

## ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК М-ОТВЕТА И F-ВОЛНЫ МЫШЦ И НЕРВОВ ПРЕДПЛЕЧИЙ, УЧАСТВУЮЩИХ В РЕАЛИЗАЦИИ СЛОЖНОСКООРДИНИРОВАННЫХ БИМАНУАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Курский государственный медицинский университет, г. Курск

Ткаченко П.В.

*Бимануальная двигательная координация является одной из сложных для реализации программ. В то же время, практически не описаны особенности внутрисистемных функциональных корреляционных взаимоотношений параметров мышц-исполнителей, что и явилось целью нашей работы.*

*Материалы и методы. У испытуемых мужского и женского пола (39 мужчин и 36 женщин) в возрасте от 18 до 20 лет регистрировали параметры F-волны и М-ответа с применением метода стимуляционной миографии посредством нейромиоанализатора НМА-4-01 «Нейромиан», Россия. Исследование проводилось при стандартных условиях в соответствии с рекомендациями. При статистической обработке проводился полный корреляционный анализ и рассчитывался коэффициент суммарной многосторонней скоррелированности.*

*Результаты и заключение. Выявлены существенные различия в интермодальных корреляционных взаимоотношениях рассматриваемых характеристик в группах мужчин и женщин, свидетельствующие об особенностях организации деятельности нервных центров, отвечающих за реализацию бимануальной двигательной программы.*

**Ключевые слова:** бимануальные движения, стимуляционная электромиография, корреляция.

*Bimanual motor coordination is one of the challenging programs to implement. At the same time, the peculiarities of intra-system functional correlation relations of parameters of the executing muscles have hardly been described, which was the aim of our work.*

*Materials and methods. In male and female test persons (39 men and 36 women) aged 18 to 20 years, F-wave and M-response parameters were recorded using the method of stimulation myography through neuromy analyzer NMA-4-01 "Neuromyan", Russia. The study was conducted under standard conditions in accordance with the recommendations. In statistical processing, a complete correlation analysis was carried out and the coefficient of total multifaceted correlation was calculated.*

*Results and conclusion. Significant differences in intermodal correlation relations of the considered characteristics in groups of men and women were revealed, indicating peculiarities of the activity organization in nerve centers responsible for the implementation of the bimanual motor program.*

**Key words:** bimanual movements, stimulant electromyography, correlation.

В наших исследованиях сенсорного обеспечения бимануальной двигательной активности установлено, что особенности сенсорно-моторного взаимодействия и, следовательно, уровень бимануальной координации, в том числе и половые различия, зависят от параметров внутрисистемных (зрительных и слуховых) корреляционных связей [11, 12, 13]. При этом у женщин уровень произвольных целенаправленных сочетанных движений рук существенно ниже, чем у мужчин [10].

В ряде исследований [6, 7] были описаны корреляты характеристик эффекторного аппарата у испытуемых разных полов. Авторы небезосновательно предположили, что выявленная картина отражает состояние нервно-мышечного аппарата мышц предплечий как степень готовности к реализации сформированной произвольной двигательной программы. Стимуляци-

онная электронейромиография является еще более тонким индикатором состояния и координации деятельности не только периферических структур, но и нервных центров, включенных в функциональную систему реализации бимануальных движений. Особенности прямых и криволинейных взаимоотношений характеристик стимуляции симметричных нервов как раз и отражают различные стратегии реализации двигательных заданий [14, 15].

Известно, что исследование F-волны дает возможность определить скорость проведения по нервам на самом проксимальном их участке, оценить состояние центральных систем регуляции двигательных функций, а М-ответ является вызванным суммарным потенциалом мышцы и, визуализируясь посредством поверхностных электродов, отражает суммарную активность

мышц, участвующих в осуществлении координации движений рук [3, 5].

В то же время, остаются практически не описанными особенности внутрисистемных функциональных корреляционных взаимоотношений характеристик параметров М-ответа и F-волны эффекторного аппарата, непосредственно участвующего в реализации сложнокоординированных движений рук, с позиций эффективной реализации центральной программы у мужчин и женщин.

### Материалы и методы

В исследовании на основе информированного согласия приняли участие 75 испытуемых (39 мужчин и 36 женщин) в возрасте от 18 до 20 лет.

Регистрация параметров F-волны осуществлялась на нейромиоанализаторе НМА-4-01 «Нейромиан», Россия.

Стимулируемыми нервами являлись: п. Medianus (срединный нерв), место стимуляции – локтевая ямка у медиального края сухожилия m. Biceps, место отведения потенциалов M. abductor pollicis brevis; п. Ulnaris (локтевой нерв), место стимуляции на уровне лучезапястного сустава непосредственно медиальнее гороховидной кости, место отведения потенциала m. thenar и hypothenar, m. Interosseus; п. Radialis (лучевой нерв), место стимуляции точка на границе верхней и средней трети предплечья вдоль локтевой кости, место отведения потенциала m. Extensor pollicis longus [3, 5]. Исследовались параметры F-волны и М-ответа на правом и левом предплечье. В качестве отводящих электродов использовались поверхностные электроды. Активный электрод располагали на брюшке мышцы, а референтный дистальнее активного электрода. Электроды электростимулятора (с соблюдением полярности) устанавливали на выбранную активную точку исследуемого нерва. Заземляющий электрод располагали между стимулирующим и отводящим электродами. Для нахождения точек расположения стимулирующих и отводящих электродов использовали анатомо-клинические и анатомо-топографические руководства [5, 8]. Для стимуляции применялись переключатель ножной и регулятор электростимулятора. Использовалась биполярная стимуляция прямоугольными импульсами тока. Количество стимулов – 20 с частотой 1 Гц. Длительность стимуляции 0,1 мс с нулевой задержкой и супрамаксимальной интенсивностью. Динамический диапазон регистрации М: 80000 мкВ, F-8000 мкВ. Полоса пропускания от 10 Гц до 2000 Гц с выключенным фильтром режекции. Порог интенсивности стимулов 50 мА. Скорость развертки 2,5 мс/д. Чувствительность М: 2 мВ/д – F: 200 мВ/д. В качестве диагностических параметров рассматривались: латентность М-ответа (мс), амплитуда М-ответа

(мВ), минимальные (min), средние (med) и максимальные (max) значения F-волны, соотношение амплитуд F-волна/М-ответ (min, med, max) в %, разность латентностей F-волна – М-ответ (min, med, max) в мс, а также минимальная, средняя и максимальная скорость проведения по нерву. Для расчетов использовались параметры только первого М-ответа, что связано с его стабильностью при использовании супрамаксимальных стимулов.

При статистической обработке рассчитывались средние значения рассматриваемых характеристик с ошибками. Для оценки взаимоотношений производился полный корреляционный анализ с расчетом коэффициентов (r) корреляции и корреляционных отношений (η) зарегистрированных показателей. С целью определения уровня многосторонних связей рассчитывали  $\Sigma r + \eta$  для каждого показателя без учета знака [2, 9].

### Результаты и обсуждение

Средние значения рассматриваемых характеристик мы не приводим, поскольку они в целом соответствуют значениям, описанным в соответствующей литературе, и находятся в пределах физиологической нормы как в группе испытуемых мужского пола, так и в группе женщин [5].

Из данных, представленных в таблице 1, видно, что в группе испытуемых мужского пола среди характеристик М-ответа и F-волны, относящихся к лучевому нерву справа, наибольшей суммарной многосторонней скоррелированностью обладают средние значения латентности F-волны, разности латентностей и скорости проведения импульса, занимающие первые ранги. Сумма всех коэффициентов корреляции и корреляционных отношений рассматриваемых показателей составила – 29, 658. Картина активности симметричного нерва слева обладает сходными чертами, за исключением того, что в первую тройку наиболее взаимосвязанных показателей входит минимальная, а не средняя скорость проведения возбуждения по указанному нерву. Суммарная скоррелированность данного нерва равна 45, 369.

Что касается срединного нерва справа у мужчин, то здесь, как и в случае, описанном выше, первые три ранга по уровню суммарной многосторонней скоррелированности занимают средние значения характеристик проведения возбуждения. Сумма всех коэффициентов корреляции и корреляционных отношений равна – 29, 410. Характеристики симметричного нерва слева скоррелированы несколько по-иному. Так, первые три ранга занимают максимальное значение разности латентностей F-волны и М-ответа, а также минимальное и среднее значения скорости проведения по нерву. Сле-

Таблица 1  
Суммарная многосторонняя скоррелированность ( $\Sigma r+n$ ) характеристик М-ответа и F-волны мышцы и нервов предплечий у испытуемых мужского пола

Латентность М-ответа	Амплитуда М-ответа	Латентность F-волны		Амплитуда F-волны/Амплитуда М-ответа		Латентность F-волны – Латентность М-ответа		Скорость проведения					
		min	med	max	min	med	max	min	med	max			
1,650	3,219	2,871	6,062*	5,266	5,358	3,187	2,132	2,702	5,714*	4,472	5,577	6,696*	4,365
5,084	3,965	6,740	7,548*	6,654	5,728	6,155	4,178	6,847	7,895*	7,253	7,720*	7,347	7,524
0,677	4,193	2,922	6,183*	4,955	6,144	1,976	2,515	1,027	6,535*	5,650	5,868	7,043*	3,132
5,575	3,892	6,884	6,716	8,283	7,430	6,657	6,380	8,202	7,783	8,847*	8,340*	8,633*	8,067
5,005	3,839	4,687	4,725	3,356	4,736	5,775	4,560	6,810	6,823*	3,669	3,078	6,957*	6,874*
2,441	3,783	4,201	5,850*	5,686	2,409	3,255	2,916	5,795*	5,698*	4,502	4,271	5,715	5,262

Примечание: \* – обозначены  $\Sigma r+n$ , занимающие первые три ранга по уровню суммарной многосторонней скоррелированности.

Таблица 2  
Суммарная многосторонняя скоррелированность ( $\Sigma r+n$ ) характеристик М-ответа и F-волны мышц предплечий у испытуемых женского пола

Латентность М-ответа	Амплитуда М-ответа	Латентность F-волны		Амплитуда F-волны/Амплитуда М-ответа		Латентность F-волны – Латентность М-ответа		Скорость проведения					
		min	med	max	min	med	max	min	med	max			
2,848	3,231	4,545	6,386*	4,922	2,851	5,975	1,668	5,323	6,136*	4,030	5,193	6,712*	4,304
2,907	0,966	3,579	6,083*	4,957	3,209	3,934	3,289	3,427	6,514*	4,740	5,137	7,462*	4,062
3,182	2,788	5,132	6,656*	5,209	2,656	3,301	3,372	5,230	7,521*	5,313	5,953	7,107*	6,543
2,727	0,390	2,640	6,950	5,415	4,182	4,442	5,001	4,445	7,378*	7,285*	5,230	7,933*	4,426
0,946	1,648	4,700	6,403	5,169	5,046	5,810	4,769	5,331	6,599*	5,761	6,031	6,533*	7,672*
3,558	2,206	2,816	5,347	5,247	6,020*	5,310	4,151	5,431	7,859*	5,943	5,302	7,673*	3,989

Примечание: см. Таблица 1.

дует отметить, что данные характеристики достоверно не различаются ни между собой, ни с последующими рангами. Суммарно взаимоотношения характеристик данного нерва находятся на уровне – 50, 849.

Рассмотрение суммарной многосторонней скоррелированности характеристик локтевого нерва справа показало, что первые три ранга занимают среднее значение разности латентностей, а также среднее и максимальное значения скорости проведения нервного импульса по нерву. При этом различия с последующими рангами являются существенными. Сумма взаимоотношений характеристик рассматриваемого нерва равняется – 35, 397. Среди характеристик локтевого нерва слева наибольший уровень взаимоотношений обнаруживают среднее значение латентности F-волны наряду с минимальным и средним значениями разности латентностей F-волны и M-ответа. Здесь уровень многосторонней скоррелированности показателей составляет – 30, 889. Сумма коэффициентов корреляции и корреляционных отношений всех систем составила 221, 572.

В группе испытуемых женского пола (таблица 2) картина суммарной многосторонней скоррелированности характеристик лучевого нерва справа аналогична таковой у мужчин. Так, первые ранги занимают средние значения латентности F-волны, разности латентностей F-волны и M-ответа и скорости проведения по нерву. Сумма всех корреляционных связей равна – 32, 062. Такое ранжирование характерно и для показателей симметричного нерва. Здесь суммарный уровень скоррелированности характеристик составляет значение – 30, 133.

Что касается срединного нерва справа, то здесь первые три ранга по уровню суммарной многосторонней корреляционной связи принадлежат показателям, указанным выше. Суммарная скоррелированность характеристик находится на уровне – 34, 987. Что касается симметричного нерва, то здесь выраженные взаимоотношения обнаруживают среднее и максимальное значения разностей латентностей и среднее значение скорости проведения возбуждения по нерву. Сумма корреляционных связей равняется – 34, 222.

Среди характеристик локтевого нерва правого предплечья наибольшая суммарная скоррелированность характерна для среднего значения разности латентностей и среднего и максимального значений скорости проведения по нерву. Сумма всех коэффициентов корреляции и корреляционных отношений показателей составляет – 36, 224. С левой стороны наряду со средними значениями разности латентностей и скорости проведения в тройку наиболее взаимосвязанных показателей входит минимальное значение соотношений амплитуд

F-волны и M-ответа. Многосторонняя скоррелированность показателей данного нерва находится на уровне – 35, 426. Сумма коэффициентов корреляции и корреляционных отношений всех систем составила 203, 054.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в группе испытуемых мужского пола в тройку наиболее корреляционно взаимосвязанных из рассматриваемых показателей входят латентность F волны, различия латентностей F-волны и M-ответа, а также скорость распространения возбуждения по соответствующим нервам. Характерным является наличие наиболее выраженных связей преимущественно средних значений этих характеристик. Выявленные особенности представляются вполне закономерными, поскольку латентность F-волны является основным показателем, дающим представление о времени проведения по нерву в обе стороны, и соотносится со скоростью проведения по двигательному нерву и длиной исследуемого двигательного пути. При этом, возникая после M-ответа, F-волна является следствием антидромного возбуждения [1, 5]. Интересным является факт, что наибольшая суммарная многосторонняя скоррелированность обнаружена в системах показателей лучевого и срединного нервов слева. Очевидно, это обусловлено функциями мышц, иннервируемыми указанными нервами, т.е. основных мышц, осуществляющих сгибание и разгибание, а левостороннее превалирование представляется проявлением компенсаторных механизмов субдоминантной конечности [4].

У испытуемых женского пола картина внутрисистемной скоррелированности характеристик F-волны и M-ответа имеет сходные черты с таковой у мужчин, поскольку первые ранги по уровню взаимосвязи занимают те же характеристики. Обращает на себя внимание появление в начале ранжированного ряда в системе локтевого нерва слева минимального значения соотношения амплитуд F-волны и M-ответа. Данные значения не зависят от состояния периферической мускулатуры и отражают, прежде всего, степень возбудимости мотонейронов [5]. Характерно, что максимальная суммарная многосторонняя скоррелированность принадлежит системам правого и левого локтевых нервов, однако достоверно не различаясь с остальными.

### Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что на фоне схожих закономерностей внутрисистемных корреляционных взаимосвязей показателей F-волны и M-ответа имеются существенные различия взаимоотношений в группах мужчин и женщин, проявляющиеся в более дифференцированном характере корреляции показателей отдельных нервов,

а также в выраженной тесноте связей у мужчин. Это, вероятно, свидетельствует о различных стратегиях спинальных и супраспинальных влияний и, как следствие, функционирования периферического нервно-мышечного аппарата. Вероятно, полученные результаты могут являться основанием для изучения межсистемных (эффекторных) и эффекторно-моторных корреляционных взаимоотношений с учетом обнаруженных нами ранее половых различий бимануальной координации [10].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Список литературы:

1. Гехт Б.М., Касаткина Л.Ф., Самойлов М.И. и др. Электромиография в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Таганрог: Изд-во ТРТУ. 1997: 370.
2. Завьялов А.В. Соотношение функций организма. М.: Медицина. 1990: 159.
3. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней: рук-во для врачей. М.: МЕДпресс-информ. 2004: 578.
4. Кирпатовский И.Д., Смирнова Э.Д. Клиническая анатомия. В 2 книгах. Кн. 2. Верхняя и нижняя конечность. Учебное пособие. М.: МИА, 2003: 316.
5. Николаев С.Г. Практикум по клинической электромиографии. Иваново: ИГМА; 2003: 264.
6. Петрова Е.В. Скоррелированность характеристик электронейромиографии у испытуемых мужского пола. Региональный вестник. 2020; 2(42): 14-16.
7. Петрова Е.В. Скоррелированность характеристик электронейромиографии у испытуемых женского пола. Региональный вестник. 2020; 2(42): 28-29.
8. Пишель Я.В., Шапиро М.И., Шапиро И.И. Анатомо-клинический атлас рефлексотерапии. М.: Медицина. 1989: 143.
9. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: МГУ; 1972: 230.
10. Ткаченко П.В. Уровни бимануальной координации и некоторые дифференциально-психофизиологические аспекты двигательной активности. Курский науч.-практич. вестн. «Человек и его здоровье». 2006; 4: 17-23.
11. Ткаченко П.В., Бобынцев И.И. Закономерности внутрисенсорных и сенсоно-эффекторных корреляционных взаимоотношений амплитудных характеристик зрительных вызванных потенциалов с показателями бимануальной координации. Курский науч.-практич. вестн. «Человек и его здоровье». 2009; 2: 31-38.
12. Ткаченко П.В., Бобынцев И.И. Внутрисенсорные и сенсорно-эффекторные корреляты амплитуд компонентов акустических стволовых вызванных потенциалов с характеристиками координации движений рук. Курский науч.-практич. вестн. «Человек и его здоровье». 2010; 2: 21-28.
13. Ткаченко П.В., Бобынцев И.И. Межсистемные корреляты амплитуд компонентов зрительных и слуховых вызванных потенциалов. Курский науч.-практич. вестн. «Человек и его здоровье». 2011; 4: 77-82.
14. Ткаченко П.В. Межсистемные прямолинейные корреляционные взаимоотношения характеристик стимуляционной электронейромиографии симметричных нервов предплечий. Региональный вестник. 2019; 7(32): 2.
15. Ткаченко П.В. Межсистемные криволинейные корреляционные взаимоотношений характеристик стимуляционной электронейромиографии симметричных нервов предплечий. Региональный вестник. 2019; 17(32): 17.

#### Контактные данные

Автор, ответственный за переписку: Ткаченко Павел Владимирович, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой нормальной физиологии, директор НИИ физиологии Курского государственного медицинского университета, г. Курск. 305041, г. Курск, ул. К. Маркса, 3. Тел.: (4712) 588151. E-mail: pwtkachenko@rambler.ru