

УДК 612.843.7

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВНУТРИСЕНСОРНЫХ И СЕНСОРНО-ЭФФЕКТОРНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРИТЕЛЬНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ БИМАНУАЛЬНОЙ КООРДИНАЦИИ

© Ткаченко П.В., Бобынцев И.И.

Кафедра нормальной физиологии  
Курского государственного медицинского университета, Курск

E-mail: [main@kgmu.kursknet.ru](mailto:main@kgmu.kursknet.ru)

Исследованы закономерности устойчивых корреляционных взаимоотношений временных характеристик зрительных вызванных потенциалов на вспышку света с показателями координации сложных целенаправленных бимануальных движений, характеризующие зрительно-моторные взаимоотношения. Выявлены особенности сенсорно-эффекторной организации и вклад скорости распространения возбуждения через зрительные структуры полушарий головного мозга в осуществление двигательной активности у испытуемых мужского и женского пола в зависимости от латерализации нанесения стимула.

**Ключевые слова:** зрительные вызванные потенциалы, бимануальная координация, корреляция.

## FEATURES OF INTRASENSOR AND SENSOR-EFFECTOR CORRELATION OF TEMPORAL CHARACTERISTICS OF VISUAL INDUCED POTENTIALS AND THE PARAMETERS OF BI-MANUAL COORDINATION

*Tkachenko P.V., Bobyntsev I.I.*

Normal Physiology Department of the Kursk State Medical University, Kursk

The features of stable correlation of temporal characteristics of visual induced potentials to a light flash and the parameters of coordination of the complicated purposeful bi-manual movements, characterizing the visual-motor interrelationship have been determined. The features of sensor-effector organization and the role of the propagation velocity of excitation through the visual structures of the brain hemispheres in performing the motion activity in males and females due to the lateralization of a stimulus applied have been found.

**Key words:** visual induced potentials, bi-manual coordination, correlation.

Исследованиями ряда авторов выявлено, что показатели сенсорных и эффекторных функций человека находятся в определенной корреляционной зависимости различной направленности и степени выраженности. Функции разного биологического качества согласованы по своим характеристикам и от их параметров зависит характер текущего взаимодействия этих функций. При этом высокой функциональной активности сенсорных систем соответствует более эффективная работа нервно-мышечного аппарата [3, 4, 5].

Существующей сенсорно-эффекторной корреляции свойственна относительная устойчивость. Под влиянием физиологических и патологических воздействий, вызывающих сдвиги функционального состояния организма, характеристики корреляционной взаимосвязи претерпевают определенные изменения. С восстановлением исходного со-

стояния восстанавливается и исходная картина взаимоотношений.

Результаты, полученные Г.Н. Зайцевой (1980), свидетельствуют о том, что величина и соотношение уровней функционального состояния компонентов системы определяют величину и направленность реакции каждой составляющей на сигналы, поступающие в мозг через различные сенсорные входы. Исходная корреляция различных структур обеспечивает согласование реакций разнородных компонентов в сложных функциональных системах [3].

Ранее нами было установлено, что уровень координации произвольных целенаправленных бимануальных движений находится в выраженных корреляционных взаимоотношениях с асимметрией амплитудно-временных характеристик компонентов зрительных вызванных потенциалов, появление

которых обусловлено активацией корковых структур зрительного анализатора, стимулируемых со стороны неспецифических систем лимбико-ретикулярного комплекса преимущественно правого доминантного полушария. Выявленные взаимоотношения носят дифференцированный характер и зависят от латерализации нанесения стимула, пола испытуемых и их индивидуальных особенностей, а также сложности выполняемого двигательного задания [10].

Основой зрительно-моторной координации является функциональное взаимодействие элементов зрительной сенсорной системы как правого, так и левого полушарий, каждое из которых участвует в реализации этого процесса [1, 7].

В то же время остается недостаточно изученной и обоснованной роль исходных внутрисистемных взаимоотношений элементов зрительной сенсорной системы всех уровней в осуществлении сложных целенаправленных бимануальных координаций.

Цель работы – выявить закономерности устойчивых корреляционных взаимоотношений значений временных характеристик зрительных вызванных потенциалов, обуславливающих зрительно-моторные взаимоотношения в зависимости от латерализации нанесения стимула и пола испытуемых.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании добровольно приняли участие 38 мужчин и 36 женщин в возрасте от 18 до 20 лет.

Методика регистрации зрительных вызванных потенциалов на вспышку (ЗВПВ) осуществлялась на нейромониторе НМА-4-01 "Нейромиан" ("Медиком МТД", Россия) с соответствующим программным обеспечением. Регистрацию ЗВПВ осуществляли в отведениях О1 и О2 однополярными электродами, которые накладывали по международной схеме "10-20%". Референтные электроды фиксировали на мочках ушей ипсилатерально. В виде стимула применяли вспышку светодиодной матрицы, вставленной в специальные очки. Стимуляцию производили монокулярно при закрытых глазах испытуемого. Частота стимуляции составила

0,3 Гц с нулевой задержкой длительностью 4 мс субмаксимальной интенсивности. Использовали фильтры низкой (1 Гц) и высокой (100 Гц) частоты, при этом производили режекцию артефакта по амплитуде в диапазоне 50-100 мкВ. Эпоха анализа составляла 500 мс при количестве усреднений 100. Регистрируемые вызванные потенциалы включали в себя ранние (P0, N1, P1, N2, P2) и поздние (N3, P3, N4) компоненты, оцениваемые по латентности и амплитуде [2, 6].

Уровень бимануальной координации произвольной двигательной активности оценивали методом суппортметрии [9].

При статистической обработке определяли прямолинейную ( $r$ ) и криволинейную ( $\eta$ ) зависимость между значениями амплитудно-временных характеристик ЗВПВ и рассчитывали коэффициент суммарной многосторонней корреляции ( $\Sigma r + \eta$ ) [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Латентность компонентов ЗВПВ характеризует скорость передачи сенсорной информации и особенности переключения нервной импульсации через синапсы структур зрительной системы.

Анализ многосторонней скоррелированности позволяет выявить особенности взаимодействия и первичной обработки зрительной информации в подкорковых и корковых структурах. Значения суммарной многосторонней скоррелированности латентностей компонентов ЗВПВ и их ранжирование по уменьшению уровня взаимоотношений в системе у мужчин представлены в табл. 1.

Как видно из представленных данных, при стимуляции левого глаза в обоих отведениях, наибольшей суммарной скоррелированностью обладают латентности компонента N3 и наиболее дифференцируемого компонента P2. Четвертый и пятый ранги занимают значения латентностей компонентов P1 и N2 соответственно. Наименьшей суммарной скоррелированностью характеризуются латентности компонентов P0 и P3.

Ранжирование латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в отведении О1 при стимуляции справа, имеет ряд особенностей. Так, наибольшую скоррелированность

Таблица 1

## Внутрисистемная скоррелированность латентностей компонентов ЗВПВ у мужчин

Стимуляция слева								
Отведение О1								
Компонент	P0	N1	P1	N2	P2	N3	P3	N4
$\Sigma r+\eta$	2,727	3,742	3,294	3,18	4,445	4,94	1,382	2,87
Ранг	7	3	4	5	2	1	8	6
Отведение О2								
$\Sigma r+\eta$	2,827	3,08	3,303	3,242	4,959	4,989	2,986	4,214
Ранг	8	6	4	5	2	1	7	3
Стимуляция справа								
Отведение О1								
$\Sigma r+\eta$	1,71	3,02	3,47	4,816	4,383	3,521	3,898	5,464
Ранг	8	7	6	2	3	5	4	1
Отведение О2								
$\Sigma r+\eta$	1,352	3,691	4,407	4,522	4,763	3,656	2,764	3,275
Ранг	8	4	3	2	1	5	7	6

Таблица 2

## Внутрисистемная скоррелированность латентностей компонентов ЗВПВ у женщин

Стимуляция слева								
Отведение О1								
Компонент	P0	N1	P1	N2	P2	N3	P3	N4
$\Sigma r+\eta$	2,818	3,506	3,86	4,48	4,602	4,572	3,908	3,428
Ранг	8	6	5	3	1	2	4	7
Отведение О2								
$\Sigma r+\eta$	2,168	3,836	3,387	3,629	3,613	4,184	1,996	2,601
Ранг	7	2	5	3	4	1	8	6
Стимуляция справа								
Отведение О1								
$\Sigma r+\eta$	2,851	3,587	4,199	4,596	4,46	4,523	3,523	1,783
Ранг	7	5	4	1	3	2	6	8
Отведение О2								
$\Sigma r+\eta$	2,697	4,839	5,02	5,739	5,523	4,958	4,761	6,835
Ранг	8	6	4	2	3	5	7	1

приобретает латентность компонента N4. Далее следуют компоненты N2 и P2, достоверно между собой не различаясь. Наименьшей скоррелированностью обладает латентность P0. В отведении О2 первые ранги в ряду занимают компонент P2 (P100) и N2. Так же, как и в предыдущем случае, латентность P0 обладает наименьшей суммарной скоррелированностью с другими элементами системы. Сумма всех коэффициентов корреляции и корреляционных отношений при стимуляции слева в отведении О1 составила 13,29, а в от-

ведении О2 – 14, 822. При стимуляции справа  $\Sigma r+\eta = 15,141$  и 14,448 в О1 и О2 соответственно. Интересным является факт, что латентность компонента N4 находится исключительно в криволинейных взаимоотношениях, присутствующих во всех системах, с другими элементами ЗВПВ.

У женщин (табл. 2) в отведении О1 при стимуляции левого глаза наибольшей скоррелированностью обладают латентности компонентов P2 и N3, статистически значимо не различаясь между собой. Наименьшей сум-

марной многосторонней скоррелированностью, как и в группе мужчин, характеризуются N4 и P0.

Латентности компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в О2, расположились в следующей последовательности. Первое ранговое место занимает N3, находившийся на втором месте в предыдущей системе. Третье ранговое место занимает латентность компонента N2, а пятое P1, как и в предыдущем случае. Компонент P2 занимает четвертое место. Наименьшей скоррелированностью обладают латентности компонентов N4, P0 и P3, достоверно не различаясь между собой по уровню взаимосвязи, что соответствует картине в системе О1, описанной выше.

Стимуляция справа вызвала следующие взаимосвязи между латентностями компонентов ЗВПВ. В отведении О1 первое ранговое место занимает N2, за ним следует находящийся на близком уровне N3, занимавший первые ранги и в системах О1 и О2 при стимуляции слева. Третье и четвертое ранговые места занимают латентности компонентов P2 и P1, находившиеся там же в системе О2 при стимуляции левого глаза. По наименьшей скоррелированности картина аналогична вышеописанным системам, в которых на последних рангах находятся P3, P0 и N4. В отведении О2 наиболее скоррелирована латентность компонента N4 за счет наличия большого количества криволинейных связей с временными характеристиками других компонентов. Однако сохраняется наблюдавшееся ранее закономерность, так средние ранги попрежнему занимают латентности ранних компонентов ЗВПВ (N2, P2, P1).

Суммарная многосторонняя скоррелированность латентностей компонентов ЗВПВ в отведениях О1 и О2 при стимуляции слева составила 15,581 и 12,711, а при стимуляции справа – 14,761 и 20,186 соответственно. Кроме того, выявлено, что в системе О1 при стимуляции справа отсутствуют криволинейные связи, имеющиеся в других системах.

Анализ суммарной многосторонней скоррелированности значений латентностей компонентов зрительных вызванных потенциалов на вспышку света с показателями уровня сложнокоординированных целенаправленных произвольных бимануальных движений

показал, что значения латентностей компонентов ЗВПВ у мужчин, зарегистрированных при стимуляции слева в отведении О1, по уровню скоррелированности с характеристиками координации расположились по мере убывания тесноты связи (рис. 1). Наибольшей скоррелированностью обладает латентность P0. Далее следуют латентности других компонентов, однако достоверно не различаясь по уровню взаимосвязи. Наименее взаимосвязана временная характеристика позднего компонента N4, который не коррелирует с показателями координации.

Характеристики распространения возбуждения в правом полушарии (О2) при контрлатеральной стимуляции с показателями суппортметрии взаимосвязаны следующим образом. Первые ранги по уровню скоррелированности занимают латентности ранних компонентов P1, N1 и N2, статистически находясь на одном уровне взаимосвязи. Латентность компонента P0 перемещается в конец ранжированного ряда к P3. Этот же компонент, зарегистрированный в О1, также обладает низким уровнем взаимосвязи с показателями координации.

Временные характеристики зрительного ответа, выявленные при стимуляции правого сенсорного входа (рис. 2), следующим образом коррелируют с показателями бимануальной координации.

Среди латентностей компонентов, зарегистрированных в отведении О1, наибольшей теснотой связи обладает латентность компонента P3, за которым следуют P0, N1 и N2, статистически значимо различаясь друг с другом по уровню взаимосвязи ( $p < 0,05$ ). Наименее скоррелирована латентность компонента P1, а P2 не коррелирует с показателями координации. Временные показатели распространения возбуждения в правом полушарии (О2) несколько по иному взаимосвязаны с характеристиками двигательной активности. Латентность компонента P0 обладает наибольшей теснотой взаимосвязи, далее следует P2, достоверно различаясь с предыдущим ( $p < 0,05$ ). Наименее скоррелированы поздние компоненты P3 и N4, находясь примерно на одном уровне.

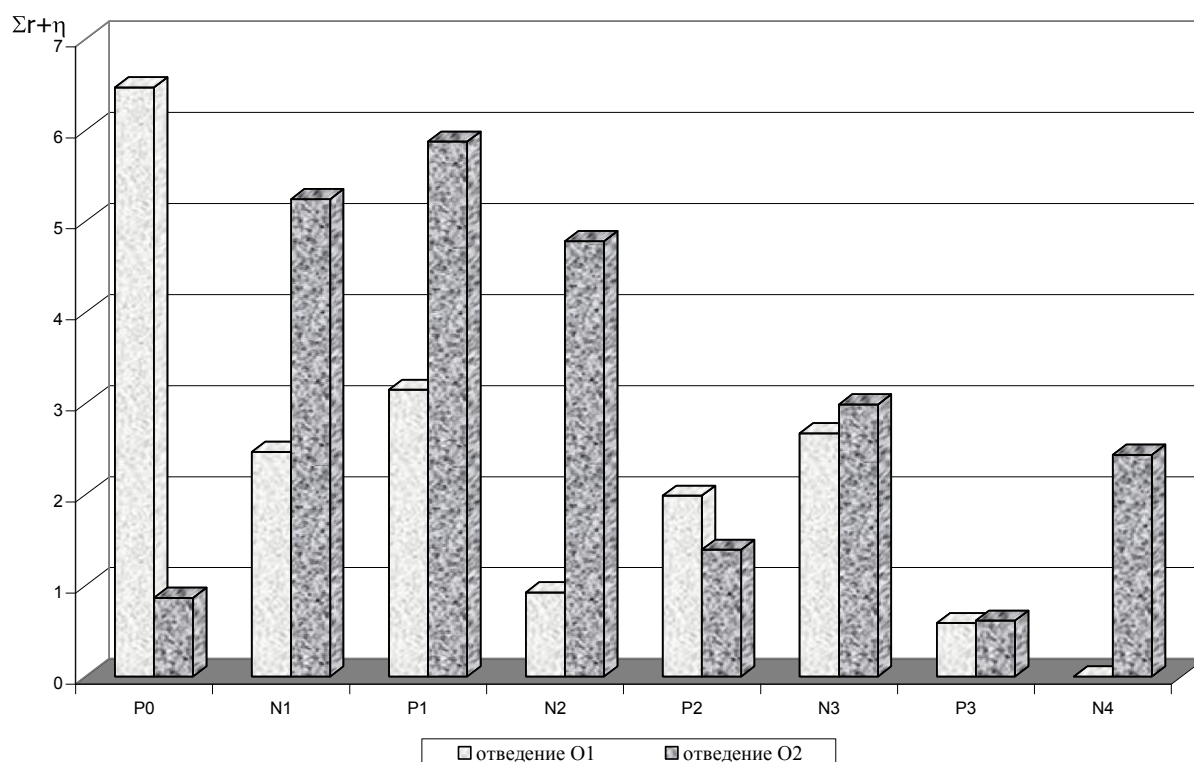


Рис. 1. Суммарная многосторонняя скоррелированность латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в отведениях O1 и O2 при стимуляции слева с показателями суппортметрии у мужчин.

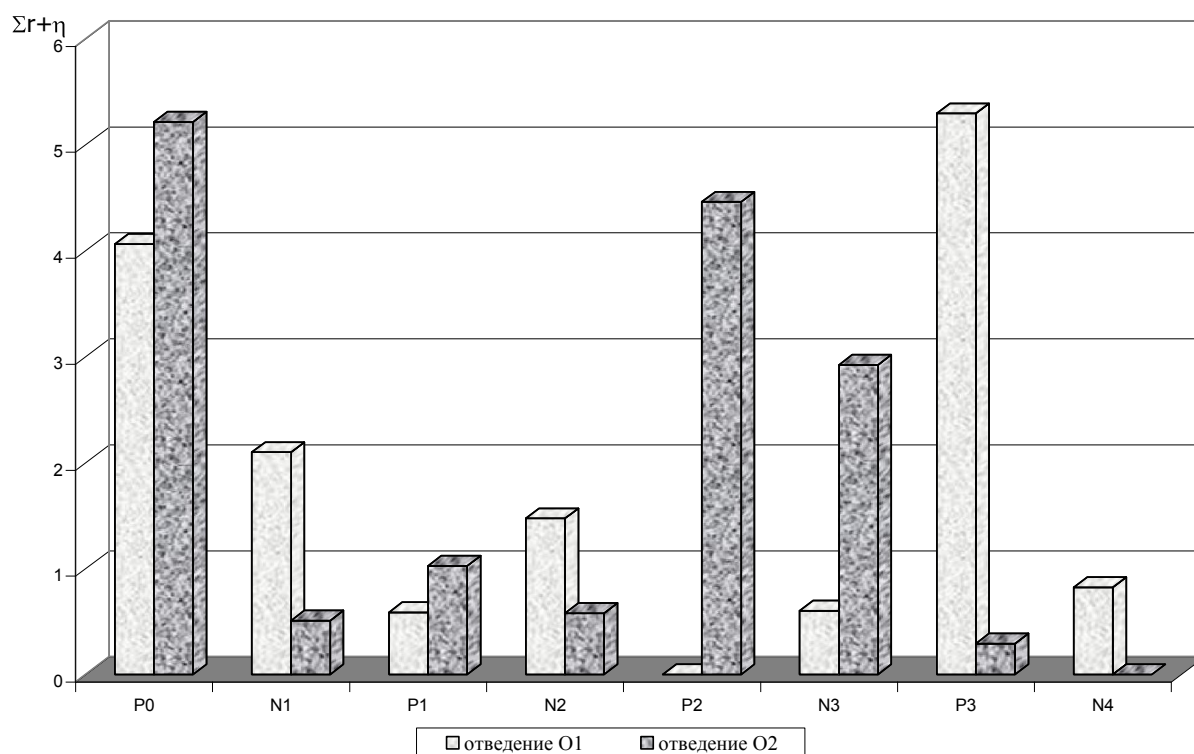


Рис. 2. Суммарная многосторонняя скоррелированность латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в O1 и O2 при стимуляции справа с показателями суппортметрии у мужчин.

Таким образом, в группе мужчин при стимуляции левого сенсорного, зрительного входа наибольший вклад в зрительно-моторную координацию вносит скорость проведения информации по зрительному тракту через латеральное колленчатое тело и специфические таламические зрительные реле. Стимуляция правого сенсорного входа включает в процесс зрительного обеспечения двигательной активности наряду с характеристиками таламо-кортикальной иррадиации возбуждения активность быстропроводящих волокон, переключающихся в неспецифических ядрах таламуса и системе лимбико-ретикулярного комплекса.

У женщин стимуляция левого сенсорного входа (рис. 3) выявила, что среди латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в левом, одноименном полушарии (O1), наибольшей скоррелированностью с показателями координации обладает N3, за которым следуют латентности ранних компонентов P2 и P1, различаясь друг с другом ( $p < 0,05$ ) по уровню межсистемной взаимосвязи. Последнее место занимает латентность компонента N1, находящаяся на значимо более низком

уровне относительно временных характеристик N4 и P0.

Среди характеристик распространения возбуждения в правом полушарии (O2), вызванных контрлатеральной стимуляцией, наиболее выраженной связью с показателями двигательной активности обладают ранние компоненты P1, N2 и P0, причем первые два находятся на статистически одинаковых уровнях, а последний достоверно отличается от них ( $p < 0,05$ ) по уровню межсистемной взаимосвязи. Наименее скоррелирована латентность позднего компонента N3, а P3 не коррелирует с характеристиками суппортметрии.

Характеристики распространения возбуждения в центральной нервной системе, вызванные стимуляцией правого сенсорного входа (рис. 4), следующим образом коррелируют с показателями бимануальных движений. Среди зарегистрированных в контрлатеральном полушарии (O1) наибольшей теснотой взаимосвязи обладает латентность компонента P0, достоверно различаясь со следующей за ней латентностью N4 ( $p < 0,05$ ).

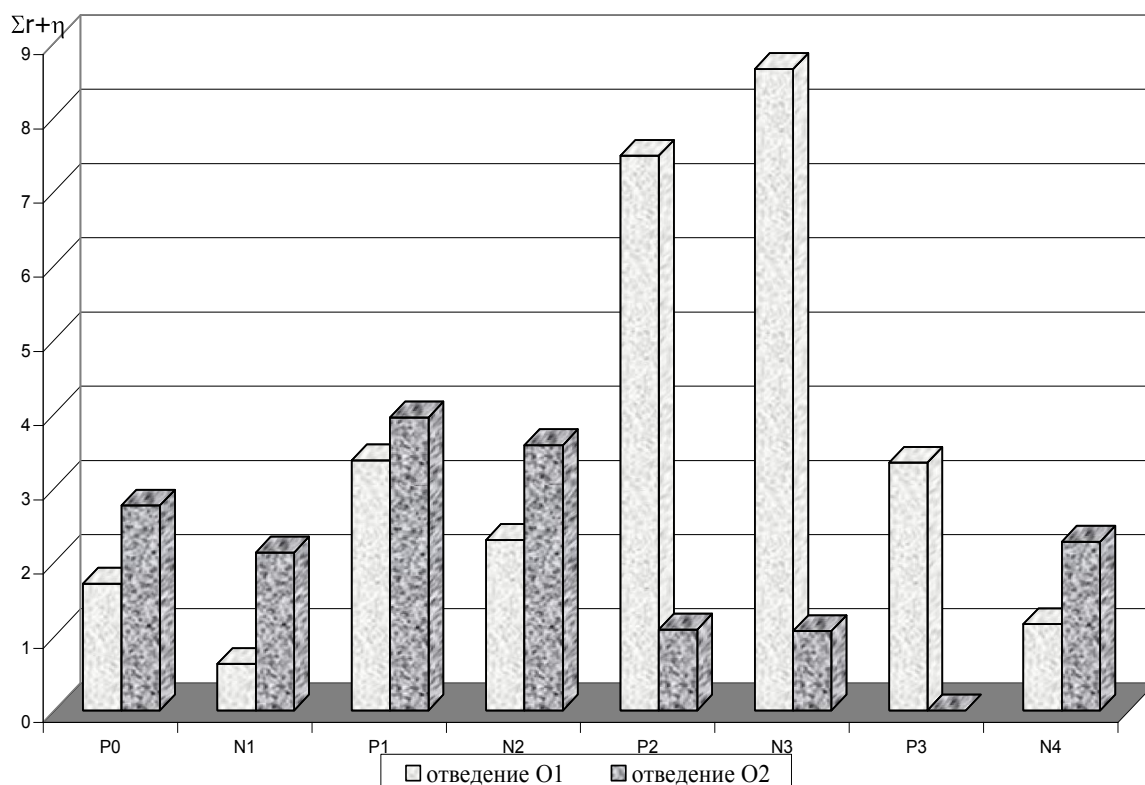


Рис. 3. Суммарная многосторонняя скоррелированность латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в отведениях O1 и O2 при стимуляции слева с показателями суппортметрии у женщин.



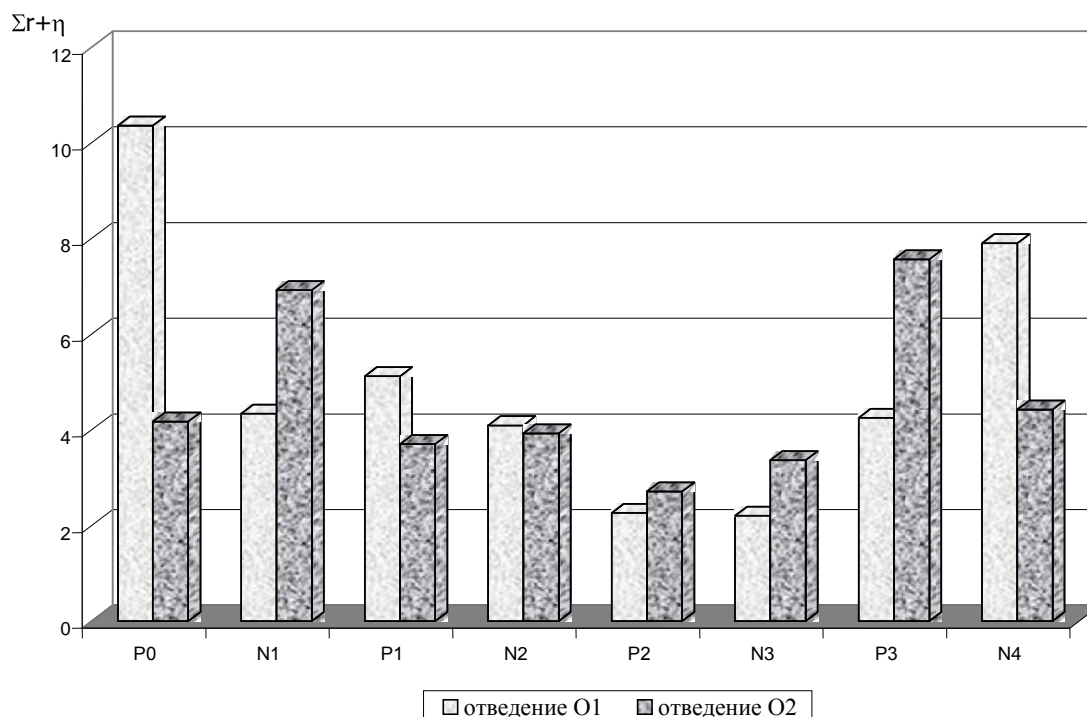


Рис. 4. Суммарная многосторонняя скоррелированность латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в O1 и O2 при стимуляции справа с показателями суппортметрии у женщин.

Наименьшую межсистемную скоррелированность обнаруживают латентности компонентов P2 и N3, находясь на одном уровне.

Среди латентностей, зарегистрированных в ипсилатеральном полушарии (O2), наиболее взаимосвязанным с показателями двигательной активности является латентность компонента P3, за которым следуют N1 и N4 ( $p < 0,05$ ). Характерно, что, как и в предыдущем случае, последние места в межсистемной корреляции занимают компоненты P2 и N3.

Таким образом, у женщин стимуляция как левого, так и правого сенсорного входа приводит к включению в процесс зрительно-моторной координации специфические и неспецифические системы мозга.

Сравнительный анализ с группой мужчин показывает, что у женщин процесс распространения зрительного возбуждения в связи с двигательной активностью включает более широкий спектр корковых и подкорковых структур, активируя наряду со специфическими и неспецифическими таламическими ядрами и ассоциативные ядра, а также ядра стриарного комплекса и неспецифические системы лимбико-ретикулярного комплекса, имеющего сложную мультисинаптическую организацию [10]. Кроме того, у женщин

важное значение имеют ритмогенные механизмы в специфических и неспецифических ядрах при стимуляции правого, ведущего глаза. Об этом свидетельствует высокий уровень взаимосвязи латентности компонента N4, который, по данным литературы, коррелирует с ранними компонентами ЗВПВ [6]. Вышесказанное подтверждается и тем фактом, что у женщин сумма всех достоверных коэффициентов корреляции и корреляционных отношений между значениями латентностей компонентов ЗВПВ и показателями суппортметрии статистически значимо больше чем в группе мужчин, и составляет 122,808, а у мужчин 72,332. Характерно, что независимо от стороны стимуляции у мужчин в процессе координации в большей степени задействовано зрительно-сенсорное обеспечение структур правого полушария, так, в O1 (слева)  $\Sigma r + \eta = 33,169$ , а в O2 (справа) – 39,163. В то же время у женщин, наоборот, левого полушария, так, в O1  $\Sigma r + \eta = 69,162$ , а в O2 – 53,646.

Проведенные исследования внутрисистемных корреляционных взаимоотношений временных характеристик компонентов зрительных вызванных потенциалов на вспышку света, а также их взаимосвязей с показателя-

ми бимануальной координации сложных целенаправленных движений позволили выявить закономерности во влиянии исходного уровня внутрисистемной скоррелированности компонентов зрительной сенсорной системы на уровень их взаимодействия с показателями произвольной двигательной активности. Сопоставляя ранжированные ряды, приведенные выше, установлено, что в группе мужчин при поступлении информации через левый сенсорный вход характеризуется низкой внутрисистемной скоррелированностью латентностей компонентов N4, P0 и P3, зарегистрированных в ипсилатеральном полушарии. В то же время временные характеристики N4 и P3 обладают низкой взаимосвязью с показателями двигательной активности, а P0, наоборот, в ранжированном ряду связи с показателями суппортметрии находится на первом месте. Точно такая же закономерность внутри- и межсистемной скоррелированности выявлена при нанесении стимула справа в отведении O2. Вероятно, что наличие таких соотношений характеризует ответ компонентов зрительной сенсорной системы одноименного полушария на стимуляцию соответствующего сенсорного входа [2, 6]. Анализ ранжированных рядов, характеризующих внутри- и межсистемные взаимоотношения рассматриваемых характеристик, зарегистрированных в полушарии, контрлатеральном стимулу, выявил несколько иные взаимоотношения. Латентности компонентов P3 и P0, зарегистрированные в O2 при стимуляции слева, обладая наименьшей скоррелированностью внутри своей системы, находятся на последних ранговых местах и в межсистемных взаимоотношениях с показателями координации. В расположение латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в O1 при стимуляции справа, четко видно, что P0, находясь в конце ряда в своей системе, располагается на втором ранговом месте по межсистемным взаимоотношениям.

Установленные факты, вероятно, свидетельствуют о том, что скорость проведения сигнала по зрительному нерву и проксимальным участкам зрительного тракта в меньшей степени обуславливает распространение возбуждения в структурах зрительной системы одноименного полушария при нанесении стимула справа или слева. В то же время вос-

приятие и быстрота проведения зрительной информации, обуславливающие таламо-кортикальную иррадиацию, вносят больший вклад в реализацию двигательных задач [6, 10].

У женщин выявлены несколько иные закономерности. Так, последние три ранга по уровню внутрисистемной скоррелированности занимают латентности компонентов N1, N4 и P0, зарегистрированные в отведении O1 при стимуляции слева. Эти же характеристики обнаруживают наименее тесные взаимосвязи с показателями суппортметрии. Первые же ранги в рассматриваемых системах занимают латентности компонентов P2 и N3. Соотношение систем скоррелированности латентностей компонентов ЗВПВ, зарегистрированных в O2, имеют общие черты с системами корреляции в группе мужчин. На последнем месте по уровню скоррелированности находится латентность P3, закономерность взаиморасположения компонента P0 хотя и менее выражена, но четко прослеживается. Латентность компонента N3 по уровню взаимосвязи занимает полярные положения, обладая наибольшей скоррелированностью в своей системе и находясь на последнем месте во взаимоотношениях с показателями координации. Выявленные факты, вероятно, свидетельствуют о половых различиях в координации двигательной активности и особенностях зрительного вызванного ответа [6, 9].

Подобная закономерность наблюдается при рассмотрении взаимоотношений в системах, формирующихся при стимуляции правого глаза отведения O1. Так, P0 и N4 с последних рангов внутри системы перемещаются на первые ранги в межсистемных взаимоотношениях. В O2 прослеживается только закономерность взаиморасположения латентности компонента P3, занимающего полярные положения.

Обнаруженные особенности свидетельствуют о том, что у женщин, с учетом описанного выше доминирования левого полушария, больший вклад в процесс координации движений вносят особенности иррадиации возбуждения в неспецифических системах лимбико-ретикулярного комплекса, имеющих мультисинаптическую организацию [6, 10]. Эти же процессы обуславливают актив-



ность всей сенсорной системы. В то же время латерализация нанесения стимула имеет значение только для контрлатерального полушария [10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безруких М.М., Хрянин А.В. Особенности пространственной организации мозга у праворуких и леворуких детей 6-7 лет при выполнении зрительно-пространственных заданий разного уровня сложности // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 3. – С. 33–39.
2. Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. – М.: МЕДпресс-информ, 2003. – 246 с.
3. Завьялов А.В., Зайцева Г.Н. Аудиокинестетические взаимоотношения и время простой двигательной реакции на слуховой и кинестетический стимулы // Физиология человека. – 1980. – Т. 6, № 6. – С. 43–51.
4. Завьялов А.В., Афанасьев Ю.П., Ткаченко Ю.Г. Гомеостаты и гомеостатические сети управления, их приложение в биологических, природных и технических системах. – Иркутск, 1986. – С. 62–63.
5. Завьялов А.В. Корреляция функций организма. – М.: Медицина, 1990. – 159 с.
6. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней: рук-во для врачей. – М.: Медпресс-информ, 2004. – 578 с.
7. Лебедева Н.Н., Авакян Г.Н., Сидорова О.П. Исследование зрительно-моторной координации и ее клиническое значение // Журн. неврол. и психиатрии им. Корсакова. – 1998. – Т. 88, Вып. 3. – С. 19–22.
8. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 230 с.
9. Ткаченко П.В. Уровни бимануальной координации и некоторые дифференциально-психофизиологические аспекты двигательной активности // Курский науч.-практич. вестн. "Человек и его здоровье". – 2006. – № 4. – С. 17–23.
10. Ткаченко П.В. Корреляционные взаимоотношения межполушарной асимметрии амплитудно-временных характеристик компонентов зрительных вызванных потенциалов и показателей уровня бимануальной координации движений // Вестн. новых медицинских технологий. – 2008. – Т. XV, № 3. – С. 180–182.