

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

УДК 612.821.3

doi: 10.17223/19988591/27/11

Ю.В. Бушов¹, М.В. Светлик²

¹Томский государственный университет, г. Томск, Россия

²Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия

Интеллект и восприятие времени

Обобщены результаты многолетних исследований, посвященных изучению взаимосвязи интеллекта с восприятием времени. Показано, что интеллект оказывает существенное влияние на основные этапы процесса восприятия времени. Обнаружены преимущественно положительные корреляции вербального и невербального интеллекта с уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма. Характер этих корреляций отличается у юношей и девушек, зависит от частотного диапазона гамма-ритма и вида выполняемой деятельности. Найдены тесные корреляции показателей интеллекта с уровнем фазовых взаимодействий между ритмами ЭЭГ. Установлена зависимость этих корреляций от пола испытуемых, вида и этапа выполняемой деятельности. Полученные результаты и некоторые литературные данные позволяют предположить, что высокая точность восприятия времени у лиц с высоким интеллектом обеспечивается не только высокой скоростью передачи сигналов в ЦНС, но и большей эффективностью процессов внутримозговой интеграции, кодирования, сжатия и координации нейронных сообщений в мозге.

Ключевые слова: восприятие времени; корреляты интеллекта; корковые и фазовые взаимодействия; ритмы ЭЭГ.

Введение

Изучение нейрофизиологических основ интеллекта, под которым чаще всего понимают относительно устойчивую структуру умственных способностей индивидуума, является актуальной проблемой современной психофизиологии. Одним из перспективных подходов к изучению природы интеллекта является подход, основанный на анализе электроэнцефалографических коррелятов интеллекта [1–4]. Согласно популярной в настоящее время гипотезы интеллект связан со скоростью передачи сигналов в ЦНС [5]. Основанием для этой гипотезы послужили данные об отрицательной корреляции интеллекта с латентным периодом вызванных потенциалов (ВП). Вместе с тем многочисленные исследования, направленные на проверку этой гипотезы, дали противоречивые результаты: были обнаружены как положительные корреляции между уровнем интеллекта и латентным пе-

риодом ВП, так и отрицательные, и даже их отсутствие [6, 7]. Учитывая это, целью настоящего исследования явилось изучение электроэнцефалографических коррелятов интеллекта при выполнении человеком интеллектуальной деятельности, связанной с восприятием коротких интервалов времени.

Материалы и методики исследования

В исследованиях участвовали добровольцы, практически здоровые юноши (59 человек) и девушки (29 человек) в возрасте от 18 до 26 лет, учащиеся томских вузов. В ходе предварительного обследования с помощью тестов Г. Айзенка [8, 9] исследовали вербальный (ВИ) и невербальный интеллект (НИ), а также уровни экстраверсии и нейротизма. С помощью батареи стандартных тестов исследовали особенности латеральной организации мозга с определением ведущей руки и речевого полушария [10, 11]. В качестве модели интеллектуальной деятельности испытуемым предлагали воспроизводить и отмеривать короткие интервалы времени длительностью 200 и 800 мс при наличии и отсутствии обратной связи о результатах деятельности. Интервалы времени при репродукции их длительности задавались невербальными стимулами (светлый квадрат со стороной 2 см, появляющийся в центре затемненного экрана монитора), а при отмеривании – цифрами. Испытуемые воспроизводили и отмеривали интервалы времени двойным нажатием на клавишу «Пробел». В качестве сигнала обратной связи использовали выраженную в процентах относительную ошибку репродукции или отмеривания заданного интервала времени. Сигнал ошибки появлялся на 1 с на экране монитора, спустя секунду после воспроизведения или отмеривания каждого интервала времени. При этом угловые размеры предъявляемых стимулов составили 2–2,3 град в случае предъявления квадрата и 0,75–0,76 град в случае предъявления цифр. При предъявлении цифр применялся стандартный шрифт ДОС, его размер соответствовал 16pt Word. Стимулы длительностью 200 и 800 мс предъявлялись в случайном порядке согласно RND функции с корректировкой многократного выкидывания одного значения, стимул каждой длительности предъявлялся не менее 50 раз.

В первой серии наблюдений участвовали только юноши (32 человека). В этой серии исследовали корковые взаимодействия в низкочастотном диапазоне ЭЭГ (0,5–30 Гц). Для этого в состоянии спокойного бодрствования (фон) и в процессе восприятия интервалов времени регистрировали ЭЭГ монополярно в отведениях: F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1 и O2 по системе «10–20%». Референтный электрод устанавливался на мочку правого уха, земляной – на мочку левого уха испытуемого. При регистрации ЭЭГ использовали хлорсеребряные электроды («MEDICOR», Венгрия). ЭЭГ записывали при открытых глазах и фиксированном взоре с помощью восьмиканального полинейрографа [12] с постоянной времени 3 с и входным сопротивлением

~ 100 мОм. С целью исключения артефактов, связанных с движениями глаз и электродермальной активностью, проводилась параллельная регистрация ЭОГ и КГР. Хлорсеребряные электроды для регистрации КГР устанавливали на наружную и внутреннюю стороны запястья левой руки испытуемого. Слабополяризующиеся электроды для регистрации ЭОГ устанавливали слева и у нижнего края глазной впадины левого глаза испытуемого. Регистрация КГР и ЭОГ осуществлялась с помощью полиграфа П8Ч-01. При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 200 Гц. При изучении динамики корковых взаимодействий использовали матрицы данных, полученные путем суммации однотипных ответов (не менее 30). Эпоха анализа, включая фоновый фрагмент (100 мс), составляла 700 мс. По этим матрицам подсчитывали текущие значения коэффициента корреляции Спирмена (ККС) между столбцами матриц с одинаковыми номерами. Динамику ККС исследовали на каждом этапе предлагаемой сенсомоторной деятельности: при восприятии зрительного стимула, при осуществлении первого нажатия на клавишу «Пробел», при восприятии ошибки воспроизведения заданного интервала времени. С целью выявления в динамике ККС периодов, различающихся характером корковых взаимодействий, использовали факторный анализ (метод главных компонент). Исходными данными для факторного анализа служили матрицы данных, составленные из ККС. Строками в этих матрицах служили порядковые номера испытуемых, а столбцами – мгновенные значения ККС. Найденные действительные значения факторов включались в последующую обработку.

Во второй серии наблюдений участвовали 27 юношей и 29 девушек. В этой серии исследовали динамику корковых связей на частоте гамма-ритма, а также фазовые взаимодействия между высоко- и низкочастотными ритмами ЭЭГ при репродукции и отмеривании тех же интервалов времени при наличии и отсутствии обратной связи о результатах деятельности.

В этой серии ЭЭГ записывали монополярно с помощью 24-канального энцефалографа-анализатора «Энцефалан-13-03» в следующих отведениях: Cz, Fz, Pz, F3, F4, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2 по системе «10–20%». Объединенный референтный электрод устанавливался на мочки левого и правого уха испытуемого, а заземляющий фиксировался на запястье правой руки. С целью исключения артефактов, связанных с движением глаз, регистрировали ЭОГ. Электроды для записи ЭОГ устанавливали на верхнее и нижнее веко левого глаза испытуемого. Запись ЭЭГ и ЭОГ проводилась в фоне при открытых и закрытых глазах (в течение 20 с) и при восприятии времени. При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 250 Гц. Корковые взаимодействия на частотах гамма-ритма исследовали в следующих частотных диапазонах ЭЭГ: 30–40, 40–49, 51–60 и 60–70 Гц.

С целью выделения интересующего частотного диапазона ЭЭГ ее предварительно фильтровали с помощью фильтра Чебышева второго порядка

с величиной подавления – 60 дБ. Эпоха анализа составляла 4 с. Выбранный участок ЭЭГ обязательно включал этап предъявления стимула, этап отмеривания или воспроизведения заданного интервала времени, а в случае режимов с обратной связью – также этап предъявления сигнала ошибки. При исследовании пространственной синхронизации электрической активности мозга на частоте гамма-ритма в каждом частотном диапазоне ЭЭГ (30–40, 40–49, 51–60, 61–70 Гц) подсчитывали среднее значение функции когерентности. Для контроля мозгового происхождения гамма-ритма использовали метод дипольной локализации [13] и компьютерную программу BrainLoc 6.0.

При изучении фазовых взаимодействий между высоко- (30–70 Гц) и низко-частотными (1,5–30 Гц) составляющими ЭЭГ использовали вейвлетный биспектральный анализ [14]. В качестве материнского вейвлета использовался вейвлет типа Morlet. В ходе обработки подсчитывали функцию бикогерентности [14]. Эта функция принимает значения от 0 до 1 и является мерой фазовой связи на интервале времени T между частотными составляющими сигнала f_1, f_2, f_3 , которые удовлетворяют условию $f_3 = f_1 + f_2$. Если фазы одного из трех компонентов являются суммой или разностью двух других, то функция бикогерентности значительно отличается от нуля, и это свидетельствует о том, что фазы трех частот связаны. При изучении внутриволновых фазовых связей значения функции бикогерентности подсчитывались между разными частотными составляющими одного и того же ЭЭГ-сигнала, а при изучении межволновых фазовых связей – между разными частотными составляющими двух ЭЭГ-сигналов, записанных синхронно у одного и того же испытуемого в левоволновом и правоволновом отведениях. В качестве интегральной характеристики уровня фазовых взаимодействий между ритмами ЭЭГ использовали полусумму значений этой функции в исследуемом частотном диапазоне ЭЭГ (1,5–70 Гц).

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакетов прикладных программ StatSoft STATISTICA 6.0 и «MatLab-6.5» с использованием корреляционного, дисперсионного и факторного анализов. Предварительно с помощью факторного анализа был выделен общий фактор «интеллект», который включал вербальный и невербальный компоненты интеллекта. В последующем были найдены действительные значения этого фактора и он (фактор) был рандомизирован. При анализе корреляционных связей между исследуемыми показателями подсчитывали ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Для оценки влияния фактора «интеллект» на корковые связи использовали многофакторный дисперсионный анализ.

Результаты исследования и обсуждение

Динамика корковых взаимодействий при восприятии длительности зрительных стимулов

Корреляционный анализ выявил наличие быстрых (длительностью 50–150 мс) и статистически значимых изменений уровней корковых связей на

разных этапах исследуемой деятельности. Чаще всего в ответ на предъявление зрительного стимула наблюдается снижение уровней корковых связей.

Динамика коэффициента корреляции Спирмена между отведениями F3 и P3 у одного из испытуемых при репродукции зрительных сигналов длительностью 200 мс представлена на рис. 1.

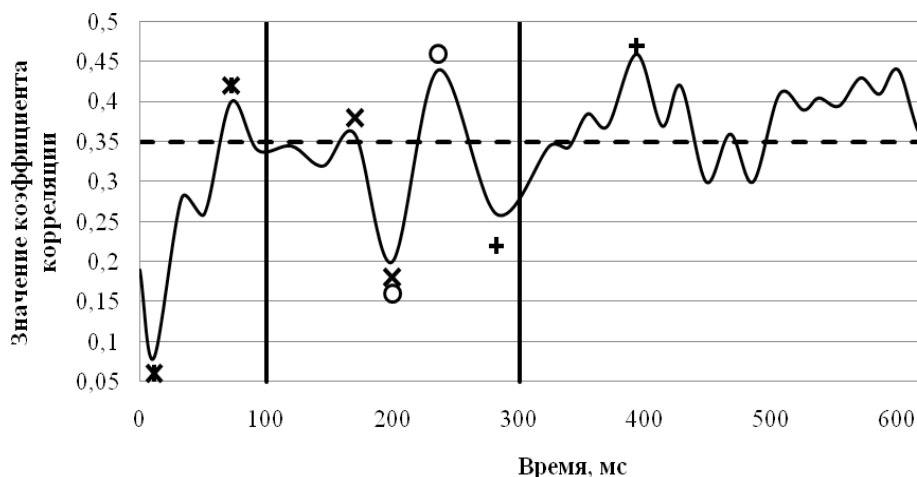


Рис. 1. Динамика коэффициента корреляции Спирмена между отведениями F3 и P3 у одного из испытуемых при репродукции зрительных сигналов длительностью 200 мс без обратной связи.

*, x, +, o – статистически значимые различия ($p < 0,05$) между соответствующими точками кривой; пунктирная горизонтальная линия на рисунке указывает статистически значимую (при $n = 30$ и $p = 0,05$) величину коэффициента корреляции Спирмена; вертикальными линиями на рисунке показаны начало и конец стимула /

Fig. 1. Dynamics of Spearman correlation coefficient between F3 and P3 leads in one of the subjects while reproducing visual signals lasting 20 ms without feedback

*, x, +, o - statistically significant differences ($p < 0,05$) between corresponding points of the curve; horizontal dashed line in the figure indicates (for $n = 30$ and $p = 0,05$) statistically significant Spearman correlation coefficient; vertical lines in the figure show the beginning and the end of the stimulus (on the ordinate axis - Correlation coefficient; on the abscissa axis - Time, ms)

Проведенный факторный анализ позволил выделить четыре компонента или периода в динамике коэффициента корреляции Спирмена между отведениями F3 и P3, которые различались характером корковых взаимодействий. Указанные компоненты объясняют 90,02% общей дисперсии ККС. Динамика выделенных компонентов в ответ на предъявление зрительного стимула длительностью 200 мс представлена на рис. 2. Как следует из рисунка, первый компонент достигает максимума в интервале от 520 до 600 мс после начала стимула и, вероятно, отражает этап подготовки испытуемого к мо-

торному акту нажатия на клавишу. Второй компонент достигает максимума в интервале от 0 до 100 мс после начала стимула и, вероятно, характеризует сенсорный этот этап обработки информации мозгом [15]. Третий компонент достигает максимума в интервале от 220 до 350 мс после начала стимула и, предположительно, характеризует этап категоризации стимула [15]. Четвертый компонент достигает максимума в интервале от 150 до 250 мс от начала стимула и, вероятно, отражает этап информационного синтеза [15].

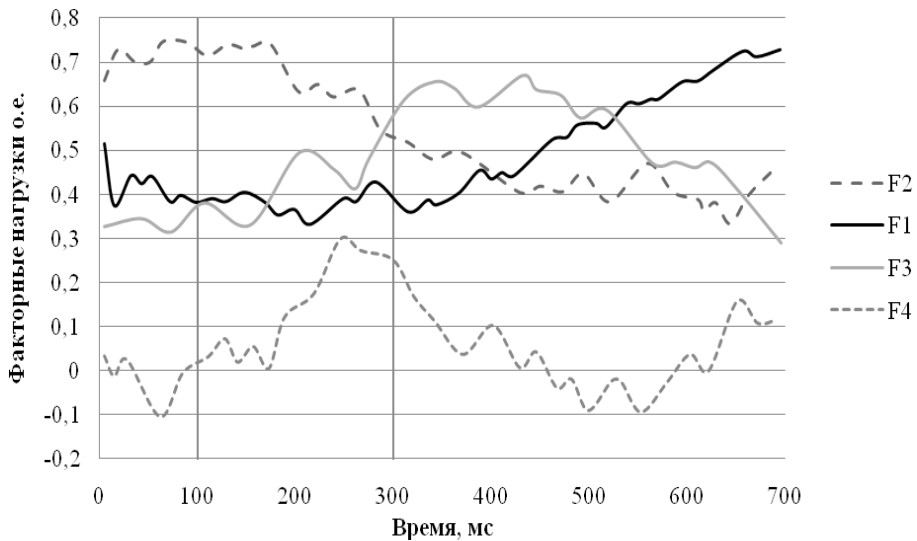


Рис. 2. Динамика корковых взаимодействий, зарегистрированная в ответ на предъявление зрительного стимула длительностью 200 мс. Вертикальными линиями на рисунках показаны начало и конец стимула; F1, F2, F3 и F4 – компоненты динамики ККС, отражающие различные этапы обработки информации мозгом /

Fig. 2. Dynamics of cortical interactions recorded in response to a visual stimulus lasting 200 ms.

Vertical lines in the figure show the beginning and the end of the stimulus; F1, F2, F3 and F4 are components of Spearman correlation coefficient dynamics reflecting different phases of information processing by the brain (on the ordinate axis - Factor loadings; on the abscissa axis - Time, ms)

Дисперсионный анализ выявил отчетливую зависимость указанных компонентов от уровня интеллекта. В частности, установлено статистически значимое влияние фактора «интеллект» на второй ($F = 4,98$; $p < 0,0071$), третий ($F = 4,03$; $p < 0,018$) и четвертый ($F = 16,27$; $p < 0,0001$) компоненты динамики ККС. Причем наиболее сильное влияние этот фактор оказывает на четвертый компонент, характеризующий, по-видимому, этап информационного синтеза. С помощью корреляционного анализа обнаружена связь выделенных компонентов динамики ККС с точностью репродукции длитель-

ности предъявляемых зрительных сигналов. В частности, установлено, что первый и второй компоненты положительно коррелируют с относительной ошибкой воспроизведения сигнала длительностью 200 мс ($r = 0,37 \div 0,47$; $p < 0,05$), а третий и четвертый компоненты отрицательно коррелируют с той же ошибкой ($r = -0,36 \div -0,40$; $p < 0,05$).

***Динамика корковых взаимодействий, зарегистрированная
в ответ на нажатие на клавишу «Пробел»***

Проведенный факторный анализ позволил выделить три компонента или периода в динамике коэффициента корреляции Спирмена между отведениями F3 и P3, которые различались характером корковых взаимодействий.

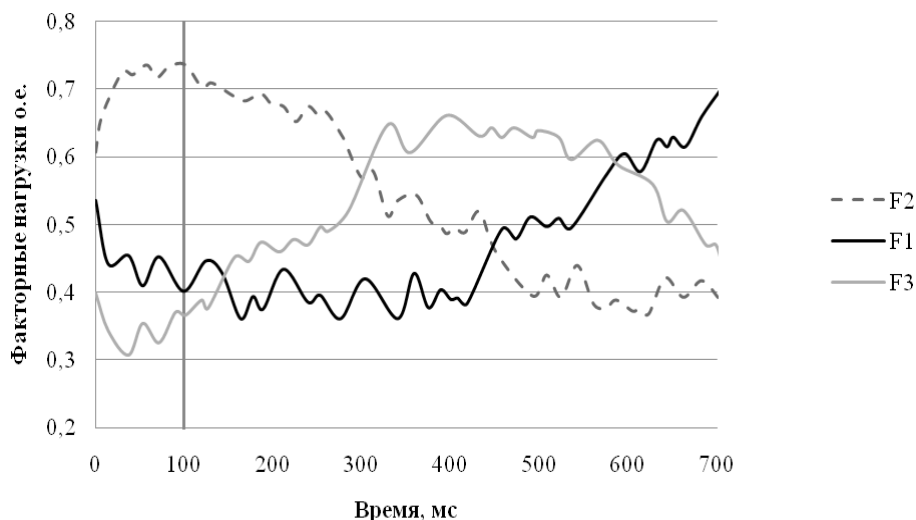


Рис. 3. Динамика корковых взаимодействий, зарегистрированная при репродукции зрительных сигналов длительностью 800 мс в ответ на первое нажатие испытуемым на клавишу «Пробел».

Вертикальной линией на рисунках отмечен момент первого нажатия испытуемым на клавишу «Пробел»; F1, F2 и F3 — компоненты динамики ККС

Fig. 3. Dynamics of cortical interactions recorded during reproduction of visual signals lasting 800 ms in response to the subject's first pressing the space key. Vertical line in the figure indicates the moment of the subject's first pressing the space key; F1, F2 and F3 are components of Spearman correlation coefficient dynamics (on the ordinate axis - Factor loadings; on the abscissa axis - Time, ms)

Эти компоненты объясняют 87,9% общей дисперсии ККС. Первый компонент достигает максимума в интервале от 600 до 750 мс после момента нажатия на клавишу и, возможно, отражает этап подготовки испытуемого к повторному нажатию на клавишу «Пробел». Второй компонент достигает

максимума за 70 мс до нажатия на клавишу, снижается спустя 60 мс после этого события и, вероятно, отражает этап подготовки и исполнения моторного акта нажатия на клавишу. Третий компонент достигает максимума в интервале от 220 до 500 мс после нажатия на клавишу. Возможно, этот компонент отражает запаздывающее влияние на кору со стороны ретикулярной формации (РФ) ствола мозга, что обусловлено потоком афферентных импульсов, поступающих в РФ по коллатералям сенсорных путей от тактильных рецепторов и проприорецепторов мышц, участвующих в движении. Компоненты, выделенные в динамике ККС при репродукции зрительных стимулов длительностью 800 мс в ответ на первое нажатие на клавишу «Пробел», представлены на рис. 3.

Как и в предыдущем случае, дисперсионный анализ выявил зависимость выделенных компонентов от уровня интеллекта: обнаружено статистически значимое ($p < 0,0001$) влияние фактора «интеллект» на все выделенные компоненты динамики ККС. Корреляционный анализ выявил наличие связей между характеристиками восприятия времени и всеми выделенными компонентами динамики ККС. В частности, обнаружена слабая положительная корреляция первого и третьего компонентов с относительной ошибкой репродукции интервала 800 мс ($r = 0,39 \pm 0,42$; $p < 0,05$) и отрицательная корреляция второго компонента с той же ошибкой ($r = -0,44$; $p < 0,05$).

***Динамика корковых взаимодействий, зарегистрированная
в ответ на предъявление ошибки воспроизведения
длительности зрительных стимулов***

Проведенный факторный анализ позволил выделить четыре компонента или периода в динамике коэффициента корреляции Спирмена между отведениями F3 и P3, которые различались характером корковых взаимодействий (рис. 4). Эти компоненты объясняют 86,42% общей дисперсии ККС. Первый компонент достигает максимума в интервале от 500 до 600 мс после появления сигнала ошибки и, вероятно, отражает повышение уровня селективного внимания и готовности испытуемого к восприятию последующего зрительного стимула, так как выполняемая деятельность носит циклический характер. Второй компонент достигает максимума в интервале от 0 до 100 мс после появления сигнала ошибки и, возможно, отражает сенсорный этап, связанный с оценкой физических параметров этого стимула, его новизны и значимости.

Третий компонент достигает максимума в интервале от 350 до 500 мс после появления сигнала ошибки и, по-видимому, отражает этап категоризации этого зрительного стимула. Четвертый компонент достигает максимума на интервале от 230 до 300 мс и, возможно, отражает этап синтеза информации о физических параметрах стимула с информацией о его новизне и значимости.

Дисперсионный анализ выявил зависимость выделенных компонентов от уровня интеллекта: обнаружено влияние фактора «интеллект» на второй ($F = 5,17$; $p < 0,0059$), третий ($F = 7,83$; $p < 0,004$) и четвертый ($F = 6,89$; $p < 0,0011$) компоненты динамики ККС.

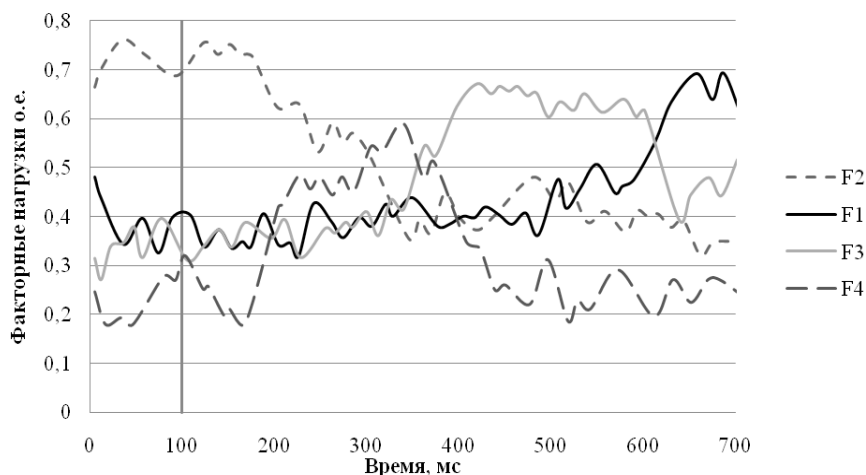


Рис. 4. Динамика корковых взаимодействий, зарегистрированная в ответ на предъявление относительной ошибки воспроизведения интервала времени 200 мс.

Вертикальной линией на рисунках отмечен момент появления ошибки воспроизведения; F1, F2, F3 и F4 – компоненты динамики ККС /

Fig. 4. Dynamics of cortical interactions recorded in response to presenting relative reproduction error of time interval lasting 200 ms.

Vertical line in the figure shows the moment of presenting the reproduction error; F1, F2, F3 and F4 are components of Spearman correlation coefficient dynamics (on the ordinate axis - Factor loadings; on the abscissa axis - Time, ms)

Корреляционный анализ выявил наиболее тесные связи ($r = 0,48 \pm 0,7$; $p < 0,05$) между относительной ошибкой репродукции интервала 200 мс и третьим компонентом динамики ККС, который, вероятно, связан с опознанием сигнала ошибки и оценкой результата деятельности.

Таким образом, проведенные исследования показали, что фактор «интеллект» оказывает существенное влияние практически на все основные этапы процесса восприятия времени.

Изучение взаимосвязи показателей интеллекта с уровнем корковых взаимодействий на частоте гамма-ритма

При восприятии времени у мужчин обнаружена преимущественно положительная корреляция НИ с уровнем внутри- и межполушарных корковых связей на частотах гамма-ритма при всех режимах восприятия времени.

Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности у мужчин представлена на рис. 5.

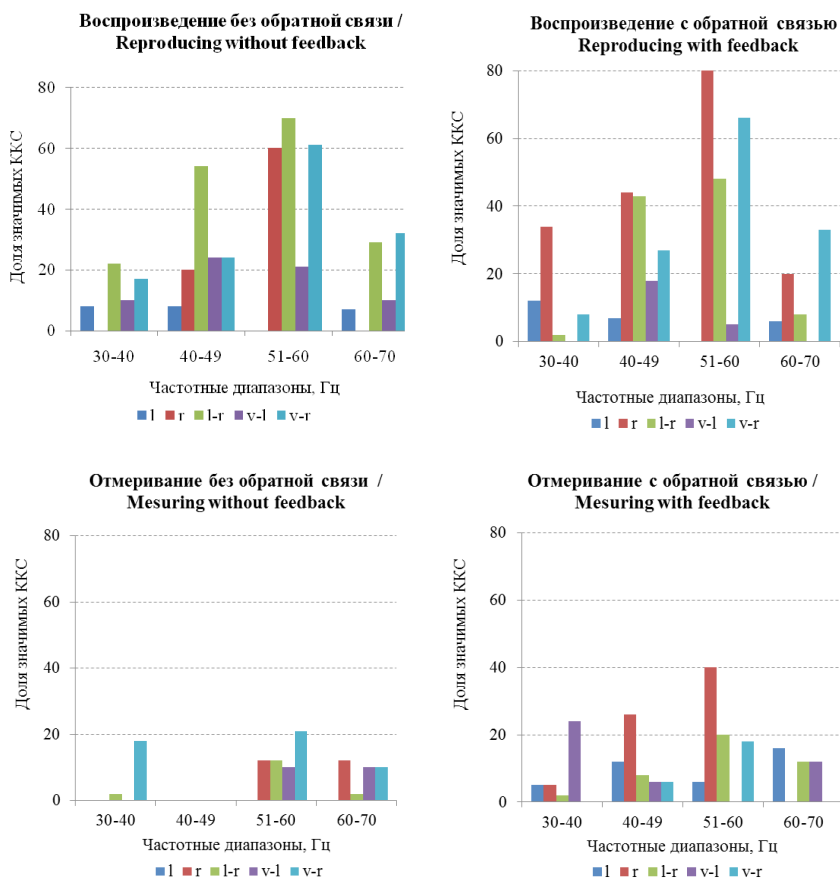


Рис. 5. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у мужчин.

На оси ординат отложена доля значимых коэффициентов корреляции Спирмена в процентах от максимально возможного их числа; горизонтальные линии на рисунках соответствуют уровням 20, 40, 60, 80 и 100%; l – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем левополушарных связей; r – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем правополушарных связей; l-r – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем межполушарных связей; v-l – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем связей между областью вертекса и корковыми областями левого полушария; v-r – доля значимых корреляций интеллекта с уровнем связей между областью вертекса и корковыми областями правого полушария /

Fig. 5. Correlation of non-verbal intelligence with coherence indicators in the perception of time in men.

The ordinate axis shows the percentage of significant Spearman correlation coefficients in percentage from their maximum possible number; horizontal lines in the figures correspond to the levels 20, 40, 60, 80 and 100 %; l - the percentage of significant intelligence correlation with the level of left hemispheric relations; r - the percentage of significant intelligence correlations with the level of right hemispheric relations; r-l - the percentage of significant intelligence correlations with the level of interhemispheric relations; v-l - the percentage of significant intelligence correlation with the level of relations between the vertex and the cortical areas of the left hemisphere; v-r-the percentage of significant intelligence correlation with the level of relations between the vertex and the cortical areas of the right hemisphere

У женщин так же, как и у мужчин, корреляции между НИ и показателями когерентности в основном положительные, но количество этих корреляций значительно меньше. В частности, оказалось, что при восприятии времени без обратной связи о результатах деятельности количество корреляций меньше, чем при ее наличии (рис. 6).

Проведенный анализ позволил обнаружить преимущественно положительные корреляции вербального интеллекта (ВИ) с показателями когерентности, но эти корреляции как у мужчин, так и у женщин единичные – их значительно меньше, чем с НИ [16].

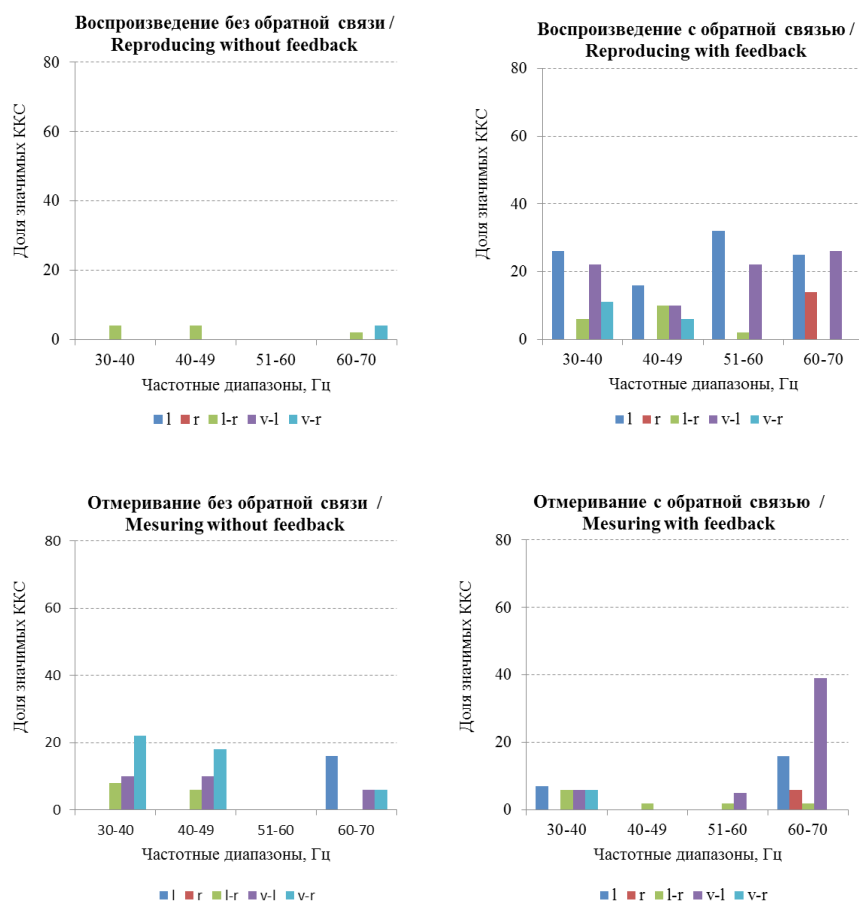


Рис. 6. Корреляция невербального интеллекта с показателями когерентности при восприятии времени у женщин. Остальные обозначения те же, что и на рис. 5 /

Fig. 6. Correlation of non-verbal intelligence with coherence indicators in the perception of time in women
Other symbols are the same as in fig. 5

Таким образом, проведенные исследования позволили обнаружить наличие статистически значимых преимущественно положительных корреляций между показателями вербального и невербального интеллекта и уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма.

***Изучение корреляций показателей интеллекта
с уровнем фазовых взаимодействий между ритмами ЭЭГ***

Проведенные исследования позволили обнаружить и в фоне и при восприятии времени тесные внутрислоушарные [16] и межслоушарные [17] фазовые связи между ритмами ЭЭГ. Оказалось, что чаще всего (примерно в 60–70% случаев) фазовые связи наблюдаются между гамма-ритмом и низкочастотными составляющими ЭЭГ (1,5–30 Гц), а также между разными частотами гамма-ритма. Значения функции бикогерентности на указанных частотах достигают 0,8 и более.

Проведенный анализ показал, что характер фазовых связей отличается у разных испытуемых. Он отличается в фоне, на разных этапах выполняемой деятельности и при разных видах деятельности. Эти отличия проявляются, прежде всего, в уровнях фазовых связей, а также в тех частотах, между которыми наблюдаются наиболее сильные фазовые связи.

Среднегрупповые значения функции бикогерентности между отведениями Т4 и Т5 у юношей при воспроизведении зрительных сигналов длительностью 200 мс без обратной связи представлены на рис. 7.

Как следует из рисунка, наиболее тесные фазовые связи наблюдаются между низкочастотными составляющими ЭЭГ (1,5–20 Гц), между гамма-ритмом 40–60 Гц и ритмами частотой 5–20 Гц, а также между разными частотами гамма-ритма (30–36, 38–44 Гц).

Наряду с этим проведенные исследования позволили обнаружить наличие статистически значимых корреляций уровня фазовых взаимодействий с показателями вербального и невербального интеллекта, экстраверсии и нейротизма, особенностями латеральной организации мозга и точностью восприятия времени. Величина найденных коэффициентов корреляции Спирмена по абсолютной величине варьировала от 0,56 до 0,98 ($p = 0,05 \div 0,003$).

Установлено, что характер указанных корреляций отличается у юношей и девушек, зависит от вида и этапа выполняемой деятельности. Например, у девушек при репродукции длительности стимулов с обратной связью на этапе за 100 мс до начала стимула обнаружены отрицательные корреляции уровня межслоушарных фазовых связей с показателями экстраверсии ($r = -0,63 \div -0,84$; $p < 0,01$) и нейротизма ($r = -0,59 \div -0,63$; $p < 0,01$), и положительные – с коэффициентом правого уха ($r = 0,55$; $p < 0,05$). У юношей в тот же период деятельности обнаружены положительные корреляции уровня межслоушарных фазовых связей с показателями интеллекта ($r = 0,76 \div 0,90$; $p < 0,01$), мануального предпочтения ($r = 0,78$; $p < 0,03$) и коэффициентом правого уха ($r = 0,82$; $p < 0,02$).

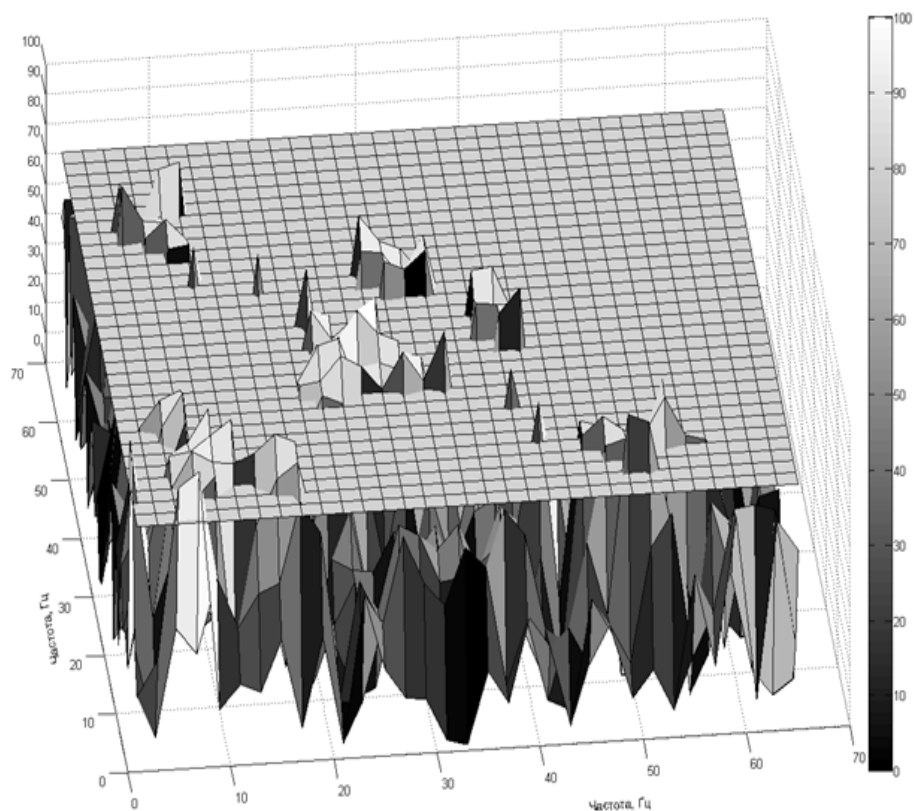


Рис. 7. Среднегрупповые значения функции бикогерентности между отведениями Т4 и Т5 у юношей при воспроизведении зрительных сигналов длительностью 200 мс без обратной связи.

Этап деятельности – спустя 400 мс после предъявления стимула; горизонтальная плоскость «отсекает» малозначимые (менее 0,8) значения функции бикогерентности /

Fig. 7. Averaged group values of biocoherence function between T4 and T5 among boys during reproducing visual signals with duration 200 ms without feedback.

Activity phase - 400 ms after stimulus presentation; horizontal plane "cuts" insignificant (less than 0.8) values of biocoherence function

Таким образом, проведенные исследования показали, что фактор «интеллект» оказывает существенное влияние практически на все этапы процесса восприятия времени: на восприятие и анализ времязадающего стимула, на моторную реакцию испытуемого, на восприятие и анализ сигнала ошибки. Вероятно, в конечном итоге это и проявляется в отчетливой зависимости точности восприятия времени от уровня интеллекта: чем выше интеллект, тем выше точность восприятия времени [18, 19].

Наряду с этим проведенные исследования позволили обнаружить преимущественно положительные корреляции вербального и невербального

интеллекта с уровнем внутри- и межполушарных корковых связей на частоте гамма-ритма. Оказалось, что характер указанных связей зависит от пола, вида выполняемой деятельности и частотного диапазона гамма-ритма. Полученные данные хорошо согласуются с работами ряда авторов [19–22], в которых обнаружена зависимость корковых взаимодействий от индивидуальных особенностей человека, от вида и этапа выполняемой деятельности в частотном диапазоне ЭЭГ от 0,5 до 30 Гц. Однако, в отличие от ранее полученных данных [19], нами обнаружена преимущественно положительная корреляция вербального и невербального интеллекта с уровнем корковых связей на частотах гамма-ритма. Характер обнаруженных корреляций свидетельствует о том, что чем выше уровень интеллекта, тем сильнее выражена пространственная синхронизация электрической активности мозга на этих частотах. Возможно, это объясняется тем, что на частоте гамма-ритма происходит синхронизация активности и функциональное объединение нейронов [23] и этот процесс протекает более эффективно у лиц с высоким интеллектом.

Особый интерес представляют обнаруженные корреляции показателей интеллекта с уровнем фазовых связей между ритмами ЭЭГ. Поскольку фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ могут обеспечивать функциональное объединение нейронов [24], а также кодирование, сжатие и координацию нейронных сообщений в мозге [25], то обнаруженные корреляции позволяют думать, что от уровня интеллекта зависят не только скорость передачи сигналов в ЦНС [5], но и процессы функционального объединения нейронов, кодирования, сжатия и координации нейронных сообщений. Вероятно, этим, в частности, и объясняется зависимость точности восприятия времени и других видов когнитивной деятельности от уровня интеллекта.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что от уровня интеллекта зависят все основные этапы процесса восприятия времени. Обнаружены преимущественно положительные корреляции интеллекта с уровнем корковых взаимодействий на частотах гамма-ритма. Установлено, что характер этих корреляций отличается у юношей и девушек, зависит от вида и этапа выполняемой деятельности. Обнаружены также тесные корреляции интеллекта с уровнем фазовых связей между ритмами ЭЭГ. Полученные результаты и некоторые литературные данные позволяют предположить, что высокая точность восприятия времени у лиц с высоким интеллектом обеспечивается не только более высокой скоростью передачи сигналов в ЦНС, но и большей эффективностью процессов внутримозговой интеграции, кодирования, сжатия и координации нейронных сообщений в мозге.

Литература

1. Разумникова О.М. Отражение личностных свойств в функциональной активности мозга. Новосибирск : Наука, 2005. 135 с.
2. Воробьева Е.В., Шевченко И.Г., Чистякова В.В. Событийно-связанные потенциалы мозга (Р300) и интеллект: психогенетический подход к изучению когнитивного компонента // Сев.-Кавк. психол. вестн. 2005. № 3. С. 28–38.
3. Джебраилова Т.Д. Пространственная организация биопотенциалов коры головного мозга и время принятия решения при целенаправленной интеллектуальной деятельности человека // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. Т. 61, № 2. С. 180–189.
4. Депутат И.С., Грибанов А.В., Нехорошкова А.А. Нейробиологические основы интеллекта // Экол. человека. 2012. № 12. С. 36–45.
5. Deary I.J., Stough C. Intelligence and inspection time: Achievements, prospects and problems // American Psychologist. 1996. № 51. С. 599–608.
6. Caryl P.G. Early event-related potentials correlate with inspection time and intelligence // Intelligence. 1994. № 18. P. 15–46.
7. Neubauer A.C. Physiological approaches to human intelligence // Psychol. Beitrage. 2000. № 42. С. 161–173.
8. Айзенк Г. Структура личности. СПб. : Ювента ; М. : КСП+, 1999. 464 с.
9. Айзенк Г.Ю. Классические IQ тесты. М. : ЭКСМО-Пресс, 2001. 192 с.
10. Леутин В.П., Николаева Е.И. Психофизиологические механизмы адаптации и функциональная асимметрия мозга. Новосибирск : Наука, 1988. 193 с.
11. Кок Е.П., Кочергина В.С. Якушева Л.В. Определение доминантности полушария при помощи дихотомического прослушивания речи // Журнал высшей нервной деятельности. 1971. Т. 21, № 5. С. 59–72.
12. Данько С.Г., Каминский Ю.Л. Система технических средств нейрофизиологических исследований человека. Л. : Наука, 1982. 133 с.
13. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. М. : МЕДпресс-информ, 2004. 624 с.
14. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М. : Физматгиз, 2003. 176 с.
15. Иваницкий А.М. Главная загадка природы: как на основе работы мозга возникают субъективные переживания // Психол. журн. 1999. Т. 20, № 3. С. 93–97.
16. Бушов Ю.В., Светлик М.В., Крутенкова Е.П. Гамма-активность коры головного мозга: связь с интеллектом и точностью восприятия времени // Физиология человека. 2010. Т. 36, № 4. С. 1–7.
17. Бушов Ю.В., Светлик М.В., Крутенкова Е.П. Межполушарные фазовые взаимодействия между высоко- и низкочастотными ритмами ЭЭГ при восприятии коротких интервалов времени // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 3 (15). С. 161–171.
18. Цуканов Б.И. Качество «внутренних часов» и проблема интеллекта // Психологический журнал. 1991. Т. 12, № 3. С. 38–44.
19. Бушов Ю.В., Ходанович М.Ю., Иванов А.С., Светлик М.В. Системные механизмы восприятия времени. Томск : Изд-во ТГУ, 2007. 150 с.
20. Свидерская Н.Е. Синхронная электрическая активность мозга и психические процессы. М. : Наука, 1987. 156 с.
21. Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Влияние свойств нервной системы и темперамента на пространственную организацию ЭЭГ // Журнал высшей нервной деятельности. 1996. Т. 46, № 5. С. 849–852.

22. Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Пространственная организация ЭЭГ и индивидуальные психологические характеристики // Журнал высшей нервной деятельности. 1996. Т. 46, № 4. С. 689–692.
23. Crick F., Koch Ch. Are we aware of neural activity in primary visual cortex? // Nature. 1995. Vol. 375, № 11. P. 121–123.
24. Freeman W.J. Mesoscopic neurodynamics: From neuron to brain // J. physiol. (France). 2000. Vol. 94, №5/6. P. 303–322.
25. Цукерман В.Д. Математическая модель фазового кодирования событий в мозге // Математическая биология и биоинформатика. 2006. Т. 1, № 1. С. 97–99.

Авторский коллектив:

Бушов Юрий Валентинович – д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой физиологии человека и животных Биологического института Томского государственного университета (Томск, Россия). E-mail: bushov@bio.tsu.ru

Светлик Михаил Васильевич – канд. биол. наук, доцент кафедры медицинской и биологической кибернетики медико-биологического факультета Сибирского государственного медицинского университета (Томск, Россия). E-mail: mihav@mail.ru

*Поступила в редакцию 21.01.2014 г.;
принята 25.06.2014 г.*

Tomsk State University Journal of Biology. 2014. № 3 (27). P. 158–175

Yury V. Bushov¹, Mikhail V. Svetlik²

¹Department of Human and Animal Physiology, Biological Institute, Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

E-mail: bushov@bio.tsu.ru

²Department of Medical and Biological Cybernetics, Medical and Biological Faculty, Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

E-mail: mihav@mail.ru

Intelligence and perception of time

The aim of our study was to investigate electroencephalographic correlates of intelligence during human's intellectual activity connected with the perception of short intervals of time. In volunteers, practically healthy young men and women aged 18–22, students of Tomsk universities, we investigated the EEG correlates of intelligence with reproduction and measuring short intervals of time lasting 200 and 800 MS in the presence and in the absence of feedback about performance. When reproducing time intervals, their duration was specified by a visual stimulus (light square with a side of 2 cm, which appears in the center of a dark screen, and when measuring - digit. When performing the same activities with feedback a moment after reproduction or measuring the charge, the time interval on the screen appeared, in percentage terms, relative error of measuring or reproducing this interval. Recording of EEG was carried out with open and closed eyes, and also during perception of time in the frontal, central, temporal, parietal and occipital leads in 10–20%.

We established that the intelligence has a significant impact on all the main stages of the process of perception of time: on the perception and analysis of time-giving stimulus, motor reaction of the subject related to pressing a computer key and analysis

of the error signal reproduction or measuring the time interval. We found mostly positive correlations between verbal and nonverbal intelligence with the level of cortical interactions at frequencies Gama-rhythm. The nature of these correlations is different for boys and girls, it depends on the frequency range of gamma-rhythm and the type of activity. We found a close correlation indicators with the level of intelligence of phase interactions between high - and low-frequency EEG rhythms. We established the dependence of these correlations from the gender of the subjects and the type and stage of the performed activity. Our results and some literature data suggest that the high accuracy of the perception of time in individuals with high intelligence is ensured not only by high speed of signal transmission in the central nervous system, but also by more efficient processes of intracerebral integration, coding, compression and coordination of neural messages in the brain.

The article contains 7 figures, 25 ref.

Keywords: perception of time; correlates of intelligence; cortical and phase interaction; EEG rhythms.

References

1. Razumnikova OM. Otrazhenie lichnostnykh svoystv v funktsional'noy aktivnosti mozga [Reflection of personality traits in the functional activity of the brain]. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch Publishing House; 2005. 135 p. In Russian
2. Vorobyeva EV, Shevchenko IG, Chistyakova VV. Sobytiyno-svyazannye potentsialy mozga (R300) i intellekt: psikhogeneticheskiy podkhod k izucheniyu kognitivnogo komponenta. *Severo-Kavkazskiy psikhologicheskiy vestnik*. 2005;3:28-38. In Russian
3. Djibrailova TD, Korobeynikova II, Karatygin NA, Umryukhin EA. Prostranstvennaya organizatsiya biopotentsialov kory golovnogogo mozga i vremya prinyatiya resheniya pri tselenapravlennoy intellektual'noy deyatel'nosti cheloveka. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti Im. I.P. Pavlova*. 2011;61(2):180-189. In Russian
4. Deputat IS, Gribanov AV, Nehoroshkova AA. Intelligence neurobiological fundamentals. *Ekologiya cheloveka*. 2012;12:36-45. In Russian
5. Deary IJ, Stough C. Intelligence and inspection time: Achievements, prospects and problems. *American Psychologist*. 1996;51(6):599-608. doi: 10.1037/0003-066X.51.6.599
6. Caryl PG. Early event-related potentials correlate with inspection time and intelligence. *Intelligence*. 1994;18:15-46. doi: [10.1016/0160-2896\(94\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0160-2896(94)90019-1)
7. Neubauer AC. Physiological approaches to human intelligence. *Psychol. Beitrage*. 2000;42:161-173.
8. Ayzenk GYu. Struktura lichnosti [Personality structure]. Saint Petersburg: Yuventa Publishing House; Moscow: KSP+ Publishing House; 1999. 464 p. In Russian
9. Ayzenk GYu. Klassicheskie IQ testy [Classic IQ tests]. Moscow: EKSMO-Press; 2001. 192 p. In Russian
10. Leutin VP, Nikolaeva EI. Psikhofiziologicheskie mekhanizmy adaptatsii i funktsional'naya asimmetriya mozga [Psychophysiological mechanisms of adaptation and the functional asymmetry of the brain]. Novosibirsk: Nauka, Siberian branch Publishing House; 1988. 193 p. In Russian
11. Kok EP, Kochergina VS, Yakusheva LV. Opredelenie dominantnosti polushariya pri pomoshchi dikhoticheskogo proslushivaniya rechi [Determination of the dominant hemisphere using dichotic listening to speech]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti Im. I.P. Pavlova*. 1971;21(5):59-72. In Russian
12. Danko SG, Kaminskiy YuL. Sistema tekhnicheskikh sredstv neyrofiziologicheskikh issledovaniy cheloveka [System of technical means for neurophysiological human studies]. Leningrad: Nauka Publishing House; 1982. 133 p. In Russian

13. Gnezditskiy VV. Obratnaya zadacha EEG i klinicheskaya elektroentsefalografiya [Inverse problem of EEG and clinical electroencephalography]. Moscow: MED Press-Inform; 2004. 624 p. In Russian
14. Koronovskiy AA, Khramov AE. Nepreryvnyy veyvletnyy analiz i ego prilozheniya [Continuous wavelet analysis and its applications]. Moscow: Fizmatgiz; 2003. 176 p. In Russian
15. Ivanitskiy AM. Glavnaya zagadka prirody: kak na osnove raboty mozga voznikayut sub"ektivnye perezhivaniya [Main mystery of nature: how subjective experiences arise on the basis of brain activity]. *Psikhologicheskii zhurnal*. 1999;20(3):93-97. In Russian
16. Bushov YuV, Svetlik MV, Krutenkova EP. γ -Activity of the cerebral cortex: Relationship between intelligence and the accuracy of time perception. *Human Physiology*. 2010;36(4):382-387. doi: [10.1134/S036211971004002X](https://doi.org/10.1134/S036211971004002X)
17. Bushov YuV, Svetlik MV, Krutenkova EP. Interhemispheric phase interaction between high-frequency and low-frequency rhythms of EEG in short time intervals perception. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2011;3(15):161-171. In Russian
18. Tsukanov BI. Kachestvo "vnutrennikh chasov" i problema intellekta [Quality of "internal clock" and the problem of intelligence]. *Psikhologicheskii zhurnal*. 1991;12(3): 38-44. In Russian
19. Bushov YuV, Hodanovich MYu, Ivanov AS, Svetlik MV. Sistemnye mekhanizmy vospriyatiya vremeni [Systematic mechanisms of time perception]. Tomsk: Tomsk State University Press; 2007. 150 p. In Russian
20. Sviderskaya NE. Sinkhronnaya elektricheskaya aktivnost' mozga i psikhicheskie protsessy [Synchronous electrical activity of the brain and mental processes]. Moscow: Nauka Publishing House; 1987. 156 p. In Russian
21. Sviderskaya NE, Korolkova TA. Influence of properties of the nervous system and temperament on the EEG spatial organization. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti Im. I.P. Pavlova – Neuroscience and Behavioral Physiology*. 1996;46(5):857-858.
22. Sviderskaya NE, Korolkova TA. Spatial organization of the EEC and individual psychological. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti Im. I.P. Pavlova – Neuroscience and Behavioral Physiology*. 1996;46(4):697-698.
23. Crick F, Koch Ch. Are we aware of neural activity in primary visual cortex? *Nature*. 1995;375(11):121-123. doi: [10.1038/375121a0](https://doi.org/10.1038/375121a0)
24. Freeman WJ. Mesoscopic neurodynamics: From neuron to brain. *J. physiol. (France)*. 2000;94(5/6):303-322. doi: [10.1016/S0928-4257\(00\)01090-1](https://doi.org/10.1016/S0928-4257(00)01090-1)
25. Tsukerman VD. Matematicheskaya model' fazovogo kodirovaniya sobytiy v mozge [Mathematical model of phase coding of events in the brain]. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika*. 2006;1(1):97-99. In Russian

Received 21 January 2014;

Accepted 25 June 2014

Bushov YV, Svetlik MV. Intelligence and perception of time. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2014;3(27):158-175. doi: 10.17223/19988591/27/11 In Russian, English summary.