

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, СОПУТСТВУЮЩИХ МЫСЛЕННОМУ ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ

¹Трошина Е.М., ¹Машеров Е.Л., ¹Сазонова О.Б., ²Кулева А.Ю.,

¹Каверина М.Ю., ¹Кроткова О.А., ²Шарова Е.В.

¹ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии
имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России, Москва, e-mail: ETroshina@nsi.ru;

²ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

В рамках разработки программы тренинга для реабилитации пациентов со сниженным уровнем спонтанности, для выявления объективных показателей процесса представления движения, проведено исследование на группе здоровых испытуемых с целью апробации методики. Анализировали изменения нейрофизиологических показателей, сопутствующих мысленному представлению движения. Регистрировали медленный негативный потенциал (МНП) при мысленном представлении движения (ПД) рукой в ответ на короткий звуковой сигнал (серия 1) и при предъявлении оценочного сигнала биообратной связи (БОС) как показателя эффективности выполнения задания ПД (серия 2). Проводился опрос испытуемых о тактике процесса мысленного представления движения с оценкой преобладающей модальности ощущений при реализации задачи ПД. Анализировали значения амплитудно-временных параметров МНП, длительность интервала между «стартовым» звуковым сигналом и началом медленного потенциала, факт наличия ЭМГ-активности при ПД. Нейрофизиологические показатели сопоставлялись с данными опроса испытуемых. Выявлены корреляции между направленностью изменений нейрофизиологических показателей и тактикой процесса мысленного представления движения. Показано, что анализ изменений нейрофизиологических показателей, сопутствующих мысленному представлению движения, наиболее эффективен при их комплексной оценке в сопоставлении с индивидуальными особенностями тактики выполнения задания.

Ключевые слова: мысленное представление движения, медленный негативный потенциал, биологическая обратная связь (БОС)

ANALYSIS OF CHANGES IN NEUROPHYSIOLOGICAL INDICATORS ACCOMPANYING THE MENTAL REPRESENTATION OF MOVEMENT

¹Troshina E.M., ¹Mashеров E.L., ¹Sazonova O.B., ²Kuleva A.Yu.,

¹Kaverina M.Yu., ¹Krotkova O.A., ²Sharova E.V.

¹N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery of the Ministry of Health
of the Russian Federation, Moscow, e-mail: ETroshina@nsi.ru;

²Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow

As part of the development of a training program for the rehabilitation of patients with a reduced level of spontaneity, in order to identify objective indicators of the process of representing movement, a study was conducted on a group of healthy subjects in order to test the technique. Changes in neurophysiological indicators accompanying the mental representation of movement were analyzed. A slow negative potential (SNP) was recorded when mentally representing the movement (RM) of the hand in response to a short sound signal (series 1) and when presenting an estimated biofeedback signal as an indicator of the effectiveness of the RM task (series 2). A survey of subjects was conducted on the tactics of the process of mental representation of movement with an assessment of the prevailing modality of sensations in the implementation of the RM task. The values of the amplitude-time parameters of the SNP, the duration of the interval between the "starting" sound signal and the beginning of the slow potential, the fact of the presence of EMG activity in RM, neurophysiological indicators were compared with the survey data of the subjects. Correlations between the direction of changes in neurophysiological indicators and the tactics of the process of mental representation of movement are revealed. It is shown that the analysis of changes in neurophysiological indicators accompanying the mental representation of movement is most effective in their comprehensive assessment in comparison with the individual characteristics of the tactics of the task.

Keywords: mental representation of movement, slow negative potential, biofeedback (BFB)

Электрографическим эквивалентом процесса формирования моторной программы при реализации произвольного движения является «потенциал готовности» (ПГ), который выделяется в структуре «связанных с движением потенциалов мозга» (СДПМ) [1–3]. В нашей ранее опубликованной статье [4] было показано, что при совершении заданного движения по звуковому сигна-

лу регистрируется медленный негативный потенциал (МНП), по физиологическому смыслу сходный с потенциалом готовности (ПГ). Данная работа являлась *первым этапом* разработки программы тренинга для реабилитации пациентов со сниженным уровнем спонтанности, поскольку такие пациенты не могут самостоятельно включиться в выполнение какой-либо деятельности,

в частности совершать произвольные движения, для этого им необходим внешний побудительный стимул.

Однако неизвестно, формируется ли у таких пациентов мысленное представление о движении, которое необходимо совершить, поэтому важно выявить объективные показатели процесса представления. Мы полагаем, что такими объективными показателями могут быть некоторые нейрофизиологические феномены, проявляющиеся в процессе мысленного представления движения, а использование сигналов биообратной связи (БОС) может способствовать повышению эффективности выполнения задачи представления и проявляться в изменении параметров нейрофизиологических показателей.

Для этого *вторым этапом* работы была разработана и апробирована на группе здоровых людей методики с использованием звукового стимула в качестве «стартового» сигнала для реализации задачи мысленного представления движения и использование БОС-сигнала для оценки эффективности ее выполнения. Разработка методики осуществлялась нами при участии отечественной фирмы МБН практически «с нуля» и фактически является пилотным исследованием.

Целью данной работы было исследовать возможность использования модифицированной методики регистрации ПГ для выявления и анализа объективных нейрофизиологических показателей, сопутствующих мысленному представлению движения и оценить возможность применения, в качестве показателя эффективности выполнения задачи мысленного представления движения, амплитудного параметра МНП как БОС-сигнала.

Материалы и методы исследования

Обследована группа здоровых испытуемых в возрастном диапазоне 21–32 года (21 чел., добровольцы, правши). Регистрировали МНП при мысленном представлении движения (ПД) рукой (сжатие эспандера) в ответ на короткий звуковой сигнал (*серия 1*). Исследуемому объясняли, что реально выполнять движение не следует, а надо по сигналу, как можно более отчетливо, представлять кинестетические и двигательные ощущения так, как это было бы при выполнении реального движения. Сразу за воображаемым сжатием надо представить расслабление руки.

В *серии 2* (ПД-БОС) в качестве показателя эффективности представления движения (БОС-сигнал) предъявлялись два вида оценочного звукового сигнала: высокого тона – «сигнал успеха», низкого тона – «сиг-

нал неуспеха». Предъявление звукового сигнала соответствующего тона на каждой эпохе анализа было задано программой – увеличение амплитуды МНП не менее чем на 1 мкВ сопровождалось «сигналом успеха», соответственно при отсутствии повышения амплитуды предъявлялся «сигнал неуспеха». В программе имелся специальный функционал формирования отчета («Отчеты по БОС») по каждой эпохе анализа об успешности и неуспешности представления движения. Проводился опрос испытуемых о тактике процесса мысленного представления движения с оценкой преобладающей модальности ощущений при реализации задачи «представление движения».

Для выделения МНП осуществлялась монополярная запись биопотенциалов от электродов, расположенных на скальпе (С3, С4, F3, F4, Cz, Fz), референтные электроды – на мочках ушей (А1 и А2), четные отведения справа, нечетные – слева, частотная полоса максимально расширена в область медленных ритмов (до 0,01 Гц), ограничение частотной полосы частых ритмов – 20–30 Гц. Длительность анализируемой эпохи 5 с (2 с до и 3 с после «стартового» стимула), количество усредняемых эпох не менее 30. Усреднение отрезков ЭЭГ осуществлялось методом «скользящего окна», изменение амплитуды МНП оценивалось по сумме пяти последовательно выделяемых эпох. «Стартовым» стимулом для начала представления движения был звуковой сигнал, он же являлся опорным стимулом, запускающим усреднение. Длительность МНП (в мс) определялась от момента стабильного нарастания восходящего фронта потенциала до точки с максимальной амплитудой, амплитуда (в мкВ) – от начала подъема негативной фазы волны до ее максимума. Пробы проводились для правой руки, с целью контроля мышечной активности регистрировалась электромиограмма (ЭМГ) от *m. extensor carpi radialis longus*.

Для оценки пространственной представленности максимума активности (МНП) по областям головного мозга в процессе выполнения задачи представления движения было проведено топографическое картирование полной мощности исследуемой активности в пределах определенного временного интервала. Полная мощность МНП является обобщенной амплитудной характеристикой, представляющей собой средний квадрат амплитуды ответа на заданном временном отрезке и численно равной суммарной мощности по всем представленным в ответе частотным диапазонам. Для оценки мощности сигнала использовалось быстрое преобразование Фурье, реализованное

в программе «МБН-Нейрокартограф», выбирался временной интервал 2 с до и 3 с после опорного стимула, запускающего усреднение. Суммировалась мощность в полосе 1–35 Гц, усредняясь делением на ширину полосы.

Результаты исследования и их обсуждение

При представлении движения (ПД) и при представлении движения с БОС-сигналом (ПД-БОС) выделяется МНП в исследуемых скальповых отведениях, амплитудно-временные параметры потенциала представлены в табл. 1, соответственно часть А и часть Б.

Можно отметить, что средние значения анализируемых параметров МНП как в исследуемых отведениях, так и в полушариях контралатеральном и ипсилатеральном, относительно «работающей» руки, в сериях

ПД и ПД-БОС по группе испытуемых существенно не отличаются, статистическая значимая разница на уровне $p < 0,05$ не выявлена. Однако анализ временных и амплитудных параметров МНП по каждому испытуемому индивидуально позволил выявить тенденцию изменений (по числу исследуемых) в процентном отношении к общему количеству испытуемых (табл. 2).

Изменение параметров МНП при ПД-БОС в лобных и центральных областях как контралатерального, так и ипсилатерального полушария по отношению к «работающей» руке, в виде сокращения длительности и увеличение амплитуды потенциала, причем с некоторым преобладанием ипсилатерально, можно расценивать как тенденцию, а при учете количества испытуемых и процентного их соотношения данная тенденция проявляется достаточно отчетливо.

Таблица 1

Временные и амплитудные параметры МНП при представлении движения (А) и при представлении движения с БОС-сигналом (Б) в контралатеральном и ипсилатеральном полушариях (средние значения по группе испытуемых)

Отведения ЭЭГ	Отведения контралатерального полушария			Отведения ипсилатерального полушария		
	F3-A1	C3-A1	Cz-A1	F4-A2	C4-A2	Fz-A2
А – представление движения (серия ПД)						
Длительность МНП (мс)	1144	1180,5	1106,6	1142,2	1181,8	1102,7
Амплитуда МНП (мкВ)	6,4	7,3	2,8	6,5	7,7	2,9
Б – представление движения с БОС-сигналом (серия ПД-БОС)						
Длительность МНП (мс)	1145,9	1144,3	1084,4	1148,3	1144,8	1085
Амплитуда МНП (мкВ)	7,2	6,8	2,9	7,6	6,8	3,1

Таблица 2

Сокращение длительности и увеличение амплитуды МНП при представлении движения с БОС-сигналом (серия 2) (количество и процент испытуемых относительно общего числа исследованных)

Отведения ЭЭГ	Отведения контралатерального полушария			Отведения ипсилатерального полушария		
	F3-A1	C3-A1	Cz-A1	F4-A2	C4-A2	Fz-A2
Сокращение длительности МНП в серии 2	13 (61,9%)	12 (57,1%)	10 (47,6%)	14 (66,7%)	13 (61,9%)	10 (47,6%)
Без существенного изменения длительности МНП в серии 2	8 (38,1%)	9 (42,9%)	11 (52,4%)	7 (33,3%)	8 (38,1%)	11 (52,4%)
Увеличение амплитуды МНП в серии 2	12 (57,1%)	11 (52,4%)	12 (57,1%)	13 (61,9%)	14 (66,7%)	12 (57,1%)
Без существенного изменения амплитуды МНП в серии 2	9 (42,9%)	10 (47,6%)	9 (42,9%)	8 (38,1%)	7 (33,3%)	9 (42,9%)

В обеих сериях отмечено, что негативное отклонение медленного потенциала начинается после «стартового» сигнала и проявляется в широком временном диапазоне (для серии ПД 103,2–1368,2 мс, для серии ПД-БОС 109–1352,5 мс). Было сделано предположение, что временные параметры интервала (Т) между «стартовым» сигналом и началом МНП могут быть достаточно информативной составляющей в структуре процесса подготовки к реализации задачи представления движения. Достаточно большим разбросом временных параметров указанного интервала (Т) была обусловлена целесообразность разделения испытуемых на подгруппы.

По результатам 1-й серии (ПД) определились три подгруппы: 1 – минимальные значения временного интервала 103,2–358,5 мс (у 5 чел.), 2 – максимальные значения 1271,5–1368,2 мс (у 3 чел.), 3 – средние значения у большинства испытуемых (13 чел.) в диапазоне 371,4–846,5 мс.

При сопоставлении с отчетами о тактике представления движения было отмечено, что у испытуемых 1-й подгруппы (5 чел. – 23,8%) представление формировалось в виде образов на основе одновременного сочетания в различных вариантах ощущений нескольких модальностей (кинестетическая + тактильная + зрительная, зрительная + тактильная + вербальная команда, тактильная + зрительная + кинестетическая). В качестве преобладающей модальности у трех человек указывалась зрительная, у двух кинестетическая и у одного тактильная. У некоторых испытуемых (3 чел.) фиксировалось появление после «стартового» сигнала низкоамплитудной ЭМГ-активности. Длительность МНП отмечалась в пределах среднегрупповых значений или несколько меньше (736,5–1144,3 мс), а значения амплитуды представлены в достаточно широком диапазоне 6,4 мкВ–20,5 мкВ (10,2 мкВ среднее значение).

В отчетах испытуемых 2-й подгруппы (3 чел. – 14,3%) не было четко сформулированной тактики представления движения, в двух случаях указывалось на кинестетические ощущения. Длительность МНП значительно превышала среднегрупповые значения (1658,7 мс, 1443,5 мс, 1983,5 мс – значения по испытуемым), амплитуда также по испытуемым – 6,2; 5,4; 1,3 мкВ (среднее значение 4,3 мкВ).

Представление движения у испытуемых 3-й подгруппы (13 чел. – 61,9%) сопровождалось формированием образа двигательной реакции на основе сочетания ощущений нескольких модальностей в разных комбинациях, преимущественно попарно с разной степенью преобладания одной из них: кинестетическая + зрительная, тактильная

+ кинестетическая, зрительная + вербальная команда, зрительная + тактильная. В качестве доминирующей модальности у шести человек указывалась зрительная, у пяти кинестетическая и у двух тактильная. Наряду с этим у шести испытуемых после «стартового» сигнала отмечалась низкоамплитудная ЭМГ-активность. Длительность МНП определялась в диапазоне 1268,4–1457,8 мс, значения амплитуды имели достаточно широкий разброс – 3,2–23,1 мкВ (6,1 мкВ среднее значение). Убедительных корреляций между изменениями амплитудно-временных параметров МНП, порядком сочетанности и доминирования модальностей ощущений отмечено не было.

Наличие ЭМГ-активности после «стартового» сигнала свидетельствует о «включении» моторного компонента при выполнении задачи и, по-видимому, является дополнительным фактором, способствующим четкости образа представляемого движения.

При сопоставлении значений временного интервала (Т) от «стартового» сигнала до начала МНП, изменений амплитудно-временных параметров МНП и при учете тактики мысленного представления движения испытуемыми, прослеживались определенные корреляции, которые из-за количественного различия подгрупп на данном этапе работы можно расценивать не как определенный вывод, а лишь как тенденцию (табл. 3).

Преобладание амплитуды и меньшие значения длительности МНП отмечались в тех наблюдениях, когда у испытуемых достаточно четко формировался образ представляемого движения и выявлялись наименьшие временные значения интервала (Т) между «стартовым» сигналом и началом МНП.

По результатам 2-й серии (ПД-БОС) испытуемые также были разделены на подгруппы. У испытуемых 1-й подгруппы (9 человек – 42,9%) длительность временного интервала (Т) между «стартовым» стимулом и началом МНП определялась в диапазоне 109–379,5 мс, длительность МНП в достаточно широких пределах (722–1398,2 мс) и амплитуда в диапазоне 5,7–25,8 мкВ (10,9 мкВ среднее значение). При сопоставлении с отчетами о тактике представления движения в данную подгруппу вошли испытуемые, у которых достаточно четко формировался образ движения на основе одновременного сочетания ощущений нескольких модальностей или сочетания двух модальностей без убедительного преобладания их сочетанности. ЭМГ-активность после «стартового» сигнала отмечалась у 8 чел. Данную подгруппу составили испытуемые 1-й подгруппы и часть испытуемых (4 чел.) из 3-й подгруппы серии ПД.

Таблица 3

Сопоставление значений временного интервала (Т)
от «стартового» сигнала, амплитудно-временных параметров МНП
и тактики мысленного представления движения (серия ПД)

	Длительность интервала Т (мс)	Длительность МНП (мс)	Амплитуда МНП (мкВ)	Тактика мысленного представления движения
1-я подгруппа (5 чел.)	103,2–358,5	736,5–1144,3	6,4–20,5 (10,2)	Формирование образа движения на основе одновременного сочетания ощущений нескольких модальностей
2-я подгруппа (3 чел.)	1271,5–1368,2	1443,5–1983,5	1,3–6,2 (4,3)	Без четко сформулированной тактики представления движения или отсутствие четкого образа движения
3-я подгруппа (13 чел.)	371,4–846,5	1268,4–1457,8	3,2–23,1 (6,1)	Формирование образа движения на основе сочетания ощущений двух модальностей

Таблица 4

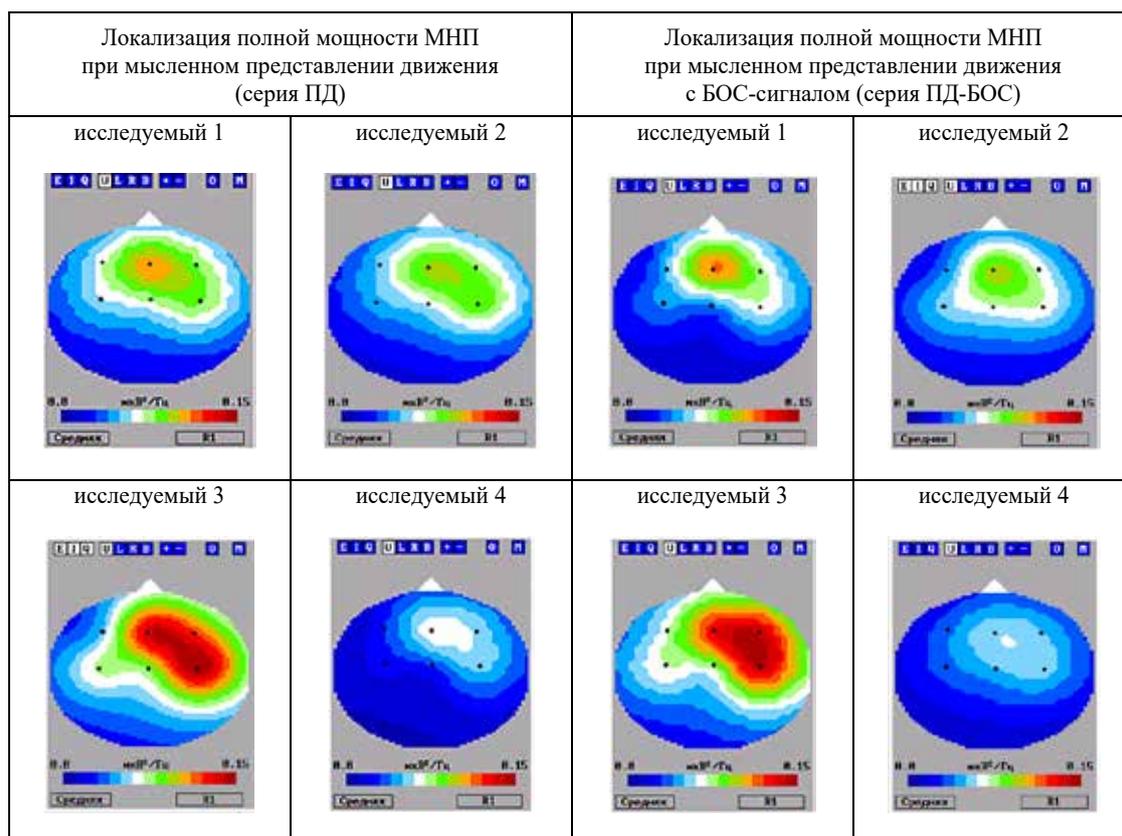
Сопоставление значений временного интервала (Т)
от «стартового» сигнала, амплитудно-временных параметров МНП
и тактики мысленного представления движения (серия ПД-БОС)

	Длительность интервала Т (мс)	Длительность МНП (мс)	Амплитуда МНП (мкВ)	Тактика мысленного представления движения
1-я подгруппа (9 чел.)	109–379,5	722–1398,2	5,7–25,8 (10,9)	Формирование образа движения на основе одновременного сочетания ощущений нескольких модальностей (преимущественно) и сочетания ощущений двух модальностей
2-я подгруппа (12 чел.)	435–1352,7	1372,6–1516	1,3–18,2 (7,4)	Формирование образа движения на основе сочетания ощущений двух модальностей и нечеткого определения образа движения

У испытуемых 2-й подгруппы (12 чел. – 57,1%) длительность временного интервала (Т) между «стартовым» стимулом и началом МНП определялась в диапазоне 435–1352,7 мс, длительность МНП имела разброс 1372,6–1516 мс и амплитуда – 1,3–18,2 мкВ (7,4 мкВ среднее значение). По отчетам испытуемых, представление движения у большинства из них сопровождалось формированием образа двигательной реакции на основе сочетания ощущений двух модальностей с разной степенью преобладания либо определение тактики представления движения давалось нечетко. В данную группу вошло большинство испытуемых (9 чел.) 3-й подгруппы и все испытуемые 2-й подгруппы серии ПД (табл. 4). Также отмечено, что у нескольких испытуемых (4 чел.) после «стартового» сигнала появилась низкоамплитудная ЭМГ-активность.

Отмечено, что средние по группе значения амплитудных параметров МНП имеют тенденцию к увеличению в серии ПД-БОС по сравнению с серией ПД, но значительно вариативны у разных испытуемых, что, по-видимому, обусловлено разной выраженностью реакции на оценочный звуковой «сигнал успеха» в качестве БОС-сигнала и индивидуальными особенностями тактики мысленного представления движения.

В целом в сериях ПД и ПД-БОС при сопоставлении исследуемых временных параметров (длительность интервала Т и МНП) по группам, выявляются сходные результаты, а некоторое количественное изменение состава подгрупп, вероятно, можно объяснить тем, что серии проводились последовательно с незначительной временной паузой (не больше 5 мин) и в серии ПД-БОС проявлялся эффект обучения/тренировки.



Примеры карт полной мощности МНП при мысленном представлении движения (серия ПД) и при мысленном представлении движения с БОС-сигналом (серия ПД-БОС)

Интервал (Т) между «стартовым» сигналом и началом МНП, по-видимому, можно рассматривать как электрографический эквивалент времени реакции. Значительно короче этот интервал был в тех случаях, когда представление движения сопровождалось формированием четкого образа на основе одновременного сочетания ощущений как нескольких модальностей (преимущественно), так и при попарном сочетании модальностей. «Включение» моторного компонента (ЭМГ-активность после «стартового» сигнала) было в этих случаях дополнительным фактором, «усиливающим» четкость образа представляемого движения.

Проведен анализ МНП, индивидуально по испытуемым, с помощью топографического картирования его полной мощности, сопоставлены карты мощности медленного потенциала, зарегистрированного в 1-й (ПД) и 2-й (ПД_БОС) сериях. У разных испытуемых отмечалась разная степень выраженности максимальной мощности, однако представленность по отведениям у большинства испытуемых была идентичной. Выявились преобладание МНП, зарегистрированных

в обеих сериях, в лобно-сагиттальном отведении, а также в лобном и центральном отведениях в полушарии ипсилатеральном по отношению к «работающей» руке. Примеры карт полной мощности МНП представлены на рисунке.

Заключение

Изучение электрографических коррелятов мысленно представляемых движений, в большинстве известных из литературных источников исследований, основывается на анализе изменений суммарной биоэлектрической активности мозга (ЭЭГ) с оценкой частотных составляющих ЭЭГ [5, 6], выявлением характерных паттернов активности [7, 8], специфичности пространственной организации биопотенциалов, анализом функционального взаимодействия структур мозга и сопоставлений изменений ЭЭГ с данными нейровизуализационных методов (фМРТ) [9–11], в отдельных исследованиях изучались электрографические характеристики потенциалов мозга, связанных с движением при мысленном представлении движения [12].

Настоящее исследование проводилось с целью апробации на группе здоровых людей разработанной нами методики и основывалось на комплексном анализе нейрофизиологических показателей, сопутствующих мысленному представлению движения, в сопоставлении с индивидуальными особенностями тактики представления движения.

Показано, что при представлении движения после «стартового» звукового сигнала формируется МНП в лобных, лобно-сагиттальных и центральных областях полушарий. При анализе длительности и амплитуды медленного потенциала, в сопоставлении с картированием его мощности, выявляется преимущественная выраженность МНП по амплитуде в полушарии ипсилатеральном по отношению к «работающей» руке. Данный факт согласуется с литературными данными, полученными на основе анализа ЭЭГ и фМРТ-ответов мозга здорового человека, где показано нарастание активации лобных отделов и структур ипсилатерального полушария при воображаемом движении руки [11], выраженная ипсилатеральная активация во фронто-париетальной области коры при представлении движения [7, 8], отмечена не только контралатеральная, но и ипсилатеральная представленность СДПМ при мысленных движениях руками [12].

Выявленный в нашем исследовании достаточно большой разброс значений амплитудно-временных параметров МНП у испытуемых дает основание полагать их зависимость от тактики мысленного представления движений на основе индивидуальной значимости ощущений разных модальностей. В отдельных работах, на основании анализа ЭЭГ, отмечалась значимость зрительных, моторных и кинестетических образов при представлении движения [13, 14]. Нами показано, что при представлении движения наименьшая длительность и преобладание амплитуды МНП коррелировали с формированием образов на основе одновременного сочетания ощущений нескольких модальностей. Важным фактором, способствующим четкости образа представляемого движения, было наличие ЭМГ-активности как показателя «включения» моторного компонента при выполнении задачи.

Временной интервал между «стартовым» сигналом и началом МНП рассматривался нами как электрографический эквивалент времени реакции, который необходимо учитывать при анализе процесса подготовки к реализации задачи представления движения.

Таким образом, исследованные нейрофизиологические феномены, проявляющиеся в процессе мысленного представления движения, могут рассматриваться в качестве объективных показателей процесса представления движения.

Показано, что анализ нейрофизиологических показателей, сопутствующих мысленному представлению движения, наиболее эффективен при их комплексной оценке и в сопоставлении с индивидуальными особенностями тактики представления движения.

Увеличение амплитуды МНП при предъявлении звукового «сигнала успеха», по полученным нами в настоящем исследовании результатам, можно оценивать лишь как тенденцию, эффективность использования параметров амплитуды МНП в качестве БОС-сигнала нельзя считать однозначно доказанной. Значения амплитудных параметров МНП вариативны у разных испытуемых, что может быть обусловлено как разной выраженностью индивидуальной реакции на оценочный сигнал, так и индивидуальной значимостью модальности сигнала. Для получения наиболее четкого обоснования и доказательности сделанных предположений мы планируем продолжить исследование при количественном увеличении групп испытуемых с более детальной оценкой индивидуальных особенностей решения предложенной задачи мысленного представления движения на основе расширенного опроса испытуемых.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-01002 мк.

Список литературы

1. Синицкая Е.Ю., Грибанов А.В. Потенциалы мозга, связанные с движением // Экология человека. 2014. № 1. С. 49–59.
2. Brunia C.H.M., van Boxtel G.J.M., Bocker K.B.E. Negative slow waves as indices of anticipation: the Bereitschaftspotential, the Contingent negative variation, and the stimulus-preceding negativity. The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components. Oxford Library of Psychology. Steven J. Luck, Emily S. Kappenman. Oxford University Press. 2011. P. 189–208. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0108.
3. Трошина Е.М., Сазонова О.Б., Кроткова О.А., Шарова Е.В., Каверина М.Ю., Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А. Связанные с движением потенциалы мозга человека как электрографический коррелят подготовки и реализации произвольного двигательного акта // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 5. С. 57–62. DOI: 10.17513/mjprfi.13068.
4. Трошина Е.М., Сазонова О.Б., Кроткова О.А., Шарова Е.В., Каверина М.Ю., Суханова А.В. Исследование медленных преддвигательных потенциалов мозга человека (модификация методики регистрации потенциала готовности) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. №10. С. 61–66. DOI:10.17513/mjprfi.13293.

5. Кирой В.Н., Владимирский Б.М., Асланян Е.В., Бахтин О.М., Миняева Н.Р. Электрографические корреляты реальных и мысленных движений: спектральный анализ // Журнал высшей нервной деятельности. 2010. Т. 60. № 5. С. 525–533.
6. Smith M.M., Weaver K.E., Grabowski T.J., Rao R.P., Darvas F. Non-invasive detection of high gamma band activity during motor imagery. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. Vol. 8. Article 817. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00817.
7. Васильев А.Н., Либукрина С.П., Калан А.Я. Латерализация паттернов ЭЭГ у человека при представлении движения руками в интерфейсе мозг-компьютер // Журнал высшей нервной деятельности. 2016. Т. 66. № 3. С. 302–312.
8. Paek A.Y., Agashe H.F., Contreras-Vidal J.L. Decoding repetitive finger movements with brain activity acquired via non-invasive electroencephalography. *Frontiers in Neuroengineering*. 2014. №7. P. 3. DOI: 10.3389/fneng.2014.00003.
9. Berman B.D., Horovitz S.G., Venkataraman G., Hallett M. Selfmodulation of primary motor cortex activity with motor and motor imagery tasks using real-time fMRI-based neurofeedback. *Neuroimage*. 2012. № 59 (2). P. 917–925.
10. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., Челяпина М.В., Дубровская Л.П., Смирнова О.А., Фадеева Л.М., Пронин И.Н., Корниенко В.Н. Структурно-функциональные особенности мозга при выполнении и представлении двигательных нагрузок у здоровых людей (ЭЭГ и фМРТ исследования) // Физиология высшей нервной (психической) деятельности человека. 2013. Т. 63. № 3. С. 316–327.
11. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., Челяпина М.В., Дубровская Л.П., Смирнов А.С., Трошина Е.М., Пронин И.Н., Корниенко В.Н. Сопоставление фМРТ-реакций мозга здоровых людей при активных, пассивных и воображаемых движениях рукой // Медицинская визуализация. 2015. № 5. С. 100–112.
12. Лазуренко Д.М., Кирой В.Н., Асланян Е.В., Шепелев И.Е., Бахтин О.М., Миняева Н.Р. Электрографические характеристики связанных с движением потенциалов // Журнал высшей нервной деятельности. 2017. 67. № 4. С. 430–444.
13. Neuper C., Scherer R., Reiner M., Pfurtscheller G. Imagery of motor actions: differential effects of kinesthetic and visual motor mode of imagery in single trial EEG. *Brain. Res. Cogn. Brain. Res.* 2005. №25(3). P. 668–677. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.014.
14. Bouchra H.H., Ahmad D., Aya K., Ahmad R.S. Electroencephalography Measurement to Compare Visual and Kinesthetic Motor Imagery of Squat Vertical Jump. *Int. J. Phys. Med. Rehabil.* 2016. № 4(323). P. 2.