



Введение в электроэнцефалографию: КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ПОКОЯ

А.В. ХОХЛОВ, к.б.н., гл. ветеринарный врач, ветклиника «МиГ», г. Москва

Современная отечественная ветеринарная медицина развивается в направлении совершенствования диагностических методов исследования. Так, наряду с давно и прочно вошедшей в широкую практику рентгенографией и общим клиническим анализом крови, многие ветеринарные клиники и центры предлагают для диагностики заболеваний ультразвуковое исследование внутренних органов, биохимическое исследование крови, мочи и миелографию. А такой метод диагностики, как электрокардиография, в настоящее время осуществляется не только в условиях ветеринарной клиники, но и с выездом ветеринарного врача на дом.

Среди новых методов клинической диагностики в последнее время появилась и набирает популярность электроэнцефалография — регистрация низкочастотных электрических колебаний малой амплитуды. Эти колебания, получившие название электроэнцефалограммы (ЭЭГ), возникают в коре головного мозга млекопитающих в результате пространственно-временной суммации мембранных потенциалов, как правило постсинаптических, многочисленных нейронов, расположенных под местом размещения регистрирующего электрода. Причем, как полагают, потенциалы действия нейронов не влияют на формирование ЭЭГ. Последняя относится к неинвазивным методам, поскольку предполагает чрескожную регистрацию биоэлектрических потенциалов головного мозга.

ЭЭГ и результаты ее обработки имеют важное диагностическое значение при выявлении областей коры, вовлеченных в патологический процесс. В целом ряде случаев, например при судорожных приступах, синкопальных состояниях, инсультах и черепно-мозговых травмах без выраженной органической патологии, ЭЭГ остается единственным

способом аппаратной диагностики органических и функциональных расстройств ЦНС. Однако необходимо учитывать и то, что ЭЭГ не обладает нозологической специфичностью, т.к. отображает только реакцию мозговой ткани в ответ на патологический процесс. Локальные изменения ЭЭГ могут проявляться как при очаговых поражениях коры головного мозга, так и при изменении активности корковых и подкорковых структур, связанных с зоной поражения. Они могут возникать и на фоне общих компенсаторных функциональных перестроек деятельности мозга, вызванных экстрацеребральными причинами. Но прежде чем перейти к описанию сильных и слабых сторон клинической электроэнцефалографии, следует очертить круг вопросов, которые могут быть принципиально разрешены с помощью анализа ЭЭГ.

Под анализом ЭЭГ понимают математический расчет определенных амплитудно-частотных и волновых характеристик сложного колебательного процесса, которым и является ЭЭГ. На начальной стадии анализа осуществляется прямое преобразование Фурье, позволяющее разложить волну ЭЭГ на спектральные состав-

ляющие, представляющие собой правильные гармонические колебания синусоидальной формы. Затем определяют спектральную плотность или индекс ритмической активности каждого полученного гармонического колебания. Под спектральной плотностью обычно понимают отношение длительности ритмической активности определенной частоты к суммарной длительности всех выделенных ритмов ЭЭГ. Спектральный индекс, или просто индекс, определяют как отношение суммарной длительности ритмической активности определенной частоты к длительности эпохи анализа ЭЭГ. Таким образом, спектральная плотность распределения частот дает меньшие абсолютные значения, чем распределение спектральных индексов, однако сам характер частотного распределения при этом не изменяется.

Для оценки амплитудной характеристики ЭЭГ определяют спектральную мощность ее ритмов, под которой понимается алгебраическая или арифметическая сумма «площади под кривой» каждого одиночного колебания. При арифметическом суммировании определяется общая площадь под кривой колебательного процесса, которая увеличивается при возрастании амплитуды и снижении частоты. Именно поэтому низкочастотные ритмы тета- и дельта-диапазонов дают значительно большие значения спектральной мощности, чем ритмы альфа-, бета- и гамма-диапазонов. При алгебраическом суммировании определяется характер гармонических колебаний. Этот показатель при нормальном двухфазном волновом процессе незначительно отличается от нуля, но существенно



отклоняется от него при обогащении ЭЭГ однофазными колебаниями любой полярности. Наконец, для оценки правильности ритмической организации колебательного процесса определяют степень его когерентности и автокогерентности, т.е. степень взаимной согласованности (синхронизации) нескольких ритмических процессов или внутреннюю согласованность частот одного колебательного процесса.

На завершающем этапе анализа выделяют отдельные аperiодические и периодические негармонические компоненты и их комплексы, так называемые паттерны, которые играют существенную роль в определении патологических процессов, протекающих в головном мозге. В качестве интегральной характеристики биоэлектрических потенциалов мозга в целом определяют так называемые фокусы ритмической активности и асимметрию распределения спектров ЭЭГ в различных областях коры. Следует подчеркнуть, что и в экспериментальной, и в клинической электроэнцефалографии при написании заключения принято подтверждать каждое указание на расчетный параметр примером нативной записи ЭЭГ.

Компонентный состав ЭЭГ покоя

Как известно, источником колебаний потенциала является участок мозга, расположенный между двумя электродами. Для топической диагностики используют биполярные отведения различного типа, при которых электроды соединяются попарно по фронтальным и сагиттальным линиям, а также монополярные отведения, в которых роль второго электрода выполняет так называемый индифферентный электрод, под которым не обнаруживают характерных биоэлектрических потенциалов мозга. Иногда в роли второго электрода используют составной, или референтный электрод, состоящий из всех соединенных между собой неиспользуемых электродов (отведение Гольдмана). Несмотря на то что под каждым электродом обна-

руживается характерная биоэлектрическая активность, их суммарный потенциал близок нулю. Разумеется, метод регистрации ЭЭГ Гольдмана вносит определенные искажения в распределение ритмической активности по коре головного мозга, но тем не менее он является признанной альтернативой биполярному и монополярному отведению.

В практике обычно используют биполярные отведения двух типов. Биполярные отведения I типа с большими (не менее 50% от общей длины линии) межэлектродными расстояниями необходимы для оценки общей биоэлектрической активности. Так наиболее четко прослеживается биоэлектрическая активность крупных мозговых областей. Амплитуда биоэлектрической активности в этих отведениях примерно в два раза выше, чем в остальных биполярных отведениях, что позволяет анализировать биоэлектрическую активность даже в случаях с крайне низкой амплитудой колебаний. Однако применение этого типа отведения не позволяет точно локализовать очаговые процессы и может явиться причиной того, что очаговая патологическая активность может быть пропущена.

Биполярные отведения II типа с малыми (не более 20% от общей длины линии) межэлектродными расстояниями дают возможность выявить тонкую организацию и топическое положение очагового процесса, а также определить перекрестные взаимодействия биоэлектрической активности различных отделов мозга и точнее локализовать очаговый процесс. Монополярное отведение по отношению к индифферентному или референтному электроду позволяет выявить скрытые генерализованные нарушения биоэлектрических процессов, связанные с функциональными перестройками, которые не выявляются другими методами. Все пары электродов при биполярной регистрации должны

располагаться максимально симметрично в каждом из полушарий. В противном случае возникают своеобразные артефакты регистрации в виде кажущейся асимметрии ЭЭГ. Также рекомендовано исключить из практики исследований биоэлектрических потенциалов мозга межполушарные биполярные отведения, как совершенно неинформативные, за исключением тех случаев, когда существует подозрение на нарушение функций межполушарных комиссур и, как следствие, нарушение межполушарного взаимодействия.

Исходную ЭЭГ обычно регистрируют в состоянии пассивного бодрствования животного (рутинная ЭЭГ, или ЭЭГ покоя) в диапазоне от 0,3 до 50 Гц, а иногда и до 75 Гц. Под пассивным бодрствованием понимается как можно более полное отсутствие активных двигательных и ориентировочных реакций животного в ответ на внешние посторонние раздражители. Как правило, это состояние достигается при помещении животного в специальный свето- и звукоизолированный бокс, ограничивающий его подвижность. В состоянии пассивного бодрствования не допускается дремота или сон животного, за исключением патологического снижения общего уровня функциональной активности ЦНС (сопор, кома и т.д.). У животных ритмические колебания потенциала мозга принято обозначать термином «активность», в отличие от используемого при описании ЭЭГ человека термина «ритм». Длительность отдельного колебания и его амплитуду обычно измеряют от пика до пика,

Таблица 1. Диапазоны электроэнцефалограммы

название диапазона активности	символ обозначения диапазона	частота, Гц	амплитуда потенциала, мкВ
дельта-активность	δ	0,3-4	50-250 и более
тета-активность	θ	4-8	30-200
альфа-активность	α	8-12	30-80
бета-активность низкочастотная	β -1	13-25	10-15
бета-активность высокочастотная	β -2	25-35	10-15
гамма-активность	γ (β -3)	35-50	5-7



т.е. между двумя последовательными локальными максимумами колебаний определенной частоты. В качестве основных регулярных частотных компонентов в ЭЭГ выделяют несколько непересекающихся диапазонов, обозначаемых буквами греческого алфавита.

Иногда гамма-диапазон может быть обозначен как диапазон β -3, а некоторые авторы дополнительно выделяют активность и сверхвысоко-частотного диапазона (50-75 Гц, 3-5 мкВ), обозначая его как γ -2 или β -4. Кроме указанных видов активности (таблица 1) выделяют и специальный диапазон колебаний, близкий по частоте и амплитуде к альфа-активности — мю-активность (6-10 Гц, 20-50 мкВ). Этот вид активности обнаруживают исключительно в двигательных зонах коры больших полушарий головного мозга. Кроме того, в ЭЭГ

покоя, помимо ритмических колебаний потенциала, обычно присутствуют и отдельные колебания из вышеуказанных диапазонов. Как правило, ЭЭГ представляет собой сложный колебательный процесс, и потому низкоамплитудная высокочастотная активность может накладываться на низкочастотные высокоамплитудные колебания, придавая им характерный «махристый» вид (термин «махристость», «махристая ЭЭГ» также применяется в отечественной энцефалографии, хотя и отсутствует в международном словаре). В других случаях высокоамплитудная активность среднечастотного диапазона может модулироваться низкочастотными колебаниями средней амплитуды, вызывая появление характерных веретенообразных паттернов.

У животных в норме отсутствует альфаритм в виде регулярно

повторяющихся веретенообразных паттернов. Именно по этой причине при описании ЭЭГ животных предпочитают вместо термина «ритм» использовать термин «активность». Альфа-активность доминирует в затылочных отделах мозга с постепенным снижением ее индекса во фронтальном направлении и почти не обнаруживается в перикруциарной коре, где ее замещает сходная по спектральным характеристикам мю-активность. Альфа-активность обычно идентична по частоте и амплитуде в обоих полушариях у животных-амбидекстров в состоянии как активного, так и пассивного бодрствования, а у животных с латерализацией двигательных функций — только в состоянии пассивного бодрствования. Тем не менее иногда наблюдается ее функциональная асимметрия в зависимости от нали-

чия доминирующего полушария и ведущей конечности.

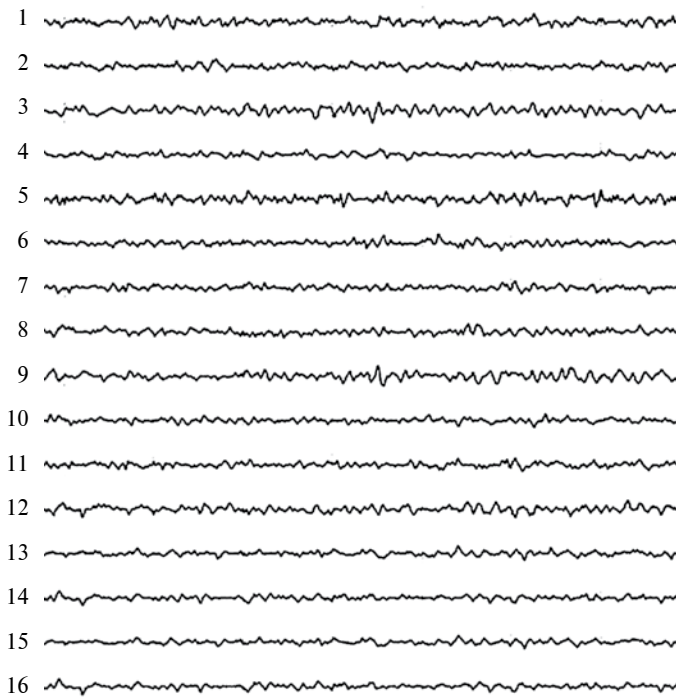
Так, альфа-активность преобладает в правом полушарии у животных-правшей и в левом полушарии — у животных-левшей, т.е. доминирует в функционально субдоминантном полушарии, но только при выполнении асимметричных двигательных реакций ведущей конечностью. Подавление альфа-активности в доминантном полушарии, скорее всего, связано с преимущественной двигательной активностью ведущей конечности. Форма альфа-волны почти синусоидальная, колебания частоты и амплитуды в различных временных интервалах записи невелики, активность надежно регистрируется при биполярном отведении с электродов, наложенных по сагиттальным линиям с малыми межэлектродными расстояниями. Наиболее отчетливо альфа-актив-

ность регистрируется при монополярном отведении с индифферентным пассивным электродом: амплитуда альфа-волн при этом способе регистрации примерно вдвое превышает таковую при биполярном отведении и в 1,5 раза при отведении по Гольдману. Индекс альфа-активности в состоянии пассивного бодрствования в среднем составляет 73-87%.

Бета-активность, которая в незначительном объеме всегда присутствует в ЭЭГ всех отделов мозга, обычно идентична по частоте и амплитуде как в правом, так и в левом полушариях. Наличие доминантного и субдоминантного полушарий у животных с выраженной латерализацией двигательных функций не приводит к появлению заметной асимметрии этого вида активности в состоянии пассивного бодрствования, и только выраженная ориентировочная реакция

Рис. 1. Пример нативной ЭЭГ покоя (канал 1-16 сверху вниз): 1-2 канал — перикруциарная зона dex; 3-4 канал — перикруциарная зона sin; 5-6 канал — теменная область dex; 7-8 канал — теменная область sin; 9-10 канал — височная область dex; 11-12 канал — височная область sin; 13-14 канал — затылочная область dex; 15-16 канал — затылочная область sin.

В ЭЭГ заметен низкий уровень синхронизации между областями коры и незначительное количество высокочастотных видов активности. В отдельных отведениях обнаруживаются одиночные низкоамплитудные тета-волны.





или избирательная двигательная активность одной из конечностей вызывает заметную реакцию десинхронизации с замещением альфа-активности бета-активностью. Таким образом, ритмическая активность в этом диапазоне у животных носит характер вспышки десинхронизации на фоне изменения функционального состояния головного мозга. Бета-активность обычно асинхронна, аperiodична, с невысоким индексом в пределах 8-17%, причем отсутствие бета-активности, даже на фоне изменения функционального состояния коры, не является признаком патологии.

У животного, находящегося в состоянии пассивного бодрствования, тета-активность встречается в виде одиночных, аperiodических волн или коротких ритмических вспышек по 2-4 колебания с частотой, кратной альфа-активности, и низкой амплитудой. Тета-активность подавляется при двигательных и ориентировочных реакциях, а также при повышении уровня функционального состояния коры головного мозга, т.е. при переходе от пассивного к активному бодрствованию.

В норме у животных в состоянии пассивного бодрствования дельта-активность может иногда обнаруживаться в виде отдельных, редких аperiodических колебаний низкой амплитуды, которые не образуют правильных ритмических последовательностей. Правильная, регулярная ритмическая дельта-активность характерна исключительно для фазы глубокого естественного или наркотического сна, причем на фоне доминирования дельта-активности существенно подавляются регулярные колебания во всех других частотных диапазонах.

Помимо регулярной ритмической активности

в ЭЭГ покоя возникают аperiodические одиночные или повторяющиеся компоненты, которые могут быть как нормальными, так и патологическими. К нормальным компонентам относят, например, лямбда-волны — заостренные, обычно однофазные колебания потенциала в альфа- или тета-диапазоне, которые обнаруживаются в ЭЭГ затылочных областей мозга во время активного бодрствования при ориентировочной реакции в ответ на зрительную стимуляцию. Также к нормальным компонентам ЭЭГ относится так называемый вертекс-потенциал — комплекс из острой и медленной волн, обычно появляющийся в верушечной области мозга в ответ на сенсорные раздражения различной модальности или спонтанно во время сна. Однако большую часть аperiodических колебаний и их комплексов принято считать патологическими паттернами ЭЭГ. К ним относятся спайк, острая

волна, медленная волна, разнообразные комплексы типа «спайк-волна» (одиночный спайк-одиночная волна, множественный спайк-волна, спайк-множественная волна, множественный спайк-множественная волна).

Аperiodические колебания могут быть как одиночными, так и повторяющимися, без образования или с образованием правильно чередующихся ритмических последовательностей, которые носят характер вспышек или пароксизмов.

Спайком обычно называют острую однофазную волну с длительностью менее 50 мс и амплитудой до 150 мкВ.

Острая волна, как правило, представляет одиночное, но иногда повторяющееся или множественное одно/двухфазное колебание с расширенным основанием и заостренной вершиной длительностью более 75 мс и амплитудой от 50 до 200 мкВ и более.

К медленным волнам относят однофазные одиночные или повторяющиеся колебания с плоской, шлемовидной или куполообразной вершиной длительностью более 150 мс и амплитудой до 250 мкВ и более.

Спайки и волны часто объединяются в стабильные, относительно регулярные комплексы, которые представлены спайком и присоединенной к нему острой или медленной волной. Эти комплексы обычно повторяются с частотой 3-6 циклов/секунду и регистрируются билатерально, синхронно и симметрично в локальных областях обоих полушарий или генерализованно по всем областям мозга.

К аperiodическим компонентам ЭЭГ также относятся вспышка, пароксизм и гиперсинхронизация.

Рис. 2. Пример гиперсинхронизированной полиритмичной ЭЭГ (канал 1-16 сверху вниз):

1-2 канал — перикруциарная зона dex; 3-4 канал — перикруциарная зона sin; 5-6 канал — теменная область dex; 7-8 канал — теменная область sin; 9-10 канал — височная область dex; 11-12 канал — височная область sin; 13-14 канал — затылочная область dex; 15-16 канал — затылочная область sin.

Высокий уровень синхронизации с одновременными вспышками высокоамплитудной активности во всех отведениях. В правой перикруциарной и теменной областях присутствует регулярная высокочастотная активность («махристая ЭЭГ»).

