

ПРОФИЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТИБИОТИКАМ *ESCHERICHIA COLI* У ДЕТЕЙ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

О.П. Иккерт^{1,2}, but310@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0251-5713>
В.А. Шепилова^{1,2}, smelisheva@ya.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2066-2131>
Л.С. Бандурова¹, bandurova.lilia@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7511-6844>
М.А. Бирт¹, marybirt.sov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-7024-9471>
А.В. Кабачкова¹, kabachkova.av@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1691-0132>

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия

² Томский сельскохозяйственный институт, Томск, Россия

Аннотация. Цель: изучить профиль устойчивости к антибиотикам *E. coli* у детей младшего школьного возраста с разным уровнем физической активности. **Материалы и методы.** В исследовании участвовали две группы условно здоровых детей (по 12 волонтеров) с равномерным распределением по полу и возрасту (8–10 лет) без симптомов острых заболеваний. Дети первой группы не занимались дополнительной физической активностью, дети второй – занималась тхэквондо более двух лет. Образцы кала собирали утром, транспортировали в лабораторию и высевали на среду Эндо для выделения штаммов *E. coli*. Чувствительность к антибиотикам (амоксиклав, цефазолин, амикацин, цефтриаксон, тетрациклин) оценивали путем посева штаммов *E. coli* на среды с антибиотиками. **Результаты.** В первой группе было выделено 19 штаммов, из которых 15 проявили устойчивость к амоксициллину, 9 – к цефазолину и цефтриаксону, 6 – к амикацину, 1 – к тетрациклину. Во второй группе из выделенных 13 штаммов только 6 оказались устойчивыми к амоксициллину, 2 – к цефазолину и цефтриаксону, 1 – к амикацину и ни одного к тетрациклину. Уровень КОЕ устойчивой *E. coli* в первой группе варьировался от $1,3 \cdot 10^4$ до $1,2 \cdot 10^6$ КОЕ/г, что свидетельствует о повышенном риске формирования устойчивых штаммов при отсутствии дополнительной физической активности. Во второй группе значения были ниже на 2 порядка: от $3 \cdot 10^2$ до $2,6 \cdot 10^4$ КОЕ/г. **Заключение.** Физическая активность, хотя и не устраняет полностью проблему антибиотикорезистентности, может способствовать улучшению общего состояния микробиоты. Вероятно, отсутствие оптимального уровня физической активности связано с повышенным риском формирования устойчивых к антибиотикам штаммов. Ограниченное наличие устойчивых штаммов в группе детей, занимающихся тхэквондо, свидетельствует о сниженной иммунологической нагрузке, что может являться следствием возможных различий в рационе питания и образе жизни детей.

Ключевые слова: физическая культура, тхэквондо, антибиотикорезистентность, кишечная палочка, микробиота кишечника, младший школьный возраст

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-25-00304).

Для цитирования: Иккерт О.П., Шепилова В.А., Бандурова Л.С. и др. Профиль устойчивости к антибиотикам *Escherichia coli* у детей с разным уровнем физической активности // Человек. Спорт. Медицина. 2025. Т. 25, № 1. С. 20–27. DOI: 10.14529/hsm250103

ANTIBIOTIC RESISTANCE PROFILE OF *ESCHERICHIA COLI* IN CHILDREN WITH DIFFERENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY

O.P. Ikkert^{1,2}, but310@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0251-5713>
V.A. Shepilova^{1,2}, smelishева@ya.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2066-2131>
L.S. Bandurova¹, bandurova.lilia@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7511-6844>
M.A. Birt¹, marybirt.sov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-7024-9471>
A.V. Kabachkova¹, kabachkova.av@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1691-0132>

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

² Tomsk Agricultural Institute, Tomsk, Russia

Abstract. Aim. This study aimed to investigate the antibiotic resistance profile of *E. coli* in primary school children with different levels of physical activity. **Materials and methods.** Two groups of conditionally healthy children without symptoms of acute diseases aged 8–10 years (12 participants each) were included. The first group had no regular physical activity, while the second group had practiced taekwondo for over two years. Morning stool samples were collected, transported to the laboratory, and plated on Endo medium to isolate *E. coli* strains. Antibiotic sensitivity to amoxicillin, cefazolin, amikacin, ceftriaxone, and tetracycline was assessed by culturing *E. coli* strains on antibiotic-containing media. **Results.** In the first group, 19 *E. coli* strains were isolated, with resistance observed in 15 strains to amoxicillin, 9 to cefazolin and ceftriaxone, 6 to amikacin, and 1 to tetracycline. In the second group, 13 strains were isolated, with resistance observed in 6 strains to amoxicillin, 2 to cefazolin and ceftriaxone, 1 to amikacin, and none to tetracycline. The CFU levels of resistant *E. coli* in the first group ranged from $1.3 \cdot 10^4$ to $1.2 \cdot 10^6$ CFU/g, indicating an increased risk of resistant strain development in the absence of physical activity. The second group exhibited CFU levels 2 orders of magnitude lower, ranging from $3 \cdot 10^2$ to $2.6 \cdot 10^4$ CFU/g. **Conclusion.** While physical activity does not entirely eliminate antibiotic resistance, it appears to promote a healthier microbiota. Insufficient physical activity may be associated with an increased risk of antibiotic-resistant strain development. The limited presence of resistant strains in children practicing taekwondo suggests a lower immunological burden, potentially influenced by differences in diet and lifestyle.

Keywords: physical activity, taekwondo, antibiotic resistance, *E. coli*, intestinal microbiota, primary school children

Acknowledgement. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 24-25-00304).

For citation: Ikkert O.P., Shepilova V.A., Bandurova L.S., Birt M.A., Kabachkova A.V. Antibiotic resistance profile of *Escherichia coli* in children with different levels of physical activity. *Human. Sport. Medicine*. 2025;25(1):20–27. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm250103

Введение. Устойчивость бактерий к антибиотикам представляет собой одну из самых серьезных проблем общественного здравоохранения в современном мире [1]. С увеличением частоты случаев резистентности эффективность применения различных классов антибиотиков снижается, что ставит под угрозу успешное лечение инфекционных заболеваний в целом. Большинство исследований, посвященных устойчивости кишечной палочки или *Escherichia coli* (далее – *E. coli*) к антибиотикам, проводились на клинических образцах, так как именно *E. coli* является одной из наиболее распространенных причин внутрибольничных и внебольничных бактериальных инфекций [9, 10]. Но это ограничивает

понимание динамики антибиотикорезистентности в более широком контексте. В то же время исследования, включающие здоровых людей, особенно детей, остаются малочисленными. Это создает пробел в знаниях о том, как факторы образа жизни, включая физическую активность, могут влиять на распространенность устойчивости микроорганизмов к антибиотикам. Наличие устойчивых штаммов *E. coli* может изменять соотношение одних микроорганизмов к другим, что будет, безусловно, значимым для организма-хозяина. Доказано, что микробиота имеет сложные отношения с различными системами организма (как в норме, так и при патологии) [7]. Изменения в её составе [14, 22] могут способ-

ствовать прогрессированию, а иногда и возникновению заболеваний. В настоящее время уже показана связь между состоянием микробиоты кишечника и неврологическими расстройствами [20], ожирением [12, 19], болезнью Альцгеймера [4], рассеянным склерозом [21], болезнью Паркинсона [8] и шизофренией [17].

Понимание факторов, способствующих устойчивости микроорганизмов к антибиотикам, особенно у детей, может стать ключом к разработке эффективных стратегий профилактики инфекционных заболеваний и способствовать улучшению здоровья населения. Физическая активность как важный аспект образа жизни может оказывать влияние на состав и функции кишечной микробиоты, способствуя её улучшению [15]. Наряду с этим регулярные физические нагрузки снижают уровень воспалительных процессов в организме [23]. Однако связь между уровнем физической активности и распространенностью антибиотикорезистентности бактерий у детей ранее не изучалась.

Цель исследования: изучить профиль устойчивости к антибиотикам *E. coli* у детей младшего школьного возраста с разным уровнем физической активности.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие две группы условно здоровых детей, каждая из которых состояла из 12 волонтеров с равномерным распределением по полу и возрасту без симптомов острых вирусных и/или бактериальных заболеваний. Возраст детей варьировался от 8 до 10 лет. Первая группа состояла из детей, которые не занимались дополнительными физическими нагрузками, кроме обязательных занятий по физической культуре в школе. Вторая группа включала детей, которые дополнительно регулярно посещали секцию боевых искусств (тхэквондо) более двух лет. Все дети на протяжении последних 6 месяцев не принимали антибиотики или препараты, влияющие непосредственно на микробиоту кишечника. Критериями исключения были острые аллергические реакции и отсутствие согласия родителей на участие детей в исследовании.

Образцы кала собирали однократно преимущественно в утренние часы и помещали в стерильные пластиковые контейнеры объемом 50 мл и хранили в холодильнике при температуре 2–4 °C на протяжении 2–4 ч до транспортировки в лабораторию. В лаборатории

образцы кала разделяли на аликвоты в предварительно маркированные криопробирки объемом 2 мл и замораживали при температуре –80 °C для последующего анализа.

После завершения сбора всех образцов проводили микробиологические посеvy на дифференциально-диагностическую среду Эндо для выделения штаммов *E. coli*. Для этого 0,1 г фекалий растворяли в 100 мл стерильной воды, а затем 0,1 мл суспензии распределяли по всей поверхности чашки Петри со средой Эндо. Культивирование проводили в термостате при температуре 37 °C в течение 48 ч. Полученные колонии пересевали в отдельные чашки Петри со средой Эндо. Идентификацию *E. coli* осуществляли на основе характерного колониального роста, микроскопирования и секвенирования гена 16S рНК. Секвенирование гена 16S рНК проводили для некоторых штаммов, колонии которых не имели классического металлического блеска на среде Эндо. ДНК из этих штаммов была выделена с помощью коммерческого набора HiPure Universal DNA Kit (Китай). Амплификацию проводили с использованием праймеров 27F и 1492R. Продукты ПЦР визуализировали с помощью электрофореза на 1%-ном агарозном геле и отправляли в Научно-производственную компанию «СИНТОЛ» (г. Москва). Филогенетический анализ нуклеотидной последовательности проводили с использованием пакета программ BLAST и базы данных GenBank.

Для оценки чувствительности выделенных штаммов *E. coli* к антибиотикам использовался метод, при котором раствор антибиотика добавляли непосредственно в среду Эндо. В исследовании были использованы широко назначаемые антибиотики, в том числе в детском возрасте – амоксициллин [16], цефазолин [11], амикацин [24], цефтриаксон [5] и тетрациклин [2]. Сравнительная характеристика используемых лекарственных препаратов представлена в табл. 1.

Были использованы следующие концентрации антибиотиков в растворе: амоксициллин – 50 мкг/мл и 100 мкг/мл; цефазолин – 20 мкг/мл; амикацин – 20 мкг/мл; цефтриаксон – 5 мкг/мл; тетрациклин – 5 мкг/мл. После добавления антибиотиков в среду проводили посев выделенных штаммов, а затем инкубировали при 37 °C в течение 48 ч. Наличие или отсутствие колоний указывало на чувствительность или устойчивость штаммов *E. coli* к соответствующим антибиотикам.

Таблица 1
Table 1

Сравнительная характеристика антибиотиков
Comparative characteristics of antibiotics

Цефазолин Cefazolin	Цефтриаксон Ceftriaxone	Амоксициллин Amoxicillin	Амикацин Amikacin	Тетрациклин Tetracycline
Цефалоспорины (1-е поколение) Cephalosporins (1st generation)	Цефалоспорины (3-е поколение) Cephalosporins (3rd generation)	Пенициллины Penicillins	Аминогликозиды Aminoglycosides	Тетрациклины Tetracyclines
Ингибирует синтез клеточной стенки бактерий Inhibits bacterial cell wall synthesis			Ингибирует синтез белка в бактериях, связываясь с рибосомами Inhibits protein synthesis in bacteria by binding to ribosomes	
Грам+ нек. Грам– Gram+ some Gram–	Широкий спектр (Грам+ и Грам–) Wide spectrum (Gram+&Gram–)	Грам+ нек. Грам– Gram+ some Gram–	Грам– Gram–	Широкий спектр (Грам+ и Грам–) Wide spectrum (Gram+&Gram–)
[11]	[5]	[13]	[24]	[2]

Примечание. Грамположительные бактерии или Грам+ имеют толстый слой пептидогликана и окрашиваются по Граму; грамотрицательные бактерии или Грам– имеют тонкий слой пептидогликана и не окрашиваются по Граму, а также более устойчивы к антибиотикам; нек. – некоторые.

Note. Gram-positive bacteria (Gram+) are characterized by a thick peptidoglycan layer in their cell walls, which allows the to retain the Gram stain; Gram-negative bacteria (Gram–) are characterized by a thin peptidoglycan layer, which prevents the retention of the Gram stain. Additionally, Gram-negative bacteria are generally more resistant to antibiotics.

Дополнительно была проведена оценка количества штаммов *E. coli*, устойчивых к антибиотику амоксициллину. Для этого использовался метод предельных разведений: 1 г фекалий растворяли в 10 мл воды (1-е разведение), затем из 1-го разведения брали 1 мл и растворяли в 10 мл воды (2-е разведение) и так далее. Каждое разведение высевали на среду Эндо с амоксициллином в концентрациях 50 мкг/мл и 100 мкг/мл. После инкубации проводили подсчет колоний.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе исследования были проанализированы образцы *E. coli*, выделенные из микробиоты кишечника детей. В первой группе детей, не занимающихся дополнительными физическими нагрузками, было выделено 19 различных штаммов *E. coli* из 12 проб (в семи пробах были обнаружены по два штамма, а в пяти пробах – по одному штамму). Во второй группе детей, занимающихся дополнительно тхэквондо, из 12 проб было выделено 13 штаммов *E. coli*. При этом в одной из проб были обнаружены два штамма, а в остальных пробах – по одному штамму. При исследовании устойчивости выделенных штаммов к антибиотикам результаты показали, что из 19 штаммов первой группы прояви-

ли устойчивость к амоксициллину 15. Кроме того, девять штаммов оказались устойчивыми к цефазолину и цефтриаксону, шесть штаммов – к амикацину, и лишь один штамм продемонстрировал устойчивость к тетрациклину (табл. 2).

Наблюдение о том, что два штамма из одной пробы устойчивы к одному и тому же антибиотику, является важным индикатором наличия у них схожих генов устойчивости. Это может быть результатом как горизонтального переноса генов, так и мутации, но в контексте данного исследования более вероятным объяснением является именно горизонтальный перенос, что подчеркивает важность мониторинга устойчивости к антибиотикам и понимания механизмов её распространения среди патогенных микроорганизмов.

Что касается второй группы, из 13 выделенных штаммов лишь шесть оказались устойчивыми к амоксициллину, из них два штамма проявили устойчивость к цефазолину, два штамма – к цефтриаксону, один штамм – к амикацину, и ни один из штаммов не показал устойчивости к тетрациклину (табл. 3).

Подсчет числа колониеобразующих единиц (далее – КОЕ) *E. coli*, устойчивой к амоксициллину, в концентрации 100 мкг/мл в об-

Таблица 2
Table 2

Устойчивость штаммов *E. coli* к антибиотикам у детей,
не занимающихся дополнительными физическими нагрузками
Antibiotic resistance of *E. coli* strains in children without additional physical activity

Проба Sample	Количество выделенных штаммов Number of strains isolated					
	Всего Total	Цефазолин Cefazolin	Цефтриаксон Ceftriaxone	Амикацин Amikacin	Тетрациклин Tetracycline	Амоксициллин Amoxicillin
1	1	1		1		1
2	2		2	1	1	2
3	1		1	1		1
4	2	2				1
5	2		2			1
6	1	1				1
7	1			1		1
8	2	2	1			1
9	2	1		1		1
10	2		2			2
11	2	2				2
12	1		1	1		1
Всего Total	19	9	9	6	1	15

Таблица 3
Table 3

Устойчивость штаммов *E. coli* к антибиотикам у детей, занимающихся тхэквондо
Antibiotic resistance of *E. coli* strains in children practicing taekwondo

Проба Sample	Количество выделенных штаммов Number of strains isolated					
	Всего Total	Цефазолин Cefazolin	Цефтриаксон Ceftriaxone	Амикацин Amikacin	Тетрациклин Tetracycline	Амоксициллин Amoxicillin
13	1	1				1
14	1		1			
15	1			1		1
16	1		1			1
17	1	1				1
18	1					
19	1					
20	1					1
21	2					1
22	1					
23	1					
24	1					
Всего Total	13	2	2	1	0	6

разцах первой группы показал вариабельность от $1,3 \cdot 10^4$ до $1,2 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Полученные данные свидетельствуют о том, что у детей, посещающих только обязательные занятия по физической культуре в школе, имеется повышенный риск формирования устойчивых к антибиотикам штаммов *E. coli*. В долгосрочной перспективе это может негативно сказаться на состоянии здоровья таких детей. Во второй группе, состоящей из детей, регулярно

занимающихся тхэквондо, количество КОЕ было ниже на два порядка. Минимальное значение в этой группе составило $3 \cdot 10^2$ КОЕ/г, а максимальное – $2,6 \cdot 10^4$ КОЕ/г (табл. 4).

Важно отметить, что в шести образцах из данной группы антибиотикорезистентные штаммы не были обнаружены ни к одному из проверяемых антибиотиков. Эти результаты могут указывать на более низкую нагрузку на иммунную систему детей, занимающихся

Таблица 4
Table 4

Концентрация колоний *E. coli*, устойчивых к амоксициллину,
в наблюдаемых группах, кл $\times 10^4$ КОЕ/г
Concentration of amoxicillin-resistant *E. coli* in study participants, cells $\times 10^4$ CFU/g

Дети без дополнительной физической нагрузки (первая группа) Children without additional physical activity (first group)		Дети, регулярно занимающиеся тхэквондо (вторая группа) Children practicing taekwondo (second group)	
Проба Sample	Среднее КОЕ <i>E. coli</i> Average CFU <i>E. coli</i>	Проба Sample	Среднее КОЕ <i>E. coli</i> Average CFU <i>E. coli</i>
1	26,7	13	2,50
2	102,7	14	
3	2,4	15	0,04
4	25,0	16	2,67
5	20,0	17	1,70
6	2,6	18	
7	1,0	19	
8	50,7	20	0,03
9	64,0	21	1,30
10	107,0	22	
11	124,7	23	
12	1,3	24	

дополнительной физической активностью, а также на возможные различия в их рационе питания и образе жизни, что может способствовать снижению вероятности развития резистентности микроорганизмов.

Заключение. Накопленные данные свидетельствуют о том, что физическая активность может оказывать положительное влияние на состояние микробиоты [3, 6, 15, 18]. Данное исследование продемонстрировало значительное влияние физической активности на уровень устойчивых к антибиотикам штаммов *E. coli* в кишечной микробиоте. У детей, регулярно посещающих секцию боевых

искусств длительное время, наблюдается более низкий уровень устойчивости штаммов бактерий к антибиотикам по сравнению с детьми без дополнительных физических нагрузок. Это может быть связано с положительным влиянием физической активности на иммунную систему в целом и профилактику устойчивости микроорганизмов к антибиотикам. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что регулярные занятия спортом создают благоприятные условия для профилактики антибиотикорезистентности и положительно влияют на здоровье детей в долгосрочной перспективе.

Список литературы / References

1. Aggarwal R., Mahajan P., Pandiya S. et al. Antibiotic Resistance: a Global Crisis, Problems and Solutions. *Critical Reviews in Microbiology*, 2024, vol. 50, no. 5, pp. 896–921. DOI: 10.1080/1040841X.2024.2313024
2. Arrieta-Ortiz M.L., Pan M., Kaur A. et al. Disrupting the ArcA Regulatory Network Amplifies the Fitness Cost of Tetracycline Resistance in *Escherichia Coli*. *Msystems*, 2023, vol. 8, art. e0090422. DOI: 10.1128/msystems.00904-22
3. Barton W., Penney N.C., Cronin O. et al. The Microbiome of Professional Athletes Differs from That of More Sedentary Subjects in Composition and Particularly at the Functional Metabolic Level. *Gut*, 2018, vol. 67, no. 4, pp. 625–633. DOI: 10.1136/gutjnl-2016-313627
4. Cattaneo A., Cattane N., Galluzzi S. et al. Association of Brain Amyloidosis with Pro-inflammatory Gut Bacterial Taxa and Peripheral Inflammation Markers in Cognitively Impaired Elderly. *Neurobiology of Aging*, 2017, vol. 49, pp. 60–68. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2016.08.019
5. Ching C., Zaman H.H. Identification of Multiple Low-Level Resistance Determinants and Coselection of Motility Impairment upon Sub-MIC Ceftriaxone Exposure in *Escherichia Coli*. *MSphere*, 2021, vol. 6, art. e0077821. DOI: 10.1128/mSphere.00778-21

6. Clarke S.F., Murphy E.F., O'Sullivan O. et al. Exercise and Associated Dietary Extremes Impact on Gut Microbial Diversity. *Gut*, 2014, vol. 63, no. 12, pp. 1913–1920. DOI: 10.1136/gutjnl-2013-306541
7. Ding R.X., Goh W.R., Wu R.N. et al. Revisit Gut Microbiota and its Impact on Human Health and Disease. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2019, vol. 27, no. 3, pp. 623–631. DOI: 10.1016/j.jfda.2018.12.012
8. Forsyth C.B., Shannon K.M., Kordower J.H. et al. Increased Intestinal Permeability Correlates with Sigmoid Mucosa Alpha-synuclein Staining and Endotoxin Exposure Markers in Early Parkinson's Disease. *PLOS ONE*, 2011, vol. 6, art. e28032. DOI: 10.1371/journal.pone.0028032
9. Hashiguchi Y., Oda K., Katanoda T. et al. Clinical Evaluation of Cefotiam in the Treatment of Bacteremia Caused by *Escherichia coli*, *Klebsiella* Species, and *Proteus mirabilis*: A Retrospective Study. *Journal of Infection and Chemotherapy*, 2020, vol. 26, no. 11, pp. 1158–1163. DOI: 10.1016/j.jiac.2020.06.007
10. Johnson L.S., Patel D., King E.A., Maslow J.N. Impact of Microbiology Cascade Reporting on Antibiotic De-escalation in Cefazolin-susceptible Gram-negative Bacteremia. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 2016, vol. 35, no. 7, pp. 1151–1157. DOI: 10.1007/s10096-016-2645-5
11. Kawamura M., Ito R., Tamura Y. et al. Overproduction of Chromosomal ampC β -Lactamase Gene Maintains Resistance to Cefazolin in *Escherichia coli* Isolates. *Microbiology Spectrum*, 2022, vol. 10, art. e0005822. DOI: 10.1128/spectrum.00058-22
12. Le Chatelier E., Nielsen T., Qin J. et al. Richness of Human Gut Microbiome Correlates with Metabolic Markers. *Nature*, 2013, vol. 500, no. 7464, pp. 541–546. DOI: 10.1038/nature12506
13. Lekang K., Shekhar S., Berild D. et al. Effects of Different Amoxicillin Treatment Durations on Microbiome Diversity and Composition in the Gut. *PLOS ONE*, 2022, vol. 17, art. e0275737. DOI: 10.1371/journal.pone.0275737
14. Li C., Li J., Zhou Q. et al. Effects of Physical Exercise on the Microbiota in Irritable Bowel Syndrome. *Nutrients*, 2024, vol. 16, art. 2657. DOI: 10.3390/nu16162657
15. Mohr A.E., Jäger R., Carpenter K.C. et al. The Athletic Gut Microbiota. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2020, vol. 17, art. 24. DOI: 10.1186/s12970-020-00353-w
16. Nasrollahian S., Graham J.P., Halaji M. A Review of the Mechanisms that Confer Antibiotic Resistance in Pathotypes of *E. coli*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2024, vol. 14, art. 1387497. DOI: 10.3389/fcimb.2024.1387497
17. Nemani K., Hosseini Ghomi R. et al. Schizophrenia and the Gut-brain Axis. *Progress in Neuro-psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 2015, vol. 56, pp. 155–160. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2014.08.018
18. Petersen L.M., Bautista E.J., Nguyen H. et al. Community Characteristics of the Gut Microbiomes of Competitive Cyclists. *Microbiome*, 2017, vol. 5, art. 98. DOI: 10.1186/s40168-017-0320-4
19. Sonnenburg J.L., Bäckhed F. Diet-microbiota Interactions as Moderators of Human Metabolism. *Nature*, 2016, vol. 535, no. 7610, pp. 56–64. DOI: 10.1038/nature18846
20. Sorboni S.G., Moghaddam H.S., Jafarzadeh-Esfehani R., Soleimanpour S. A Comprehensive Review on the Role of the Gut Microbiome in Human Neurological Disorders. *Clinical Microbiology Reviews*, 2022, vol. 35, art. e0033820. DOI: 10.1128/CMR.00338-20
21. Tremlett H., Fadrosch D.W., Faruqi A.A. et al. Gut Microbiota in Early Pediatric Multiple Sclerosis: a Case-control Study. *European Journal of Neurology*, 2016, vol. 23, no. 8, pp. 1308–1321. DOI: 10.1111/ene.13026
22. Wang M., Chen Y., Song A.X. et al. The Combination of Exercise and Konjac Glucomannan More Effectively Prevents Antibiotics-Induced Dysbiosis in Mice Compared with Singular Intervention. *Nutrients*, 2024, vol. 16, art. 2942. DOI: 10.3390/nu16172942
23. Zhang L., Liu Y., Sun Y., Zhang X. Combined Physical Exercise and Diet: Regulation of Gut Microbiota to Prevent and Treat of Metabolic Disease: A Review. *Nutrients*, 2022, vol. 14, art. 4774. DOI: 10.3390/nu14224774
24. Zhong Z.X., Cui Z.H., Li X.J. et al. Nitrofurantoin Combined With Amikacin: A Promising Alternative Strategy for Combating MDR Uropathogenic *Escherichia coli*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2020, vol. 10, art. 608547. DOI: 10.3389/fcimb.2020.608547

Информация об авторах

Иккерт Ольга Павловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории менеджмента здоровья и физической активности, доцент Передовой инженерной школы «Агробиотек», Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия; доцент кафедры ветеринарии, Томский сельскохозяйственный институт, Томск, Россия.

Шепилова Валерия Анатольевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории менеджмента здоровья и физической активности, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия; ассистент кафедры ветеринарии, Томский сельскохозяйственный институт, Томск, Россия.

Бандурова Лилия Сергеевна, студент, лаборант лаборатории менеджмента здоровья и физической активности, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

Бирт Мария Александровна, студент, старший лаборант кафедры генетики и клеточной биологии, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

Кабачкова Анастасия Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины; ведущий научный сотрудник лаборатории менеджмента здоровья и физической активности, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

Information about the authors

Olga P. Ikkert, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Health and Physical Activity Management, Associate Professor of Advanced Engineering School “Agrobiotech”, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia; Associate Professor, Department of Veterinary Science, Tomsk Agricultural Institute, Tomsk, Russia.

Valeria A. Shepilova, Postgraduate Student, Junior Researcher, Laboratory of Health and Physical Activity Management, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia; Assistant, Department of Veterinary Science, Tomsk Agricultural Institute, Tomsk, Russia.

Liliya S. Bandurova, Undergraduate Student, Laboratory Assistant, Laboratory of Health and Physical Activity Management, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Maria A. Birt, Undergraduate Student, Senior Laboratory Assistant, Department of Genetics and Cell Biology, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Anastasia V. Kabachkova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and Medicine, Tomsk, Russia; Leading researcher, Laboratory of Health and Physical Activity Management, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 26.11.2024

The article was submitted 26.11.2024