



УДК 159.91

EDN TXKLYD

<https://doi.org/10.33910/2687-0223-2024-6-1-21-32>

Асимметрия экспрессии лицевых мышц и латеральные предпочтения рук и ног у подростков с разным уровнем физической активности

К. Д. Кожина¹, М. И. Зинченко², В. В. Гульятеева², Е. Г. Вергунов^{✉2}, Е. В. Барабаш²,
Д. Ю. Урюмцев², О. В. Рыбкин³, В. Н. Павлова⁴, С. Г. Кривошеков²

¹ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 1

² Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины,
630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, д. 4

³ Детско-юношеский физкультурный центр «Спортивный резерв»,
630058, Россия, г. Новосибирск, ул. Тружеников, д. 10

⁴ Региональный центр спортивной подготовки сборных команд и спортивного резерва,
630132, Россия, г. Новосибирск, ул. Сибирская, д. 54

Сведения об авторах

Ксения Денисовна Кожина,
ORCID: 0009-0008-4782-3000,
e-mail: k.kozhina@g.nsu.ru

Маргарита Ивановна Зинченко,
SPIN-код: 9601-2428,
Scopus AuthorID: 25032268500,
ResearcherID: Q-1471-2017,
ORCID: 0000-0003-3107-0493,
e-mail: Zinchenkomi@neuronm.ru

Валентина Владимировна
Гульятеева, SPIN-код: 3906-5181,
Scopus AuthorID: 6507537759,
ResearcherID: K-2986-2018,
ORCID: 0000-0003-3107-0493,
e-mail: Gulyaevavv@neuronm.ru

Евгений Геннадьевич Вергунов,
SPIN-код: 9940-3675,
Scopus AuthorID: 57191523873,
ResearcherID: N-7962-2014,
ORCID: 0000-0002-8352-5368,
e-mail: Vergunoveg@neuronm.ru

Екатерина Владимировна Барабаш,
SPIN-код: 8756-4174, ORCID:
0000-0001-8172-5959, e-mail:
Barabashev@neuronm.ru

Дмитрий Юрьевич Урюмцев,
SPIN-код: 2802-6274,
Scopus AuthorID: 55344443400,
ResearcherID: K-2987-2018,
ORCID: 0000-0002-6434-8220,
e-mail: Uryumcevdya@neuronm.ru

Олег Витальевич Рыбкин,
ORCID: 0009-0002-7089-5797,
e-mail: rybki5@mail.ru

Валентина Николаевна Павлова,
ORCID: 0009-0004-9489-8364,
e-mail: pp-valusha@mail.ru

Аннотация. Латеральные предпочтения могут вносить вклад в соревновательную успешность: влиять на скорость реакции, взаимодействие с соперником в игровых видах спорта. Профиль латеральности — это индивидуальная комбинация признаков латерализации, например, более активно функционирующие правая рука и левое ухо у одного человека. Профилями латеральности определяются особенности протекания психофизиологических процессов. Известен ряд факторов, группирующих признаки латеральности, а также специфика влияния этих признаков на психофизиологические процессы в детском и подростковом возрасте. Из всех признаков латеральности наименее изученной является асимметрия экспрессии лицевых мышц (АЭЛМ), в том числе для спортсменов подросткового возраста. В связи с этим целью исследования стал ответ на вопрос: обусловлена ли АЭЛМ теми же факторами, что и латерализация рук и ног, и какие влияния на АЭЛМ оказывают пол и уровень физической активности. Участниками исследования стали 49 подростков (36 спортсменов циклических видов спорта и 13 подростков неспортсменов, средний возраст $16,4 \pm 0,9$ года ($M \pm SD$), из них 35 юношей). Определялись состав тела, максимальная сила кистевого жима, активность лицевых единиц (AU). АЭЛМ необходимо рассматривать как независимый фактор (латентная структура № 1 в 2B-PLS модели описывает 43,5 % дисперсии) при изучении функциональной сенсомоторной асимметрии. Вне зависимости от возраста, пола, занятий спортом для подростков характерна экспрессия AU02, AU06, AU09, AU10, AU12, AU15, AU20 для левой стороны лица, AU01 для правой. Латентная структура № 2 (37,1 % дисперсии) связана с полом: у мальчиков по сравнению с девочками больше мышечная масса конечностей, сила кистевого жима, выше экспрессия AU14, AU17, ниже — AU20 на всем лице. Латентная структура № 3 (19,4 % дисперсии) связана с занятиями спортом подростков и их возрастом. Спортсмены и неспортсмены отличаются в уровне экспрессии AU01 и AU12 всего лица, что наиболее ярко проявляется в контрасте молодых спортсменов и более возрастных неспортсменов. Выявлены независимость АЭЛМ как фактора функциональной сенсомоторной асимметрии, характерные особенности экспрессии мышц лица у подростков разного пола, спортсменов и неспортсменов.

Ключевые слова: функциональная асимметрия, экспрессия лицевых мышц, признаки латерализации рук и ног, спортсмены, подростки, 2B-PLS

Сергей Георгиевич Кривошеков,
SPIN-код: 5990-5077,
Scopus AuthorID: 7004212395,
ResearcherID: K-5106-2018,
ORCID: 0000-0002-2306-829X,
e-mail: Krivoschokovsg@neuronm.ru

Для цитирования: Кожина, К. Д.,
Зинченко, М. И., Гультяева, В. В.,
Вергунов, Е. Г., Барабаш, Е. В.,
Урюмцев, Д. Ю., Рыбкин, О. В.,
Павлова, В. Н., Кривошеков, С. Г.
(2024) Асимметрия экспрессии
лицевых мышц и латеральные
предпочтения рук и ног
у подростков с разным уровнем
физической активности.

*Комплексные исследования
детства*, т. 6, № 1, с. 21–32.
[https://doi.org/10.33910/2687-0223-
2024-6-1-21-32](https://doi.org/10.33910/2687-0223-2024-6-1-21-32) EDN TXKLYD

Получена 12 февраля 2024; прошла
рецензирование 21 февраля 2024;
принята 21 февраля 2024.

Финансирование: Работа
выполнена за счет федерального
бюджета на проведение
фундаментальных научных
исследований (тема
№ 122042600140-6).

Права: © К. Д. Кожина,
М. И. Зинченко, В. В. Гультяева,
Е. Г. Вергунов, Е. В. Барабаш,
Д. Ю. Урюмцев, О. В. Рыбкин,
В. Н. Павлова, С. Г. Кривошеков
(2024). Опубликовано Российским
государственным педагогическим
университетом им. А. И. Герцена.
Открытый доступ на условиях
лицензии [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Asymmetry of facial muscle expression and lateral preferences in arm and leg usage among adolescents with different levels of physical activity

K. D. Kozhina¹, M. I. Zinchenko², V. V. Gulyaeva², E. G. Vergunov^{✉2}, E. V. Barabash²,
D. Yu. Uryumtsev², O. V. Rybkin³, V. N. Pavlova⁴, S. G. Krivoschekov²

¹Novosibirsk National Research State University, 1 Pirogova Str., Novosibirsk 630090, Russia;

²Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, 4 Timakova Str., Novosibirsk 630117, Russia;

³Youth Physical Culture Center “Sports Reserve” 10 Truzhenikov Str., Novosibirsk 630058, Russia;

⁴Regional Sports Training Center for National Teams and Sports Reserves, 54 Sibirskaya Str.,
Novosibirsk 630132, Russia

Authors

Kseniya D. Kozhina,
ORCID: 0009-0008-4782-3000,
e-mail: k.kozhina@g.nsu.ru

Margarita I. Zinchenko,
SPIN: 9601-2428,
Scopus AuthorID: 25032268500,
ResearcherID: Q-1471-2017,
ORCID: 0000-0003-3107-0493,
e-mail: Zinchenkomi@neuronm.ru.

Abstract. Lateral preferences can contribute to competitive success in sport. Asymmetry of facial muscle expression (AFME) is the least studied laterality trait, especially in adolescent athletes. The study aims to determine 1) whether there are common factors that cause both AFME and arms and legs lateralization, and 2) in what way is AFME affected by gender and the level of physical activity. **Methods.** The study participants were 49 adolescents: 36 endurance sports athletes and 13 non-athletes, average age 16.4 ± 0.9 years ($M \pm SD$), 35 males. The study determined the body composition, hand grip maximum strength, and activity of facial units (AU). **Results.** AFME should be considered as an independent factor (latent structure no. 1 in the 2B-PLS model describes

Valentina V. Gulyaeva,
SPIN: 3906-5181, Scopus AuthorID:
6507537759, ResearcherID: K-2986-
2018, ORCID: 0000-0003-3107-0493,
e-mail: Gulyaevavv@neuronm.ru.

Evgenij G. Vergunov,
SPIN: 9940-3675, Scopus AuthorID:
57191523873, ResearcherID: N-7962-
2014, ORCID: 0000-0002-8352-5368,
e-mail: Vergunoveg@neuronm.ru

Ekaterina V. Barabash, SPIN: 8756-
4174, ORCID: 0000-0001-8172-5959,
e-mail: Barabashev@neuronm.ru

Dmitriy Yu. Uryumtsev,
SPIN: 2802-6274, Scopus AuthorID:
55344443400, ResearcherID: K-2987-
2018, ORCID: 0000-0002-6434-8220,
e-mail: Uryumcevdy@neuronm.ru

Oleg V. Rybkin, ORCID: 0009-0002-
7089-5797, e-mail: rybki5@mail.ru

Valentina N. Pavlova,
ORCID: 0009-0004-9489-8364,
e-mail: pp-valusha@mail.ru

Sergej G. Krivoschekov,
SPIN: 5990-5077, Scopus AuthorID:
7004212395, ResearcherID: K-5106-
2018, ORCID: 0000-0002-2306-829X,
e-mail: Krivoschokovsg@neuronm.ru

For citation: Kozhina, K. D.,
Zinchenko, M. I., Gulyaeva, V. V.,
Vergunov, E. G., Barabash, E. V.,
Uryumtsev, D. Yu., Rybkin, O. V.,
Pavlova, V. N., Krivoschekov, S. G.
(2024) Asymmetry of facial muscle
expression and lateral preferences
in arm and leg usage among
adolescents with different levels
of physical activity. *Comprehensive
Child Studies*, vol. 6, no. 1, pp. 21–32.
[https://doi.org/10.33910/2687-0223-
2024-6-1-21-32](https://doi.org/10.33910/2687-0223-2024-6-1-21-32) EDN TXKLYD

Received 12 February 2024; reviewed
21 February 2024; accepted 21
February 2024.

Funding: The work was carried out
at the expense of the federal budget
for fundamental scientific research
(topic No. 122042600140-6).

Copyright: © K. D. Kozhina,
M. I. Zinchenko, V. V. Gulyaeva,
E. G. Vergunov, E. V. Barabash,
D. Yu. Uryumtsev, O. V. Rybkin,
V. N. Pavlova, S. G. Krivoschekov
(2024). Published by Herzen State
Pedagogical University of Russia.
Open access under [CC BY-NC
License 4.0](#)

43.5 % of the variance) when studying functional sensorimotor asymmetry. Regardless of age, gender or physical activity, adolescents are characterized by the expression of AU02, AU06, AU09, AU10, AU12, AU15 and AU20 for the left side of the face, and AU01, for the right side. Latent structure no. 2 (37.1 % of the variance) is related to gender: compared to female adolescents, male adolescents have more limb muscle mass, more hand grip strength, higher expression of AU14 and AU17 on the whole face, and lower expression of AU20 on the whole face. Latent structure no. 3 (19.4 % of the variance) is associated with adolescents' age and level of physical activity. Athletes and non-athletes differ in the AU01 and AU12 expression level on the whole face, which is most clearly manifested in the contrast between young athletes and elder non-athletes. **Conclusions:** The study found AFME is an independent factor of the functional sensorimotor asymmetry. The study also identified the specific features of facial muscle expression in adolescent athletes and non-athletes of different genders.

Keywords: functional asymmetry, facial muscles expression, arm and leg laterality traits, athletes, adolescents, 2B-PLS

Введение

Левосторонние латеральные предпочтения (например, леворукость) могут являться благоприятным фактором для спортивной успешности, особенно в игровых и боевых видах спорта. Это обусловлено не только нестандарт-

ностью спортивного поведения, неожиданного для соперника, но и повышенной скоростью реакции (Иванов, Волошина 2021). Также левосторонние латеральные предпочтения связаны с лучшей реализацией спортивных навыков в условиях высокого нервного напряжения благодаря одновременной активации обоих

полушарий головного мозга у левшей при соревновательном стрессе (Mesagno et al. 2019). С другой стороны, при стереотипных движениях во время занятий циклическими видами спорта большее значение имеет левое полушарие, легче активизирующееся у правшей (Николаева 2018).

Для латеральных предпочтений человека, проявляющихся не только в более активном использовании правой или левой руки или ноги, но и парных сенсорных органов, показаны сложные взаимоотношения с когнитивными функциями (Николаева, Вергунов 2021). Латеральные предпочтения индивидуальны, встречаются в разных комбинациях (так называемые профили латеральности): например, у кого-то может быть более активно функционирующими правая рука и левое ухо.

Профили латеральности играют важную роль в индивидуальной специфике реализации психических процессов (Лурия 1969; Николаева 2018), связаны с особенностями приспособления к новым условиям среды, риском развития заболеваний (Николаева, Вергунов 2020). В связи с этим данный вопрос представляет большой интерес и широкое поле для исследований, особенно в профессиональной спортивной деятельности.

Признаки латерализации могут быть генетически обусловлены, являться следствием социального давления (переучивание на «правильную» руку, ногу), функциональных или органических поражений нервной системы (Николаева 2018). Ряд компонентов профиля латеральности взаимосвязаны: доказана связь генетически обусловленного проявления рукописи и некоторых асимметричных функций головного мозга, например, речевой. Последнее было показано у детей дошкольного и младшего школьного возраста. Это позволило предположить возможную связь между асимметрией мимики, вероятно, связанной с коммуникативными функциями выражения лица (Никитина 2022), и предпочтением руки. Но исследование подобной взаимосвязи, проведенное на возрастных лицах с физически активным образом жизни, не выявило корреляций между показателями, хотя известно, что асимметрия усиливается с возрастом (Николаева, Вергунов 2021). Имеются ли взаимосвязи и общие механизмы асимметричных функций головного мозга и компонентов профиля латеральности в более молодом возрасте (у подростков) и как это зависит от уровня физической активности остается неизвестным.

Экспрессия мышц лица связана с восприятием усилия и метаболическими процессами организма: улыбка и расслабление лицевой мускулатуры на пике циклической физической нагрузки повышает экономичность движений (Brick et al. 2018). В то же время измененная экспрессия лицевых мышц может порождать трудности регуляции эмоций (Briot et al. 2021), а хороший контроль над эмоциями — важное условие для снижения соревновательного стресса в спорте (Josefsson et al. 2017).

Целью данного исследования явилось изучение связи асимметрии экспрессии лицевых мышц и признаков латерализации рук и ног у подростков с различным уровнем физической активности.

Материалы и методы

Участниками исследования стали 49 испытуемых (средний возраст $16,4 \pm 0,9$ года; $M \pm SD$), среди них 14 девочек и 35 мальчиков; 36 подростков имели спортивную квалификацию, и 13 спортом не занимались. У всех испытуемых отсутствовали противопоказания к выполнению физической нагрузки. Перед проведением обследования все законные представители участников подписали информированное согласие.

Для оценки АЭЛМ фотографировались лица испытуемых (глаза закрыты, положение лёжа; звукоизолированная комната с приглушенным освещением) через 20 минут отдыха в положении лёжа после постепенно нарастающей физической нагрузки на велоэргометре до достижения пульса, соответствующего 85 % интенсивности (10–12 минут). Активность лицевых единиц (AU) изучалась при помощи библиотеки OpenFace 2.0 (Baltrušaitis et al. 2018) по химерам (соединение только левых и только правых половин лиц с их зеркальными отображениями) (Николаева, Вергунов 2021).

Состав тела (в том числе мышечную массу рук и ног) измеряли прямым сегментарным мультисекторным биоимпедансным методом на аппарате InBody370 (Ю. Корея). Измерение максимальной силы сжатия правой и левой кистей рук проводили механическим кистевым динамометром.

Эти показатели были выбраны в качестве признаков латерализации в связи с тем, что масса мышц входит в формулы при стандартных обследованиях спортсменов и связана с латеральными предпочтениями. Для выявления среди ряда данных имплицитных механизмов,

которые определяют наблюдаемые нами латеральные особенности, и функциональную асимметрию, была построена 2B-PLS модель (*Two-Block Projection to Latent Structure*, вариант: *Two-Block Partial Least Squares*). Метод PLS снимает ограничения метода наименьших квадратов (Rännar et al. 1994), а бикомпонентный анализ выявляет проекции исходных (эксплицитных) рядов данных на имплицитные (латентные, глубинные, скрытые) структуры и описывает единые для обоих блоков многомерных показателей (предикторы, матрица B1, отклики, матрица B2) независимые механизмы. Угол поворота предикторов дает максимально информативные ответы на вопросы-отклики. Тем самым, обучение повороту предикторов происходит с помощью откликов (Rohlf, Corti 2000). Анализ и построение 2B-PLS модели были выполнены с помощью программного статистического пакета JACOBI 4 (Polunin et al. 2019).

Анализ таких латентных структур широко используется для изучения механизмов в междисциплинарных исследованиях последних лет в области психофизиологии (Кривошеков и др. 2022; Nikolaeva et al. 2022), психологии (Vergunov 2022), а также нейрокогнитивных и нейролингвистических экспериментов, в том числе вклю-

чая анализ изображений лиц (Савостьянов и др. 2022).

Исследование проведено без риска для здоровья людей с соблюдением всех принципов гуманности и этических норм и соблюдением Хельсинской декларации.

Результаты

Для многомерного анализа была составлена матрица предикторов (блок B1, исходные данные исследования, 19 переменных), которые описывают возраст, экспрессию AU, массу мышц конечностей и силу жима кисти каждой руки отдельно. В матрицу откликов (блок B2, наши вопросы к модели, 6 переменных) были включены признаки левых и правых химер мужского и женского пола и признаки занятия спортом (табл. 1).

С помощью 2B-PLS-анализа было обнаружено шесть латентных структур, из которых три первые показали статистическую значимость (рис. 1). Таким образом, дисперсия всех 25 переменных описывается всего лишь тремя латентными структурами (новые независимые оси координат), которые обусловили 100 % общей наблюдаемой дисперсии (43,53 %; 37,05 % и 19,42 % соответственно).

Табл. 1. Блоки переменных 2B-PLS

Переменные	Блок
Возраст	№ 1
AU — активности лицевых единиц	
AU01 Лобная мышца, подниматель медиального края брови	
AU02 Лобная мышца, подниматель латерального края брови	
AU04 «Мышца гордецов», опускающий брови	
AU06 Глазничная часть круговой мышцы глаза, подниматель щеки	
AU09 Подниматель верхней губы / крыла носа, сморщиватель носа	
AU10 Нижнеглазничная головка квадратной мышцы верхней губы, подниматель верхней губы	№ 1
AU12 Большая скуловая мышца, подниматель уголка губы	
AU14 «Мышца трубочей», щёчная мышца, ямочка на щеке	
AU15 Треугольная мышца рта, опускающий угол рта	
AU17 Подбородочная мышца, подниматель подбородка	
AU20 «Мышца смеха», растягиватель губ	
AU25 Совокупность расслабления подбородочной мышцы и круговой мышцы рта, губы разведены	
L_Arm, R_Arm, L_Leg, R_Leg: масса мышц Arm — руки, Leg — ноги, L — левой, R — правой	№ 1
L_hg, R_hg: сила жима кистью руки L — левая рука, R — правая рука	№ 1
LL_face, RR_face: признаки для химер, которые получены из левых («левые») и правых («правые») половин лица соответственно	№ 2
m, f: признаки мужского и женского пола соответственно	№ 2
Sport, NoSport: подростки, которые занимаются и не занимаются спортом соответственно	№ 2

Table 1. Blocks of variables in the 2B-PLS model

Variables	Block
Age	No. 1
AU — Activity of facial units: AU01 Frontal muscle, the uplifter of the medial edge of the eyebrow AU02 Frontal muscle, the lateral edge of the eyebrow lift AU04 ‘The muscle of the proud’, the eyebrow drooper AU06 The orbital part of the circular muscle of the eye, the cheek lift AU09 Upper lip/nose wing lift, nose wrinkler AU10 Lower ocular head of the square muscle of the upper lip, upper lip lift AU12 Large zygomatic muscle, lip corner lift AU14 ‘Trumpeters’ muscle’, cheek muscle, dimple on the cheek AU15 Triangular muscle of the mouth, lowering the angle of the mouth AU17 Chin muscle, chin lift AU20 ‘Muscle of laughter’, lip stretcher AU25 The combination of relaxation of the chin muscle and the circular muscle of the mouth, the lips are separated	No. 1
L_Arm, R_Arm, L_Leg, R_Leg: muscle mass of the Arm and Leg; L — left, R — right	No. 1
L_hg, R_hg: hand grip strength, L — left hand, R — right hand	No. 1
LL_face, RR_face: traits for chimeras that are derived from the left (‘left’) and right (‘right’) halves of the face, respectively	No. 2
m, f: male and female, respectively	No. 2
Sport, NoSport: adolescent athletes and non-athletes, respectively	No. 2

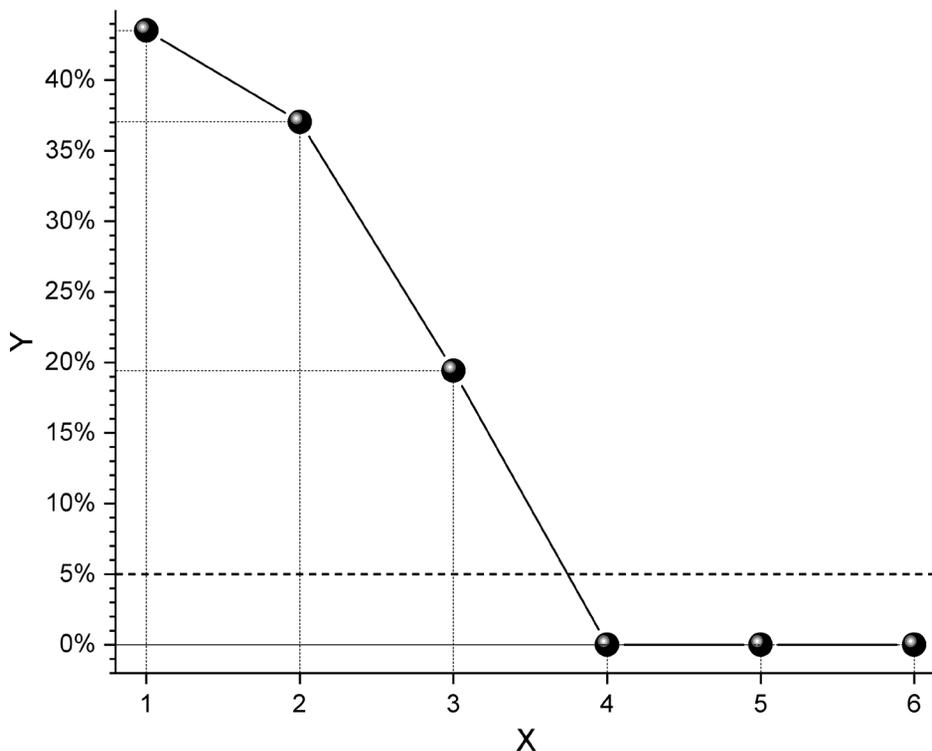


Рис. 1. Ось латентных структур 2B-PLS. Горизонтальная ось — номера латентных структур, вертикальная ось — доля общей наблюдаемой дисперсии. Черная пунктирная толстая линия — порог статистической значимости структур на уровне $p < 0,05$

Fig. 1. A scree plot of the 2B-PLS latent structures. The X-axis is the numbers of the latent structures, the Y-axis is the proportion of the total observed variance. The black dotted thick line is the threshold of statistical significance of the structures at the level of $p < 0.05$

2B-PLS-модель для латентной структуры № 1 показала контраст (рис. 2) между половинами лица, в котором участвуют только лицевые единицы: рост активности шести AU связан с левой половиной лица, рост активности AU01 — с правой. На основе принципа максимального правдоподобия переменная с максимальными нагрузками (у нас это два симметричных признака — LL_face, RR_face), фактор различия между признаками половин лица обуславливает латентную структуру № 1, и ее можно называть «фактор АЭЛМ». Это хорошо согласуется с литературными данными: активность мимических мышц лица асимметрична и более выражена слева, что обусловлено преимущественно правополушарной обработкой эмоциональной информации (Demaree et al. 2005). Отметим, что фактор АЭЛМ не показал связей ни с признаками латерализации конечностей, ни с полом,

ни с возрастом, ни с занятиями спортом. Таким образом, для исследований в этой области надо учитывать, что для фактора АЭЛМ сбалансированность (или несбалансированность) выборки по изучаемым признакам (возраст, признак занятия спортом, латеральные предпочтений рук и ног, пол) не отражается на результатах: выводы распространяются на всех испытуемых вне зависимости от их пола, возраста, занятий спортом или латеральных предпочтений рук и ног.

Так как все нагрузки структур 2B-PLS модели изотропны (пространство коэффициентов корреляций), то для анализа структур № 2 и № 3 (которые не связаны с фактором АЭЛМ) используется плоскость с осями X (структура № 2, фактор «пол») и Y (структура № 3, фактор «спорт-возраст»). Кластеризация на изотропной плоскости осуществляется с помощью кругов

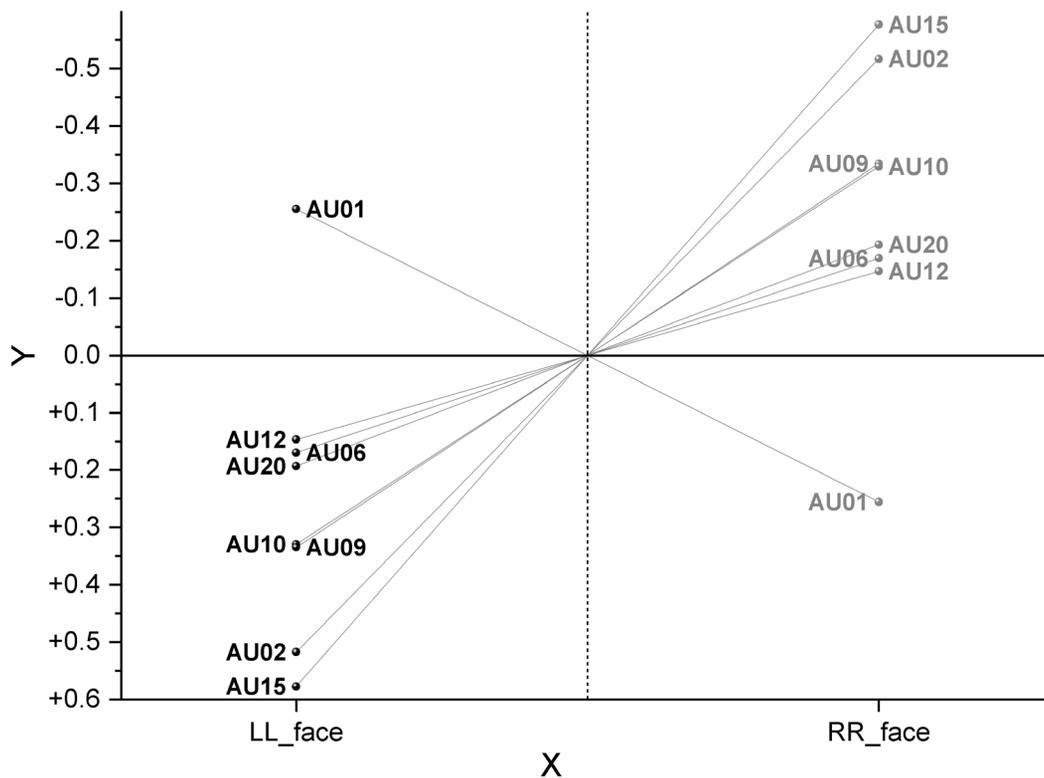


Рис. 2. Нагрузки переменных (коэффициенты корреляции, вертикальная ось) для первой латентной структуры (43,5 % дисперсии) 2B-PLS-модели. Условные обозначения из табл. 1.

Темный цвет — исходные нагрузки, серый цвет — им симметричные относительно начала координат (соединены серыми тонкими линиями). Горизонтальная ось — контрастные полюса оси латентной структуры № 1 (LL_face, RR_face — соответственно левая и правая половины лица), к которым «притягиваются» переменные с теснотой и направлением связи, соответствующей значениям коэффициентов корреляции (вертикальная ось)

Fig. 2. Loadings of variables (correlation coefficients, vertical axis) for the first latent structure (43.5 % of the total variance) of the 2B-PLS model. The symbols are defined in Table 1. Dark color — initial loads, gray color — symmetrical to initial loads relative to the origin (connected by gray thin lines). The horizontal axis is the contrasting poles of the axis of latent structure No. 1 (LL_face, RR_face — the left and right halves of the face, respectively), to which the variables with the closeness and direction of the connection corresponding to the values of the correlation coefficients (vertical axis) are attracted

с единым для всех радиусом. Значение радиуса определяется принципом максимина: покрытие объектов должно быть максимальным (максимум значения) без наличия общих для нескольких кластеров объектов (минимум из полученных максимумов значения радиуса).

С лицевой асимметрией для факторов «пол» и «спорт-возраст» связей не показано (рис. 3). На всем диапазоне возрастов спортсменов и неспортсменов у мальчиков по сравнению с девочками больше масса мышц всех конечностей, сила кистевого жима, экспрессия AU14 (щечная мышца) и AU17 (мышца, поднимающая подбородок) всего лица, меньше экспрессия AU20 (растягиватель губ, мышца смеха) всего лица. Молодые спортсмены по сравнению со старшими неспортсменами показали меньше экспрессии поднимателя медиального края брови (AU01) и поднимателя угла губы (AU12) всего лица.

Обсуждение

Изучение особенностей экспрессии лицевых мышц у занимающихся спортом людей является актуальной задачей, т. к. результаты этих исследований могут быть использованы в программах распознавания лиц для невербального поведенческого анализа производительности спортсмена (Santana et al. 2023). Наше исследование показало, что в возрастной когорте подростков АЭЛМ не связана с факторами латеральности рук и ног, силы кистевого жима, пола, возраста и занятия спортом. Эти данные соответствуют теоретическим представлениям о функциональной асимметрии как сложной системе независимых факторов, имеющих разную структуру и возникающих на разных этапах онтогенеза, хотя каждый из этих факторов имеет собственную генетическую обусловленность (Геодакян 1993; Corballis 2014).

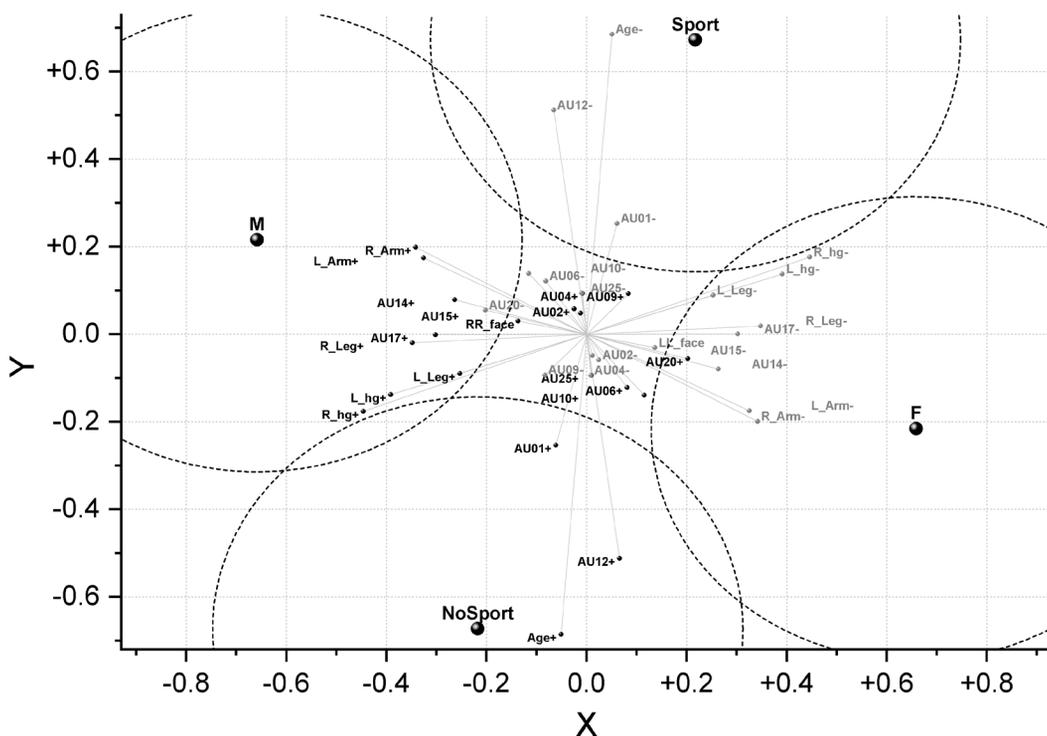


Рис. 3. Нагрузки переменных (коэффициенты корреляции) в проекции 2 и 3 латентных структур 2B-PLS-модели (37,1 % и 19,4 % общей наблюдаемой дисперсии соответственно). Условные обозначения из табл. 1. Центры кругов (кластеров) единого радиуса даны черными кружками, их границы — черным пунктиром; точки черного цвета (в подписях «+» на конце) — максимальные значения нагрузок соответствующих переменных, точки серого цвета — это симметричные им значения (минимальные значения нагрузок, в подписях «-») относительно начала координат (0; 0), тонкие серые линии между ними — диапазоны изменения соответствующих переменных

Fig. 3. Areas of interest (ROI) from 2B-PLS in the projection of the second and third latent structures (37.1 % and 19.4 % of the total variance, respectively). The symbols are defined in Table 1. ROI centers are given in black circles, and their borders, in black dotted lines. Black points ('+' at the end of the captions) are higher load values for the corresponding variables, gray points are symmetrical values (lower loads, '-' at the end of the captions) relative to the origin (0; 0), the corresponding black and gray points are connected by thin gray lines

С другой стороны, мышечная масса конечностей, сила кисти (особенно эти признаки латерализации выражены с правой стороны) оказались связаны с экспрессией определенных лицевых мышц всего лица. Это может объяснять показанное Н. Е. Брик и соавторами влияние изменения активности лицевой мускулатуры на повышение экономичности бега (Brick et al. 2018). Экономичность выполняемой физической нагрузки измеряется величиной потребления кислорода (VO_2) при стандартизованной скорости выполнения аэробной нагрузки (Conley, Krahenbuhl 1980). Причем эти физиологические эффекты наиболее выражены при так называемой улыбке Дюшена («искренней улыбке») (Brick et al. 2018). В улыбке участвует щечная мышца, связь с которой установлена в нашем исследовании (AU14). Н. Е. Брик с соавторами предполагают, что улыбка снижает интенсивность ощущения мышечного усилия, что улучшает производительность (Brick et al. 2018).

В исследовании М. С. Ючида с соавторами было показано, что активность большой скуловой мышцы AU12 повышается при выполнении тяжелой физической нагрузки (работа этой мышцы способствует выражению усталости на лице) (Uchida et al. 2018). Нами обнаружена зависимость экспрессии этой мышцы от фактора занятия спортом в состоянии покоя через 20 минут после физической нагрузки: у спортсменов экспрессия AU12 снижена по сравнению с неспортсменами. Вероятно, это является отражением разницы в степени усталости от нагрузки у подростков-спортсменов и неспортсменов. Такие отношения, но с меньшей теснотой корреляции, выявлены и для AU01 (поднимателя медиального края брови).

Выводы

Таким образом, для подростков было показано:

1. При изучении функциональной сенсомоторной асимметрии АЭЛМ надо рассматривать как независимый фактор. Вне зависимости от возраста, пола, занятий спортом для подростков характерна экспрессия AU02, AU06,

AU09, AU10, AU12, AU15, AU20 для левой стороны лица, AU01 для правой.

2. У мальчиков по сравнению с девочками вне зависимости от возраста и занятий спортом больше масса мышц конечностей, сила кистевого жима, экспрессия AU14, AU17 выше, AU20 ниже для всего лица.

3. Спортсмены и неспортсмены отличаются в уровне экспрессии AU01 и AU12 всего лица, что наиболее ярко проявляется в контрасте молодых спортсменов и более старших неспортсменов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Исследование проведено без риска для здоровья людей с соблюдением всех принципов гуманности и этических норм и соблюдением Хельсинской декларации.

Ethics Approval

The study was conducted without risk to human health in compliance with all the principles of humanity and ethical standards and in compliance with the Helsinki Declaration.

Вклад авторов

Все авторы внесли одинаковый вклад в проведенное исследование, анализ собранного материала и написание статьи.

Author Contributions

All authors have made the same contribution to the research, analysis of the collected material and writing of the article.

Литература

- Геодакян, В. А. (1993) Асинхронная асимметрия. *Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова*, т. 43, № 3, с. 543–561. PMID: [8362561](#)
- Иванов, В. Д., Волошина, А. И. (2021) Левши в спорте: межполушарная асимметрия и спорт *Актуальные проблемы педагогики и психологии*, т. 2., № 10, с. 41–51.

- Кривошеков, С. Г., Николаева, Е. И., Вергунов, Е. Г., Приходько, А. Ю. (2022) Многомерный анализ показателей тормозного и автономного контроля при ортостазе и в эмоциональных ситуациях. *Физиология человека*, т. 48, № 1, с. 26–37. <https://doi.org/10.31857/S0131164621060059>
- Лурия, А. Р. (1969) *Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга*. 2-е изд. М.: Изд-во Московского государственного университета, 504 с.
- Никитина, Е. А. (2022) *Лица и их восприятие в фило- и онтогенезе*. М.: Институт психологии РАН, 258 с. https://doi.org/10.38098/mng_21_0444
- Николаева, Е. В. (2018) *Психофизиология*. СПб.: Питер, 704 с.
- Николаева, Е. И., Вергунов, Е. Г. (2020) *Функциональная асимметрия мозга и латеральные предпочтения: перезагрузка. Эволюционный, генетический, психофизиологический и психологический подходы к анализу*. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 376 с.
- Николаева, Е. И., Вергунов, Е. Г. (2021) Оценка связи асимметрии лицевой экспрессии с тормозным контролем и латеральными предпочтениями у физически активных мужчин. *Асимметрия*, т. 15, № 4, с. 38–53. <https://doi.org/10.25692/ASY.2021.15.4.004>
- Савостьянов, А. Н., Вергунов, Е. Г., Сапрыгин, А. Е., Лебедин, Д. А. (2022) Апробация технологии оценки мимики лиц для изучения динамики функциональных состояний человека в ЭЭГ-парадигме покоя. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, т. 26, № 8, с. 765–772. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-92>
- Baltrušaitis, T., Zadeh, A., Lim, Y. C. Morency, L.-P. (2018) OpenFace 2.0: Facial behavior analysis toolkit. In: *13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2018)*. Xi'an: IEEE Publ., pp. 59–66. <https://doi.org/10.1109/fg.2018.00019>
- Brick, N. E., McElhinney, M. J., Metcalfe, R. S. (2018) The effects of facial expression and relaxation cues on movement economy, physiological, and perceptual responses during running. *Psychology of Sport and Exercise*, vol. 34, pp. 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.09.009>
- Briot, K., Pizano, A., Bouvard, M., Amestoy, A. (2021) New technologies as promising tools for assessing facial emotion expressions impairments in ASD: A systematic review. *Frontiers in Psychiatry*, vol. 12, article 634756. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.634756>
- Conley, D. L., Krahenbuhl, G. S. (1980) Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 12, no. 5, pp. 357–360. PMID: 7453514
- Corballis, M. C. (2014) Left brain, right brain: Facts and fantasies. *PLoS Biology*, vol. 12, no. 1, article e1001767. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001767>
- Demaree, H. A., Everhart, D. E., Youngstrom, E. A., Harrison, D. W. (2005) Brain lateralization of emotional processing: Historical roots and a future incorporating “dominance”. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, vol. 4, no. 1, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1177/1534582305276837>
- Josefsson, T., Ivarsson, A., Lindwall, M. et al. (2017) Mindfulness mechanisms in sports: Mediating effects of rumination and emotion regulation on sport-specific coping. *Mindfulness*, vol. 8, no. 5, pp. 1354–1363. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0711-4>
- Mesagno, C., Garvey, J., Tibbert, S. J., Gröpel, P. (2019) An investigation into handedness and choking under pressure in sport. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 90, no. 2, pp. 217–226. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1588935>
- Nikolaeva, E. I., Efimova, V. L., Vergunov, E. G. (2022) Integration of vestibular and auditory information in ontogenesis. *Children*, vol. 9, no. 3, article 401. <https://doi.org/10.3390/children9030401>
- Polunin, D., Shtager, I., Efimov, V. (2019) JACOBI4 software for multivariate analysis of biological data. *BioRxiv*. [Online]. Available at: <https://doi.org/10.1101/803684> (accessed 10.01.2024).
- Rännar, S., Lindgren, F., Geladi, P., Wold, S. (1994) A PLS kernel algorithm for data sets with many variables and fewer objects. Part 1: Theory and algorithm. *Journal of Chemometrics*, vol. 8, no. 2, pp. 111–125. <https://doi.org/10.1002/cem.1180080204>
- Rohlf, F. J., Corti, M. (2000) The use of two-block partial least-squares to study covariation in shape. *Systematic Biology*, vol. 49, no. 4, pp. 740–753. <https://doi.org/10.1080/106351500750049806>
- Santana, O. J., Freire-Obregón, D., Hernández-Sosa, D. et al. (2023) Facial expression analysis in a wild sporting environment. *Multimedia Tools and Applications*, vol. 82, no. 8, pp. 11395–11415. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13654-w>
- Uchida, M. C., Carvalho, R., Tessutti, V. D. et al. (2018) Identification of muscle fatigue by tracking facial expressions. *PLoS One*, vol. 13, no. 12, article e0208834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208834>
- Vergunov, E. G. (2022) Coping space transformation at different levels of university training during the pandemic and the assessment of its integral indicators. *Comprehensive Child Studies*, vol. 4, no. 2, pp. 115–123. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-2-115-123>

References

- Baltrušaitis, T., Zadeh, A., Lim, Y. C. Morency, L.-P. (2018) OpenFace 2.0: Facial behavior analysis toolkit. In: *13th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2018)*. Xi'an: IEEE Publ., pp. 59–66. <https://doi.org/10.1109/fg.2018.00019> (In English)
- Brick, N. E., McElhinney, M. J., Metcalfe, R. S. (2018) The effects of facial expression and relaxation cues on movement economy, physiological, and perceptual responses during running. *Psychology of Sport and Exercise*, vol. 34, pp. 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.09.009> (In English)
- Briot, K., Pizano, A., Bouvard, M., Amestoy, A. (2021) New technologies as promising tools for assessing facial emotion expressions impairments in ASD: A systematic review. *Frontiers in Psychiatry*, vol. 12, article 634756. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.634756> (In English)
- Conley, D. L., Krahenbuhl, G. S. (1980) Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 12, no. 5, pp. 357–360. PMID: 7453514 (In English)
- Corballis, M. C. (2014) Left brain, right brain: Facts and fantasies. *PLoS Biology*, vol. 12, no. 1, article e1001767. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001767> (In English)
- Demaree, H. A., Everhart, D. E., Youngstrom, E. A., Harrison, D. W. (2005) Brain lateralization of emotional processing: Historical roots and a future incorporating “dominance”. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, vol. 4, no. 1, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1177/1534582305276837> (In English)
- Geodakian, V. A. (1993) Asinkhronnaya asimmetriya [Asynchronous asymmetry (Sexual and lateral differentiation as a consequence of asynchronous evolution)]. *Zhurnal vysshey nervnoj deyatel'nosti imeni I. P. Pavlova — I. P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, vol. 43, no. 3, pp. 543–561. PMID: 8362561 (In Russian)
- Ivanov, V. D., Voloshina, A. I. (2021) Levshi v sporte: mezhpolutsharnaya asimmetriya i sport [Lefties in sports: Hemispheric asymmetry and sports]. *Aktual'nye problemy pedagogiki i psikhologii — Actual Problems of Pedagogy and Psychology*, vol. 2, no. 10, pp. 41–51. (In Russian)
- Josefsson, T., Ivarsson, A., Lindwall, M. et al. (2017) Mindfulness mechanisms in sports: Mediating effects of rumination and emotion regulation on sport-specific coping. *Mindfulness*, vol. 8, no. 5, pp. 1354–1363. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0711-4> (In English)
- Krivoshchekov, S. G., Nikolaeva, E. I., Vergunov, E. G., Prihodko, A. Yu. (2022) Mnogomernyj analiz pokazatelej tormoznogo i avtonomnogo kontrolya pri ortostaze i v emotsional'nykh situatsiyakh [Multivariate analysis of indicators of inhibitory and autonomic control in orthostasis and emotional situations]. *Fiziologiya Cheloveka*, vol. 48, no. 1, pp. 26–37. <https://doi.org/10.1134/s0362119721060050> (In Russian)
- Luria, A. P. (1969) *Vysshie korkovye funktsii cheloveka i ikh narusheniya pri lokal'nykh porazheniyakh mozga [The higher cortical functions of man and their disorders in local brain lesions]*. 2nd ed. Moscow: Moscow State University Publ., 504 p. (In Russian)
- Mesagno, C., Garvey, J., Tibbert, S. J., Gröpel, P. (2019) An investigation into handedness and choking under pressure in sport. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 90, no. 2, pp. 217–226. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1588935> (In English)
- Nikitina, E. A. (2022) *Litsa i ikh vospriyatie v filo- i ontogeneze [Faces and their perception in philo- and ontogenesis]*. Moscow: Institute of Psychology Russian Academy of Sciences Publ., 258 p. https://doi.org/10.38098/mng_21_0444 (In Russian)
- Nikolaeva, E. I. (2018) *Psikhofiziologiya [Psychophysiology]*. Saint Petersburg: Piter Publ., 704 p. (In Russian)
- Nikolaeva, E. I., Efimova, V. L., Vergunov, E. G. (2022) Integration of vestibular and auditory information in ontogenesis. *Children*, vol. 9, no. 3, article 401. <https://doi.org/10.3390/children9030401> (In English)
- Nikolaeva, E. I., Vergunov, E. G. (2020) *Funktsional'naya asimmetriya mozga i lateral'nye predpochteniya: perezagruzka. Evolyutsionnyj, geneticheskij, psikhofiziologicheskij i psikhologicheskij podkhody k analizu [Functional brain asymmetry and lateral preferences: Reboot. Evolutionary, genetic, psychophysiological, and psychological approaches to analysis]*. Saint Petersburg: Herzen State Pedagogical University of Russia Publ., 376 p. (In Russian)
- Nikolaeva, E. I., Vergunov, E. G. (2021) Otsenka svyazi asimmetrii litsevoj ekspressii s tormoznym kontrol'em i lateral'nymi predpochteniyami u fizicheski aktivnykh muzhchin [Estimation of the relationship of facial expression asymmetry with inhibitory control and lateral preferences in physically active men]. *Asimmetriya — Journal of Asymmetry*, vol. 15, no. 4, pp. 38–53. <https://doi.org/10.25692/ASY.2021.15.4.004> (In Russian)
- Polunin, D., Shtager, I., Efimov, V. (2019) JACOBI4 software for multivariate analysis of biological data. *BioRxiv*. [Online]. Available at: <https://doi.org/10.1101/803684> (accessed 10.01.2024). (In English)
- Rännar, S., Lindgren, F., Geladi, P., Wold, S. (1994) A PLS kernel algorithm for data sets with many variables and fewer objects. Part 1: Theory and algorithm. *Journal of Chemometrics*, vol. 8, no. 2, pp. 111–125. <https://doi.org/10.1002/cem.1180080204> (In English)
- Rohlf, F. J., Corti, M. (2000) The use of two-block partial least-squares to study covariation in shape. *Systematic Biology*, vol. 49, no. 4, pp. 740–753. <https://doi.org/10.1080/106351500750049806> (In English)
- Santana, O. J., Freire-Obregón, D., Hernández-Sosa, D. et al. (2023) Facial expression analysis in a wild sporting environment. *Multimedia Tools and Applications*, vol. 82, no. 8, pp. 11395–11415. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13654-w> (In English)

- Savostyanov, A. N., Vergunov, E. G., Saprygin, A. E., Lebedkin, D. A. (2023) Aprobatsiya tekhnologii otsenki mimiki lits dlya izucheniya dinamiki funktsional'nykh sostoyanij cheloveka v EEG-paradigme pokoya [Validation of a face image assessment technology to study the dynamics of human functional states in the EEG resting-state paradigm]. *Vavilovskij Zhurnal Genetiki i Selekcii — Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, vol. 26, no. 8, pp. 765–772. <https://doi.org/10.18699/vjgb-22-92> (In Russian)
- Uchida, M. C., Carvalho, R., Tessutti, V. D. et al. (2018) Identification of muscle fatigue by tracking facial expressions. *PloS One*, vol. 13, no. 12, article e0208834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208834> (In English)
- Vergunov, E. G. (2022) Coping space transformation at different levels of university training during the pandemic and the assessment of its integral indicators. *Comprehensive Child Studies*, vol. 4, no. 2, pp. 115–123. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-2-115-123> (In English)