**Электрофизиологические корреляты центральных программ при решении простых моторных задач у лиц с различным профилем асимметрии**

Доктор медицинских наук, профессор Е.К Аганянц, доктор биологических наук, профессор А.Б. Трембач, кандидат биологических наук А.С. Гронская

В литературе имеется значительное количество работ, в которых анализируются электрофизиологические корреляты корковых процессов, связанных с проявлением человеком различных форм двигательной активности. Можно выделить четыре направления, по которым ведутся исследования: медленные потенциалы, регистрация электрической активности отдельных нейронов коры или подкорковых образований, неинвазивные методы картирования мозга и анализ суммарной биоэлектрической активности головного мозга, связанной с реализацией произвольных движений различной сложности [6,10,13,14]. Большинство подходов, используемых при математической обработке ЭЭГ [7,12], обладает существенным недостатком: для выявления изменений биопотенциалов, связанных с двигательным актом, требуются значительные эпохи анализа, что исключает изучение быстропротекающих процессов. Поэтому для выявления электрофизиологических коррелятов корковых процессов, обеспечивающих организацию двигательных навыков при решении простых моторных задач, был использован метод усреднения огибающих ЭЭГ, который позволяет количественно выразить динамику амплитуды биопотенциалов и связать ее с реализацией различных фаз произвольного движения [11]. Латерализация моторики и сторонняя доминантность ее реализации ставят важную задачу анализа межполушарных отношений динамики биоэлектрической активности мозга при организации произвольных движений [1,2]. Данная проблема, несмотря на значительное количество работ, весьма далека от разрешения. Целью исследования явилось изучение динамики электрофизиологических коррелятов центральных программ у правшей и левшей при решении простых моторных задач верхними и нижними конечностями.

Наблюдения проводили на 40 неврологически здоровых студентах КГАФК 17-24 лет различных специализаций и квалификаций. По методике Брагиной и Доброхотовой осуществляли отбор лиц с правым и левым профилями асимметрии [3]. ЭЭГ регистрировали монополярно в 8 отведениях - премоторных, моторных, нижнетеменных и затылочных областях коры больших полушарий. Электрофизиологические корреляты произвольных движений определялись по методу Гутмана, Трембача и Фомиченко [4]. Аналоговые сигналы ректифицировались и усреднялись, эпоха анализа составляла 8 с, количество накоплений - 32. Для идентификации фаз двигательного акта регистрировали ЭМГ первой или второй межостной мышцы ведущей руки или медиальной головки икроножной мышцы. Исследуемые обучались решению ряда простых моторных задач: подошвенному сгибанию стопы, сведению и разведению большого и указательного пальцев рук и их реализация по сигналам. В части наблюдений движение выполнялось ведущей и неведущей руками. Полученные данные обрабатывались методами непараметрической статистики (критерий знаков и Вилкоксона).

Исследования показали, что решение моторной задачи в виде подошвенного сгибания стопы длительностью 3 с сопровождалось специфическим рисунком усредненных огибающих электроэнцефалограммы (УОЭЭГ), который был связан с инициацией и прекращением движения. При инициации возникало кратковременное снижение амплитуды УОЭЭГ, затем значительное ее увеличение с последующим длительным снижением. Описанную динамику можно представить в виде трех последовательных волн: первой короткой волны десинхронизации, волны синхронизации и второй длительной волны десинхронизации. Близкая динамика наблюдалась при прекращении движения. Амплитудные и временные характеристики волн существенно различались в зависимости от области отведения биопотенциалов. Первая волна десинхронизации возникала первоначально в нижнетеменных, затем- премоторых и моторных областях коры больших полушарий за 140-190 мс до начала движения. Волна синхронизации максимальной амплитуды возникала непосредственно после начала движения прежде всего в моторном представительстве работающей конечности, затем- в симметричном центре правого полушария, несколько позже - в премоторных и нижнетеменных областях. Пик второй длительной волны десинхронизации проявлялся через 1500-1800 мс после начала движения, и максимальная ее амплитуда обнаружена в моторных и нижнетеменных областях. Моделирование только инициации или прекращения движения позволило показать, что принципиальных различий между волнами УОЭЭГ в этих экспериментальных условиях не обнаружено. Таким образом, при реализации двигательных навыков с предъявлением особых требований к регуляции длины мышцы проявлялись специфические электрофизиологические паттерны, связанные с инициацией и прекращением выученного движения. Для анализа корковых процессов регуляции мышечной силы была использована моторная задача поддержания изометрического напряжения заданного уровня. (20% от максимального в течение 3 с). Решение моторной задачи с повышением требования регуляции скорости мышечного сокращения осуществлялось при реализации медленных изометрических напряжений мышц голени. Анализ волн УОЭЭГ при существенных различиях выполнения задания по усилию, скорости мышечного сокращения и длине мышечного волокна показал следующее: амплитудные и временные характеристики принципиально не различаются. Это свидетельствует о том, что при многообразии простых моторных задач электрофизиологические корреляты центральных программ инвариантны по отношению к исследуемым параметрам движения.

На следующем этапе исследований была изучена специфическая картина волн УОЭЭГ как информативных электрофизиологических коррелятов центральных программ организации движений при решении простых моторных задач у лиц с различным типом латерального доминирования.

Сравнительный анализ временных показателей ЭМГ у правшей не выявил существенных различий латентных периодов инициации и прекращения движения ведущей и неведущей руками. Латеральное доминирование проявлялось лишь в разнице времени рекрутирования и дерекрутирования двигательных единиц. Оба показателя для правой руки были короче, чем для левой. При реализации двигательных навыков посредством верхних конечностей амплитудные и временные характеристики волн УОЭЭГ существенно изменялись, что проявлялось в уменьшении латентных периодов и увеличении амплитуды исследуемых электрофизиологических паттернов. Первая волна десинхронизации у правшей опережала ЭМГ ведущей руки на 98 мс , неведущей - на 95 мс. Межполушарные различия выражались в значительном преобладании ее амплитуды в левой моторной области. При движении неведущей рукой обнаруженные различия не определялись. Волна синхронизации при движении правой рукой проявлялась во всех отведениях раньше, чем левой. При движении ведущей рукой обнаружено, что в контра- и ипсилатеральном полушариях она проявлялась позже в премоторных областях. При движении неведущей рукой картина аналогична. Максимальная амплитуда волны синхронизации наблюдалась в нижнетеменных и моторных, минимальная - - в премоторных областях. Вторая волна синхронизации разворачивалась на фоне поддерживаемого мышечного усилия, и ее латентность от начала движения составляла 586 мс для правой и 617 мс для левой руки. При движении правой рукой данная волна прежде всего проявлялась в нижнетеменных областях, позже - в премоторных, при движении левой рукой - в первую очередь в затылочных областях. При реализации двигательного навыка ведущей рукой амплитуда волны существенно не различалась по отведениям, при движении неведущей рукой ее максимальная величина выявлялась в моторных центрах.

Временные показатели ЭМГ у левшей при движении ведущей и неведущей руками существенно не отличались. При сравнительном анализе аналогичных показателей у левшей и правшей выявлено, что латентный период прекращения движений у леворуких исследуемых короче для ведущей руки на 45 мс, для неведущей - на 48 мс. Время рекрутирования двигательных единиц при всех вариантах движения у левшей было меньше, чем у правшей (соответственно на 48 и 223 мс). При анализе волн УОЭЭГ у левшей при решении аналогичных моторных задач выявлены специфические особенности их межполушарных отношений. Необходимо отметить, что индивидуальная вариабельность амплитудных и временных характеристик волн оказалась значительно выше. Первая волна синхронизации проявлялась за 74 мс до начала движения ведущей и за 98 мс - неведущей руками, волна синхронизации соответственно через 113 и 105 мс, вторая волна десинхронизации - через 630 и 699 мс после начала ЭМГ-активности. При движении левой рукой внутриполушарные различия были связаны с деятельностью правого полушария и левой нижнетеменной области. Первая волна десинхронизации обнаруживалась на 31 мс раньше в правом затылочном по сравнению с теменными отведениями. Волна синхронизации при инициации движения первоначально возникала в затылочных и левой нижнетеменной областях, а фокус ее максимальной амплитуды - в правом премоторном и моторных центрах. Вторая волна десинхронизации обнаруживалась в затылочных, нижнетеменных и моторных областях коры больших полушарий почти одновременно, и ее амплитуда имела максимальную величину в левом нижнетеменном, моторном и правом затылочном отведениях. При движении неведущей, правой, рукой внутриполушарные различия характеристик волн УОЭЭГ у левшей имели место в обоих полушариях. Первая волна десинхронизации проявлялась раньше (за 142 мс до движения) в затылочных по сравнению с моторными и нижнетеменными областями левого полушария. Различия латентных периодов волны синхронизации обнаружены в правом полушарии: в моторных центрах латентный период был короче, чем в нижнетеменных. Максимальная амплитуда волны наблюдалась в правой моторной и левой нижнетеменной областях. Вторая волна синхронизации в правом полушарии сначала проявлялась в задних отделах мозга (затылочных и нижнетеменных), а затем в моторных представительствах верхних конечностей. В последнюю очередь она обнаруживалась в премоторных центрах обеих полушарий. Фокус максимальной амплитуды волны выявлялся в левой нижнетеменной области.

В литературе нет единства мнения относительно существа исходной мозаики специфического рисунка ЭЭГ у лиц с разным профилем асимметрии. Особенности пространственной организации ЭЭГ отражают нейрофизиологические механизмы формирования межполушарной асимметрии, однако не позволяют сделать заключение о доминантности того или другого полушария, особенно у левшей [5,8]. Произвольные движения и моторное обучение приводят к изменению функциональной архитектоники взаимодействия центров обоих полушарий. Анализ полученных данных позволяет заключить, что в наибольшей степени доминантность левого полушария проявляется у правшей при реализации произвольных движений ведущей рукой. Использование в реализации движений неведущей конечности у правшей приводит к выраженной активации заинтересованных областей левого и правого полушарий. Наибольшая вовлеченность и мозаичность различных областей коры больших полушарий наблюдается при реализации произвольных движений неведущей рукой левшами. Необходимо отметить, что при использовании в движениях ведущей или неведущей конечности выявляется специфическая динамика отдельных волн УОЭЭГ. Это связано с тем, что каждая волна имеет определенный механизм формирования: специальные исследования показали, что первая волна десинхронизации при инициации движения, по-видимому, связана с процессами программирования и экфорирования памятью центральных программ. Волна синхронизации характеризует сенсорный компонент центральной программы и в значительной степени обусловлена приходящей в кору больших полушарий афферентацией от нервно-мышечного аппарата. Вторая волна десинхронизации обусловлена деятельностью эфферентных структур и в определенной степени характеризует активацию мотонейронного пула супраспинальными командами [11]. Электрофизиологические корреляты центральных программ, включающие ее афферентные и эфферентные компоненты, являются косвенным выражением деятельности многоуровневой системы управления произвольными движениями, функционирующей по принципу распределенности. В свете полученных фактов программирование произвольных движений различными конечностями можно представить как деятельность мозга в целом, процессом, распределенным по всей ЦНС, а не функцией, присущей каким-то избирательным структурам или доминантным полушариям. Идея рассмотрения мозга как распределенной информационной системы была предложена для анализа высших функций мозга [9] в 1978 г. Авторы в центр проблемы ставят представление о локальных нервных сетях - модулях, представляющих собой сложно устроенные морфофункциональные образования коры больших полушарий. Модули, обрабатывающие сомато-сенсорную, зрительную, слуховую и другие виды информации, организованы в соответствующие микроколонки с вертикальными связями и могут объединяться в макроколонки по горизонтальным связям. Таким образом, информация может обрабатываться параллельно. Морфологические и электрофизиологические данные о более диффузном распределении проекционных зон левой руки у правшей в правом полушарии и о большем участии левого полушария в обеспечении произвольных движений независимо от их латеральности подтверждают принцип распределенности в ЦНС в организации и контроле двигательных актов человека.

Выводы:1. Инициация и прекращение движений верхних и нижних конечностей сопровождаются специфическим рисунком усредненной огибающей электроэнцефалограммы в виде трех волн: первой десинхронизации, синхронизации и второй десинхронизации. Выявленные электрофизиологические корреляты центральных программ инвариантны по отношению к параметрам движения.

2. При реализации движений ведущей и неведущей руками у правшей и левшей выявлены специфические особенности распределения волн усредненной огибающей электроэнцефалограммы. Наибольшая степень доминантности левого полушария у правшей проявляется при движении ведущей рукой. Наибольшая вовлеченность различных областей коры обоих полушарий наблюдается при реализации левшами движений неведущей рукой.

**Список литературы**

1. Аганянц Е.К., Е.М. Бердичевская, Б.А. Бруев, А.С. Гронская. Электрофизиологические корреляты движений человека при функциональной асимметрии//Успехи физиологических наук, 1994, № 1,с.26.

2. Аганянц Е.К., Е.М. Бердичевская, А.С. Гронская. Электрофизиологическое исследование моторной асимметрии при произвольных движениях. Матер. междунар. конф. "Адаптация, функциональные резервы и работоспособность спортсменов". Санкт-Петербург, 1994, с.6.

3. Брагина Н.Н., Т.А. Доброхотова. Функциональные асимметрии человека. - М: Медицина,1981. - 288 с.

4. Гутман С.Р., А.Б. Трембач, С.В. Фомиченко. Амплитудно-частотная модуляция электроэнцефалограммы, связанная с ритмическими движениями // Биофизика, 1988, т. 33, №5,с. 860-867.

5. Жаворонкова Л.А., Г.Н. Болдырева, Т.А. Доброхотова. Зависимость организации электрической активности мозга человека от доминантности полушария // Журн. высш. нервн. деят.,1988, т. 38, №4, 620-626.

6. Кропотов Ю.Д., В.А. Пономарев, А.В. Севастьянов, Л.Г. Трофимов, С.К. Этлингер. Изменения текущей частоты разрядов нейронов подкорковых структур мозга человека, связанные с организацией двигательных актов// Физиологический журнал СССР. 1990, т.76, №126, с.1708-1719.

7. Кулаичев А.П. Компьютерный анализ ЭЭГ и ВП: проблемы и решения//Журн. высш. нервн. деят. 1995, т. 45, вып.3, с. 599-608.

8. Левчук А.В., В.Н. Жебель, К. Скейн. Электроэнцефалографические корреляты функциональной асимметрии больших полушарий мозга у детей//Физиол. чел. 1982, т.18, № 6, с.1036-1040.

9. Маункастл В. Организующий принцип функции мозга - элементарный модуль и распределенная система // Разумный мозг.- М.: Мир, 1981, с.15-67.

10. Нюер Р.М. Количественный анализ и топографическое картирование ЭЭГ: методика, проблемы, клиническое применение//Успехи физиол. наук.1992,тт. 2,3, № 1,с. 20-39.

11. Трембач А.Б., С.Р. Гутман, А.Л. Корепанов, О.В. Пирожков. Амплитудная модуляция электроэнцефалограммы, связанная с инициацией и прекращением движения.// Биофизика. 1990, т.35, вып.5, c. 850-854.

12. Knyazeva M.O., М.Е. Kurganskaya, А.V. Kurganski. Interhemispheric interaction on children of 7-8: analysis of EEG coherence and finger tapping parameters// Behavioral Brain Reseach. 1994, v.61, p.47.

13. Pfurtshceller O., C. Neuper, J. Kalcher. 40 - Оscillations during motor behavior in man// Neurosci Lett. 1993, N12, p.179-182.

14. Shibasaki H., O. Barret, E. Halliday, A.M. Halliday. Components of the movement related cortical potential and their scalp topography// EEG and clin. Neuruphysiol.1980, v.49, p.213-226.