

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ BIOLOGICAL SCIENCES

УДК 612.821:796.342-053.6  
ВБК 75.0  
К 21

### **Карантыш Галина Владимировна**

*Доктор биологических наук, профессор кафедры биологии и общей патологии Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, e-mail: karantyshgv@mail.ru*

### **Набиева Кёнул Набиевна**

*Аспирант кафедры физиологии человека и животных Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, e-mail: nabieva-katya@mail.ru*

### **Дмитренко Лариса Михайловна**

*Кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивных дисциплин Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, e-mail: larisa.72@rambler.ru*

### **Изменение нейрофизиологических показателей у спортсменов подросткового возраста с разными латеральными фенотипами, занимающихся настольным теннисом**

*(Рецензирована)*

**Аннотация.** В настоящее время большой интерес к проблеме латерализации мозга и динамических изменений функциональной межполушарной асимметрии вызван полученными данными в области спортивной физиологии. В данной статье изучено влияние длительных занятий настольным теннисом на показатели сенсоримоторных асимметрий, а также нейрофизиологические показатели у подростков с разными латеральными фенотипами. Для оценки межполушарных взаимоотношений анализировали показатели дискретизации  $\alpha$ -ритма (8–9 Гц, 10–11 Гц, 11–13 Гц), а также когерентность  $\alpha$ -ритма с частотой 10 Гц. Установлено, что после длительных занятий настольным теннисом у спортсменов повышается асимметрия  $\alpha$ -ритма в затылочных областях в высокочастотном диапазоне, особенно у правой, а также усиливаются когерентности ЭЭГ в  $\alpha$ -диапазоне по сравнению с нетренированными сверстниками.

**Ключевые слова:** настольный теннис, подростки, латеральный фенотип, нейрофизиологические показатели межполушарной асимметрии.

### **Karantysh Galina Vladimirovna**

*Doctor of Biology, Professor of Department of Biology and Pathology, Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: karantyshgv@mail.ru*

### **Nabieva Kenul Nabievna**

*Post-graduate student of Department of Human and Animal Physiology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: nabieva-katya@mail.ru*

### **Dmitrenko Larisa Mikhaylovna**

*Candidate of Biology, Associate Professor of the Department of Sports Disciplines, Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: larisa.72@rambler.ru*

### **Change in neurophysiological indicators at athletes of adolescent age with different lateral phenotypes, playing table tennis**

**Abstract.** At present, there is great interest in the problem of brain lateralization and dynamic changes in functional interhemispheric asymmetry due to the new knowledge obtained in the field of sports physiology. This paper explores the influence of durational table tennis playing on the indices of sensorimotor asymmetries, as well as neurophysiological indicators in adolescents with different lateral phenotypes. To evaluate interhemispheric relationships, the  $\alpha$ -rhythm sampling rates (8–9 Hz, 10–11 Hz, 11–13 Hz) were analyzed, as well as the coherence of  $\alpha$ -rhythm with a frequency of 10 Hz. We have established that after long hours of playing table tennis, athletes show an increased asymmetry of the  $\alpha$ -rhythm in the occipital regions in the high-frequency range, especially in right-handers, and enhances of the coherence of the EEG in the  $\alpha$ -range as compared to untrained peers.

**Keywords:** table tennis, adolescents, lateral phenotype, neurophysiological indicators of interhemispheric asymmetry.

В настоящее время не существует единой точки зрения о роли симметрии-асимметрии в спорте: в зависимости от вида спорта функциональная асимметрия может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на спортивный результат [1]. Включение в методику

тренировки направленного асимметричного воздействия приводит к контролируемой дестабилизации привычного двигательного навыка и, соответственно, к изменению динамических характеристик функциональной межполушарной асимметрии [2, 3]. Количество данных литературы о динамических изменениях индивидуального профиля асимметрии в процессе повышения спортивного мастерства не столь значительно [4], хотя в настоящее время представления о наличии динамических свойств асимметрии мозга являются общепризнанными [5].

Одним из объективных методов оценки межполушарных взаимоотношений является метод электроэнцефалографии (ЭЭГ) [6]. Анализ биоэлектрической активности мозга при этом часто проводят с использованием метода оценки когерентности ЭЭГ в  $\alpha$ -ритмическом диапазоне частот и сопоставления амплитудно-частотных характеристик  $\alpha$ -ритма и в полушариях мозга [7], в том числе при помощи дискретизации альфа-ритма [8]. Основываясь на данных представлениях, актуальным является изучение изменений нейрофизиологических показателей у юных спортсменов, длительно занимающихся спортом, с разными латеральными фенотипами.

*Целью данного исследования* явилось выявление влияния систематических занятий настольным теннисом на нейрофизиологические показатели у спортсменов подросткового возраста с разными латеральными фенотипами.

### Методы исследования

В обследовании приняли участие 82 подростка, посещавших секцию настольного тенниса. Первое обследование юных теннисистов проводили через 0,5 года после начала занятий в секции (14–15 лет). Спустя 1 год проводили второе обследование (15–16 лет). Контрольную группу составили подростки ( $n=91$ ), не посещавшие спортивные секции. У всех обследованных определяли индивидуальный профиль асимметрии (ИПА). По результатам определения ИПА мальчиков делили на группы со следующими латеральными фенотипами: 1) абсолютные левши (ЛЛЛЛ); 2) леволатеральный фенотип с ведущими правой ногой и правым ухом – ЛПЛП; 3) праворукие с левыми сенсорными асимметриями – ППЛЛ; 4) праволатеральный с ведущим левым глазом – ППЛП; 5) праволатеральный с ведущим левым ухом – ПППЛ; 6) абсолютные правши – ПППП.

Индивидуальный профиль асимметрии (ИПА) определяли с учетом сенсомоторных признаков функциональной асимметрии с использованием стандартизированных тестов [9–10]. Индивидуальный профиль асимметрии определяли по формуле:

$$KA = [(X_{\text{пр.}} - X_{\text{лев.}}) / (X_{\text{пр.}} + X_{\text{лев.}} + X_{\text{амб.}})] \cdot 100\%,$$

где  $X_{\text{пр.}}$  – число тестов с преобладанием правой стороны,  $X_{\text{лев.}}$  – число тестов с преобладанием левой стороны,  $X_{\text{амб.}}$  – без преобладания. Также рассчитывали коэффициенты асимметрии для каждого парного органа (для ведущей руки, ноги, глаза, уха) по следующей формуле:

$$Ka = [(X_{\text{пр.}} - X_{\text{лев.}}) / (X_{\text{пр.}} + X_{\text{лев.}})] \cdot 100.$$

Регистрацию энцефалограммы осуществляли с использованием компьютерного энцефалографа «Энцефалан 131-03» («Медиком МТД», г. Таганрог). ЭЭГ регистрировали монополярно, по системе «10-20» в 12 отведениях от пяти симметричных областей мозга: лобной, височной, центральной, теменной и затылочной (F3, F4, T3, T4, C3, C4, P3, P4, O1, O2), и от двух сагиттальных точек – центральной и теменной (Cz и Pz).

Оценивали частотную асимметрию  $\alpha$ -ритма, поскольку существует представление о том, что у правшей в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами выше спектральная мощность  $\alpha$ -ритма частотой 10 Гц в затылочных областях правого полушария, а мощность низкочастотных и высокочастотных компонентов  $\alpha$ -ритма превалирует в затылочных областях левого полушария [11].

Анализировали показатели дискретизации  $\alpha$ -ритма (8–9 Гц, 10–11 Гц, 11–13 Гц), а также когерентность (ККо)  $\alpha$ -ритма с частотой 10 Гц. Также изучали значения когерентности ЭЭГ в  $\alpha$ -частотном диапазоне, поскольку известно, что у левшей существует меньшая латерализация и большая диффузность реактивности когерентности  $\alpha$ -ритма по сравнению с правшами. С использованием метода исследования уровня межполушарной асимметрии ко-

герентности ЭЭГ в  $\alpha$ -частотном диапазоне оценивают преобладание сочетанности биопотенциалов в доминантном полушарии: у правой руки уровни внутрислошарных когерентностей выше в левом полушарии, у левой – в правом [12].

Для статистического анализа результатов исследования использовали программу Statistica 8.0. (StatSoft Inc., США).

### Результаты исследования

**Результаты исследования влияния систематических занятий настольным теннисом на сенсомоторный профиль асимметрии.** В контрольной группе мальчиков-подростков при 2-м обследовании наибольшие изменения коэффициентов асимметрий парных органов наблюдали у абсолютных правшей, у которых отмечали снижение коэффициентов моторной и зрительной асимметрии ( $P < 0,05$ ). Снижение коэффициента моторной асимметрии рук ( $P < 0,05$ ) установлено и у подростков контрольной группы с профилем асимметрии ППЛП. В отличие от мальчиков контрольной группы у теннисистов после длительных занятий настольным теннисом происходило изменение коэффициентов асимметрии парных органов в сторону возрастания их значений. У абсолютных правшей наблюдали повышение коэффициента моторной асимметрии рук на 31% ( $P < 0,05$ ), у теннисистов с латеральными фенотипами ППЛЛ – на 40% ( $P < 0,05$ ), ЛЛЛЛ – на 38% ( $P < 0,05$ ). Возрастание коэффициента моторной асимметрии ног выявлено у теннисистов с латеральными фенотипами ППЛП на 33% ( $P < 0,05$ ) и ЛПЛП – на 30% ( $P < 0,05$ ). У абсолютных левшей установлено повышение коэффициента сенсорной асимметрии глаз на 36% ( $P < 0,05$ ).

**Особенности биоэлектрической активности мозга у спортсменов с разным латеральным профилем асимметрии.** У абсолютных правшей (за исключением теннисистов при 2-м обследовании) не было установлено асимметрии мощности  $\alpha$ -ритма 11–13 Гц в затылочных областях. У теннисистов после длительных занятий настольным теннисом установлена асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма во всех отведениях в отличие от контрольной группы. При 2-м обследовании в контрольной группе повышались ККо в  $\alpha$ -частотном диапазоне между парами отведений Р4-Т4, F3-Fp1, Р3-С3, Р4-Т4 и F4-Fp2; у спортсменов увеличение ККо было в парах отведений О1-Т3, Р3-С3 и F3-Fp1; снизились ККо в  $\alpha$ -частотном диапазоне между парами отведений Р3-Т3, О2-Т4 (см. рис. 1). У всех правшей с предпочтением левого уха (ППЛЛ) в 14–15 лет и в контрольной группе в 15–16 лет показана асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма 10 Гц и 11–13 Гц; у теннисистов при 2-м обследовании выявлена асимметрия мощности всех диапазонов  $\alpha$ -ритма.

К 15–16 годам в контрольной группе установлена асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма в центральных и заднелобных отведениях, а у спортсменов в отличие от контрольной группы – преобладание мощности  $\alpha$ -ритма было в отведении Т3. Изменение когерентных связей у мальчиков контрольной группы и спортсменов при 2-м обследовании было идентичным: увеличивались ККо в  $\alpha$ -частотном диапазоне в парах отведений Р3-С3 и F3-Fp1. У правшей с предпочтением левого глаза (ППЛП) в 14–15 лет и у спортсменов в 15–16 лет асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма установлена для низкочастотного  $\alpha$ -ритма и компонента 10 Гц.

У правшей с латеральным фенотипом ППЛП к 15–16 годам увеличивается асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма в симметричных отведениях, особенно у спортсменов. Увеличение ККо в  $\alpha$ -частотном диапазоне в контрольной группе и у спортсменов (ППЛП) в 15–16 лет установлено между парами отведений О1-Т3, F3-Fp1, С4-Т4, а снижение – между парами Р4-Т4. Также у спортсменов обнаружено увеличение ККо в  $\alpha$ -частотном диапазоне между парами отведений О2-Т4 и С4-Т4 (рис. 1). У правшей с латеральным фенотипом ППЛЛ в 14–15 лет частота  $\alpha$ -ритма в диапазоне 8–9 Гц была выше в О2, а компонента 10 Гц – в О1. В контрольной группе в 15–16 лет в затылочных областях наблюдали асимметрию в частотном диапазоне  $\alpha$ -ритма 11–13 Гц и компонента  $\alpha$ -ритма 10 Гц, а у юных спортсменов – асимметрию  $\alpha$ -ритма 10 Гц.

В 15–16 лет в контрольной группе установлено повышение когерентных связей между парами отведений Т3-С3, F3-Fp1, F4-Fp2, у спортсменов – снижение – между отведениями Р3-Т3, но были высокие значения связей между парами отведений О1-Т3 и Т3-С3; в правом

полушарии изменения ККо между отведениями были сходными с контрольной группой. У левшей контрольной группы с латеральным фенотипом ЛПЛП к 15–16 годам в затылочных отведениях выявлена характерная для левшей асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма во всех диапазонах частот; у теннисистов не установлена асимметрия в диапазоне 8–9 Гц.

**Контроль и спортсмены**  
**13,5–14,5 лет**

**Контроль**

**14,5–15,5 лет**

**Спортсмены**

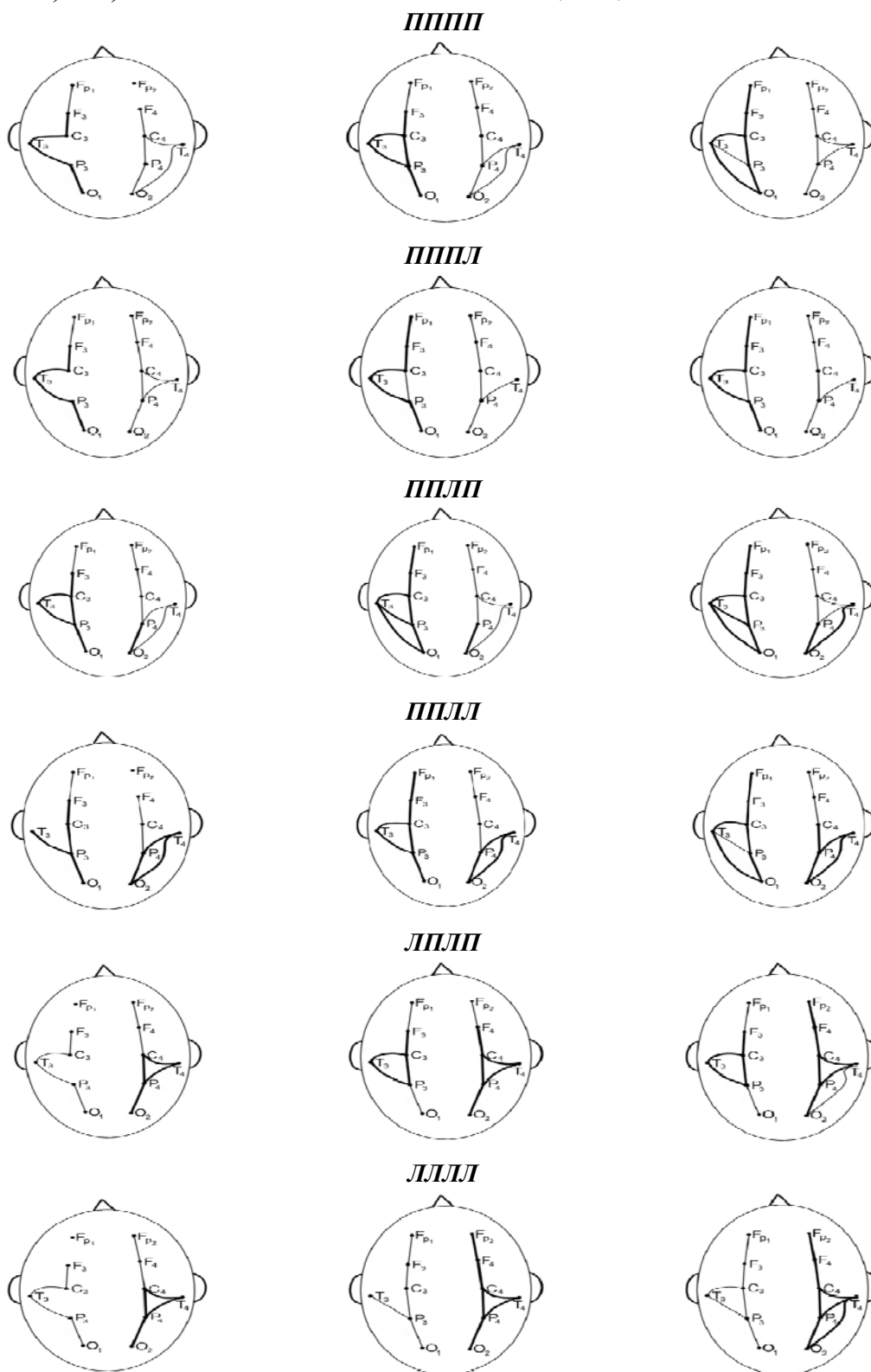


Рис. 1. Когерентные связи между областями мозга в диапазоне  $\alpha$ -ритма у мальчиков старшей возрастной группы (жирной линией обозначены когерентные связи в  $\alpha$ -частотном диапазоне при ККо > 0,75; тонкой линией – при ККо = 0,5–0,74)

В 14–15 лет у всех мальчиков мощность  $\alpha$ -ритма преобладала в отведениях P4, C4 и T4, в 15–16 лет в контрольной группе – в F4, а у спортсменов – и в O2; у всех мальчиков установлено также повышение ККо в  $\alpha$ -частотном диапазоне между парами отведений P3-T3, T3-C3, C3-F3 и C4-F4, а у спортсменов – и в парах O2-T4 и F4-Fp2 (рис. 1). У абсолютных левшей контрольной группы в 15–16 лет установлена асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма 11–13 Гц и в отличие от спортсменов – асимметрия мощности  $\alpha$ -ритма 8–9 Гц. Также к 15–16 годам в контрольной группе выявлено повышение асимметрии средней мощности  $\alpha$ -ритма в задне-лобных, а у спортсменов – и в передне-лобных отведениях. В контрольной группе наблюдали повышение когерентных связей в  $\alpha$ -частотном диапазоне между парами отведений P3-C3, F3-Fp1, C4-F4, F4-Fp2 и снижение – между отведениями T3-C3, у спортсменов усиление когерентных связей в  $\alpha$ -частотном диапазоне в P3-C3, F3-Fp1, C4-F4, F4-Fp2 и O2-T4 (рис. 1).

### Обсуждение результатов

После убедительных доказательств роли функциональной межполушарной асимметрии в адаптации к спортивной деятельности в последние годы тренеры активно стали использовать данный факт для определения тактики формирования спортивных профессиональных двигательных навыков. Выявленные в данном исследовании результаты исследования изменения коэффициентов асимметрии у юных спортсменов после длительных занятий настольным теннисом подтверждают то, что формирование двигательного стереотипа у юных теннисистов сопровождается динамическими изменениями и нейрофизиологических критериев межполушарной асимметрии [13].

Известно, что изменения нейродинамических характеристик мозга могут влиять на скорость обработки сенсомоторной информации, овладение моторным навыком [14], на способность к предвидению предстоящего события относительно имеющегося у индивида опыта. Нейронные сети, участвующие в общем представлении предполагаемого действия и собственного восприятия, формируются в процессе накопления сенсомоторного опыта [15]. Таким образом, проявления динамических свойств функциональной межполушарной асимметрии наблюдаются как у нетренированных мальчиков (эти свойства генетически детерминированы), так и у спортсменов. Однако после длительных тренировок проявления динамических свойств ФМА более выражены относительно мальчиков контрольных групп.

При проведении сравнительного анализа изученных нейрофизиологических показателей у обследованных мальчиков с разными латеральными фенотипами было установлено, что в контрольных группах и у юных теннисистов выявляется асимметрия  $\alpha$ -ритма в трех диапазонах частот в затылочных областях: у правшей  $\alpha$ -ритм преобладал в левой области в низко- (8–9 Гц) и высокочастотном диапазоне (11–13 Гц), а в правой области – компонент  $\alpha$ -ритма 10 Гц. У теннисистов наблюдали значительное усиление асимметрии  $\alpha$ -ритма в высокочастотном диапазоне.

Также показано, что после длительных занятий настольным теннисом у юных спортсменов значения когерентностей ЭЭГ в  $\alpha$ -диапазоне повышены относительно их нетренированных сверстников. При этом было установлено, что в контрольных группах правшей увеличение когерентности ЭЭГ в  $\alpha$ -частотном диапазоне происходит преимущественно в левом полушарии, у левшей эти изменения более симметричны. У спортсменов-правшей асимметрия когерентных связей в  $\alpha$ -диапазоне была менее выражена относительно контрольных групп правшей. Однако у абсолютных левшей-спортсменов установлено повышение внутриполушарной когерентности в  $\alpha$ -частотном диапазоне в правом полушарии относительно левого по сравнению с контрольной группой абсолютных левшей. При этом у спортсменов-левшей характер асимметрии биоэлектрической активности не является зеркальным по сравнению с правшами. Вероятно, формирование внутриполушарных когерентных связей в  $\alpha$ -частотном диапазоне является отражением не только возрастных, но и индивидуально-типологических особенностей у юных теннисистов.

Полученные результаты могут стать теоретической основой для формирования методологии тренировочного процесса юных спортсменов, занимающихся настольным теннисом.

## Примечания:

1. Функциональная асимметрия как биологический феномен, сопутствующий спортивному результату / С.С. Худик, А.И. Чукуров, А.Л. Войнич, С.В. Радаева // Вестник Томского государственного университета. 2017. № 421. С. 193–202.
2. Айрапетьянц Л.Р., Исроилов Ш.Х. Приоритетность симметричного равнтия право- и левосторонних двигательных функций в спорте // Наука и спорт: современные тенденции. 2015. № 3. С. 18–23.
3. Directed asymmetric power action as effectivization factor in sprint coaching / A.I. Chikurov, V.I. Fedorov, A.L. Voinich, S.S. Khudik // Journal of Physical Education and Sport. 2016. No. 16 (4). P. 1287–1292.
4. Бурдаков Д.С. Стиль саморегуляции и динамические характеристики функциональной межполушарной асимметрии мозга // Ученые записки. Электронный журнал Курского гос. ун-та. 2010. № 3, вып. 15. С. 37–42.
5. Современные аспекты изучения функциональной межполушарной асимметрии мозга (обзор литературы) / Ю.П. Игнатова, И.И. Макарова, О.Ю. Зенина, А.В. Аксенова // Экология человека. 2016. № 9. С. 30–39.
6. Васильев А.Н., Либуркина С.П., Каплан А.Я. Латерализация паттернов ЭЭГ при представлении движений руками в интерфейсе мозг–компьютер // Журнал высшей нервной деятельности. 2016. Т. 66, № 3. С. 302.
7. Русалова М.Н. Мыслительное представление эмоциональных образов: асимметрия альфа-ритма и когерентных связей // Фундаментальные и прикладные проблемы нейронаук: функциональная асимметрия, нейропластичность, нейродегенерация: материалы II Всерос. конф. 2015. С. 215–223.
8. Русалова М.Н., Митрофанов А.А. Асимметрия когерентных связей у лиц с различной степенью успешности мыслительного воспроизведения эмоциональных образов // Асимметрия. 2017. Т. 11, № 3. С. 17–28.
9. Annet M., Kilshow D. Mathematical ability and lateral asymmetry // Cortex. 1982. Vol. 18. P. 547–568.
10. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. М.: Медицина, 1988. 256 с.
11. Приемы исследования и оценки функциональной асимметрии мозга человека в норме и патологии / Е.В. Шарова, Е.В. Ениколопова, О.С. Зайцев [и др.] // Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / ред. В.Ф. Фокин, И.Н. Боголепова, Б. Гутник [и др.]. М.: Научный мир, 2009. С. 617–627.
12. Жаворонкова Л.А. Правши-левши: межполушарная асимметрия биопотенциалов мозга человека. Краснодар: Экоинвест, 2009. С. 21–64
13. Гутник Б., Кобрин В.И. Мануальная моторная асимметрия: центральное или периферическое происхождение // Асимметрия. 2007. Т. 2, вып. 1. С. 41–43.
14. Action Prediction in Younger versus Older Adults: Neural Correlates of Motor Familiarity / N. Diersch, K. Mueller, E.S. Cross, W. Stadler [et al.] // PLoS One. 2013. Vol. 8 (5). P. e64195.
15. Heyes C. Where do mirror neurons come from? // Neurosci. Biobehav. Rev. 2010. Vol. 34. P. 575–583.

## References:

1. Functional asymmetry as a biological phenomenon accompanying the sports result / S.S. Khudik, A.I. Chikurov, A.L. Voinich, S.V. Radaeva // Bulletin of Tomsk State University. 2017. No. 421. P. 193–202.
2. Ayrapetyants L.R., Isroilov Sh.Kh. Priority of symmetric development of right- and left-handed motor functions in sports // Science and Sport: Modern Trends. 2015. No. 3. P. 18–23.
3. Directed asymmetric power action as effectivization factor in sprint coaching / A.I. Chikurov, V.I. Fedorov, A.L. Voinich, S.S. Khudik // Journal of Physical Education and Sport. 2016. No. 16 (4). P. 1287–1292.
4. Burdakov D.S. Style of self-regulation and dynamic characteristics of functional interhemispheric asymmetry of the brain // Scientific Notes. Electronic Journal of the Kursk State University. 2010. No. 3, Iss. 15. P. 37–42.
5. Modern aspects of the study of functional interhemispheric asymmetry of the brain (review of literature) / Yu.P. Ignatova, I.I. Makarova, O.Yu. Zenina, A.V. Aksenova // Human Ecology. 2016. No. 9. P. 30–39.
6. Vasilyev A.N., Liburkina S.P., Kaplan A.Ya. The lateralization of EEG patterns in the representation of hand movements in the brain-computer interface // Journal of Higher Nervous Activity. 2016. Vol. 66, No. 3. P. 302.
7. Rusalova M.N. Thinking representation of emotional images: asymmetry of alpha-rhythm and coherent bonds // Fundamental and applied problems of neuroscience: functional asymmetry, neuroplasticity, neurodegeneration: materials of the II Russian conf. 2015. P. 215–223.
8. Rusalova M.N., Mitrofanov A.A. Asymmetry of coherent connections of persons with varying degrees of success in the mental reproduction of emotional images // Asymmetry. 2017. Vol. 11, No. 3. P. 17–28.
9. Annet M., Kilshow D. Mathematical ability and lateral asymmetry // Cortex. 1982. Vol. 18. P. 547–568.
10. Bragina N.N., Dobrokhotova T.A. Functional asymmetries of a person. M.: Medicine, 1988. 256 pp.
11. Methods of investigating and evaluating the functional asymmetry of the human brain in norm and pathology / E.V. Sharova, E.V. Enikolopova, O.S. Zaytsev [et al.] // Guide to Functional Interhemispheric Asymmetry / ed. by V.F. Fokin, I.N. Bogolepova, B. Gutnik [et al.]. M.: Nauchny Mir, 2009. P. 617–627.
12. Zhavoronkova L.A. Right-handed and left-handed people: interhemispheric asymmetry of the human brain biopotentials. Krasnodar: Ekoinvest, 2009. P. 21–64.
13. Gutnik B., Kobrin V.I. Manual motor asymmetry: central or peripheral origin // Asymmetry. 2007. Vol. 2, Iss. 1. P. 41–43.
14. Action Prediction in Younger versus Older Adults: Neural Correlates of Motor Familiarity / N. Diersch, K. Mueller, E.S. Cross, W. Stadler [et al.] // PLoS One. 2013. Vol. 8 (5). P. e64195.
15. Heyes C. Where do mirror neurons come from? // Neurosci. Biobehav. Rev. 2010. Vol. 34. P. 575–583.