

fNIRS-исследование межполушарной связи зон моторной коры в задаче на реципрокную координацию

Научный руководитель – Кисельников Андрей Александрович

Абросимова В.Д.¹, Скрипкина С.М.², Зубко В.М.³, Нефельд Е.Е.⁴, Обрящиков И.Е.⁵
1 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет психологии, Москва, Россия, *E-mail: vasilisaabr@yandex.ru*; 2 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет психологии, Кафедра психофизиологии, Москва, Россия, *E-mail: skripkina03@mail.ru*; 3 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет психологии, Кафедра психофизиологии, Москва, Россия, *E-mail: q158veronika@gmail.com*; 4 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет психологии, Кафедра психофизиологии, Москва, Россия, *E-mail: nefeld.ekaterina@mail.ru*; 5 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет психологии, Москва, Россия, *E-mail: oel13@mail.ru*

Введение.

Функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия (fNIRS) представляет собой современную технологию, основанную на измерении гемодинамической реакции мозга с использованием инфракрасного излучения [3]. fNIRS является безопасным неинвазивным методом, который, благодаря своим преимуществам, активно используется в исследованиях в сферах нейронаук, психологии, медицины, образования и других областях науки. Настоящее исследование проведено с применением технологии fNIRS и направлено на регистрацию и анализ межполушарного взаимодействия во время выполнения пробы на реципрокную координацию, предложенной отечественными учеными в начале XX века с целью диагностики двигательных нарушений при поражении моторных отделов головного мозга. Выполняющий пробу человек размещает руки на столе перед собой, при этом попеременно сжимает одну ладонь в кулак, вторую оставляет выпрямленной. Его задача – в быстром темпе одновременно менять позу рук – распрямлять кулак одной руки и сжимать другую [1]. Несмотря на широкое применение данной нейропсихологической методики в практике, психофизиологические механизмы возникающего при этом межполушарного взаимодействия все еще требуют уточнения.

Для данного эксперимента был использован блоковый дизайн, включающий повторение блоков из работы левой рукой, отдыха, работы правой рукой, отдыха, реципрокной координации и отдыха (в периоды отдыха уровни окси- и дезоксигемоглобина возвращаются к исходным значениям) [2]. Цель – исследовать межполушарное взаимодействие моторных зон в задаче на реципрокную координацию. Гипотеза исследования – взаимодействие симметричных моторных зон при выполнении задачи на реципрокную координацию будет более выражено, чем в задаче на работу одной рукой.

Методика. Исследование проведено с использованием fNIRS OxyMon LS (Artinis Medical Systems, Нидерланды), расположенного на факультете психологии МГУ имени М.В. Ломоносова и эксплуатируемого в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект». В исследовании приняли участие 20 человек (10 мужчин и 10 женщин, средний возраст – 21 год), все участники были правшами и не имели неврологических и/или психических заболеваний. До начала эксперимента на голове участника размещались оптические датчики, которые были расположены над зонами моторной коры мозга (а также над непосредственно прилегающими зонами премоторной и соматосенсорной коры), симметрично по 7 каналов с каждой стороны (рис.1). Во время записи участники сидели за столом в удобном

положении с закрытыми глазами. Исследование состояло из десяти блоков по 3 минуты (левая рука – 30 сек., отдых – 30 сек., правая рука – 30 сек., отдых – 30 сек., реципрокная координация – 30 сек., отдых – 30 сек.). Задача участников – сжимать и разжимать кулак в соответствии с инструкцией. Половина участников начинали эксперимент с работы левой рукой, другая половина – с работы правой.

Данные оксигенации крови по всем участникам усреднялись, после чего были вычислены коэффициенты непараметрической корреляции между 30-секундными изменениями концентрации оксигенированного гемоглобина внутри пар симметричных каналов, расположенных над зонами моторной коры, а также над непосредственно прилегающими зонами премоторной и соматосенсорной коры. Полученные коэффициенты корреляции (отдельно для работы левой руки, правой руки, реципрокной координации и отдыха) в рамках сетевой психофизиологии можно рассматривать как меру функциональной связности между симметричными зонами левого и правого полушарий в процессе выполнения моторной задачи. Также была вычислена разница между соответствующими коэффициентами корреляции в условиях реципрокной координации и работы левой/правой руки (табл.1, две последние строки). Кроме того, по критерию Вилкоксона для экспериментальной выборки рассчитывалась статистическая значимость отличий индивидуальных межполушарных коэффициентов корреляции в каждом из 7 каналов между серией реципрокной координации и сериями с работой левой/правой руки.

Результаты и обсуждение. Результаты эксперимента приведены в Таблице 1. Все коэффициенты корреляции между изменениями концентрации оксигенированного гемоглобина внутри пар симметричных каналов в сериях работы левой руки, правой руки, реципрокной координации и отдыха оказались больше 0.5 и статистически значимыми (R Спирмена от 0.504 до 0.988, $p < 0.001$). Можно предположить, что полушария как в состоянии покоя, так и в процессе выполнения задач на движение руки и реципрокную координацию сильно синхронизированы, поэтому корреляции достаточно высокие и значимые.

Анализ двух последних строк табл. 1 показывает, что сильнее всего межполушарное взаимодействие возрастает в паре каналов Rx2-Tx2/Rx1b-Tx4 при переходе от работы левой рукой к реципрокной координации (+0.358). При вычислении статистической значимости отличий индивидуальных межполушарных коэффициентов корреляции в каждом из 7 каналов между серией реципрокной координации и сериями с работой левой/правой руки только результат в этой паре каналов оказался близок к значимому уровню ($p = 0.06$). Можно предположить, что именно эта пара каналов попадает на проекцию рук в первичной моторной коре (или в непосредственно примыкающих спереди премоторных областях) и именно эти зоны активно вовлекаются в межполушарное взаимодействие при переходе от работы одной рукой к реципрокной координации, что, в целом, согласуется с выдвинутой гипотезой.

Выводы. Таким образом, проведенное исследование позволило апробировать метод функциональной ближней инфракрасной спектроскопии для изучения психофизиологических механизмов межполушарного взаимодействия в моторной сфере.

Работа была выполнена при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета "Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект".

Источники и литература

- 1) Лурия А.Р. Высшие корковые функции и их нарушение при локальных поражениях мозга. М.: МГУ. 1962.

- 2) Luke R., Larson E., Shader M.J., Innes-Brown H., Van Yper L., Lee A.K.C., Sowman P.F., McAlpine D. Analysis methods for measuring passive auditory fNIRS responses generated by a block-design paradigm // Neurophotonics. 2021. V.8. №.2.
- 3) Pinti P., Tachtsidis I., Hamilton A., Hirsch J., Aichelburg C., Gilbert S., Burgess P.W. The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience // Annals of the New York Academy of Sciences. 2020. V.1464. №.1. P. 5-29.

Иллюстрации

		Rx1a- Tx1/Rx4- Tx5	Rx1a- Tx2/Rx1b- Tx5	Rx2- Tx1/Rx4- Tx4	Rx2- Tx2/Rx1b- Tx4	Rx2- Tx3/Rx3b- Tx4	Rx3a- Tx1/Rx4- Tx6	Rx3a- Tx3/Rx3b- Tx6
Левая рука (Л)	R(S)	0,868	0,692	0,861	0,552	0,505	0,966	0,766
Правая рука (П)	R(S)	0,863	0,707	0,83	0,888	0,884	0,452	0,893
Рец. Координа ция (Р)	R(S)	0,988	0,714	0,957	0,91	0,53	0,729	0,968
Фон	R(S)	0,938	0,84	0,93	0,504	0,644	0,906	0,97
Все коэффициенты корреляции значимы, $p < .001$. N = 20.								
Р-Л		0,12	0,022	0,096	0,358*	0,025	-0,237	0,202
Р-П		0,125	0,007	0,127	0,022	-0,354	0,277	0,075

* $p = .06$. N = 20.

Рис. : Таблица 1. Усредненные по выборке коэффициенты корреляции внутри симметричных пар каналов в разных сериях эксперимента.

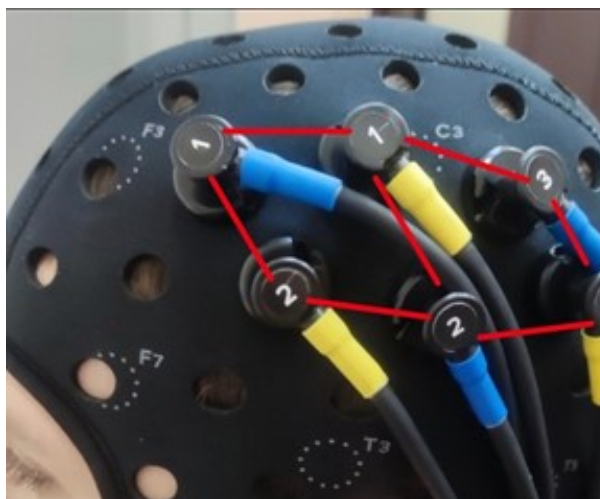


Рис. : Рис. 1. Расположение семи межполушарных каналов (отмечены красными линиями) на левой стороне головы участника эксперимента, аналогично справа.