

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 612.13:159.9

doi: 10.19163/1994-9480-2022-19-3-34-40

**ПОЛОВЫЕ РАЗЛИЧИЯ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ  
МОДЕЛИРУЕМОЙ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*П.А. Кулагин, М.М. Лапкин, Е.А. Трутнева, Р.А. Зорин*

*Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Павел Андреевич Кулагин zu.pavel@gmail.com

**Аннотация.** В статье приводятся данные исследований, посвященных изучению актуальной научной проблемы физиологии человека – выявлению половых различий мозговой гемодинамики человека при решении когнитивных задач. Когнитивную деятельность моделировали с помощью двухцветного теста Шульте – Горбова, мозговую гемодинамику оценивали методом реоэнцефалографии, регистрируя ее в фронто-мастоидальных и окципито-мастоидальных отведениях слева и справа. Полученные данные свидетельствуют, что гемодинамическое обеспечение деятельности головного мозга у испытуемых различного пола во время решения когнитивных задач отличается существенным образом. В частности, установлено, что при выполнении теста Шульте – Горбова у испытуемых мужского пола гемодинамические изменения наблюдаются в затылочной области в основном справа, тогда как у представителей женского пола в затылочной области и слева и справа.

**Ключевые слова:** когнитивная деятельность, мозговая гемодинамика, половые различия

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

**SEX DIFFERENCES OF THE HUMAN BRAIN HEMODYNAMIC SUPPLY DURING  
THE PERFORMANCE OF THE SIMULATED COGNITIVE ACTIVITY**

*P.A. Kulagin, M.M. Lapkin, E.A. Trutneva, R.A. Zorin*

*Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia*

**Corresponding author:** Pavel A. Kulagin, zu.pavel@gmail.com

**Abstract.** The article provides research data devoted to the study of an actual scientific problem of human physiology – the identification of sex differences in human cerebral hemodynamics during the solving cognitive tasks. Cognitive activity was modeled using a two-colored Schulte – Gorbov test, cerebral hemodynamics was assessed by the method of rheoencephalography, registering it in the fronto-mastoidal and occipito-mastoidal leads on the left and right. The obtained data indicate that the hemodynamic supply of brain activity in subjects of different sexes during the solution of cognitive tasks differs significantly. In particular, it was found that when the Schulte – Gorbov test was performed in male subjects, hemodynamic changes were observed in the occipital region mainly on the right, while in females – in the occipital region both: on the left and on the right.

**Keywords:** cognitive activity, cerebral hemodynamics, sex differences

В настоящее время одной из актуальных задач современной физиологии поведения является исследование закономерностей изменения кровоснабжения головного мозга человека при решении когнитивных задач, в том числе в зависимости от его половой принадлежности [1, 2, 3, 4].

Одним из методов, используемых для оценки мозговой гемодинамики, является реоэнцефалография. Реоэнцефалография (РЭГ) – широко известный, непрерывный, неинвазивный и недорогой метод исследования сосудистой системы головного мозга, в основе которого лежит мониторинг электрического импеданса тканей [5].

Получаемые при РЭГ-исследованиях данные отражают изменения пульсовых колебаний кровенаполнения мозговых сосудов, дают достоверную информацию об относительной величине кровенаполнения отдельных областей и полушарий головного мозга [2, 6].

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выявление половых особенностей мозговой гемодинамики у лиц, реализующих моделируемую когнитивную деятельность.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании добровольно приняли участие 54 испытуемых обоего пола (испытуемые женского пола (Ж) = 22, мужского пола (М) = 32) в возрасте 18–23 лет. Особенности гемодинамики головного мозга изучали в первой половине дня в положении испытуемого сидя [6] с использованием компьютерного многофункционального реографа «Рео-Спектр» (ООО «Нейрософт», Россия) в исходном состоянии относительного покоя и во время моделирования целенаправленной когнитивной деятельности.

Регистрацию реоэнцефалограммы осуществляли в фронто-мастоидальных отведениях справа (Fmd) и слева (Fms), и в окципито-мастоидальных отведениях справа (Omd) и слева (Oms). Целенаправленную когнитивную деятельность моделировали с использованием программы для проведения психофизиологических исследований «Физиотест» (Россия) [3] с помощью теста «Таблицы Шульте» в двухцветной модификации Шульте – Горбова [4, 7, 8].

При анализе полученных данных определяли следующие показатели РЭГ:

- время распространения реографической волны ( $Q_x$ , с);
- время восходящей части волны ( $\alpha$ , с);
- время быстрого кровенаполнения ( $\alpha_1$ , с);
- время медленного кровенаполнения ( $\alpha_2$ , с);
- реографический индекс (РИ, у.е.);
- коэффициент асимметрии реографического индекса (КаРИ, %);
- максимальная скорость быстрого наполнения ( $V_{\max}$ , Ом/с);
- средняя скорость медленного наполнения ( $V_{\text{ср}}$ , Ом/с);
- дикротический индекс (ДИК, %);
- диастолический индекс (ДИА, %);
- отношение амплитуды максимального систолического значения венозной компоненты к максимальной амплитуде волны ( $A_{\text{вен}}/A_{\text{арт}}$ , %);
- показатель венозного оттока (ПВО, %).

Анализ показателей когнитивной деятельности проводили, используя следующие параметры:

- общее время выполнения (ОВ); среднее время выбора числа (СВ); коэффициент полезного действия (КПД) (рассчитывается по формуле):

$$\text{КПД} = \frac{(\text{всего предъявленных чисел} - \text{количество ошибок})}{\text{всего предъявленных чисел}};$$

- мощность выполнения (МВ) (рассчитывается по формуле):

$$\text{МВ} = \frac{\text{КПД} * \text{общее время выполнения}}{60 \text{ с}}.$$

Накопление и первичную обработку исходных данных осуществляли с помощью табличного процессора Microsoft Office Excel 2016.

Статистический анализ проводили с использованием программы STATISTICA 10 (StatSoft Inc.).

Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка.

При сравнении средних величин в нормально распределенных совокупностях количественных данных рассчитывали t-критерий Стьюдента.

Проверку различий между двумя сравниваемыми парными выборками проводили с применением W-критерия Уилкоксона. Для сравнения независимых совокупностей в случаях отсутствия признаков нормального распределения данных использовали U-критерий Манна – Уитни.

С целью изучения связи между показателями провели корреляционный анализ с использованием метода ранговой корреляции Спирмена [8, 9].

Данные в таблицах представлены в виде среднего арифметического и его стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ) – при нормальном распределении или в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей ( $Me$ ,  $LQ$ ,  $UQ$ ) – при распределении, отличном от нормального. Критическим уровнем значимости считали  $P < 0,05$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходную выборку испытуемых разделили на две группы по половому признаку. При проведении анализа параметров результативности когнитивной деятельности мы не выявили достоверных межгрупповых различий (рис. 1).

В результате анализа реоэнцефалографических показателей у мужчин во время когнитивной деятельности по сравнению с исходным состоянием обнаружено: уменьшение показателей  $\alpha_2$  и  $\alpha$  в Os отведении; снижение показателей  $V_{\max}$  и  $V_{\text{ср}}$  в Od отведении (табл. 1).

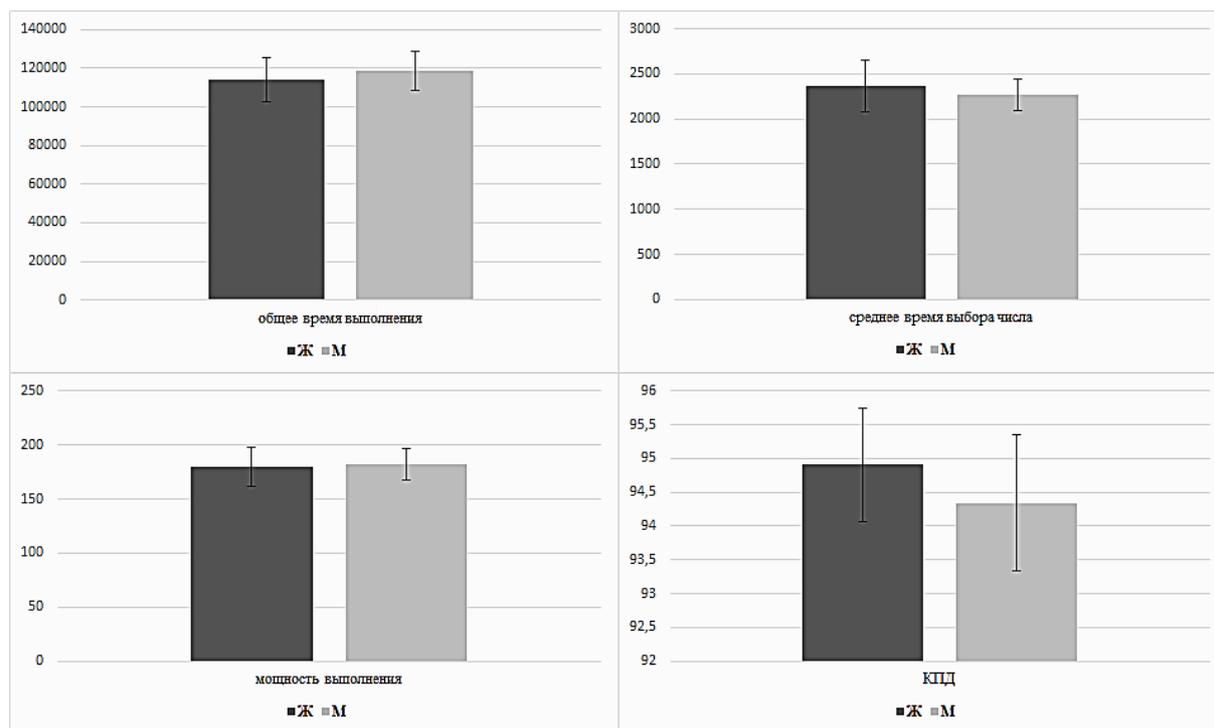


Рис. 1. Показатели результативности

Таблица 1

### Изменение показателей РЭГ в группе мужчин

Показатель РЭГ	Исходный фон	Тест Шульте – Горбова	Pd
$\alpha 2O_s$ , с	0,06 (0,06; 0,0625)	0,05 (0,05; 0,06)	0,0363
$\alpha O_s$ , с	0,13 (0,1275; 0,13)	0,12 (0,1175; 0,13)	0,0304
$V_{\max Od}$ , Ом/с	1,2 (0,84; 1,8425)	1,095 (0,8575; 1,6425)	0,0342
$V_{\text{ср} Od}$ , Ом/с	0,75 (0,49; 1,0925)	0,6 (0,4225; 0,9725)	0,0105

В группе женщин во время решения когнитивной задачи по сравнению с исходным фоном наблюдается:

- увеличение показателей  $\alpha 2$ ,  $\alpha$ , и  $Q_x$  в Fs отведении;
- уменьшение показателей  $Q_x$  и РИ в Fd отведении;
- уменьшение ДИА и уменьшение отношения  $A_{\text{вен}}/A_{\text{арт}}$  в Os отведении;
- уменьшение показателей  $Q_x$ , РИ,  $V_{\max}$ ,  $V_{\text{ср}}$  и ДИК в Od отведении (табл. 2).

Таблица 2

### Изменение показателей РЭГ в группе женщин

Показатель РЭГ	Исходный фон	Тест Шульте – Горбова	Pd
$\alpha 2Fs$ , с	0,06 (0,06; 0,06)	0,07 (0,06; 0,11)	0,0217
$\alpha Fs$ , с	0,13 (0,13; 0,13)	0,135 (0,13; 0,19)	0,0064
ДИА Os, %	72,6 ± 14,4	61,2 ± 17,85	0,0068
$A_{\text{вен}}/A_{\text{арт}} Os$ , %	85 (75,5; 89)	79 (64,25; 86)	0,0115
$Q_x Fs$ , с	0,16 (0,14; 0,16)	0,13 (0,11; 0,15)	0,0124
$Q_x Fd$ , с	0,155 (0,15; 0,16)	0,13 (0,13; 0,16)	0,0029
$Q_x Od$ , с	0,15 (0,13; 0,16)	0,13 (0,12; 0,1475)	0,0031
РИ Fd, у.е.	1,38 (1,23; 1,85)	1,905 (1,28; 2,12)	0,0334
РИ Od, у.е.	0,95 (0,61; 1,275)	0,775 (0,578; 0,95)	0,0223
$V_{\max Od}$ , Ом/с	1,365 (0,82; 1,785)	1,065 (0,81; 1,46)	0,0471
$V_{\text{ср} Od}$ , Ом/с	0,765 (0,36; 1,04)	0,605 (0,39; 0,82)	0,0470
ДИКОd, %	70,41 ± 18,36	57,32 ± 23,29	0,0068

По результатам сравнения групп по показателям РЭГ во время когнитивной деятельности выявили следующие различия: в группе женщин показатели  $\alpha$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  в Fs отведении; РИ в Fs, Fd и Os

отведениях;  $V_{\max}$  в Fs, Fd и Os отведениях;  $V_{\text{ср}}$  в Fs отведении; ДИК в Fs отведении; ПВО в Fs, Fd и Os отведениях достоверно выше, чем в группе мужчин (рис. 2).

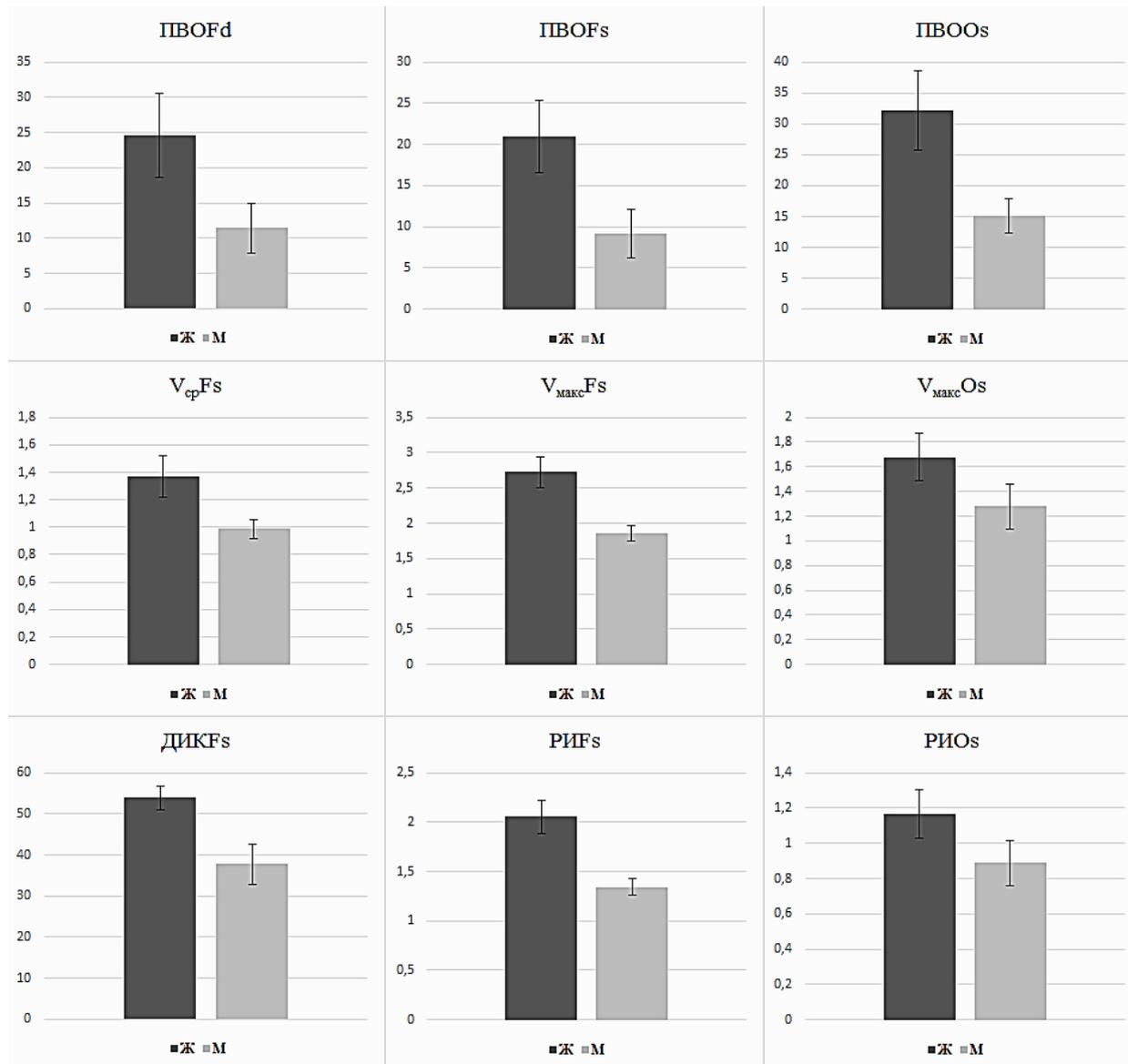


Рис. 2. Значимые межгрупповые различия по показателям РЭГ

Провели корреляционный анализ с использованием метода ранговой корреляции Спирмена с целью выявления связей между реоэнцефалографическими показателями и показателями результативности деятельности при выполнении теста Шульте – Горбова.

В группе женщин во время когнитивной деятельности выявили следующие взаимосвязи (рис. 3):

- $\alpha_1 O_s$  – ОВ ( $r = -0,456$ ),
- $\alpha_1 O_s$  – СВ ( $r = -0,470$ ),
- $\alpha_1 O_s$  – МВ ( $r = -0,473$ ),
- $A_{\text{вен}}/A_{\text{арт}} O_d$  – ОВ ( $r = -0,516$ ),

$A_{\text{вен}}/A_{\text{арт}} O_d$  – СВ ( $r = -0,527$ ),

$A_{\text{вен}}/A_{\text{арт}} O_d$  – МВ ( $r = -0,542$ ).

В группе мужчин во время когнитивной деятельности выявили следующие взаимосвязи:

$Q_x O_d$  – ОВ ( $r = 0,418$ ),

$Q_x O_d$  – СВ ( $r = 0,380$ ),

$Q_x O_d$  – МВ ( $r = 0,412$ ),

$\alpha_2 O_d$  – ОВ ( $r = -0,357$ ),

$\alpha_2 O_d$  – МВ ( $r = -0,366$ ),

$V_{\text{ср}} O_d$  – КПД ( $r = -0,386$ ).

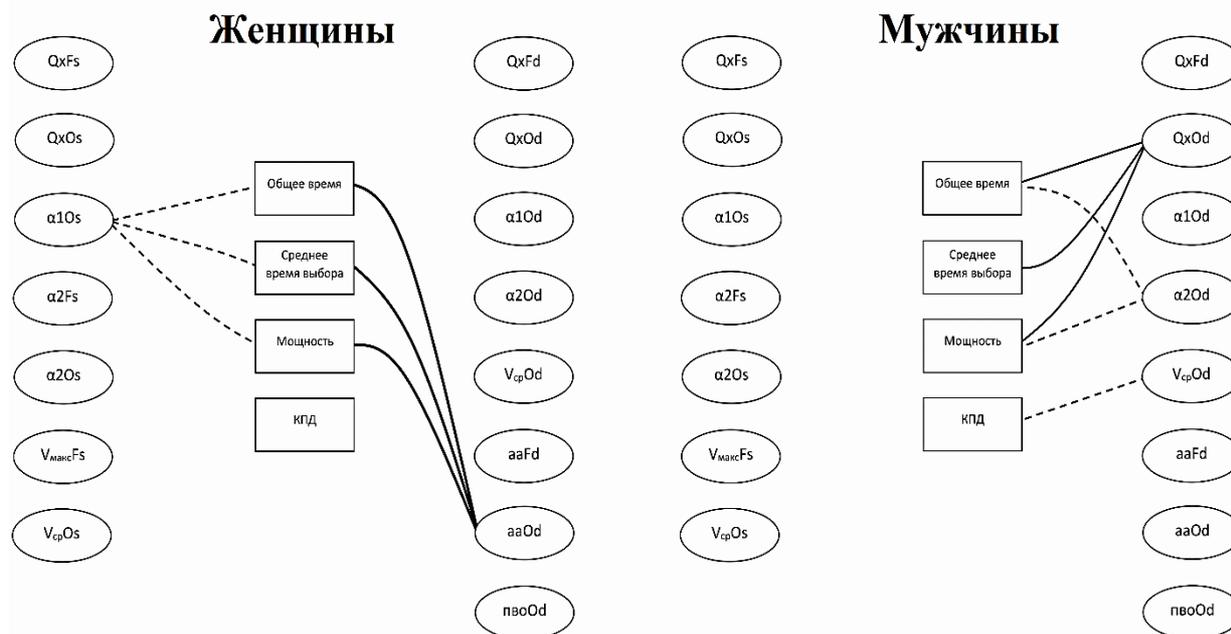


Рис. 3. Корреляционные плеяды, отражающие взаимосвязи показателей РЭГ и результативности когнитивной деятельности

Полученные данные свидетельствуют о том, что гемодинамическое обеспечение деятельности головного мозга у испытуемых различного пола во время решения когнитивных задач отличается существенным образом. Отличия отражаются и в локализации гемодинамических изменений по показателям РЭГ и в характеристиках корреляционных плеяд, отражающих характер взаимосвязей между показателями целенаправленного поведения и показателями РЭГ при решении простых когнитивных задач [2]. В частности, установлено, что при выполнении теста Шульте – Горбова у испытуемых мужского пола гемодинамические изменения наблюдаются в затылочной области в основном справа, тогда как у представителей женского пола в затылочной области и слева, и справа. Выявленные гемодинамические изменения в затылочной области отражают, по-видимому, преимущественную активацию центральных структур зрительной сенсорной системы, локализованных в затылочных долях головного мозга, что связано с тем, что при выполнении теста Шульте – Горбова необходима идентификация зрительных образов в виде цифр разного цвета и выстраивание их в виде заданной последовательности. Однако у испытуемых мужского пола эта относительно простая когнитивная задача в наших методических условиях решается путем перераспределения кровотока в затылочной области правого полушария, тогда как у испытуемых женского пола – путем перераспределения кровотока в затылочной области левого и правого полушарий.

Кроме того, следует отметить, что в обеих группах сравнения при проведении теста Шульте – Горбова наблюдается снижение скоростных показателей кровенаполнения в затылочной области справа. Предположительно, данное явление может быть связано с необходимостью усиления транскапиллярного обмена для эффективного метаболического обеспечения структур головного мозга, вовлеченных при данных условиях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представленные в статье данные свидетельствуют о том, что у представителей женского и мужского пола при решении когнитивных задач с предъявлением визуальных стимулов гемодинамическое обеспечение головного мозга существенно различается по ряду показателей [10]. В то время как у представителей мужского пола перераспределение кровотока при решении когнитивной задачи осуществляется в затылочной доле правого полушария, то у представителей женского пола при решении аналогичной когнитивной задачи со схожей результативностью перераспределение кровотока происходит в затылочных долях обоих полушарий головного мозга.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Биоэлектрическая активность головного мозга и церебральная гемодинамика у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузки / Л.В. Капилевич, Г.С. Ежова, А.Н. Захарова [и др.] // Физиология человека. 2019. Т. 45, № 2. С. 58–69. doi: 10.1134/S0131164619010089.

2. Кулагин П.А., Лапкин М.М., Трутнева Е.А., Зорин Р.А. Половые особенности гемодинамического обеспечения головного мозга человека при выполнении моделируемой умственной деятельности // Материалы ежегодной научной конференции Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, посвящённой Году науки и технологий в Российской Федерации. Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2021. С. 52–54.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615115 Российская Федерация. Программа для проведения психофизиологических исследований «Физиотест» / М.М. Лапкин, А.В. Алпатов, Р.А. Зорин [и др.]; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. № 2020614228. Заявл. 14.05.2020. Опубл. 18.05.2020.

4. Меркулова М.А., Акулина М.В., Лапкин М.М. Гендерные особенности формирования целенаправленного поведения человека при воспроизведении зрительных образов с различной результативностью // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2019. Т. 23, № 3. С. 308–317.

5. Bodó M. A noninvasive, continuous brain monitoring method: rheoencephalography (REG). *DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture, and Energy*. 2020. № 1(2).

6. Яруллин Х.Х. Клиническая реоэнцефалография. М.: Медицина, 1983. 271 с.

7. Вегетативное обеспечение целенаправленной деятельности и её результативность у практически здоровых лиц / Р.А. Зорин, Ю.И. Медведева, И.С. Курепина [и др.] // Наука молодых (*Eruditio Juvenium*). 2019. Т. 7, № 1. С. 38–45.

8. Зорин Р.А., Жаднов В.А., Лапкин М.М., Куликова Н.А. Специфика функционирования афферентных и ассоциативных механизмов у практически здоровых лиц и больных эпилепсией с различной результативностью деятельности // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2016. Т. 24, № 4. С. 56–66.

9. Мандриков В.Б., Севрюкова Г.А., Исупов И.Б., Лиходеева В.А. Церебральное кровообращение российских и иностранных студентов при различных формах умственной деятельности // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2019. № 1(69). С. 87–90.

10. Особенности состояния мозговой гемодинамики у молодых мужчин в зависимости от их когнитивной функции / Е.С. Оленко, В.Ф. Киричук, А.И. Кодочигова [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2020. Т. 70, № 1. С. 25–30. doi: 10.31857/S0044467720010128.

#### REFERENCES

1. Kapilevich L.V., Ezhova G.S., Zaharova A.N., Kabachkova A.V., Krivoshchekov S.G. Brain bioelectrical activity and

cerebral hemodynamics in athletes under combined cognitive and physical loading. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2019;45(2):58–69. (In Russ.).

2. Kulagin P.A., Lapkin M.M., Trutneva E.A., Zorin R.A. Sex features of the human brain hemodynamic supply during the performance of simulated mental activity. *Materialy ezhegodnoj nauchnoj konferencii Ryazanskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta imeni akademika I.P. Pavlova, posvjashhjonnoj Godu nauki i tehnologii v Rossijskoj Federacii = Proceedings of the annual scientific conference of the Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov, dedicated to the Year of Science and Technology in the Russian Federation*. Ryazan; Ryazan State Medical University Publ., 2021:52–54. (In Russ.).

3. Lapkin M.M., Alpatov A.V., Zorin R.A., Trutneva E.A., Kulagin P.A. Certificate of state registration of a computer program No. 2020615115 Russian Federation. Program for conducting psychophysiological research "Physiotest". Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov. No. 2020614228. Appl. 14.05.2020. Published May 18, 2020. (In Russ.).

4. Merkulova M.A., Akulina M.V., Lapkin M.M. Gender Features of Formation of Purposeful Human Behavior when Playing Images with Different Performance. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Medicina = RUDN journal of medicine*. 2019;23(3);308–317. (In Russ.).

5. Bodó M. A noninvasive, continuous brain monitoring method: rheoencephalography (REG). *DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture, and Energy*. 2020;1(2).

6. Jarullin H.H. Clinic rheoencephalography. Moscow; Medicine, 1983. 271 p. (In Russ.).

7. Zorin R.A., Medvedeva YU.I., Kurepina I.S., Lapkin M.M., Zhadnov V.A. The vegetative support of purposeful activity and performance efficiency in healthy people. *Nauka molodyh (Eruditio Juvenium) = Science of the young*. 2019;7(1):38–45. (In Russ.).

8. Zorin R.A., Zhadnov V.A., Lapkin M.M., Kulikova N.A. The specificity of function of afferent and associative cortico-subcortical mechanisms in groups of healthy people and patients with epilepsy with different effectiveness of purposeful activity. *Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova = I.P. Pavlov Russian medical biological herald*. 2016;24(4):56–66. (In Russ.).

9. Mandrikov V.B., Sevryukova G.A., Isupov I.B., Lihodeeva V.A. Cerebral circulation of russian and foreign students in various forms of mental activity. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta = Journal of Volgograd State Medical University*. 2019;1(69):87–90. (In Russ.).

10. Olenko E.S., Kirichuk V.F., Kodochigova A.I. et al. Features of the state of brain hemodynamics in young men: interaction with cognitive function]. *ZHurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I.P. Pavlova = Pavlov Journal of the Higher Nervous System*. 2020;70(1):25–30. doi: 10.31857/S0044467720010128. (In Russ.).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Информация об авторах*

**Павел Андреевич Кулагин** – аспирант кафедры нормальной физиологии с курсом психофизиологии, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-5284-0875>

**Михаил Михайлович Лапкин** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии с курсом психофизиологии, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-1826-8307>, [lapkin\\_rm@mail.ru](mailto:lapkin_rm@mail.ru)

**Елена Анатольевна Трутнева** – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии с курсом психофизиологии, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Россия, [e\\_lena68@mail.ru](mailto:e_lena68@mail.ru)

**Роман Александрович Зорин** – доктор медицинских наук, доцент кафедры неврологии и нейрохирургии, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-4310-8786>, [zorin.ra30091980@mail.ru](mailto:zorin.ra30091980@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 23.09.2022; одобрена после рецензирования 09.06.2022; принята к публикации 23.08.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

*Information about the authors*

**Pavel A. Kulagin** – Postgraduate student of the Department of Normal Physiology with a course in Psychophysiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-5284-0875>

**Mikhail M. Lapkin** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Normal Physiology with a course of Psychophysiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-1826-8307>, [lapkin\\_rm@mail.ru](mailto:lapkin_rm@mail.ru)

**Elena A. Trutneva** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Normal Physiology with a course in Psychophysiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia, [e\\_lena68@mail.ru](mailto:e_lena68@mail.ru)

**Roman A. Zorin** – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Neurology and Neurosurgery, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-4310-8786>, [zorin.ra30091980@mail.ru](mailto:zorin.ra30091980@mail.ru)

The article was submitted 23.09.2022; approved after reviewing 09.06.2022; accepted for publication 23.08.2022.