

# В ПОМОЩЬ ПРАКТИЧЕСКОМУ ВРАЧУ

© Л. Е. КОЗЛОВСКАЯ, А. В. ВОЛОТОВСКАЯ, 2012  
УДК 616.74-009-073.7

## Электродиагностика. Учебно-методическое пособие для врачей (часть 1)

*Л. Е. Козловская, А. В. Волотовская*

Государственное учреждение образования Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск

### Введение

Заболевания и повреждения нервной системы и опорно-двигательного аппарата нередко проявляются двигательными расстройствами: нарушением активных и пассивных движений, тонуса и трофики мышц, рефлексов, координации двигательных актов, а также насильственными движениями. Характер двигательных нарушений зависит от уровня поражения, тяжесть – от степени повреждения нерва. Для оценки тяжести двигательных нарушений используют различные специальные приемы, наиболее важным из них является исследование электровозбудимости нервно-мышечного аппарата. Электродиагностика применяется для исследования периферических нервов и степени денервации мышц более 100 лет и, несмотря на появление такого информативного метода исследования, как миография, по-прежнему сохраняет свое значение.

Электродиагностика может помочь как в подборе оптимальных параметров стимулирующего тока, так и в установлении степени денервации или реиннервации мышцы. Она позволяет оценить сохранность ответа с нерва и мышцы на различные виды электрических токов, характер мышечных сокращений, степень тяжести поражения. С ее помощью можно судить о топике поражения, о прогнозе течения патологического процесса, а также об эффективности проводимой терапии. Для электродиагностики используют различные варианты исследования: классическую электродиагностику, определение кривой сила-длительность, определение лабильности нервно-мышечного аппарата, исследование миотонической и миастенической реакций. Результаты указанных исследований определяют тактику проведения комплексного лечения и нередко помогают неврологам в дифференциальной диагностике при установке диагноза. В настоящем кратком пособии обобщены данные литературы и собственные наблюдения по применению электродиагностических методов исследований при заболеваниях и травмах нервной системы и опорно-двигательного аппарата.

### Общие сведения об электродиагностических методах исследования

Электродиагностика – это исследование возбудимости нервно-мышечного аппарата путем электрического раздражения, это метод определения функционального состояния нервной и мышечной систем по реакции на дозированное воздействие электрическим током. Диагностическое применение электричества основано всецело на физиологических началах учения о возбудимости нервно-мышечного аппарата. Возбуждение – это сложный биологический процесс, который характеризуется специфическим изменением процессов обмена веществ, теплообразования, временной деполяризацией мембраны клеток и проявляется специализированной реакцией ткани (сокращение мышцы, отделение секрета железой и т. д.). Возбудимостью обладают нервная, мышечная и секреторная ткани, их объединяют в понятие «возбудимые ткани». Возбудимость различных тканей неодинакова.

Мерой возбудимости является порог раздражения – минимальная сила раздражителя, которая способна вызвать возбуждение. Менее сильные раздражители называются подпороговыми, а более сильные – сверхпороговыми. Раздражителем живой клетки может быть любое изменение внешней или внутренней среды, если оно достаточно велико, возникло достаточно быстро и продолжается достаточно долго. Законы раздражения отражают определенную зависимость между действием раздражителя и ответной реакцией возбудимой ткани. К законам раздражения относятся: закон силы воздействия, закон «все или ничего», закон аккомодации (Дюбуа-Реймона), закон силы-времени (силы-длительности), закон полярного действия постоянного тока, закон физиологического электротона.

**Закон силы воздействия:** чем больше сила раздражителя, тем больше величина ответной реакции. В соответствии с этим законом функционируют сложные структуры, например скелетная мышца. Амплитуда ее сокращений от минимальных (пороговых) величин постепенно увеличивается с увели-

чением силы раздражителя до субмаксимальных и максимальных значений. Это обусловлено тем, что скелетная мышца состоит из множества мышечных волокон, имеющих различную возбудимость. Поэтому на пороговые раздражители отвечают только те мышечные волокна, которые имеют самую высокую возбудимость, амплитуда мышечного сокращения при этом минимальна. С увеличением силы раздражителя в реакцию вовлекается все большее и большее количество мышечных волокон и амплитуда сокращения мышцы все время увеличивается. Когда в реакцию вовлечены все мышечные волокна, составляющие данную мышцу, дальнейшее увеличение силы раздражителя не приводит к увеличению амплитуды сокращения.

**Закон «все или ничего»:** подпороговые раздражители не вызывают ответной реакции («ничего»), на пороговые раздражители возникает максимальная ответная реакция («все»). По закону «все или ничего» сокращаются сердечная мышца и одиночное мышечное волокно.

**Закон раздражения Дюбуа-Реймона (аккомодации):** раздражающее действие постоянного тока зависит не только от абсолютной величины силы тока или его плотности, но и от скорости нарастания тока во времени. При действии медленно нарастающего раздражителя возбуждения не возникает, так как происходит приспособление возбудимой ткани к действию этого раздражителя, что получило название аккомодации. При снижении скорости нарастания силы раздражителя до некоторого минимального значения потенциал действия вообще не возникает. Причина заключается в том, что деполяризация мембраны является пусковым стимулом к началу двух процессов: быстрого, ведущего к повышению натриевой проницаемости и тем самым обуславливающего возникновение потенциала действия, и медленного, приводящего к инактивации натриевой проницаемости и как следствие этого к окончанию потенциала действия. При быстром нарастании стимула повышение натриевой проницаемости успевает достичь значительной величины прежде, чем наступит инактивация натриевой проницаемости. При медленном нарастании тока на первый план выступают процессы инактивации, приводящие к повышению порога или ликвидации возможности генерировать потенциал действия вообще. Способность к аккомодации различных структур неодинакова. Наиболее высокая она у двигательных нервных волокон, а наиболее низкая у сердечной мышцы, гладких мышц кишечника, желудка.

**Закон силы – длительности:** раздражающее действие постоянного тока зависит не только от его величины, но и от времени, в течение которого он действует. Чем больше ток, тем меньше времени он должен действовать для возникновения возбуждения. Исследования зависимости силы–длительности показали, что последняя имеет гиперболический характер. Из этого следует, что ток ниже некоторой минимальной величины не вызывает возбуждения, как бы длительно он не действовал, и чем короче импульсы тока, тем меньшую раздражающую способность

они имеют. Причиной такой зависимости является мембранная емкость. Очень «короткие» токи просто не успевают разрядить эту емкость до критического уровня деполяризации. Минимальная величина тока, способная вызвать возбуждение при неограниченно длительном его действии, называется реобазой. Время, в течение которого действует раздражитель, равный реобазе, и вызывает возбуждение, называется полезным временем. В связи с тем что определение этого времени затруднено, было введено понятие хронаксия – минимальное время, в течение которого ток, равный двум реобазам, должен действовать на ткань, чтобы вызвать ответную реакцию.

**Закон полярного действия постоянного тока Э. Пфлюгера–А. Бреннера:** при замыкании тока возбуждение возникает под катодом, а при размыкании – под анодом. Прохождение постоянного электрического тока через нервное или мышечное волокно вызывает изменение мембранного потенциала покоя. Так, в области приложения к возбудимой ткани катода положительный потенциал на наружной стороне мембраны уменьшается, возникает деполяризация, которая быстро достигает критического уровня и вызывает возбуждение. В области же приложения анода положительный потенциал на наружной стороне мембраны возрастает, происходит гиперполяризация мембраны и возбуждения не возникает. Но при этом под анодом критический уровень деполяризации смещается к уровню потенциала покоя. Поэтому при размыкании цепи тока гиперполяризация на мембране исчезает и потенциал покоя, возвращаясь к исходной величине, достигает смещенного критического уровня и возникает возбуждение. При наименьшей силе тока (реобазе) сокращение вызывается только при замыкании тока на катоде. При увеличении реобазы оно появляется при замыкании и на аноде. Дальнейшее увеличение тока вызывает сокращение при размыкании тока на аноде, а в последующем – и на катоде.

Указанная закономерность свидетельствует о сохранности нервно-мышечного аппарата и обозначается как электродиагностический закон (по Бреннеру) или полярный закон (по Пфлюгеру). Известная формула  $KЗС > АЗС > АРС > КРС$  (катодзамыкательное сокращение больше анодзамыкательного, больше анодразмыкательного, больше катодразмыкательного) выражает эту закономерность через интенсивность сокращения.

**Закон физиологического электротона:** действие постоянного тока на ткань сопровождается изменением ее возбудимости. При прохождении постоянного тока через нерв или мышцу порог раздражения под катодом и в соседних с ним участках понижается вследствие деполяризации мембраны – возбудимость повышается. В области приложения анода происходит повышение порога раздражения, т.е. снижение возбудимости вследствие гиперполяризации мембраны. Эти изменения возбудимости под катодом и анодом получили название электротона (электротоническое изменение возбудимости). Повышение возбудимости под катодом называется катэлектротоном, а снижение возбудимости под анодом – анэлектротоном.

тоном. При дальнейшем действии постоянного тока первоначальное повышение возбудимости под катодом сменяется ее понижением, развивается так называемая катодическая депрессия. Первоначальное снижение возбудимости под анодом сменяется ее повышением – анодная экзальтация. При этом в области приложения катода происходит инактивация натриевых каналов, а в области действия анода происходит снижение калиевой проницаемости и ослабление исходной инактивации натриевой проницаемости.

Наиболее эффективное возбуждение нервов наблюдается в случае совпадения частотного диапазона тока с оптимумом следования спайков в нервных проводниках (закон соответствия). Максимально возможная частота импульсной активности в нервно-мышечном приборе ограничена его лабильностью, а продолжительность фаз изменения возбудимости мембран различна и строго последовательна (закон рефрактерности).

### Механизм действия импульсных электрических токов на нервно-мышечный аппарат

С целью электродиагностики используется способность электрических токов вызывать возбуждение тканей. Электрический ток вызывает перераспределение ионов тканевых электролитов у клеточных оболочек и полупроницаемых мембран. Перераспределение ионов изменяет биохимизм тканей, активизирует интенсивность обменных процессов, ведет к повышению возбудимости у катода и понижению ее у анода. При замыкании и размыкании гальванического тока концентрация одноименно заряженных ионов у оболочек клеток резко возрастает, это значительно изменяет дисперсность белков клетки и ведет к ее сильному возбуждению. Если такой процесс происходит в двигательном нерве или в мышечной ткани, то наступает сокращение мышц. Моторное возбуждение клетки сопровождается повышением проницаемости клеточной оболочки и выравниванием концентрации ионов внутри и вне клетки, что вызывает расслабление мышц. В момент выключения тока сокращение происходит такое же быстрое, но меньшее по интенсивности.

Для исследования возбудимости нервно-мышечного аппарата чаще всего применяют гальванический ток (ГТ) в виде прерывистого тока с длительностью 0,1–0,2 с и тетанизирующий ток – ТТ (ток прямоугольной формы частотой 100 Гц и длительностью импульса 1 мс). Раньше вместо ТТ использовался ток от индукционной катушки, изобретенной М.Фарадеем, и назывался он фарадическим (ток треугольной формы частотой 80–60 Гц и длительностью импульса 1 мс). В некоторых зарубежных аппаратах он до сих пор находит применение. С появлением электронной техники его заменили аналогичным по действию током с импульсами прямоугольной формы, который имеет постоянные параметры. В некоторых странах его обозначают как неофарадический. В норме при подаче ГТ на нерв или мышцу в момент замыкания или размыкания тока возникает молниеносное сокращение. При подаче ГТ в постоянном режиме мышца остается в покое, несмотря на продол-

жающееся действие тока. При подаче ТТ возникает тетаническое слитное сокращение, которое продолжается в течение всего периода прохождения тока. Мышечная ткань, иннервация которой не нарушена, обладает высокой функциональной лабильностью. Поэтому она в состоянии отвечать сокращением как на импульсы ГТ, так и на частые короткие импульсы тока, т.е. на ТТ. Причем сокращение на катоде при одной и той же силе тока более выражено, чем на аноде ( $KЗС > АЗС$ ).

При поражении нервно-мышечного аппарата нарушается трофика мышц, разрушаются интрамышечные нервные волокна, развивается атрофия мышц. Лабильность такого участка ткани резко снижается. При действии на этот участок частых раздражителей он не в состоянии воспроизвести заданный ритм раздражения, и поэтому проведение импульсов блокируется. В результате мышца теряет способность отвечать на частые импульсы (ТТ 100 Гц), длительно сохраняя ответ на длительные импульсы ГТ (ГТ 0,1 с). При дальнейшем развитии патологического процесса мышца теряет и эту способность отвечать на ГТ, так как мышечные волокна гибнут и заменяются соединительной тканью.

Снижение возбудимости мышцы на ТТ свидетельствует о частичном нарушении ее иннервации, а потеря этой возбудимости – о денервации мышцы. Исчезновение гальванической возбудимости указывает на гибель мышцы. При денервации мышцы развивается реакция перерождения (РП), которая характеризуется изменением качества мышечного сокращения: вместо молниеносного быстрого появляется вялое, червеобразное, гальванотоническое сокращение, т.е. мышца сокращается автоматически под влиянием изменений химической среды в результате действия импульсов тока. При нарушении трофики мышцы и метаболизма в ней она как бы впадает в одну из фаз парабיוза (уравнительную), при которой сильный и слабый раздражитель вызывает одинаковую ответную реакцию (сокращение):  $KЗС = АЗС$ .

При более глубоком поражении развивается парадоксальная реакция, когда слабый раздражитель (анод) вызывает более выраженную ответную реакцию –  $АЗС > КЗС$  или  $КЗС < АЗС$ . В процессе регенерации признаки реакции перерождения претерпевают ряд обратных последовательных изменений. Сначала улучшается гальваническая проводимость, восстанавливается полярная формула, а затем при реиннервации восстанавливается и тетанизирующая возбудимость. Указанные реакции нервно-мышечного аппарата на действие импульсного постоянного и тетанизирующего тока легли в основу метода классической электродиагностики.

Если одиночные раздражения током наносить с достаточно большой частотой (ТТ), то мышца, не успев расслабиться после предыдущего импульса тока, будет подвергаться влиянию последующих импульсов. В результате суммации отдельных возбуждений возникает тетаническое сокращение. При поражении периферического двигательного нейрона эти реакции на действие импульсных токов изменяются. Изменения могут носить количественный или

количественно-качественный характер. Поэтому при электродиагностике двигательная реакция мышц подлежит изучению как с количественной, так и с качественной стороны.

### Методы электродиагностики

Для определения (изучения) функционального состояния нервно-мышечного прибора в физиотерапии используются различные электродиагностические методы:

– классическая электродиагностика (КЭД);

- определение миотонической реакции;
- определение миастенической реакции;
- определение зависимости между временем действия тока и его интенсивностью: определение кривой сила–длительность (КСД);
- исследование лабильности нервно-мышечного аппарата – частотная электродиагностика;
- электродиагностика синусоидальными модулированными токами (ЭД СМТ).

*Продолжение см. в следующем номере*

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2012

УДК 615.84:613.647

## Электромагнитные поля физиотерапевтического оборудования как источник потенциальной опасности для медицинского персонала

*Н.Б. Рубцова, Д.В. Марков, А.Н. Шеина<sup>1</sup>*

ФГБУ НИИ медицины труда РАМН, <sup>1</sup>ГБОУ Российская медицинская академия последипломного образования, Москва

Вопросы обеспечения электромагнитной безопасности медицинского персонала в настоящее время представляют собой самостоятельную проблему. В связи с этим такие дополнительные факторы риска потери здоровья, как, например, электромагнитные поля (ЭМП) различных частотных диапазонов, рассениваемые как стрессогенные, требуют адекватной оценки и строгой регламентации.

Как известно, в медицине широкое распространение получило ЭМП различных частотных диапазонов и режимов генерации. К факторам электромагнитной природы, потенциально опасным для здоровья человека, относят гипогеомагнитное поле, постоянные электрические и магнитные поля, переменные электромагнитные поля в диапазоне частот от 1 Гц до 300 ГГц, в котором особо выделяют ЭМП частоты 50 Гц (ЭМП ПЧ) и электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ – от 10 кГц до 20 ГГц). ЭМП подразделяются на постоянные (электростатическое и постоянное магнитное поля) и ЭМП радиочастот. Подразделение ЭМП на частотные диапазоны представлены в табл. 1.

Обеспечение сохранения здоровья как работающего персонала, так и населения осуществля-

ется путем гигиенической регламентации ЭМП. Традиционно гигиенические нормативы ЭМП в России разрабатываются, как правило, на основании комплексных гигиенических, клинко-физиологических, эпидемиологических и экспериментальных исследований. Гигиенические исследования ставят своей целью определение интенсивности и времени воздействия ЭМП в реальных производственных или внепроизводственных условиях; клинко-физиологические направлены на выявление нарушений в состоянии здоровья и физиологических функций человека; эпидемиологические – на выявление отдаленных последствий воздействия фактора; экспериментальные – на изучение особенностей и характера биологического действия ЭМП. Последние вносят основной вклад в обоснование гигиенических нормативов ЭМП.

Исходя из этого, в Российской Федерации действуют гигиенические регламенты производственных воздействий для гипогеомагнитных условий, постоянных электрических и магнитных полей, ЭМП ПЧ и ЭМП в диапазоне частот 10 кГц–300 ГГц, и для таких особых случаев, как ЭМП, создаваемые ультраширокополосными импульсами.

Гигиеническое нормирование ЭМП в нашей стране осуществляется для двух категорий: лиц, профессионально связанных с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭМП, и лиц, профессионально не связанных с воздействием ЭМП, в том числе населения. Гигиеническое нормирование производственных воздействий ЭМП осуществляется в соответствии со следующими нормативными документами:

Информация для контакта: *Рубцова Нина Борисовна* – д-р биол. наук, проф., зав. научно-организационным отделом ФГБУ НИИ МТ РАМН, тел. (495)366-05-83, 366-11-01; *Марков Дмитрий Владимирович* – канд. биол. наук, науч. сотр. ФГБУ НИИ МТ РАМН; *Шеина Алевтина Николаевна* – канд. мед.наук, доцент каф. физиотерапии РМАПО, тел. (495)670-59-08.