

# ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ

*Руководство*

Под редакцией профессора М. В. Александрова

3-е издание, переработанное и дополненное

Санкт-Петербург  
СпецЛит  
2020

УДК 616.89—08  
ББК 56.1  
Э45

**Рецензент:**

*В. Н. Команцев* — ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института усовершенствования врачей-экспертов, доктор медицинских наук

**Электроэнцефалография** : руководство / М. В. Александров, Л. Б. Иванов, С. А. Лытаев [и др.] / под ред. М. В. Александрова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : СпецЛит, 2020. — 224 с.

ISBN 978-5-299-01038-1

В руководстве рассмотрены общие механизмы генерации биоэлектрической активности головного мозга, приведены техника и методика исследования биоэлектрической активности, даны основы электроэнцефалографической семиотики. Большое внимание уделено современным методам математической обработки результатов исследований и количественной электроэнцефалографии.

Подробно изложены вопросы клинической электроэнцефалографии. Рассмотрена электроэнцефалографическая семиотика при эпилепсии. Даны правила локализации источника патологической активности. Большой раздел посвящен видео-ЭЭГ-мониторинговым исследованиям.

Самостоятельным разделом изложены изменения биоэлектрической активности при непароксизмальных состояниях и нарушениях психических функций. Изложенные рекомендации обобщают обширные результаты количественного анализа биоэлектрической активности при психических расстройствах различного регистра.

В разделе, посвященном электроэнцефалографическим исследованиям у больных в критических состояниях, приведены современные представления о нейрофизиологии острой церебральной недостаточности.

Издание может быть рекомендовано для специалистов по функциональной диагностике (клинической нейрофизиологии), неврологов, психиатров. Может быть использовано при реализации программ послевузовского образования при изучении основ нейрофизиологии и освоении клинической энцефалографии.

**УДК 616.89—08**

**ББК 56.1**

Подписано в печать 29.01.2020 г. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печ. л. 14. Тираж 1000 экз. Заказ №

ООО «Издательство „СпецЛит“».

190103, Санкт-Петербург, 10-я Красноармейская ул., 15—17, литер В, пом. 231

Тел./факс: (812) 495-38-94, 495-36-12

<http://www.speclit.ru>

Отпечатано в типографии ООО «ЛД-ПРИНТ»

196644, Санкт-Петербург, Колпинский р-н, пос. Саперный,

территория предприятия «Балтика», д. 6/н, лит. Ф.

Тел. (812) 462-83-83, e-mail: office@ldprint.ru

© Коллектив авторов, 2020

© ООО «Издательство „СпецЛит“», 2020

**ISBN 978-5-299-01038-1**

## **Авторский коллектив**

*Александров Михаил Всеволодович* — заведующий отделением клинической нейрофизиологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова), ведущий научный сотрудник Института токсикологии ФМБА России, доктор медицинских наук, профессор;

*Иванов Лев Борисович* — заведующий диагностическим отделением Консультативно-диагностического Центра при Московской детской городской клинической больнице № 9 им. Г. Н. Сперанского, кандидат медицинских наук;

*Лытаев Сергей Александрович* — заведующий кафедрой нормальной физиологии СПбГПМУ, доктор медицинских наук, профессор;

*Черный Валерий Станиславович* — ведущий научный сотрудник Института токсикологии ФМБА России, доктор медицинских наук, доцент;

*Александрова Татьяна Викторовна* — заведующая отделением клинической нейрофизиологии СПбНИИ скорой помощи им. И. И. Джанелидзе, кандидат медицинских наук;

*Чухловин Александр Алексеевич* — заведующий лабораторией нейрофизиологического мониторинга РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова), кандидат медицинских наук;

*Костенко Ирина Александровна* — заведующая кабинетом нейрокогнитивных исследований РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова);

*Повалюхина Екатерина Сергеевна* — врач функциональной диагностики отделения клинической нейрофизиологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В. А. Алмазова).

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Условные сокращения</b> .....	7
<b>Введение</b> ( <i>М. В. Александров</i> ) .....	8
<b>Глава 1. История электроэнцефалографии</b> ( <i>М. В. Александров, В. С. Черный</i> ) .....	10
1.1. Спор Гальвани и Вольта .....	10
1.2. Дюбуа-Реймон — основоположник современной электрофизиологии ...	13
1.3. Русская увертюра мировой симфонии .....	14
1.4. Ганс Бергер — «отец электроэнцефалографии» .....	17
1.5. «Золотой век» электроэнцефалографии .....	20
<b>Глава 2. Нейрофизиологические основы ЭЭГ: механизмы генерации биоэлектрической активности головного мозга в норме</b> .....	26
2.1. Общие нейрофизиологические механизмы .....	27
2.1.1. Нейрон: суммация постсинаптических потенциалов .....	27
2.1.2. Таламокортикальное взаимодействие: синхронизация активности нейронов коры .....	28
2.1.3. Двухкомпонентная модель генерации ЭЭГ: синхронизирующая и десинхронизирующая системы мозга .....	30
2.2. Механизмы генерации альфа-ритма .....	32
2.2.1. Ритмическая активность таламуса .....	32
2.2.2. Таламо-кортико-таламическая петля .....	33
2.2.3. Реакция активации: блокада альфа-ритма .....	34
2.2.4. Функциональное значение альфа-ритма .....	36
2.3. Природа тета-ритма .....	37
2.3.1. Гиппокампальная модель .....	37
2.3.2. Альфа-тета-континуум .....	38
2.4. Общие механизмы генерации быстрой и медленной активности	41
<b>Глава 3. Электроэнцефалографическая семиотика</b> .....	42
3.1. Электроэнцефалография: определение .....	42
3.2. Электроэнцефалографические отведения .....	43
3.3. Характеристика электроэнцефалографического сигнала .....	45
3.4. Основные графоэлементы электроэнцефалограммы («начертательная ЭЭГ») .....	48
3.5. Синхронизация и десинхронизация .....	51
<b>Глава 4. Методика электроэнцефалографии</b> .....	52
4.1. Техника ЭЭГ .....	52
4.2. Электроды .....	54
4.3. Международная система расположения электродов «10—20 %» ...	56
4.4. Электроэнцефалографические монтажи .....	58
4.5. Амбулаторная ЭЭГ: техника и методика .....	62

4.5.1. Условия регистрации .....	62
4.5.2. Порядок выполнения исследования .....	64
<b>Глава 5. Нормальная ЭЭГ</b> .....	<b>66</b>
5.1. Спонтанная активность .....	66
5.1.1. Альфа-паттерн .....	66
5.1.2. Семейство альфа-ритмов .....	68
5.1.3. «Плоская» ЭЭГ .....	69
5.2. Ритмическая фотостимуляция: феноменология .....	70
5.3. Изменения ЭЭГ в цикле «бодрствование — сон» .....	73
5.4. Возрастные изменения ЭЭГ .....	76
5.5. Общая динамика ЭЭГ в детском возрасте .....	77
<b>Глава 6. Артефакты</b> .....	<b>79</b>
6.1. Физические артефакты .....	80
6.2. Биологические артефакты .....	84
<b>Глава 7. Математический анализ ЭЭГ (Л. Б. Иванов)</b> .....	<b>89</b>
7.1. Спектральный анализ .....	89
7.2. Когерентный анализ .....	97
7.3. Корреляционный анализ .....	100
7.4. Дисперсионный анализ с топографическим отображением данных ...	102
7.5. Трехмерная локализация источника электрической активности головного мозга (эквивалентного диполя) .....	105
<b>Глава 8. Общие механизмы патологических изменений биоэлектрической активности головного мозга</b> .....	<b>112</b>
8.1. Семиотика патологических изменений .....	113
8.2. Нейрофизиологические корреляты поражения ЦНС на разных уровнях ...	116
8.3. Ограничения структурно-функциональных моделей в решении «обратной задачи ЭЭГ» .....	122
<b>Глава 9. ЭЭГ при эпилепсии (эпилептологическая ЭЭГ)</b> (М. В. Александров, А. А. Чухловин) .....	<b>125</b>
9.1. Структурно-функциональная организация эпилептического очага ...	125
9.2. Видео-ЭЭГ-мониторинг .....	127
9.2.1. Кабинет видео-ЭЭГ-мониторинга: организация и оснащение	129
9.2.3. Техника и методика мониторингового исследования .....	131
9.2.4. Основные показания для проведения исследования .....	133
9.3. Основные графоэлементы ЭЭГ при эпилепсии (ЭЭГ-семиотика эпилепсии) .....	134
9.4. Правила локализации эпилептиформной активности .....	142
9.5. Доброкачественные и неспецифические паттерны ЭЭГ .....	149
9.5.1. Паттерны бодрствования, имитирующие эпилептиформную активность .....	150

9.5.2. Варианты неспецифических паттернов, не связанных с эпилепсией . . . . .	152
9.5.3. Физиологические феномены и доброкачественные паттерны, регистрируемые во сне . . . . .	152
9.6. Иктальная активность . . . . .	154
9.6.1. Клинико-электрофизиологическая характеристика эпилептического приступа . . . . .	154
9.6.2. Дифференциальная диагностика эпилептического приступа и неэпилептических пароксизмальных состояний . . . . .	158
9.7. Электрический эпилептический статус сна . . . . .	160
9.8. Ограничения возможностей ЭЭГ в эпилептологии . . . . .	162
<b>Глава 10. Психофизиологическая трактовка биоэлектрической активности головного мозга в норме и патологии (неэпилептологическое направление в ЭЭГ) (Л. Б. Иванов) . . . . .</b>	<b>165</b>
10.1. Электроэнцефалографические признаки уровня бодрствования . . . . .	172
10.2. Невротические паттерны ЭЭГ. Анализ ЭЭГ на особенности мыслительного процесса . . . . .	177
10.2.1. Определение понятия невротический паттерн ЭЭГ . . . . .	177
10.2.2. Роль и место невротического паттерна ЭЭГ в оценке психофизиологических особенностей человека здорового и с расстройствами психики . . . . .	178
10.2.3. Варианты невротических паттернов . . . . .	180
10.3. Оценка особенностей системно-функциональной организации мозговой деятельности по ЭЭГ . . . . .	189
<b>Глава 11. Электроэнцефалографический мониторинг в отделении реанимации и интенсивной терапии (М. В. Александров, Т. В. Александрова, Е. С. Повалюхина) . . . . .</b>	<b>197</b>
11.1. Методические особенности выполнения ЭЭГ в реанимации . . . . .	197
11.2. Общие закономерности изменений ЭЭГ у больных в коме . . . . .	198
11.3. Бессудорожный эпилептический статус . . . . .	204
11.4. Периодические паттерны. . . . .	207
11.5. ЭЭГ в диагностике смерти мозга . . . . .	210
11.6. ЭЭГ при острых отравлениях . . . . .	211
<b>Глава 12. Клиническое заключение о результатах ЭЭГ-исследования . . . . .</b>	<b>216</b>
12.1. Структура заключения . . . . .	217
12.2. Описание ЭЭГ пассивного бодрствования . . . . .	218
12.2.1. Спонтанная (фоновая) активность . . . . .	218
12.2.2. Характеристика патологических изменений . . . . .	219
12.2.3. Результаты выполнения функциональных проб . . . . .	220
12.2.4. Описание иктального паттерна . . . . .	220
12.3. Описание результатов видео-ЭЭГ-мониторинга . . . . .	221
12.4. Итоговое клинико-электрофизиологическое заключение . . . . .	222
<b>Литература . . . . .</b>	<b>224</b>

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- БДГ-сон — сон с быстрыми движениями глаз  
БПФ — быстрое преобразование Фурье  
ВПСП — возбуждающие постсинаптические потенциалы  
ГАМК — гамма-аминомасляная кислота  
ГСП — генерализованный судорожный приступ  
ДЭПД — доброкачественные эпилептиформные паттерны детства  
ДЭРД — доброкачественные эпилептиформные разряды детского возраста  
ИВЛ — искусственная вентиляция легких  
ОриТ — отделение реанимации и интенсивной терапии  
ПД — потенциал действия  
ПП — потенциал покоя  
ПСП — постсинаптические потенциалы  
РУР — реакция усвоения ритма  
РФС — ритмическая фотостимуляция  
СДВГ — синдром дефицита внимания с гиперактивностью  
ТПСП — тормозный постсинаптический потенциал  
ЦНС — центральная нервная система  
ЧМТ — черепно-мозговая травма  
ЭКоГ — электрокортикография, -грамма  
ЭЭГ — электроэнцефалография, -грамма  
BIPLED — билатеральные независимые периодические латерализованные эпилептиформные разряды  
LGN — латеральное колленчатое тело  
PLED — периодические латерализованные эпилептиформные разряды

## ВВЕДЕНИЕ

Электроэнцефалография (ЭЭГ) — раздел электрофизиологии, изучающий механизмы генерации суммарной биоэлектрической активности головного мозга, а также нейрофизиологическая методика регистрации биоэлектрической активности головного мозга.

Общепринятой точкой отсчета истории ЭЭГ является 1929 г., когда немецкий психиатр Ганс Бергер опубликовал результаты своих кропотливых многолетних исследований по регистрации биоэлектрической активности головного мозга у человека. За минувшие 90 лет ЭЭГ пережила бурную историю: длительный «золотой век» ЭЭГ сменился периодом глубокого разочарования, а затем пришел «цифровой ренессанс», связанный с внедрением компьютерных технологий.

Анализируя историю ЭЭГ, можно сделать несколько поучительных выводов. Так, следует различать области применения методики регистрации биоэлектрической активности головного мозга, поскольку у разных разделов нейронаук свои задачи. Исследования ЭЭГ проводятся в клинике. Их предметом является биоэлектрическая активность головного мозга при заболеваниях (поражениях) головного мозга. Такие исследования могут быть определены как *клиническая ЭЭГ*. Выполняются исследования в психологии и психофизиологии, в которых предметом рассмотрения выступает нейродинамика мозга здорового человека. Данный вид ЭЭГ можно определить как *физиологическая (психофизиологическая) ЭЭГ*. Клиническая ЭЭГ, в свою очередь, уже достаточно давно перестала быть однородной. Можно выделить, по крайней мере, три относительно самостоятельных направления: эпилептологическое, неэпилептологическое и ЭЭГ критических состояний (ЭЭГ-исследования, выполняемые в отделении реанимации при острой церебральной недостаточности). Понимание специфических задач каждого из направлений и соотнесение их с методическими возможностями ЭЭГ позволяют эффективно выполнять исследования и получать глубокое удовлетворение от полученных результатов.

Следует всегда понимать границы возможностей методики. Регистрация ЭЭГ позволяет оценить состояние системы генерации суммарной биоэлектрической активности головного мозга. «Работоспособность» механизмов биоэлектrogenеза выступает надежным нейрофизиологическим коррелятом функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС). ЭЭГ, как всякая функциональная методика, не может локализовать структурные поражения. Эта непосильная задача ставилась перед ЭЭГ до внедрения методов нейровизуализации, что во многом стало причиной фрустрационной холодности к нейрофизиологии. Но и как функциональная методика, ЭЭГ не может по параметрам нейродинамики инвариантно констатировать нарушения психических функций и оценивать их тяжесть. Генерация биоэлектрической активности метасистемой нейронных констелляций не является единственной функцией головного мозга. Амплитудно-частотные параметры ЭЭГ слабо



коррелируют с протеканием психических функций («к сожалению» — добавил бы любой нейрофизиолог).

Следует строго соблюдать методику регистрации ЭЭГ и анализа ее параметров. Методическая небрежность зачастую лежит в основе неудовлетворительных результатов исследований. В предлагаемом руководстве большое внимание уделено методическим и технологическим аспектам выполнения исследований. ЭЭГ — операторозависимая методика. Поэтому написание заключения не может содержать раздел «я так вижу» без основательного описания того, как выполнялось исследование.

Методическая аккуратность и щепетильность обязательны при математической обработке ЭЭГ. Методики спектрального, кросс-корреляционного, когерентного, периодометрического, дисперсионного анализа, трехмерной локализации эквивалентного диполя и другие сформировали самостоятельное направление — «количественная ЭЭГ» (qEEG). Однако без методически грамотного применения математического анализа его результаты порой становятся лишними здравого физиологического смысла.

Предлагаемое руководство построено с акцентом на указанные аспекты, уходящие своими корнями в долгую и сложную историю электроэнцефалографии. Большое внимание уделено технике и методике различных видов исследований. Рассмотрены цели и специфические задачи эпилептологической и неэпилептологической ЭЭГ. Даны современные представления по нейрофизиологии острой церебральной недостаточности при критических состояниях.

В руководстве подробно рассмотрен алгоритм написания итогового клинико-электрофизиологического исследования. В нашей стране стандарта по написанию ЭЭГ-заключения нет. Есть «устоявшаяся практика», которая имеет очень широкий вариационный ряд. В основу соответствующего раздела положены результаты анализа наиболее часто используемых специалистами алгоритмов.

Итак, ЭЭГ остается единственной прямой методикой оценки функционального состояния ЦНС, чем определяется ее востребованность. Однако в настоящее время «горизонт возможностей» ЭЭГ также вполне обозрим: безусловно, далеко не на все вопросы ЭЭГ способна ответить. Предлагаемое руководство построено на сбалансированном рассмотрении реальных возможностей ЭЭГ и гипотетических моделей, пытающихся объяснить регистрируемую феноменологию. Наш авторский коллектив стремился соблюсти меру в изложении «того, что есть, и того, во что надо верить». Ибо Книга должна носить духоподъемный характер, а излишнее внимание к противоречиям смущает, чем затрудняет путь по дороге познания.

## Глава 1

# ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

## 1.1. Спор Гальвани и Вольта



Луиджи Гальвани (1737–1798)

Первые систематические работы по изучению электрических процессов в живых организмах стали выполняться во второй половине XVIII столетия. В этот период наблюдался своеобразный взрыв увлечения поисками лечебных эффектов электричества. Теоретические воззрения на электрофизиологию этого периода заключались в наивных и путаных теориях. Однако итогом работ начала XVIII в. является идея «животного электричества»: гипотеза о тесной связи электрических процессов и жизнедеятельности живого организма. Это была увертюра. Отправной датой в истории научной электрофизиологии принято считать 1791 г.,

а ее основоположником — Луиджи Гальвани.

В 1791 г. итальянский врач, анатом и физиолог Луиджи Гальвани опубликовал «Трактат о силах электричества при мышечном движении». В этом трактате были описаны его опыты, ставшие в общей физиологии возбудимых тканей классическими. Первый, или так называемый «балконный», опыт Гальвани провел случайно. Гальвани готовил нервно-мышечный препарат из задних лапок лягушки, подвесив лапки медным крючком к горизонтальным перилам балкона. Ученый заметил, что лапки вздрагивали (мышцы сокращались) всякий раз, когда они, раскачавшись от ветра, соприкасались с решеткой. Сокращение мышц лапок происходило от замыкания цепи, состоящей из мышцы, нерва, медного крючка и вертикальной железной стойки балконной решетки. Повторив этот опыт с прикладыванием биметаллических дуг к нервно-мышечному препарату, Гальвани всегда получал мышечное сокращение (рис. 1.1).

После долгих размышлений Гальвани предложил теорию «животного электричества». В основу этой теории был положен механизм работы самого современного на тот период электротехнического устройства — «лейденской банки» (рис. 1.2). Лейденская банка — первый электрический конденсатор, был изобретен голландским ученым Питером ван Мушенбруком в 1745 г. в Лейдене. Конденсатор имел форму банки, то есть цилиндра с более или менее

широким горлом, обыкновенно стеклянного. Банка оклеена внутри и снаружи листовым оловом (наружная и внутренняя обкладки) и прикрыта деревянной крышкой. Сквозь крышку в банку был воткнут металлический стержень — кондуктор. Лейденская банка позволяла накапливать и хранить сравнительно большие заряды (порядка микрокулона). При соединении наружной обкладки и кондуктора заряженной банки возникал электрический разряд.

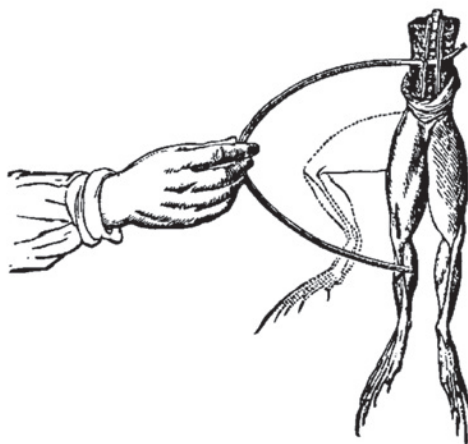


Рис. 1.1. Первый («балконный») опыт Луиджи Гальвани: сокращение мышц лапки лягушки при приложении биметаллической пластины (медь — железо) к нерву и мышцам

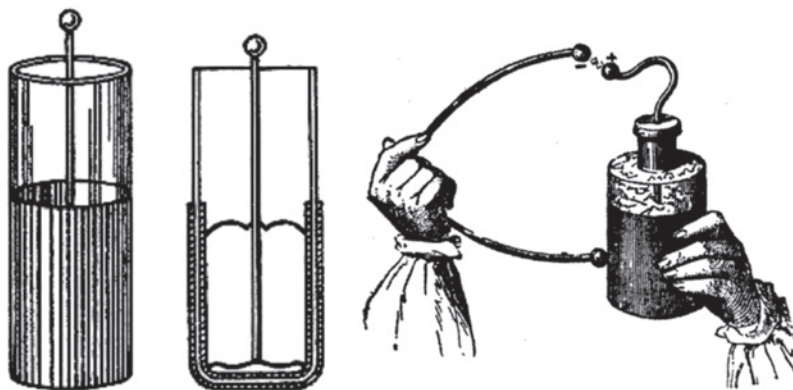


Рис. 1.2. Лейденская банка: электрический разряд при замыкании внешней и внутренней обкладок

Согласно гипотезе Гальвани мышца является своеобразной лейденской банкой: наружная и внутренняя поверхности мышцы несут заряд противоположного знака. По мнению Гальвани, «заряд электричества», непрерывно вырабатываясь в мозге, передается к мышце нервом, который, будучи продол-

взаимосвязи разрядной активности нейронов и суммарной ЭЭГ показал, что низкочастотным разрядам соответствуют вспышки тета-активности (2–7 Гц). Замещение происходит при снижении уровня бодрствования на ранних стадиях сна (рис. 2.2).

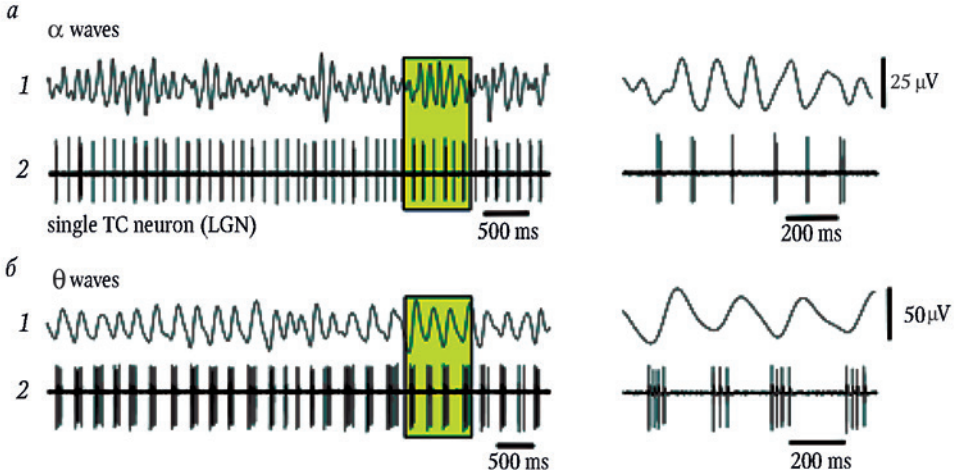


Рис. 2.1. Паттерны активности нейронов латерального колленчатого тела (2) и соответствующий характер суммарной активности ядра таламуса (1). Справа — «увеличенное» изображение выделенного фрагмента. Генерация нейронами частых залпов из двух потенциалов соответствует альфа-активности (а). При замедлении частоты следования залпов регистрируется тета-активность (б) (по: Hughes S. W., Crunelli V., 2005)

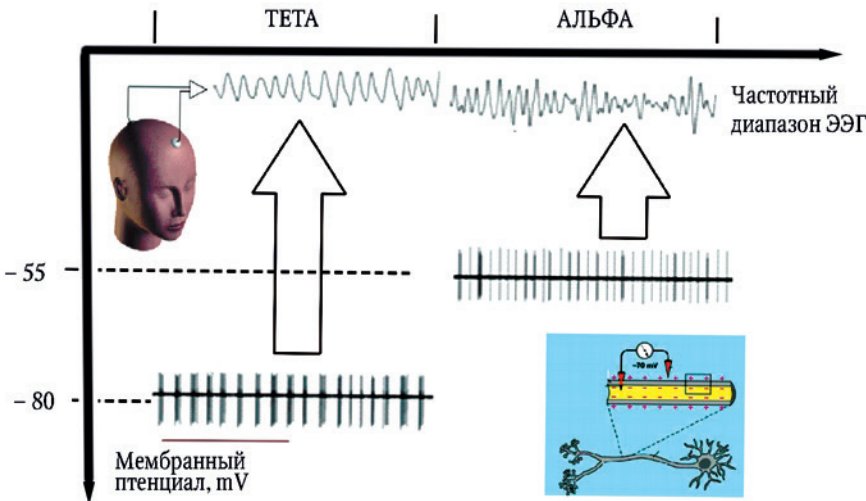


Рис. 2.2. Зависимость частотного диапазона суммарной ЭЭГ от уровня поляризации мембраны таламических нейронов