перед МРТ новые диагностические возможности, например картирование сечений головного мозга по скорости диффузии, локальному кровотоку, скорости магистрального кровотока или ликворотока. Это более

сложные МР-исследования, требующие дополнительной математической обработки полученного набора изображений. В некоторых случаях алгоритм такой обработки входит в программное обеспечение томографа (MPR, МИП, BrainWave и т.п.), но для обработки необходимо дополнительное время. В других случаях построение 3D-моделей и картирование проводят на рабочих станциях, оборудованных мощным компьютером со специальным программным обеспечением (Functools, Navigator и т.п.). Подобные МР-исследования не входят в число стандартных диагностических исследований; как правило, их проводят только в исследовательских центрах на высокопольных МР-томографах.

Наблюдаемое в настоящее время во всём мире развитие информационных технологий и компьютерных сетей позволяет предположить, что в недалёком будущем и эти исследования станут рутинными, поэтому рассмотрим примеры их клинического использования.

Магнитно-резонансная миелография и цистернография - неинвазивные методики, позволяющие получать высококонтрастные по отношению к веществу мозга изображения ликворных пространств без дополнительного контрастирования. Их применяют, чтобы изучить анатомию ликворных пространств в различных отделах ЦНС (рис. 3-5). Набор изображений, полученных в режиме последовательных МР-срезов, используют, чтобы построить дополнительные косые сечения и объёмное изображение (чаще используют T2-режим и импульсную последовательность 2D "быстрое спиновое эхо") или объёмную модель структур желудочковой системы.

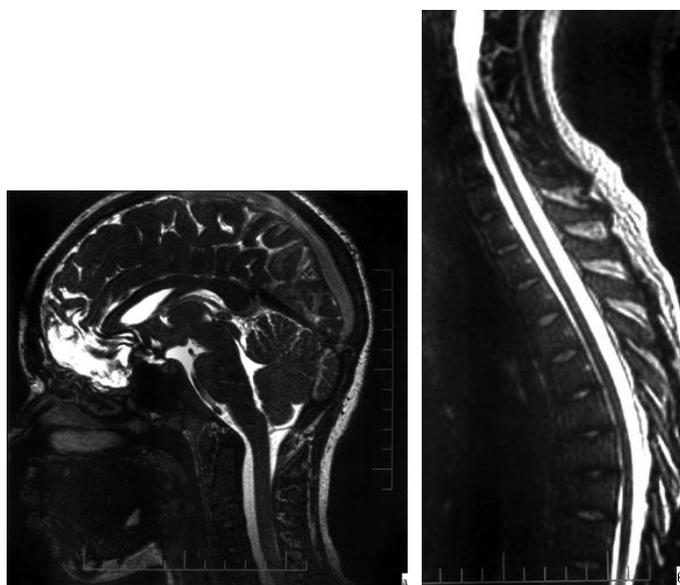


Рис. 3-5. Магнитно-резонансная цистернография (а) и миелография (б).

Магнитно-резонансная ангиография (МР-ангиография) в отличие от спиральной КТ, обычной и цифровой субтракционной ангиографии позволяет визуализировать кровеносные сосуды даже без применения контрастного вещества. Исследование можно проводить в режимах 2D или 3D.

МР-методы визуализации движущейся жидкости (крови) разделяют на три категории:

- времяпролётная МР-ангиография - TOF (Time of Flight), или T1-ангиография (рис. 3-6);
- фазово-контрастная МР-ангиография - PC (Phase Contrast), или T2-ангиография;
- МР-ангиография с контрастным усилением [Contrast Enhanced (CE) MRA].

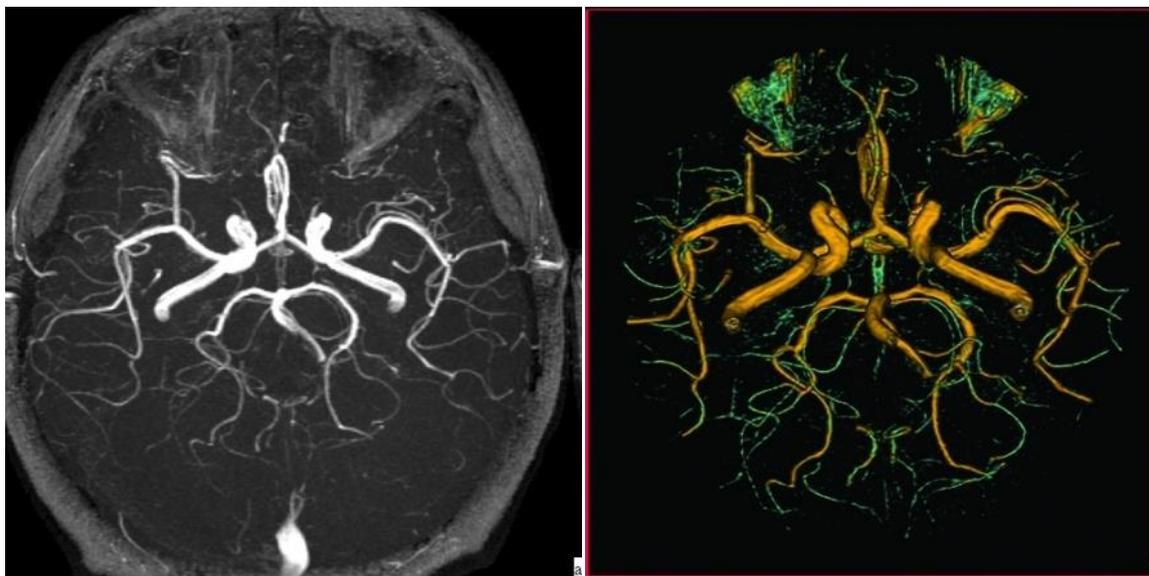


Рис. 3-6. Времяпролётная T1-МР-ангиография с подавлением сигнала от стационарных (мозговых) тканей. МР-обработка (а) и объёмная реконструкция (б) магистральных интракраниальных артерий.

Методы фазово-контрастной МР-ангиографии позволяют визуализировать течение крови в плоскости среза, картировать скорость движения крови и измерять скорость кровотока. К достоинствам фазовых методов следует отнести тот факт, что фазовую кодировку скорости движения производят в любом направлении, в том числе и в плоскости среза, который может быть очень тонким. Фазово-контрастная МРТ применима для визуализации быстрого артериального кровотока (при кодировке, равной 80 см/с), медленного венозного кровотока и медленного движения ликвора (кодировка 10-20 см/с) (рис. 3-7). В клинических условиях чаще всего используют как дополнение к времяпролётной МР-ангиографии с целью отграничить неподвижные участки с высоким МР-сигналом в режиме T1 (например, подострая гематома) и реально движущейся крови в сосуде или при МР-ликворографии.

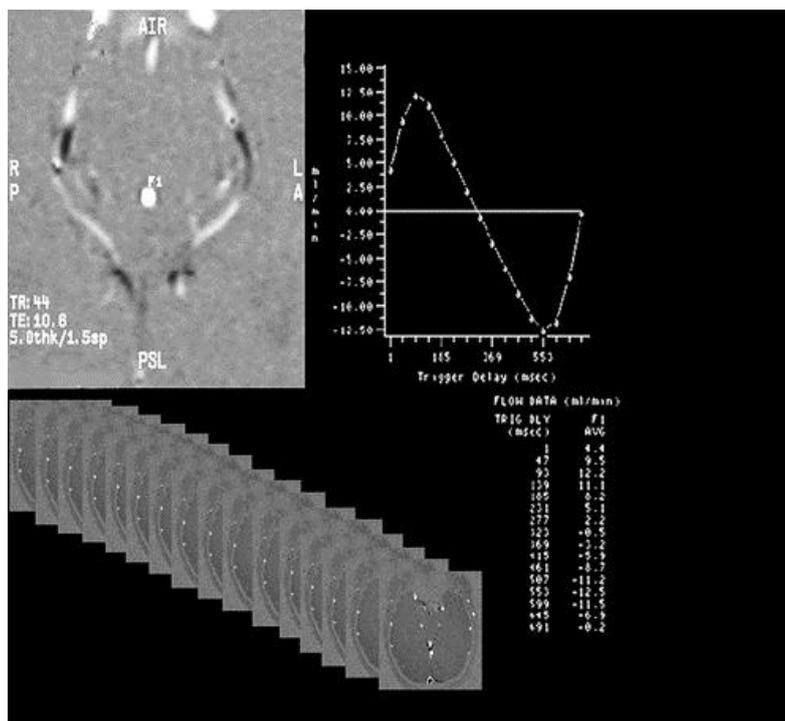


Рис. 3-7. Фазово-контрастная МР-ликворография , динамическая серия изображений карт скоростей потока в сечении головного мозга на уровне водопровода мозга, изменение скорости потока в водопровode мозга, таблица значений объёмной скорости.

МР-ангиография с контрастным усилением использует укорочение T1 под действием магнитно-резонансных контрастных препаратов. Контрастное вещество вводят внутривенно, регистрацию данных начинают в момент заполнения исследуемого сосуда контрастным веществом. Для определения оптимального времени регистрации проводят предварительное болюсное введение 1-2 мл контрастного препарата, определяя моменты начала артериальной и венозной фаз кровотока, чтобы осуществлять последующие измерения на пике артериальной концентрации контрастного вещества. В современных МР-томографах болюс-тест проводится автоматически, что сокращает время сканирования до 1 мин в целом. МР-ангиографию с контрастным усилением используют, чтобы получить изображение магистральных артерий от дуги аорты до виллизиева круга или вен интракраниальной локализации (рис. 3-8; рис. 3-9). Методы параллельного сканирования обещают сократить время исследования сосудов до 2,5-3 с - МР-ангиография в режиме реального времени.

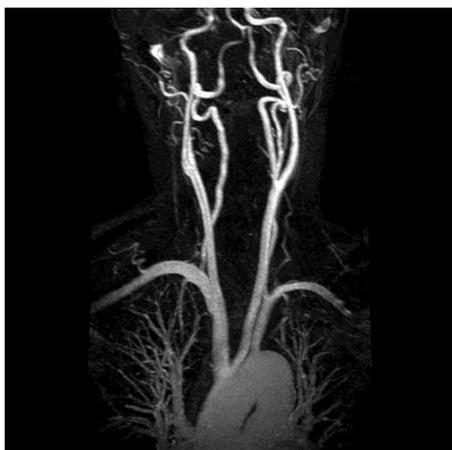


Рис. 3-8. МР-ангиография с контрастным усилением. Магистральные сосуды головы от дуги аорты до большого круга основания мозга, вид спереди.

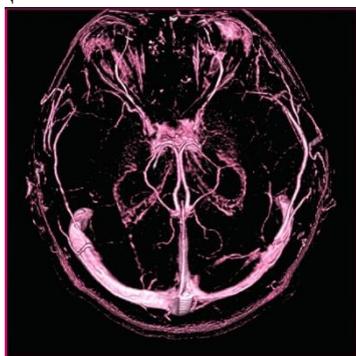


Рис. 3-9. МР-ангиография с контрастным усилением венозных образований (венография) в полости черепа (3D-обработка).

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В НЕЙРОРЕНТГЕНОЛОГИИ

Развитие визуализирующих технологий в нейрорентгенологии идёт по пути "от анатомии к функциям мозга". Анатомические срезы стандартных КТ и МРТ демонстрируют разные типы тканей: кровь, жировую ткань, белое и серое вещество мозга, мышцы и пр. Современные методы КТ и МРТ позволяют оценить скорость и ориентацию диффузионного движения молекул воды, "увидеть" ткани, отличающиеся по обменному взаимодействию протонов, транспорту ионов и молекул (K^+ , Na^+), рН среды, активности фагоцитоза. По притоку обогащённой кислородом крови МРТ позволяет выявить области мозга с повышенной нейрональной и метаболической активностью, обнаружить участки нарушения гематоэнцефалического барьера, количественно оценить микроваскулярную проницаемость ткани, состояние рецепторов на поверхности клеток, гормональную активность, наличие в ткани определённого антигена, белковых структур и пр. Таким образом, с помощью КТ и МРТ стали осуществлять диагностику не только на клеточном, но и на молекулярном уровне. По этой причине диффузионную, перфузионную, функциональную

МРТ и МР-спектроскопию относят к так называемым методам молекулярной визуализации.

Диффузионно-взвешенная МРТ

Диффузия - основной физический процесс, происходящий в ходе метаболических реакций клетки. Первое диффузионно-взвешенное МР-изображение было построено в 1985 г. [Le Bihan D. et al., 1985]. В клиническую практику диффузионная МРТ пришла вместе с МРТ-сканерами III поколения. Для получения диффузионно-взвешенных томограмм используют эхопланарные импульсные последовательности "спиновое эхо" EPI с двумя диффузионными градиентами одинаковой амплитуды и длительности. Для количественной оценки диффузионных свойств воды в ткани строят параметрические диффузионные карты, на них цвет каждого пиксела соответствует измеряемому коэффициенту диффузии (рис. 3-10). На диффузионной карте ткани с высокой скоростью диффузии воды окрашены в красно-белые тона, ткани с низкой скоростью диффузии - в сине-чёрные.

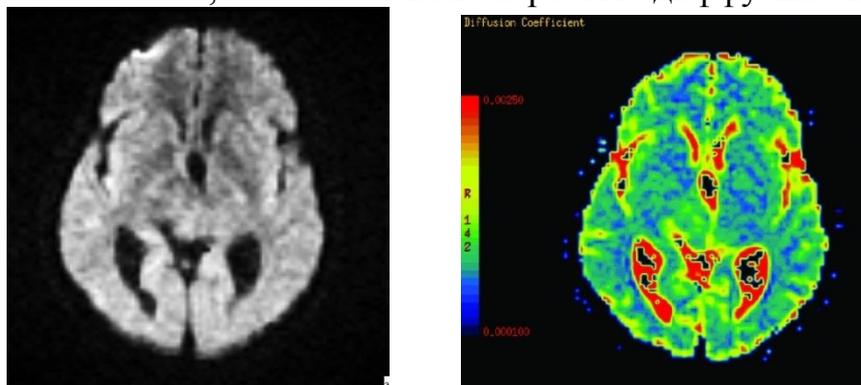


Рис. 3-10.

Диффузионная МРТ а - диффузионно-взвешенное изображение (комбинированное), полученное с фактором диффузии $b = 1000 \text{ с} / \text{мм}^2$; б - диффузионная цветовая карта на этом уровне.

Зависимость диффузионной способности молекул от направления называют анизотропией диффузии. В белом веществе мозга молекулы воды легко диффундируют вдоль нервных волокон, но поперёк волокон их движение ограничено непроницаемой миелиновой оболочкой.

Для визуализации анизотропии диффузии воды в ткани применяют диффузионно-тензорную МРТ.

В диффузионно-тензорной МРТ по ориентации эллипсоидов диффузии в вокселях определяют ход нервных волокон, образующих нервные тракты, соединяя друг с другом собственные векторы диффузионного тензора. Алгоритмы соединения довольно сложны, поэтому применяют различные методы расчёта, позволяющие "нарисовать" ход множества нервных волокон, образующих нервный тракт. Вследствие этого тензорную МРТ часто называют трактографией - методом визуализации хода нервных трактов. В простейшей форме частичная анизотропия диффузии кодируется цветом, а визуализация направлений диффузионного движения молекул воды в тканях осуществляется окрашиванием определённым цветом пикселей в зависимости от ориентации их собственного вектора (красным - по оси X, зелёным - по оси Y, синим - по оси Z) (рис. 3-11).

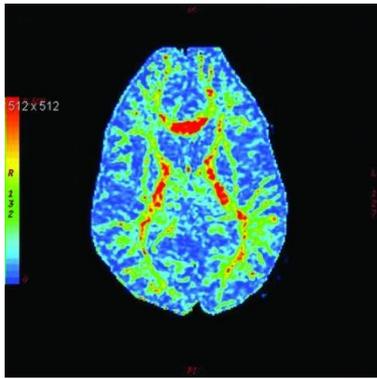


Рис. 3-11. Цветовая карта анизотропии.

Диффузионно-тензорная МРТ позволяет обнаружить структурные связи между отделами мозга, что особенно важно при объёмных процессах и заболеваниях, искажающих анатомическую структуру или разрушающих белое вещество (опухоли, ЧМТ, демиелинизирующие заболевания и др.).

Клиническое применение диффузионно-взвешенной и диффузионно-тензорной МРТ. Снижение скорости измеряемого коэффициента диффузии в тканях мозга - чувствительный индикатор ишемических нарушений и степени тяжести ишемии. На сегодняшний день применение диффузионно-взвешенных изображений - один из наиболее быстрых и высокоспецифичных методов диагностики ишемического инсульта мозга в ранних стадиях его развития (до 6 ч), когда существует "терапевтическое окно" для использования тромболитика и частичного или полного восстановления кровотока в поражённых тканях мозга. В острой фазе мозгового инсульта на диффузионно-взвешенных изображениях зона поражения мозга имеет типично высокий МР-сигнал, тогда как нормальные ткани мозга выглядят тёмными. На картах измеряемого коэффициента диффузии - обратная картина (рис. 3-12). Карты измеряемого коэффициента диффузии стали средством диагностики ишемии и динамического наблюдения за развитием острого нарушения мозгового кровообращения и последующей хронической дегенерации тканей, вызванной ишемией. Неинвазивность и быстрота применения диффузионно-взвешенных изображений определяют главенствующее значение метода в первичной диагностике ишемического поражения мозга.

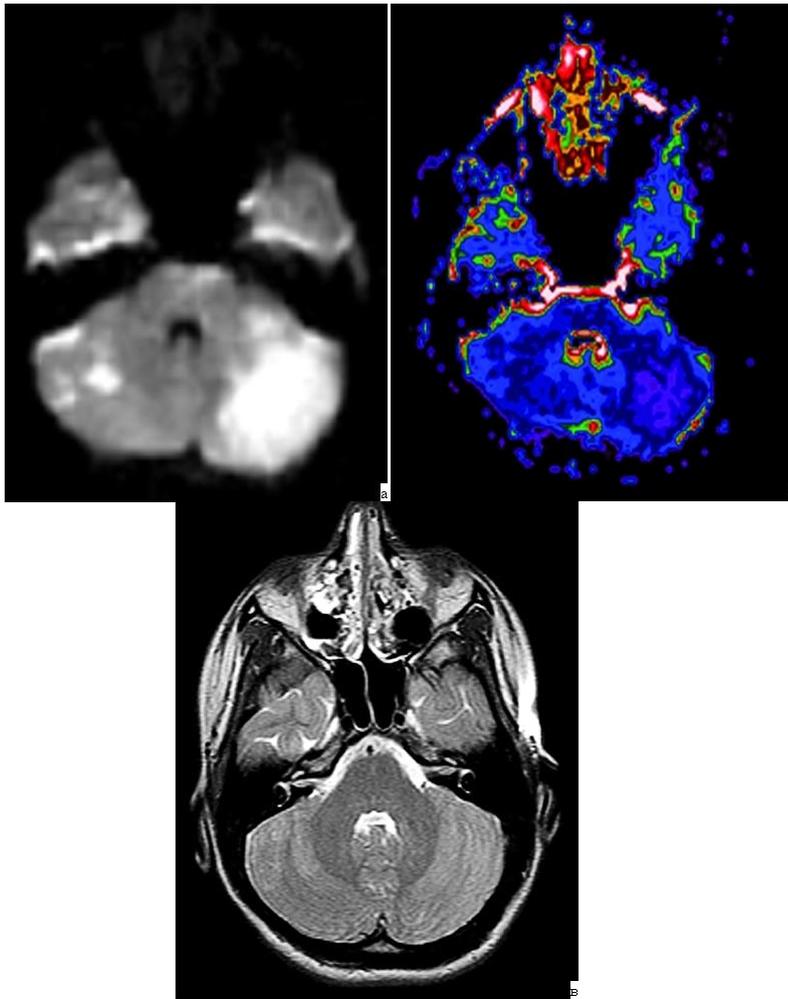


Рис. 3-12. Острейшая фаза (3 ч) мозгового инсульта в вертебробазиллярной системе. На диффузионно-взвешенном изображении нормальные ткани мозга выглядят тёмными, зоны поражения в обеих гемисферах мозжечка ($D > S$) имеют типично высокий МР-сигнал (а); на диффузионной цветовой карте - обратная картина (б); на МР-томограмме в режиме Т2 зона поражения ещё не видна (в).

Все диффузионные исследования проводят без введения контрастного вещества, что важно для тяжёлых больных и при специализированных исследованиях развития мозга у детей, начиная с внутриутробного периода. В последнем случае диффузионная МРТ позволяет получить дополнительные качественные (визуализационные) и количественные тканевые характеристики, открывает новые возможности исследования микроструктуры тканей мозга в процессе его развития.

Диффузионно-взвешенные изображения и диффузионные карты дают дополнительную диагностическую информацию для дифференцировки новообразований головного мозга со сходными проявлениями на Т1- и Т2-МРТ (глиомы, опухоли с кольцевидным накоплением контрастного вещества), перитуморального отёка (вазогенный или цитотоксический), предоставляют данные о наличии или отсутствии внутриопухолевых кист и пр.

Неоценимую информацию за столь короткое время сканирования применение диффузионно-взвешенные изображения дают при диагностике воспалительных поражений головного мозга и позвоночника (например, абсцессы мозга, эмпиема). Гнойное содержимое абсцесса характеризуется высоким МР-сигналом и легко визуализируется на любом этапе лечения, включая послеоперационный. Особенности структурной организации некоторых новообразований головного мозга, в частности менингиом и невринол, дают возможность при применении диффузионно-взвешенных изображений с высокой достоверностью прогнозировать гистологический тип опухоли ещё перед операцией. На основе данных этого метода точно дифференцируют эпидермоидные и арахноидальные кисты.

Трактография - новая и многообещающая методика, позволяющая неинвазивно "увидеть" проводящие пути головного мозга (рис. 3-13, 3-14). Несмотря на ещё существующие технические сложности, первые результаты в приложении к задачам нейрохирургии кажутся многообещающими. Стало возможным с помощью диффузионно-тензорной МРТ, зная расположение проводящих путей и учитывая их заинтересованность в патологическом процессе (смещение/деформация или инвазия и повреждение), планировать операционный доступ и объём оперативного удаления внутримозговых опухолей.

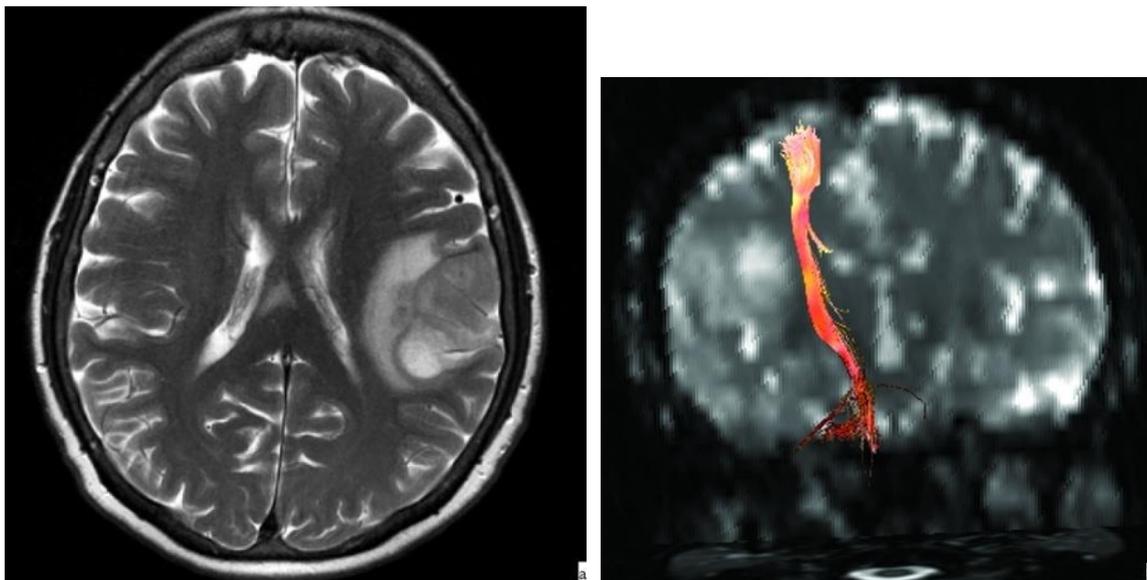
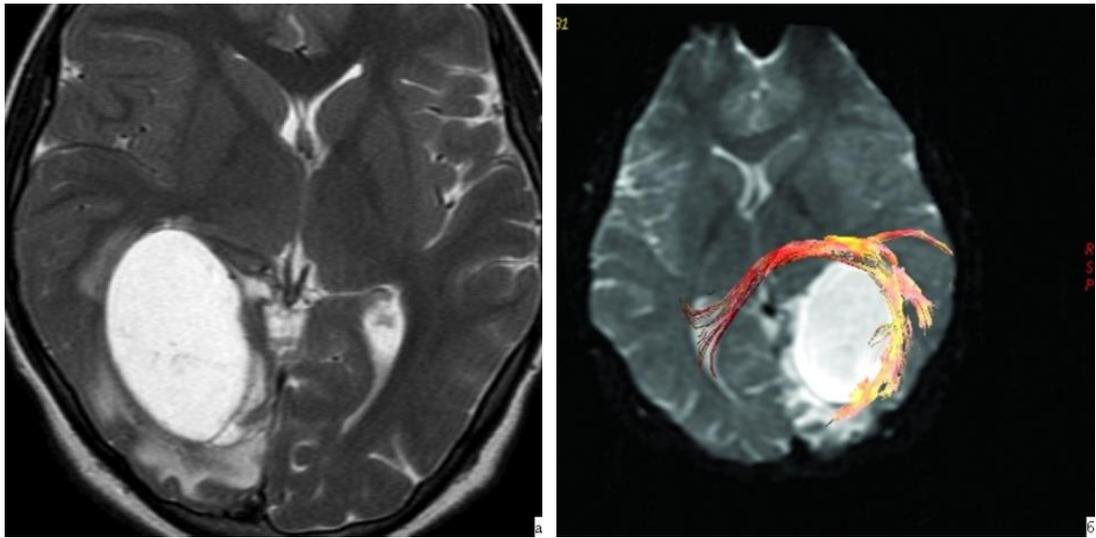


Рис. 3-13. МР-трактография .а - МРТ в режиме Т2, аксиальная проекция: глиобластома левой височной доли; б - построение хода кортикоспинального тракта показывает его расположение по отношению к зоне опухолевой инфильтрации.



Трактография - новая и многообещающая методика, позволяющая неинвазивно "увидеть" проводящие пути головного мозга (рис. 3-13, 3-14). Несмотря на ещё существующие технические сложности, первые результаты в приложении к задачам нейрохирургии кажутся многообещающими [Cherugi N., 2002]. Стало возможным с помощью диффузионно-тензорной МРТ, зная расположение проводящих путей и учитывая их заинтересованность в патологическом процессе (смещение/деформация или инвазия и повреждение), планировать операционный доступ и объём оперативного удаления внутримозговых опухолей.

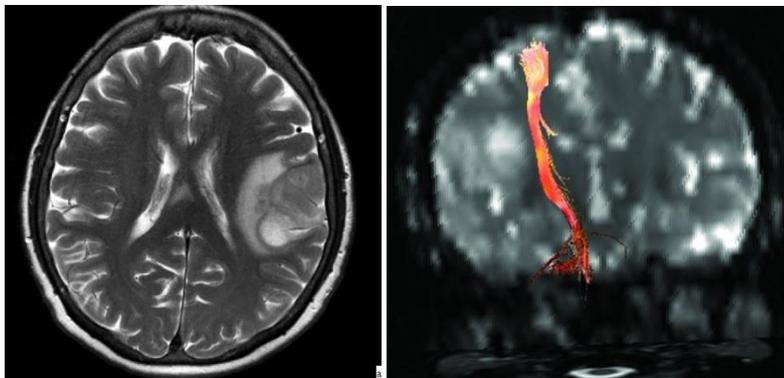


Рис. 3-13. МР-трактография .а - МРТ в режиме T2, аксиальная проекция: глиобластома левой височной доли; б - построение хода кортикоспинального тракта показывает его расположение по отношению к зоне опухолевой инфильтрации.

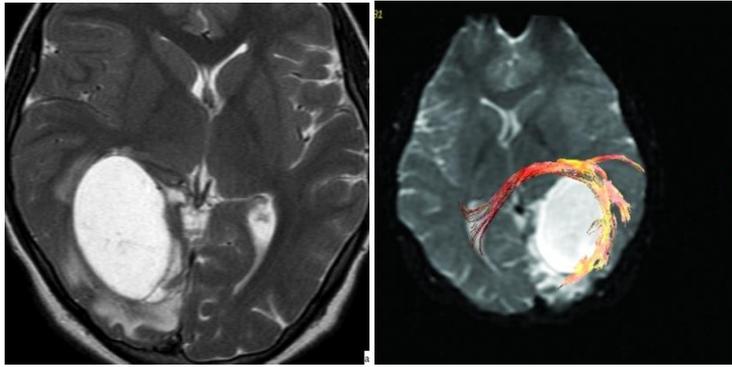


Рис. 3-14. МР-трактография .а - МРТ в режиме Т2, аксиальная проекция: астроцитома правой затылочной доли; б - трактография , дислокация пучков зрительной радиации опухолью латерально .

Перфузионные исследования

С помощью методов исследования перфузии рассматривают и количественно оценивают движение крови.

К современным количественным методам исследования мозговой гемодинамики относят МРТ, спиральную КТ с контрастным усилением, КТ с ксеноном, однофотонную эмиссионную КТ и позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ). Преимущества малоинвазивных КТ- и МРТ-методов - минимальная инвазивность, высокая чувствительность в оценке тканевой микроциркуляции, высокая разрешающая способность, короткое время исследования в рамках стандартных протоколов и, наконец, воспроизводимость результатов с течением времени - очевидны.

Наибольшее распространение в нейрорентгенологии получили перфузионные исследования на основе внутривенного введения болюса контрастного препарата (КТ и МРТ). Для количественной оценки используют основные гемодинамические тканевые характеристики: мозговой кровоток (СВФ), объём мозгового кровотока (СВВ), среднее время транзита крови (МТТ).

Перфузионная КТ. При перфузионной КТ анализируют повышение КТ-плотности при прохождении контрастного вещества по сосудистому руслу головного мозга. Болюс рентгеноконтрастного вещества (препарат йода с концентрацией 350-370 мг/мл, скорость введения 4 мл/с) вводят внутривенно. Спиральные режимы сканирования позволяют получать серию срезов с интервалом 1 с в течение 50-60 с после внутривенной инъекции.

Этот метод обладает высоким разрешением, даёт количественные оценки тканевой перфузии и признан одним из самых перспективных в настоящее время.

Перфузионная МРТ. В МРТ существуют методы исследования гемодинамических перфузионных процессов с помощью экзогенных и эндогенных маркёров (с использованием контрастных веществ, получение изображений, зависящих от уровня оксигенации крови, и др.).

Перфузионной МРТ в настоящее время называют методы оценки перфузии при прохождении болюса контрастного вещества. Эти методы исследования мозговой перфузии наиболее широко сейчас применяют в МР-диагностике, особенно в сочетании с диффузионными исследованиями, МР-ангиографией и МР-спектроскопией. По мере прохождения болюса контрастного вещества по сосудистой системе многократно регистрируют изображение одного и того же среза (обычно это 10 разных уровней или срезов). Само сканирование занимает 1-2 мин. График снижения интенсивности МР-сигнала при прохождении болюса контрастного вещества даёт зависимость "интенсивность сигнала - время" в каждом пикселе среза. Форма этой кривой в артерии и вене определяет артериальную и венозную функции, с помощью которых рассчитывают гемодинамические тканевые параметры.

Клиническое применение перфузионных КТ и МРТ. В настоящее время перфузионные исследования проводятся, чтобы оценить гемодинамику опухолей головного мозга при дифференциальной диагностике поражений мозга, проводить мониторинг состояния опухоли после лучевой терапии и химиотерапии, диагностировать рецидив опухоли и/или лучевой некроз, ЧМТ, заболевания и повреждения ЦНС (ишемия/гипоксия, окклюзирующие заболевания магистральных артерий головы, заболевания крови, васкулиты, болезнь мойя-мойя и др.).

К перспективным направлениям относят использование перфузионных методов при эпилепсии, мигрени, вазоспазме, различных психических заболеваниях.

КТ- и МР-перфузионные карты позволяют количественно характеризовать зоны гипер- и гипоперфузии, что особенно важно для диагностики опухолевых и цереброваскулярных заболеваний.

На первом месте по частоте использования перфузионных методов стоят ишемические поражения мозга. В настоящее время перфузионно-взвешенные изображения - неотъемлемая часть диагностического протокола у больного с подозрением на церебральную ишемию. Впервые клинически метод применили у человека именно для диагностики инсульта. На современном этапе перфузионная КТ/МРТ - пожалуй, единственный метод ранней верификации ишемии мозга, способный уловить снижение кровотока в зоне поражения уже в первые минуты после появления неврологических симптомов (рис. 3-15).

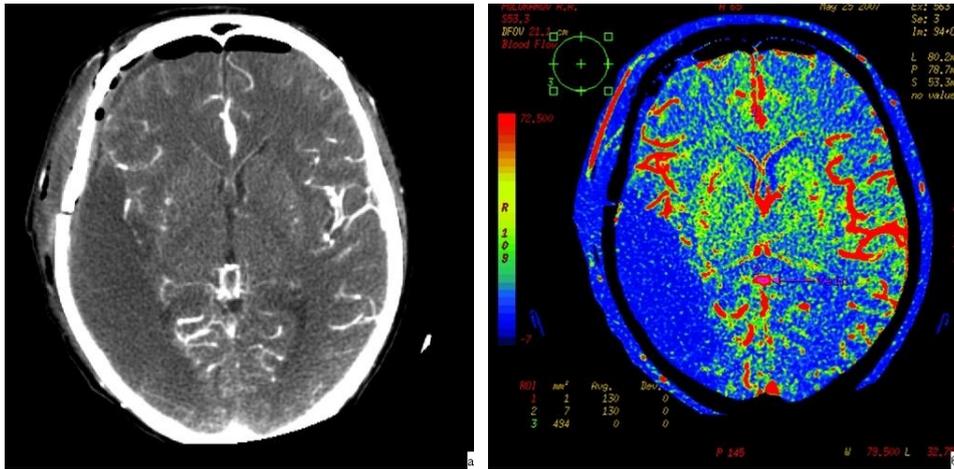


Рис. 3-15. Острая ишемия в бассейне средней мозговой артерии слева (как осложнение после клипирования мешотчатой аневризмы бифуркации правой средней мозговой артерии). а - аксиальный срез из набора данных КТ-перфузии; б - карта мозгового кровотока. Продемонстрирован обширный участок отсутствия кровотока в конвекситальных отделах правой височно-теменной области.

В нейрохирургии перфузионно-взвешенные изображения в основном используют для того, чтобы провести первичную дифференциальную диагностику степени злокачественности внутримозговых новообразований головного мозга, в частности глиом. Следует помнить, что перфузионная МРТ и КТ не позволяют дифференцировать опухоли по их гистологической принадлежности, а тем более оценивать распространённость опухоли в мозговом веществе. Наличие очагов гиперперфузии в структуре астроцитомы предполагает повышение степени злокачественности поражения. Это основано на том, что при новообразованиях тканевая перфузия характеризует развитие аномальной сосудистой сети (ангионеогенез) в опухоли и её жизнеспособность. Наличие аномальной сосудистой сети в опухоли может свидетельствовать об агрессивности последней. И наоборот, снижение перфузии в опухолевой ткани под действием радио- или химиотерапии может указывать на то, что достигнут лечебный эффект. Использование перфузионно-взвешенных изображений для выбора цели при стереотаксической пункции оказало большую помощь, особенно в группе глиом, характеризующихся полным отсутствием контрастного усиления при стандартных КТ и МРТ.

При оценке гистологического типа новообразования и распространённости немозговых объёмных поражений в полости черепа возможности перфузионно-взвешенных изображений выше, чем при внутримозговых опухолях. С помощью перфузионно-взвешенных изображений успешно дифференцируют менингиомы и невриномы мостомозжечкового угла по характерно высоким показателям гемодинамики у первого типа. Существует чёткая корреляция между локальным кровотоком и данными прямой церебральной ангиографии в группе больных с менингиомами (рис. 3-16). Опухоли, характеризующиеся наличием плотной

рентгеноконтрастной тени в ранней капиллярной фазе ангиографии, имеют исключительно высокие показатели перфузии и отличаются высоким риском интраоперационного кровотечения в момент удаления. Весьма специфичны полученные при КТ перфузионно-взвешенные изображения в демонстрации кровоснабжения гемангиобластом задней черепной ямки - раннее и выраженное контрастирование в сочетании с высокой перфузией.

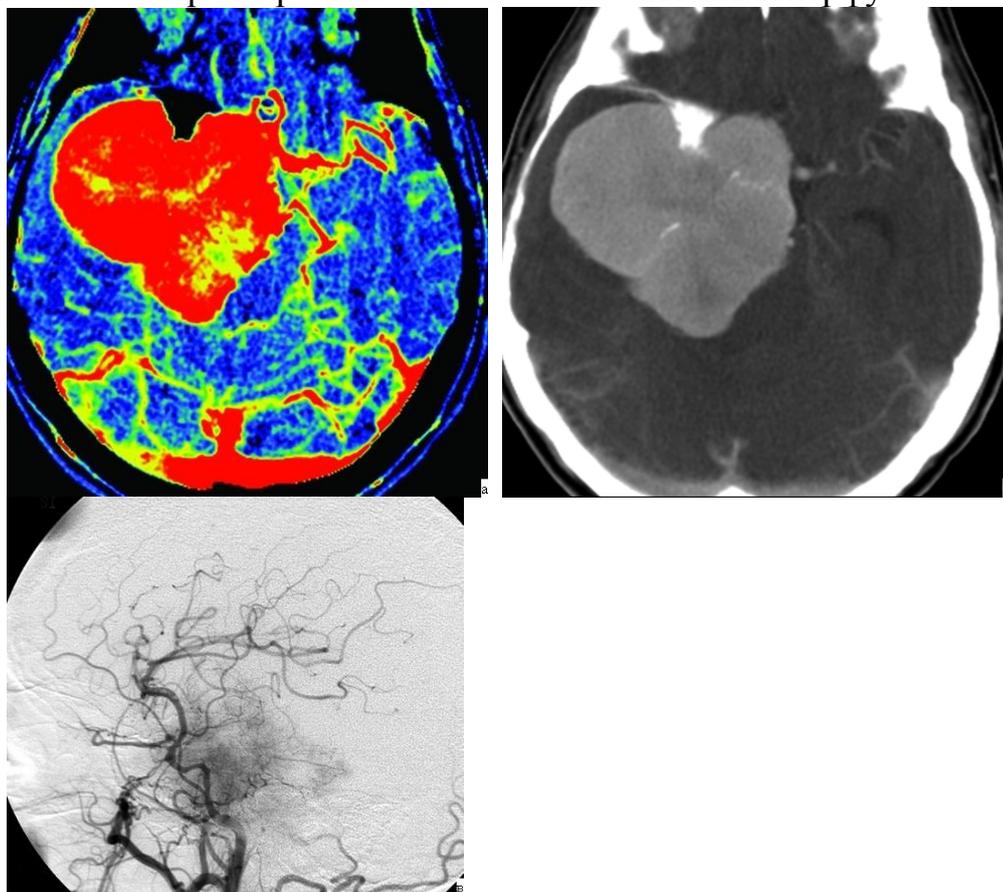


Рис. 3-16. Перфузионная КТ. Карта кровотока у больного с большой менингиомой средней черепной ямки .а - объём мозгового кровотока; б - КТ с контрастным усилением; в - церебральная ангиография (боковая проекция). Определено выраженное повышение объёма мозгового кровотока в опухолевой ткани в соответствии с обильным кровоснабжением опухоли на ангиографии.

Функциональная магнитно-резонансная томография

Функциональная МРТ основана на усилении кровотока в мозге в ответ на увеличение нейрональной активности коры при действии соответствующего раздражителя. Картирование активности мозга позволяет выявить области нейрональной активации, возникающие в ответ на стимуляцию (моторные, сенсорные и другие раздражители).

Использование импульсной эхопланарной последовательности на основе градиентного эха позволяет зарегистрировать МР-сигнал высокой интенсивности от активных участков коры мозга, причём время регистрации одного МР-изображения составляет около 100 мс. При функциональной МРТ сопоставляют интенсивность сигналов, зарегистрированных при

физиологической нагрузке (активация) и в её отсутствие (контроль). Участки статистически значимого повышения МР-сигнала, выявленные при последующей математической обработке изображений, соответствуют зонам нейрональной активности мозга. Их выделяют цветом, строят карты нейрональной активности и накладывают их на T1-МРТ или на трёхмерную модель поверхности мозга.

Клиническое применение функциональной МРТ. Картирование зон нейрональной активности мозга позволяет спланировать хирургический подход и исследовать патофизиологические процессы головного мозга. Метод применяют в нейропсихологии при изучении когнитивных функций головного мозга. Он перспективен для выявления очагов эпилепсии.

Использование функциональной МРТ стало в настоящее время неотъемлемой частью МРТ-протокола у больных с опухолями головного мозга, расположенными около функционально значимых зон коры головного мозга (рис. 3-17). В большинстве случаев полученные результаты адекватно отображают расположение сенсомоторной, речевой и слуховой зоны коры мозга. Перспективны в рамках одного МР-исследования у больных с опухолью мозга функциональная МРТ (пока её осуществляют только для соматосенсорной и зрительной коры), трактография с построением карт функционально значимой зоны коры, пирамидного или зрительного тракта и наложением их на трёхмерное изображение мозга. На основе совмещения полученных данных нейрохирурги планируют операционный подход и объём резекции новообразования, а радиологи рассчитывают области распределения дозы облучения опухоли.

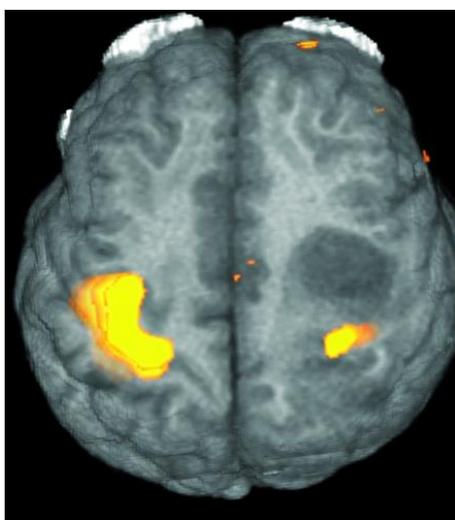


Рис. 3-17. Функциональная МРТ: карта нейрональной активности при активации моторных центров коры мозга у больного с внутримозговой опухолью левой парацентральной зоны.

Магнитно-резонансная спектроскопия

Магнитно-резонансная спектроскопия (МР-спектроскопия) позволяет неинвазивно получить информацию о метаболизме мозга. Протонная ^1H -МР-спектроскопия основана на "химическом сдвиге" - изменении резонансной

частоты протонов, входящих в состав различных химических соединений. Этот термин ввел N. Ramsey в 1951 г., чтобы обозначить различия между частотами отдельных спектральных пиков. Единица измерения "химического сдвига" - миллионная доля (ppm). Приводим основные метаболиты и соответствующие им значения химического сдвига, пики которых определяются *in vivo* в протонном МР-спектре:

- NAA - N-ацетиласпартат (2,0 ppm);
- Cho - холин (3,2 ppm);
- Cr - креатин (3,03 и 3,94 ppm);
- mI - миоинозитол (3,56 ppm);
- Glx - глутамат и глутамин (2,1-2,5 ppm);
- Lac - лактат (1,32 ppm);
- Lip - липидный комплекс (0,8-1,2 ppm).

В настоящее время в протонной МР-спектроскопии используют два основных метода - одновоксельную и мультिवоксельную (Chemical shift imaging) МР-спектроскопию - одновременное определение спектров от нескольких участков головного мозга. В практику сейчас стала также входить мультядерная МР-спектроскопия на основе МР-сигнала ядер фосфора, углерода и некоторых других соединений [Ринк П., 2003].

При одновоксельной ^1H -МР-спектроскопии для анализа выбирают только один участок (воксел) мозга. Анализируя состав частот в регистрируемом от этого вокселя сигнале, получают распределение пиков метаболитов по шкале химического сдвига (ppm) (рис. 3-18). Соотношение между пиками метаболитов в спектре, уменьшение или увеличение высоты отдельных пиков спектра позволяют неинвазивно оценивать биохимические процессы, происходящие в тканях.

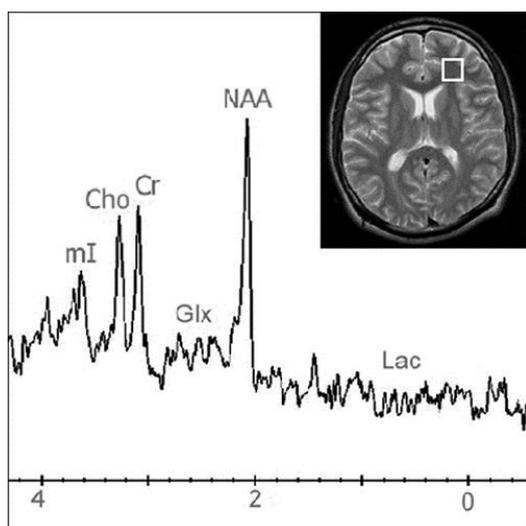


Рис. 3-18. Одновоксельная протонная МР-спектроскопия вещества мозга в норме. Пики основных метаболитов обозначены на рисунке.

При мультिवоксельной МР-спектроскопии получают МР-спектры для нескольких вокселей сразу, и можно сравнить спектры отдельных участков в зоне исследования (рис. 3-19, а). Обработка данных мультिवоксельной МР-

спектроскопии даёт возможность построить параметрическую карту среза, на которой концентрация определённого метаболита отмечена цветом, и визуализировать распределение метаболитов в срезе, т.е. получить изображение, взвешенное по химическому сдвигу (рис. 3-19, б).

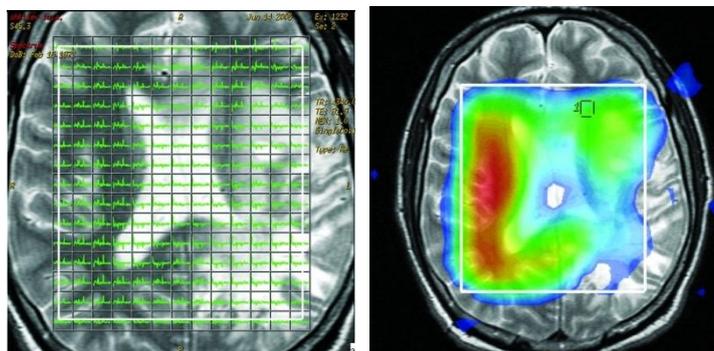


Рис. 3-19. Мультивоксельная протонная МР-спектроскопия вещества мозга у больного с лимфангитом ЦНС .а - отображение спектров в каждом вокселе ; б - цветное изображение, взвешенное по химическому сдвигу.

Клиническое применение МР-спектроскопии. МР-спектроскопию в настоящее время довольно широко используют для оценки различных объёмных образований головного мозга. Данные МР-спектроскопии не позволяют с уверенностью предсказать гистологический тип новообразования, тем не менее большинство исследователей сходятся во мнении, что опухолевые процессы в целом характеризуются низким соотношением NAA/Cr, увеличением соотношения Cho/Cr и, в некоторых случаях, появлением пика лактата. В большинстве МР-исследований протонную спектроскопию применяли в дифференциальной диагностике астроцитом, эпендимом и примитивных нейроэпителиальных опухолей, предположительно определяя тип опухолевой ткани.

В клинической практике важно использовать МР-спектроскопию в послеоперационном периоде для диагностики продолженного роста новообразования, рецидива опухоли либо лучевого некроза. В сложных случаях ^1H -МР-спектроскопия становится полезным дополнительным методом в дифференциальной диагностике наряду с получением перфузионно-взвешенных изображений. В спектре лучевого некроза характерный признак - наличие так называемого мёртвого пика, широкого лактат-липидного комплекса в диапазоне 0,5-1,8 ppm на фоне полной редукции пиков остальных метаболитов.

Следующий аспект использования МР-спектроскопии - разграничение впервые выявленных первичных и вторичных поражений, дифференцировка их с инфекционными и демиелинизирующими процессами. Наиболее показательны результаты диагностики абсцессов головного мозга на основе применения диффузионно-взвешенных изображений. В спектре абсцесса на фоне отсутствия пиков основных метаболитов отмечено появление пика липид-лактатного комплекса и пиков, специфичных для содержимого

абсцесса, таких как ацетат и сукцинат (продукты анаэробного гликолиза бактерий), аминокислоты валин и лейцин (результат протеолиза).

В литературе также очень широко исследуют информативность МР-спектро-скопии при эпилепсии, при оценке метаболических нарушений и дегенеративных поражений белого вещества головного мозга у детей, при ЧМТ, ишемии мозга и других заболеваниях.

В основе метода транскраниальной магнитной стимуляции (ТКМС) лежит стимуляция нервной ткани с использованием переменного магнитного поля. ТКМС позволяет оценить состояние проводящих двигательных систем головного мозга, кортикоспинальных двигательных путей и проксимальных сегментов нервов, возбудимость соответствующих нервных структур по величине порога магнитного стимула, необходимого для получения сокращения мышц. Метод включает в себя анализ двигательного ответа и определение разницы времени проведения между стимулируемыми участками: от коры до поясничных или шейных корешков (время центрального проведения).

ПОКАЗАНИЯ

Магнитная стимуляция периферических нервов и головного мозга позволяет в клинических условиях проследить состояние моторной системы мозга и количественно оценить степень вовлечения в патологический процесс кортикоспинальных двигательных путей и различных участков периферических моторных аксонов, включая моторные корешки спинного мозга.

Характер нарушения процессов проведения возбуждения по центральным структурам головного и спинного мозга неспецифичен. Схожие изменения наблюдают при различных формах патологии. Эти нарушения включают в себя увеличение латентного времени вызванного потенциала, снижение амплитуды или отсутствие ответа на стимуляцию моторной зоны коры головного мозга, его дисперсию, а также их различные комбинации.

Удлинение времени центрального проведения наблюдают при демиелинизации, дегенерации кортикоспинального пути вследствие патологии мотонейронов или наследственного заболевания, при цереброваскулярных расстройствах, глиоме больших полушарий и дискогенной компрессии спинного мозга.

Таким образом, показанием к проведению ТКМС считают пирамидный синдром любой этиологии. Наиболее часто в клинической практике ТКМС используют при различных демиелинизирующих поражениях ЦНС (особенно рассеянном склерозе), наследственных дегенеративных заболеваниях, сосудистых заболеваниях, опухолях спинного и головного мозга.

ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ

ТКМС противопоказана при наличии кардиостимулятора, при подозрении на аневризму сосудов головного мозга, при беременности. С осторожностью следует применять метод у больных эпилепсией, так как он может спровоцировать возникновение приступа.

МЕТОДИКА

Пациент находится в положении сидя. Вызванные двигательные потенциалы при магнитной стимуляции отводят с помощью поверхностных электродов, накладываемых на область двигательной точки мышц верхних и нижних конечностей стандартным способом, аналогично общепринятой процедуре отведения М-ответа при стимуляционной ЭМГ. В качестве стимулирующего электрода используются магнитные койлы двух основных конфигураций: кольцевые, имеющие различный диаметр, и в виде цифры 8, которые также называют "койлами в форме бабочки". Магнитная стимуляция является относительно безболезненной процедурой, так как магнитный стимул не превышает болевой порог.

Потенциалы, регистрируемые во время стимуляции коры головного мозга, варьируют по латентности, амплитуде и форме регистрируемой кривой. При исследовании здоровых людей изменения вызванных двигательных потенциалов при магнитной стимуляции наблюдают в ответ на меняющиеся параметры стимуляции (напряжённость магнитного поля, положение койла) и в зависимости от состояния исследуемых мышц (расслабление, сокращение и незначительная произвольная двигательная активность).

ТКМС позволяет получить двигательный ответ практически любой мышцы человека. Вычитая латентное время формирования двигательного ответа при стимуляции коркового представительства мышцы и места выхода соответствующего корешка в области шейного или поясничного сегментов спинного мозга, можно определить время прохождения импульса от коры до поясничных или шейных корешков (то есть время центрального проведения). Методика позволяет также определить возбудимость соответствующих нервных структур по величине порога магнитного стимула, необходимого для получения сокращения мышц. Регистрацию вызванного двигательного ответа проводят несколько раз, причём выбирают ответы максимальной амплитуды, правильной формы и минимальной латентности.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

При проведении ТКМС анализируют следующие параметры.

- Латентность вызванного двигательного ответа.
- Латентность F-волны (при вычислении корешковой задержки).
- Амплитуда вызванного двигательного ответа.
- Время центрального проведения.
- Корешковая задержка.
- Порог вызывания двигательного ответа.
- Чувствительность исследуемых структур к магнитному стимулу.

Наиболее выраженное удлинение времени центрального проведения отмечают при рассеянном склерозе. При наличии мышечной слабости изменения параметров вызванного двигательного потенциала и повышение

порога вызывания двигательного ответа обнаруживают у всех больных с рассеянным склерозом.

У больных с БАС также выявляют существенные изменения функционального состояния моторной системы, в большинстве случаев снижается чувствительность к магнитному стимулу, повышается порог вызывания моторного ответа, увеличивается время центрального проведения (но в меньшей степени, чем при рассеянном склерозе).

При миелопатии у всех больных отмечают увеличение порогов транскраниальной стимуляции. Отмеченные нарушения особенно выражены при наличии грубого спастического компонента. У пациентов со спинномозжечковой дегенерацией, клинически проявляющейся атаксией и спастичностью наблюдают снижение чувствительности корковых структур к магнитному стимулу. Ответ в покое часто не вызывается даже при максимальном стимуле.

При обследовании пациентов с сосудистыми заболеваниями головного мозга наблюдают весь спектр изменений времени центрального проведения - от нормы до задержки ответа в пределах 20 мс и полного отсутствия потенциала. Отсутствие ответа или снижение его амплитуды является прогностически неблагоприятным фактором, в то время как регистрируемый, хоть и с задержкой, ответ в раннем периоде после перенесённого инсульта указывает на возможность восстановления функции.

ТКМС успешно используют в диагностике компрессии корешков спинномозговых нервов. При этом выявляют асимметрию времени центрального проведения более 1 мс. Ещё более информативным в диагностике радикулопатий является метод "корешковой задержки".

Эхоэнцефалоскопия (ЭхоЭС, синоним - М-метод) - метод выявления внутричерепной патологии, основанной на эхолокации так называемых сагиттальных структур мозга, в норме занимающих срединное положение по отношению к височным костям черепа. Когда производят графическую регистрацию отражённых сигналов, исследование называют эхоэнцефалографией.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИИ

Метод ЭхоЭС был внедрён в клиническую практику в 1956 г. благодаря новаторским исследованиям шведского нейрохирурга Л. Лекселла, который использовал модифицированный аппарат для промышленной дефектоскопии, известной в технике как метод "неразрушающего контроля" и основанной на способности ультразвука отражаться от границ сред, имеющих разное акустическое сопротивление. От ультразвукового датчика в импульсном режиме эхосигнал через кость проникает в головной мозг. При этом регистрируют три наиболее типичных и повторяющихся отражённых сигнала. Первый сигнал - от костной пластинки черепа, на которой установлен УЗ-датчик, так называемый начальный комплекс (НК). Второй сигнал формируется за счет отражения УЗ-луча от срединных структур мозга. К ним относят межполушарную щель, прозрачную перегородку, III

желудочек и эпифиз. Общепринятым является обозначение всех перечисленных образований как срединного (middle) эха (М-эхо). Третий регистрируемый сигнал обусловлен отражением ультразвука от внутренней поверхности височной кости, противоположной расположению излучателя, - конечный комплекс (КК). Помимо этих наиболее мощных, постоянных и типичных для здорового мозга сигналов в большинстве случаев можно зарегистрировать небольшой амплитуды сигналы, расположенные по обе стороны от М-эхо. Они обусловлены отражением ультразвука от височных рогов боковых желудочков мозга и называются латеральными сигналами. В норме латеральные сигналы обладают меньшей мощностью по сравнению с М-эхом и располагаются симметрично по отношению к срединным структурам.

И.А. Скорунский (1969), в условиях эксперимента и клиники тщательно изучивший эхоэнцефалотографию, предложил условное разделение сигналов от срединных структур на передние (от прозрачной перегородки) и среднезадние (III желудочек и эпифиз) (рис. 10-1) отделы М-эхо. В настоящее время в России общепринята следующая символика описания эхограмм: НК - начальный комплекс;

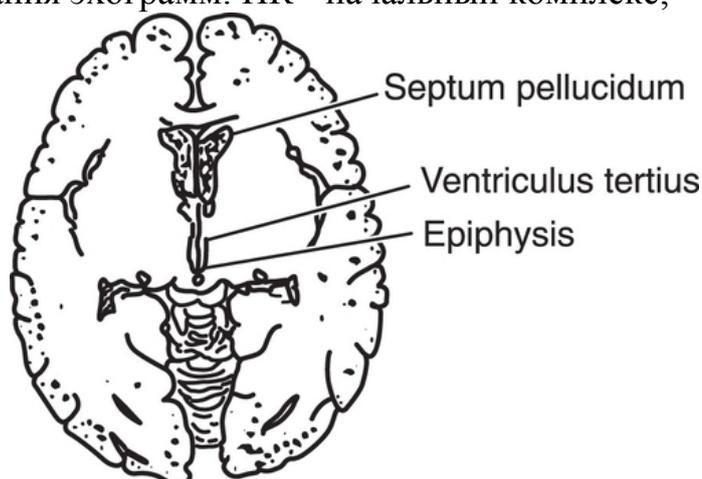


Рис. 10-1. Схема основных структур, формирующих М-эхо: передний отдел - прозрачная перегородка; средний и задний отделы - III желудочек и эпифиз.

М - М-эхо; Sp D - положение прозрачной перегородки справа; Sp S - положение прозрачной перегородки слева; MD - дистанция до М-эхо справа; MS - дистанция до М-эхо слева; КК - конечный комплекс; Dbt (tr) - межвисочный диаметр в трансмиссионном режиме; Р - амплитуда пульсации М-эхо в процентах.

Основные параметры эхоэнцефалоскопов (эхоэнцефалографов) следующие.

- Глубина зондирования - наибольшее расстояние в тканях, на котором ещё возможно получение информации. Данный показатель определяется величиной поглощения ультразвуковых колебаний в исследуемых тканях, их частотой, размером излучателя, уровнем усиления принимающей части аппарата. В отечественных приборах применяют датчики диаметром 20 мм с

частотой излучения 0,88 МГц. Указанные параметры позволяют получить глубину зондирования протяженностью до 220 мм. Поскольку в среднем межвисочный размер черепа взрослого человека, как правило, не превышает 15-16 см, глубина зондирования до 220 мм представляется абсолютно достаточной.

- Разрешающая способность прибора - минимальное расстояние между двумя объектами, при котором отражённые от них сигналы могут ещё быть восприняты как два отдельных импульса. Оптимальная частота следования импульсов (при частоте ультразвука 0,5-5 МГц) установлена эмпирически и составляет 200-250 в секунду. При этих условиях локации достигаются хорошее качество регистрации сигнала и высокая разрешающая способность.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПОКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ

Основная цель ЭхоЭС - экспресс-диагностика объёмных полушарных процессов. Метод позволяет получить косвенные диагностические признаки наличия/отсутствия одностороннего объёмного супратенториального полушарного процесса, оценить приблизительный размер и локализацию объёмного образования в пределах поражённого полушария, а также состояние желудочковой системы и циркуляции ликвора.

Точность перечисленных диагностических критериев составляет 90-96%.

В некоторых наблюдениях помимо косвенных критериев удаётся получить прямые признаки полушарных патологических процессов, то есть сигналы, непосредственно отражённые от опухоли, внутримозгового кровоизлияния, травматической оболочечной гематомы, небольшой аневризмы или кисты. Вероятность их выявления весьма незначительна - 6-10%. ЭхоЭС наиболее информативна при латерализованных объёмных супратенториальных поражениях (первичные или метастатические опухоли, внутримозговое кровоизлияние, оболочечная травматическая гематома, абсцесс, туберкулома). Возникающее при этом смещение М-эхо позволяет определить наличие, сторонность, приблизительную локализацию и объём, а в некоторых случаях и наиболее вероятный характер патологического образования.

ЭхоЭС абсолютно безопасна как для пациента, так и для оператора. Допустимая мощность ультразвуковых колебаний, находящаяся на грани повреждающего действия на биологические ткани, составляет 13,25 Вт/см², а интенсивность ультразвукового излучения при ЭхоЭС не превышает сотых долей ватт на 1 см². Противопоказания к проведению ЭхоЭС фактически отсутствуют; описано успешное проведение исследования непосредственно на месте ДТП даже при открытой ЧМТ, когда положение М-эхо удавалось определить со стороны "непоражённого" полушария через неповреждённые кости черепа.

МЕТОДИКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

ЭхоЭС можно проводить практически в любых условиях: в стационаре, поликлинике, в машине "скорой помощи", у постели больного, на местности (при наличии автономного блока питания). Какой-либо специальной подготовки больного не требуется. Немаловажным методическим аспектом, особенно для начинающих исследователей, нужно считать оптимальную позицию больного и врача. В подавляющем большинстве случаев исследование удобнее проводить в положении пациента лёжа на спине, желательно без подушки; врач на подвижном кресле находится слева и чуть сзади от головы пациента, прямо перед ним располагаются экран и панель прибора. Правой рукой врач свободно и в то же время с некоторой опорой на теменно-височную область пациента производит эхолокацию, при необходимости поворачивая голову пациента влево или вправо, при этом свободной левой рукой осуществляет необходимые перемещения измерителя эходистанции.

После смазывания лобно-височных отделов головы контактным гелем производят эхолокацию в импульсном режиме (серия волн длительностью 5×10^{-6} с, по 5-20 волн в каждом импульсе). Стандартный датчик диаметром 20 мм с частотой 0,88 МГц вначале устанавливают в латеральной части надбровья или на лобном бугре, ориентируя его по направлению к сосцевидному отростку противоположной височной кости. При определённом опыте оператора рядом с НК примерно в 50-60% наблюдений удаётся зафиксировать сигнал, отражённый от прозрачной перегородки. Вспомогательным ориентиром при этом является значительно более мощный и постоянный сигнал от височного рога бокового желудочка, определяемый обычно на 3-5 мм дальше сигнала от прозрачной перегородки. После определения сигнала от прозрачной перегородки датчик постепенно перемещают от границы волосистой части по направлению к "ушной вертикали". При этом производят локацию среднезадних отделов М-эхо, отражённых III желудочком и эпифизом. Это часть исследования значительно проще. Легче всего обнаружить М-эхо при расположении датчика на 3-4 см кверху и на 1-2 см кпереди от наружного слухового прохода - в зоне проекции III желудочка и эпифиза на височные кости. Локация в этой области позволяет зарегистрировать максимальное по мощности срединное эхо, обладающее к тому же наиболее высокой амплитудой пульсации (рис. 10-2).

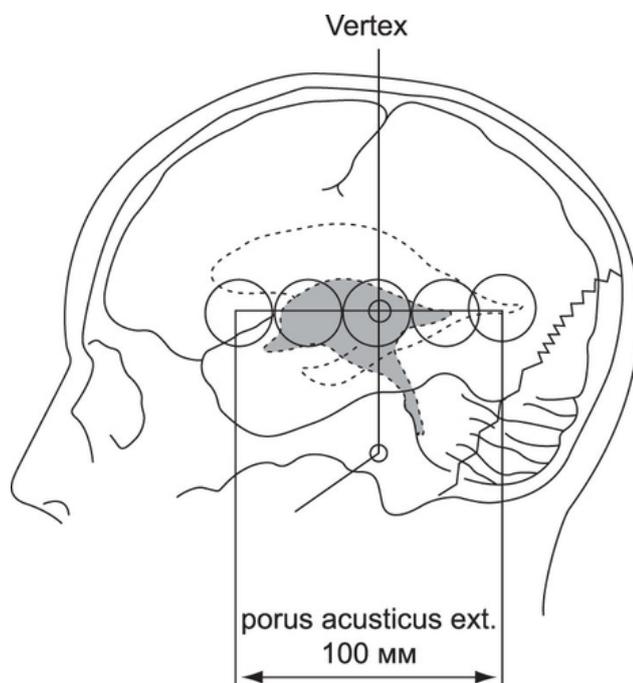


Рис. 10-2. Схема вариантов расположения датчиков при локации срединных структур - большая линейная протяжённость М-эхо (по И.А. Скорунскому , 1969).

Таким образом, основные признаки М-эхо включают доминантность, значительную линейную протяжённость и более выраженную по сравнению с латеральными сигналами пульсацию. Ещё одним признаком М-эхо служит увеличение дистанции М-эхо спереди назад на 2-4 мм (выявляют приблизительно у 88% пациентов). Это связано с тем, что у подавляющего большинства людей череп имеет овоидную форму, то есть диаметр полюсных долей (лоб и затылок) меньше, чем центральных (теменные и височные зоны). Следовательно, у здорового человека с межвисочным размером (или, иначе говоря, конечным комплексом) 14 см прозрачная перегородка слева и справа находится на расстоянии 6,6 см, а III желудочек и эпифиз - на дистанции в 7 см.

Основная цель ЭхоЭС заключается в максимально точном определении дистанции М-эхо. Идентификацию М-эхо и измерение дистанции до срединных структур следует проводить неоднократно и очень тщательно, особенно в трудных и сомнительных случаях. С другой стороны, в типичных ситуациях при отсутствии патологии картина М-эхо настолько проста и стереотипна, что её интерпретация не представляет никакой сложности. Для точного измерения дистанций необходимо чётко совместить основание переднего фронта М-эхо с меткой отсчёта при попеременной локации справа и слева. Следует помнить, что в норме существует несколько вариантов эхограмм (рис. 10-3).

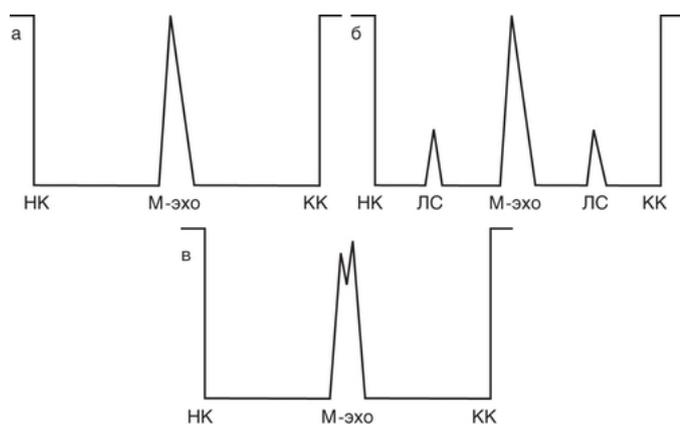


Рис. 10-3. Варианты эхограмм в норме (НК - начальный комплекс; КК - конечный комплекс): М-эхо в виде одного остроконечного вертикального пика (а); в виде одного остроконечного вертикального пика при наличии латеральных сигналов ЛС (б); с раздвоенной вершиной и умеренно расширенным основанием (в).

После выявления М-эхо измеряют его ширину, для чего метку подводят сначала к переднему, затем к заднему фронту. Следует отметить, что данные о взаимоотношении между межвисочным диаметром и шириной III желудочка, полученные Н. Ріа в 1968 г. при сопоставлении ЭхоЭС с результатами пневмоэнцефалографии и патоморфологических исследований, хорошо коррелируют с данными КТ (табл. 10-1, рис. 10-4).



Рис. 10-4. Практическая аналогия ширины III желудочка при ЭхоЭС и КТ .А - ширина III желудочка; Б - расстояние между внутренними пластинками костей черепа.

Таблица 10-1. Соотношение между шириной III желудочка и межвисочным размером

Ширина III желудочка, мм ("А" на рис. 10-4)	Межвисочный размер, см ("Б" на рис. 10-4)
3,0	12,3
4,0	13,0-13,9
4,6	14,0-14,9
5,3	15,0-15,9
6,0	16,0-16,4

Затем отмечают наличие, количество, симметрию и амплитуду латеральных сигналов. Амплитуду пульсации эхосигнала рассчитывают следующим образом. Получив на экране изображение интересующего сигнала, например, III желудочка, с помощью изменения силы прижатия и угла наклона находят такое расположение датчика на покровах головы, при котором амплитуда данного сигнала будет максимальной. Далее в соответствии со схемой, изображённой на рис. 10-5, пульсирующий комплекс мысленно разделяют на проценты таким образом, чтобы вершина пульса соответствовала 0%, а основание - 100%. Положение вершины импульса при его минимальном амплитудном значении будет показывать величину амплитуды пульсации сигнала, выраженную в процентах. Нормой считают амплитуду пульсации 10-30%. В некоторых отечественных эхоэнцефалографах предусмотрена функция, которая графически регистрирует амплитуду пульсации отражённых сигналов. Для этого при локализации III желудочка метку отсчёта точно подводят под передний фронт М-эхо, выделяя таким образом так называемый стробирующий импульс, после чего переводят прибор в режим записи пульсирующего комплекса.

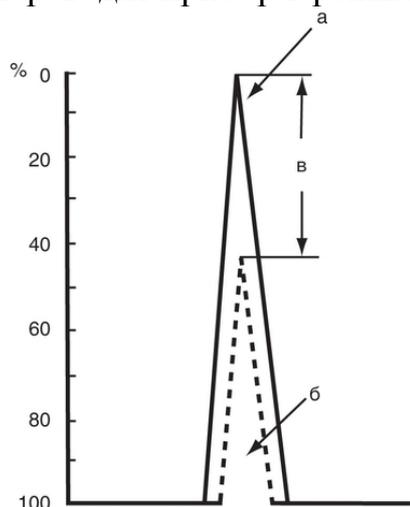


Рис. 10-5. Схематическое определение амплитуды пульсации М-эхо. Амплитудное значение отражённого сигнала в систолу (а) и в диастолу (б); амплитуда пульсации, % (в) (по И.А. Скорунскому, 1969).

Следует отметить, что регистрация эхопульсации мозга - уникальная, но явно недооцениваемая возможность ЭхоЭС. Известно, что в нерастяжимой полости черепа в период систолы и диастолы происходят последовательные объёмные колебания сред, связанные с ритмичным колебанием крови, находящейся интракраниально. Это приводит к изменению границ желудочковой системы мозга по отношению к фиксированному лучу преобразователя, что и регистрируется в форме эхопульсации. Ряд исследователей отметили влияние венозного компонента церебральной гемодинамики на эхопульсацию [Avant W., 1966; Ter Braak Y. et al., 1965]. В частности, указывалось, что ворсинчатое сплетение действует как помпа, отсасывающая ликвор из желудочков по направлению к спинномозговому каналу и создающая градиент давления на уровне внутричерепная система-спинномозговой канал. В 1981 г. было проведено экспериментальное исследование на собаках с моделированием нарастающего отёка мозга при непрерывном измерении артериального, венозного, ликворного давления, мониторинге эхопульсации и ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) магистральных сосудов головы [Карлов В.А., Стулин И.Д., 1981]. Результаты эксперимента убедительно продемонстрировало взаимозависимость между величиной внутричерепного давления, характером и амплитудой пульсации М-эхо, а также показателями экстра- и интрацеребральной артериальной и венозной циркуляции. При умеренном повышении давления ликвора III желудочек, в норме представляющий собой небольшую щелевидную полость с практически параллельными стенками, становится умеренно растянутым. Возможность получения отражённых сигналов с умеренным повышением амплитуды становится весьма вероятной, что и отражается на эхопульсограмме в виде увеличения пульсации до 50-70%. При ещё более значительном повышении внутричерепного давления часто регистрируют совершенно необычный характер эхопульсации, не синхронный с ритмом сердечных сокращений (как в норме), а "порхающий" (ундулирующий). При выраженном повышении внутричерепного давления венозные сплетения спадаются. Таким образом, при значительно затруднённом оттоке ликвора желудочки мозга чрезмерно расширяются и принимают округлую форму. Более того, в случаях асимметричной гидроцефалии, которую часто наблюдают при односторонних объёмных процессах в полушариях, сдавление гомолатерального межжелудочкового отверстия Монро дислоцированным боковым желудочком приводит к резкому усилению удара струи ликвора в противоположную стенку III желудочка, вызывая его дрожание. Таким образом, регистрируемый простым и доступным методом феномен порхающей пульсации М-эхо на фоне резкого расширения III и боковых желудочков в сочетании с внутричерепной венозной дисциркуляцией по данным УЗДГ и транскраниальной доплерографии (ТКДГ) - чрезвычайно характерный симптом окклюзионной гидроцефалии.

После окончания работы в импульсном режиме датчики переключают на трансмиссионное исследование, при котором один датчик испускает, а

другой принимает излучаемый сигнал после его прохождения через сагиттальные структуры. Это своеобразная проверка "теоретической" средней линии черепа, при которой отсутствие смещения срединных структур сигнал от "середины" черепа точно совпадёт с оставленной при последнем озвучивании переднего фронта М-эхо меткой измерения дистанции.

При смещении М-эхо его величину определяют следующим образом (рис. 10-6): из большей дистанции до М-эхо (а) вычитают меньшую (б) и полученную разницу делят пополам. Деление на 2 производят в связи с тем, что при измерении дистанции до срединных структур одно и то же смещение учитывается дважды: один раз прибавляясь к расстоянию до теоретической сагиттальной плоскости (со стороны большей дистанции) и другой раз вычитаясь из него (со стороны меньшей дистанции).

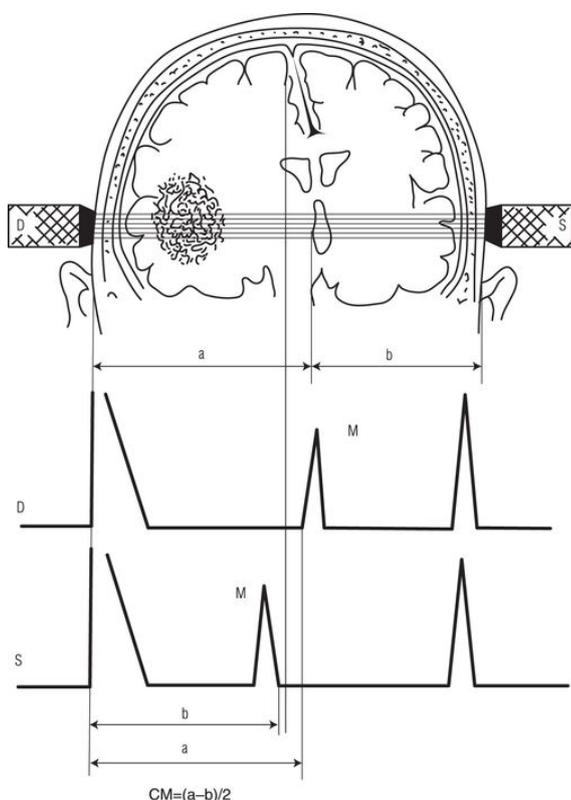


Рис. 10-6. Схема определения величины смещения М-эхо. Большая (а) и меньшая (b) дистанция до М-эхо. М - М-эхо; D - локация справа; S - локация слева (по И.А. Скорунскому , 1969).

Для верной трактовки данных ЭхоЭС кардинальное значение имеет вопрос о физиологически допустимых в норме пределах дислокации М-эхо. Большая заслуга в решении данной проблемы принадлежат Л.Р. Зенкову (1969), убедительно доказавшему, что допустимым следует считать отклонение М-эхо не более 0,57 мм. По его мнению, если смещение превышает 0,6 мм, вероятность объёмного процесса составляет 4%; сдвиг М-эхо на 1 мм повышает этот показатель до 73%, а сдвиг на 2 мм - до 99%. Хотя некоторые авторы считают такие корреляции несколько преувеличенными, и тем не менее из этого тщательно верифицированного ангиографией и

оперативными вмешательствами исследования очевидно, насколько рискуют ошибиться исследователи, которые полагают физиологически допустимыми величины смещения в 2-3 мм. Эти авторы значительно сужают диагностические возможности ЭхоЭС, искусственно исключая небольшие смещения, которые как раз и следовало бы выявлять, когда начинается поражение полушарий мозга.

ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИЯ ПРИ ОПУХОЛЯХ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ МОЗГА

Размер смещения при определении М-эхо в области над наружным слуховым проходом зависит от локализации опухоли по длиннику полушария. Наибольшую величину смещения регистрируют при височных (в среднем 11 мм) и теменных (7 мм) опухолях. Естественно, меньшие дислокации фиксируют при опухолях полюсных долей - затылочной (5 мм) и лобной (4 мм). При опухолях срединной локализации смещения может не быть или оно не превышает 2 мм. Чёткой зависимости между величиной смещения и характером опухоли нет, но в целом при доброкачественных опухолях смещение в среднем меньше (7 мм), чем при злокачественных (11 мм) [Скорунский И.А., 1969].

ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИЯ ПРИ ПОЛУШАРНОМ ИНСУЛЬТЕ

Цели проведения ЭхоЭС при полушарных инсультах следующие.

- Ориентировочно определить характер острого нарушения мозгового кровообращения.
- Оценить, насколько эффективно устранён отёк мозга.
- Спрогнозировать течение инсульта (в особенности кровоизлияния).
- Определить показания к нейрохирургическому вмешательству.
- Оценить эффективность хирургического лечения.

Первоначально существовало мнение о том, что полушарное кровоизлияние сопровождается смещением М-эхо в 93% случаев, тогда как при ишемическом инсульте частота дислокации не превышает 6%. В последующем тщательно верифицированные наблюдения показали, что такой подход неточен, так как полушарный инфаркт мозга вызывает смещение срединных структур значительно чаще - до 20% случаев. Причина столь значительных расхождений в оценке возможностей ЭхоЭС заключалась в допущенных рядом исследователей методических ошибках. Во-первых, это недоучёт взаимосвязи между темпом возникновения, характером клинической картины и временем осуществления ЭхоЭС. Авторы, проводившие ЭхоЭС в первые часы острого нарушения мозгового кровообращения, но не осуществлявшие наблюдение в динамике, действительно отмечали смещение срединных структур у большинства больных с полушарными кровоизлияниями и отсутствие такового при инфаркте мозга. Однако при посуточном мониторинге установлено, что если для внутримозгового кровоизлияния характерно возникновение дислокации

(в среднем на 5 мм) тотчас после развития инсульта, то при инфаркте мозга смещение М-эхо (в среднем на 1,5-2,5 мм) возникает у 20% больных через 24-42 ч. Кроме того, некоторые авторы считали диагностически значимым смещение больше 3 мм. Понятно, что при этом искусственно занижались диагностические возможности ЭхоЭС, так как именно при ишемических инсультах дислокация часто не превышает 2-3 мм. Таким образом, в диагностике полушарного инсульта критерий наличия или отсутствия смещения М-эхо нельзя считать абсолютно надёжным, тем не менее в целом можно считать, что полушарные кровоизлияния обычно вызывают смещение М-эхо (в среднем на 5 мм), в то время как инфаркт мозга либо не сопровождается дислокацией, либо она не превышает 2,5 мм. Было установлено, что наиболее выраженные дислокации срединных структур при инфаркте мозга наблюдают в случае продолженного тромбоза внутренней сонной артерии с разобщением виллизиева круга.

Что касается прогнозирования течения внутримозговых гематом, то нами выявлена выраженная корреляция между локализацией, величиной, темпом развития кровоизлияния и размером и динамикой смещения М-эхо. Так, при дислокации М-эхо менее 4 мм заболевание при отсутствии осложнений чаще всего заканчивается благополучно в отношении как жизни, так и восстановления утраченных функций. Напротив, при смещении срединных структур на 5-6 мм летальность возрастала на 45-50% либо оставалась грубая очаговая симптоматика. Прогноз становился практически абсолютно неблагоприятным при сдвиге М-эхо более 7 мм (летальность 98%). Важно отметить, что современные сопоставления данных КТ и ЭхоЭС касательно прогноза геморрагий подтвердили эти давно полученные данные. Таким образом, повторное проведение ЭхоЭС у больного с острым нарушением мозгового кровообращения, особенно в сочетании с УЗДГ/ТКДГ, имеет огромное значение для неинвазивной оценки динамики нарушений гемо- и ликвороциркуляции. В частности, некоторые исследования по клинико-инструментальному мониторингу инсульта показали, что и для больных с тяжёлой ЧМТ, и для пациентов с прогрессивным течением острого нарушения мозгового кровообращения характерны так называемые иктусы - внезапные повторные ишемические-ликвородинамические кризы. Они особенно часто возникают в предутренние часы, и в ряде наблюдений увеличение отёка (смещение М-эхо) наряду с появлением "порхающих" эхопульсаций III желудочка предшествовали клинической картине прорыва крови в желудочковую систему мозга при явлениях резкой венозной дисциркуляции, а иногда и элементов реверберации в интракраниальных сосудах. Следовательно, этот необременительный и доступный комплексный ультразвуковой контроль за состоянием пациента может стать веским основанием для повторной КТ/МРТ и консультации ангионейрохирурга с целью определить целесообразность декомпрессионной краниотомии.

ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИЯ ПРИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ ТРАВМАХ

Катастрофическое состояние проблемы травматизма в России общеизвестно. ДТП в настоящее время выделены как один из основных источников гибели населения (в первую очередь от ЧМТ). Ещё более прискорбным представляется факт, доложенный на последнем конгрессе нейрохирургов России: по данным прокуратуры Санкт-Петербурга, в 25% случаев аутопсий находят нераспознанные при жизни травматические оболочечные гематомы. 20-летний опыт обследования более 1500 больных с тяжёлыми ЧМТ с помощью ЭхоЭС и УЗДГ (результаты которых были сопоставлены с данными КТ/МРТ, оперативного вмешательства и и/или аутопсии) свидетельствует о высокой информативности этих методов в распознавании осложнённых ЧМТ. Была описана триада ультразвуковых феноменов травматической субдуральной гематомы (рис. 10-7):

- смещение М-эхо на 3-11 мм контралатерально гематоме;
- наличие перед конечным комплексом сигнала, напрямую отражённого от оболочечной гематомы при осмотре со стороны неповреждённого полушария;
- регистрация при УЗДГ мощного ретроградного потока от глазничной вены на стороне поражения.

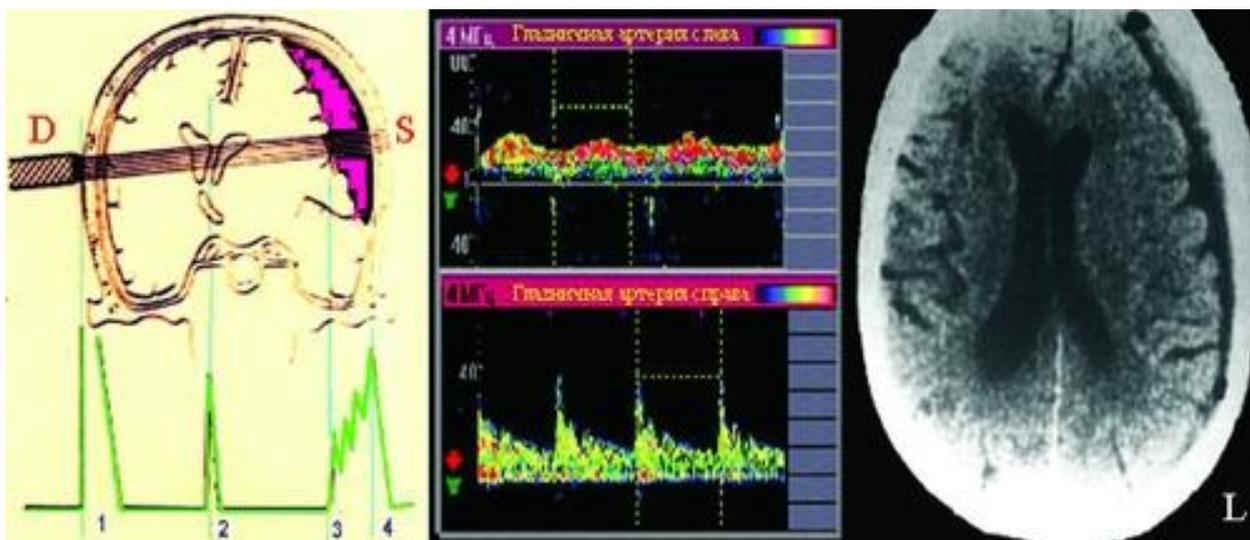


Рис. 10-7. Результаты ультразвукового исследования и КТ у пациента с травматической субдуральной гематомой теменно-височной области .а - эхоэнцефалограмма : D - правое полушарие, S - левое полушарие, 1 - начальный комплекс, 2 - М-эхо, 3 - сигнал от оболочечной гематомы, 4 - конечный комплекс; б - ультразвуковая периорбитальная доплерограмма : верхняя спектрограмма - чёткий ретроградный поток по левой глазничной вене, нижняя спектрограмма - артериальный поток по правой глазничной артерии; в - субдуральная гематома в левой теменно-височной области на КТ.

Регистрация указанных ультразвуковых феноменов позволяет в 96% случаев установить наличие, сторонность и приблизительные размеры

подоболочечного скопления крови. Поэтому некоторые авторы считают обязательным проведение ЭхоЭС всем пациентам, перенёвшим даже лёгкую ЧМТ, поскольку никогда не может быть полной уверенности в отсутствии субклинической травматической оболочечной гематомы. В подавляющем большинстве случаев неосложнённых ЧМТ эта простая процедура выявляет либо абсолютно нормальную картину, либо незначительные косвенные признаки повышения внутричерепного давления (усиление амплитуды пульсации М-эхо в отсутствие его смещения). При этом одновременно решается важный вопрос о целесообразности проведения дорогостоящих КТ/МРТ.

Таким образом, именно в диагностике осложнённых ЧМТ, когда нарастающие признаки сдавления мозга порой не оставляют времени или возможности для проведения КТ, а трепанационная декомпрессия может спасти больного, ЭхоЭС по существу является методом выбора. Именно подобное применение одномерного ультразвукового исследования мозга снискало такую славу Л. Лекселлу, исследования которого были названы современниками "революцией в диагностике внутричерепных поражений". Наш личный опыт применения ЭхоЭС в условиях нейрохирургического отделения больницы скорой помощи (до внедрения в клиническую практику КТ) подтвердил высокую информативность ультразвуковой локализации при данной патологии. Точность ЭхоЭС (при сопоставлении с клинической картиной и данными рутинной рентгенографии) в распознавании оболочечных гематом превышала 92%. Более того, в некоторых наблюдениях возникали расхождения результатов клинического и инструментального определения локализации травматической оболочечной гематомы. При наличии чёткой дислокации М-эхо в сторону непоражённого полушария очаговая неврологическая симптоматика определялась не контра-, а гомолатерально выявленной гематоме. Это настолько противоречило классическим канонам топической диагностики, что специалисту по ЭхоЭС порой требовалось немало усилий, дабы предотвратить планировавшуюся нейрохирургами трепанацию черепа на стороне, противоположной пирамидному гемипарезу. Таким образом, помимо выявления гематомы ЭхоЭС позволяет чётко определить сторону поражения и тем самым избежать серьёзной ошибки в хирургическом лечении. Наличие пирамидной симптоматики на гомолатеральной гематоме стороне, вероятно, связано с тем, что при резко выраженных боковых смещениях мозга имеет место дислокация ножки мозга, которая придавливается к острому краю тенториальной вырезки.

ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИЯ ПРИ ГИДРОЦЕФАЛИИ

Синдром гидроцефалии может сопровождать внутричерепные процессы любой этиологии. Алгоритм выявления гидроцефалии с помощью ЭхоЭС основан на оценке взаиморасположения сигнала от М-эхо, измеренного трансмиссионным методом, с отражениями от латеральных

сигналов (среднеселлярный индекс). Величина данного индекса обратно пропорциональна степени расширения боковых желудочков и вычисляется по следующей формуле.

$$СИ = \frac{2ДТ}{ДV_2 - ДV_1}$$

где: СИ - среднеселлярный индекс; ДТ - дистанция до теоретической средней линии головы при трансмиссионном методе исследования; ДV₁ и ДV₂ - дистанции до боковых желудочков.

На основании сопоставления данных ЭхоЭС с результатами пневмоэнцефалографии Е. Kazner (1978) показал, что СИ у взрослых в норме составляет ≥ 4 , пограничными с нормой следует считать значения от 4,1 до 3,9; патологическими - менее 3,8. В последние годы показана высокая корреляция таких показателей с результатами КТ (рис. 10-8).

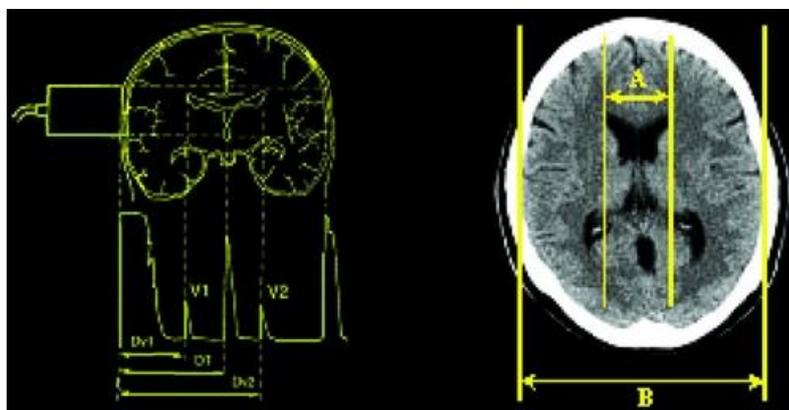


Рис. 10-8. Практическая аналогия вычисления среднеселлярного (ЭхоЭС) и вентрикулокраниального (КТ) индекса: V1, V2 - сигналы латеральных стенок ближнего и дальнего боковых желудочков; ДТ - трансмиссионный полудиаметр головы; Дv1, Дv2 - расстояние до латеральных стенок соответствующих желудочков; ВКИ=A/B, где А - расстояние между самыми латеральными участками передних рогов боковых желудочков, В - максимальное расстояние между внутренними пластинами костей черепа.

В заключение приводим типичные ультразвуковые признаки гипертензионно-гидроцефального синдрома:

- расширение и расщепление до основания сигнала от III желудочка;
- увеличение амплитуды и протяжённости латеральных сигналов;
- усиление и/или ундулирующий характер пульсации М-эхо;
- увеличение индекса циркуляторного сопротивления по УЗДГ и ТКД;
- регистрация венозной дисциркуляции по экстра- и интракраниальным сосудам (особенно по глазничным и яремным венам).

ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОШИБОК ПРИ ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИИ

По данным большинства авторов, обладающих значительным опытом использования ЭхоЭС в плановой и неотложной неврологии, точность исследования при определении наличия и сторонности объёмных супратенториальных поражений составляет 92-97%. Следует отметить, что даже среди самых искушённых исследователей частота ложноположительных или ложноотрицательных результатов наиболее высока при осмотре больных с острым поражением мозга (острое нарушение мозгового кровообращения, ЧМТ). Значительный, особенно асимметричный, отёк мозга приводит к наибольшим затруднениям при интерпретации эхограммы: из-за наличия множественных дополнительных отражённых сигналов с особенно резкой гипертрофией височных рогов трудно чётко определить передний фронт М-эхо.

В редких случаях двусторонних полушарных очагов (чаще всего метастазы опухолей) отсутствие смещения М-эхо (вследствие "уравновешенности" образований в обеих гемисферах) приводит к ложноотрицательному заключению об отсутствии объёмного процесса.

При субтенториальных опухолях с окклюзионной симметричной гидроцефалией может сложиться ситуация, когда одна из стенок III желудочка занимает оптимальное положение для отражения ультразвука, что и создаёт иллюзию смещения срединных структур. Верному распознаванию стволового поражения может помочь регистрация ундулирующей пульсации М-эхо.