Российский иммунологический журнал
2025, Т. 28, № 3, стр. 861-866

Краткие сообщения
Short communications

Russian Journal of Immunology / Rossiyskiy Immunologicheskiy Zhurnal
2025, Vol. 28, № 3, pp. 861-866

# КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИММУНОГРАММЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

**Колупаев В.А., Сашенков С.Л., Котова Н.В.**

*ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Челябинск, Россия*

**Резюме.** Состояние иммунной системы жестко ограничивает возможности адаптации организма к физическим нагрузкам, а определенные сочетания показателей иммунограммы, связанные с механизмами неспецифической резистентности при адаптации к мышечной работе, проспективно отражают значимое снижение надежности функционирования защитных механизмов. В этом случае систематизация соотношений показателей иммунограммы у лиц с разным двигательным режимом является актуальным для выяснения принципов дозирования мышечных нагрузок адекватных состоянию механизмов неспецифической резистентности и иммунореактивности. Цель исследования состояла в сокращении числа исследуемых переменных с дифференциацией выборки на подгруппы для выявления закономерностей близких по свойствам сгруппированных объектов. У обучающихся в возрасте 18-24 лет (юноши n = 40 и девушки n = 40), не имеющих противопоказаний для занятий физическими упражнениями, в состоянии покоя выполнен анализ показателей лейко- и иммунограммы с последующим определением уровня физической работоспособности в тесте PWC170. Обучающиеся с ординарным режимом двигательной активности составили основное отделение (n = 34); студенты, занимающиеся легкой атлетикой – спортивное отделение (n = 27); обучающиеся с низким уровнем физической подготовленности – подготовительное отделение (n = 19). Изучение фагоцитарной и НСТ-активности нейтрофилов и содержания CD-лимфоцитов в крови осуществляли методом иммунофенотипирования с применением проточной цитометрии. Сравнение результатов осуществляли на основе U-критерий Манна–Уитни в программе Statistica. Группировку испытуемых на основе состояния показателей иммунограммы осуществляли с помощью дивизивной кластеризации методом k-средних. По результатам 3 итераций 65 показателей лейко- и иммунограммы выделены 13 кластеров, центроиды которых являлись переменными в кластеризации испытуемых. В итоге 4 итераций по 13 переменным были выделены 5 кластеров испытуемых. Первый кластер включал лиц с избыточной величиной индекса массы тела и характеризовался низким уровнем индуцированного НСТ-теста Нф и высокого содержания TNK и дубль-негативных Лф у них. Второй кластер включал представителей исследуемых групп с преимущественно средним и низким уровнем физической работоспособности, отличавшихся низкой активностью фагоцитоза, количества NK, TNK и дубль негативных клеток и высоким содержанием Т-цитотоксических Лф. Третий кластер, включающий преимущественно спортсменов с высоким и средним уровнем двигательной выносливости, отражал высокий уровень индуцированного НСТ-теста Нф и низкое содержание цитотоксических Т-лимфоцитов. Четвертый

**Адрес для переписки:**
*Колупаев Виталий Анатольевич*
*ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ*
*454092, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, 64.*
*Тел.: 8 (351) 261-25-96.*
*E-mail: chel.med.fizkult@mail.ru*

**Address for correspondence:**
*Vitaly A. Kolupaev*
*South Ural State Medical University*
*64 Vorovsky St*
*Chelyabinsk*
*454092 Russian Federation*
*Phone: +7 (351) 261-25-96.*
*E-mail: chel.med.fizkult@mail.ru*

**Образец цитирования:**
*В.А. Колупаев, С.Л. Сашенков, Н.В. Котова «Кластерный анализ иммунограммы обучающихся с разным уровнем двигательной активности» // Российский иммунологический журнал, 2025. Т. 28, № 3. С. 861-866.*
*doi: 10.46235/1028-7221-17183-CAO*

*© Колупаев В.А. и соавт., 2025*
*Эта статья распространяется по лицензии Creative Commons Attribution 4.0*

**For citation:**
*V.A. Kolupaev, S.L. Sashenkov, N.V. Kotova “Cluster analysis of immunograms of trainees with different levels of motor activity”, Russian Journal of Immunology/Rossiyskiy Immunologicheskiy Zhurnal, 2025, Vol. 28, no. 3, pp. 861-866.*
*doi: 10.46235/1028-7221-17183-CAO*

*© Kolupaev V.A. et al., 2025*
*The article can be used under the Creative Commons Attribution 4.0 License*

**DOI:** 10.46235/1028-7221-17183-CAO

кластер включал лиц с низким и средним уровнем физической работоспособности, с высокой фагоцитарной и спонтанной НСТ-активностью Нф, содержания NK-клеток, $CD3^+CD19^-$ и $CD3^+CD4^+CD8^-CD45^+$лимфоцитов. Пятый кластер включал лиц всех исследуемых групп разного уровня физической работоспособности и характеризовался высокими значениями фагоцитарного числа Нф, низкого спонтанного НСТ-теста, содержания $CD3^+CD16^+CD56^+$ и $CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$.

*Ключевые слова: фагоцитоз нейтрофилов, НСТ-активность нейтрофилов, физическая нагрузка, CD-лимфоциты*

# CLUSTER ANALYSIS OF IMMUNOGRAMS OF TRAINEES WITH DIFFERENT LEVELS OF MOTOR ACTIVITY

**Kolupaev V.A., Sashenkov S.L., Kotova N.V.**

*South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russian Federation*

**Abstract.** The state of immune system may severely limit abilities of the body to adapt to physical exercises. Certain combinations of immunogram indexes associated with non-specific resistance when adapting to muscle work may prospectively reflect a significant decrease in reliable functioning of these protective mechanisms. In this case, systematization of immunogram-derived indices in persons with different motor habits is relevant to clarify the principles of dosing muscle loads adequate to the state of the non-specific resistance mechanisms and immunoreactivity. The purpose of the study was to reduce the number of studied variables by differentiating the sample into subgroups in order to identify similar patterns for the grouped objects. In students aged 18-24 years (boys n = 40 and girls n = 40) without any contraindications for exercise, leuko- and immunogram parameters were analyzed, along with determination of physical performance level by the PWC170 test. Students with an ordinary mode of motor activity made up the main group (n = 34); track-and-field athlets comprised an athletic group (n = 27); low-fitness scholars, prep group (n = 19). The study of phagocytic and NBT activity of neutrophils and the content of CD lymphocytes in the blood was carried out by immunophenotyping using flow cytometry. Results were compared by the Mann–Whitney U test with Statistica software. Grouping of subjects based on the state of the immunogram parameters was carried out using divisional clustering by the k-means method. Based on the results of 3 iterations of 65 leuko- and immunogram indices, 13 clusters were identified, the centroids of which were variables in the clustering of subjects. As a result of 4 iterations of 13 variables, 5 clusters of subjects were discerned. The first cluster included individuals with an excess value of body mass index and was characterized by a low level of induced NBT-test neutrophils and a high content of $CD3^+CD16^+CD56^+$ and a double-negative $CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$ lymphocytes subset. The second cluster included the members of a study groups with a predominantly medium and low level of physical performance, characterized by low phagocytosis activity, of $CD3^-CD16^+CD56^+$, and $CD3^+CD16^+CD56^+$ numbers, double-negative $CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$ lymphocytes and a high content of T cytotoxic $CD3^+CD4^-CD8^+CD45^+$ lymphocytes. The third cluster, comprising predominantly athletes with high and medium levels of motor endurance, exhibited high levels of NBT-induced neutrophils and low cytotoxic T lymphocyte $CD3^+CD4^-CD8^+CD45^+$ counts. The fourth cluster included individuals with low and medium levels of physical performance, with high phagocytic and spontaneous NBT-activity of neutrophils, $CD3^-CD16^+CD56^+$ cell content, $CD3^+CD19^-$ and $CD3^+CD4^+CD8^-CD45^+$ lymphocytes. The fifth cluster included individuals of different study groups with varying levels of physical performance and was characterized by high counts of phagocytic neutrophils, low values of spontaneous NBT-test, $CD3^+CD16^+CD56^+$ and $CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$.

*Keywords: neutrophil phagocytic, neutrophil NBT-activity, physical loads, CD lymphocytes*

## Введение

Состояние системы иммунитета физкультурников и спортсменов в значительной степени обусловливает уровень адекватности физических нагрузок в зависимости от степени активности защитных механизмов при обеспечении иммунного гомеостаза в ответ на воздействие разнообразных биотических и абиотических факторов внешней среды. Для целого ряда лиц, занимающихся физическими упражнениями, состояние иммунитета достаточно жестко ограничивает возможности организма при адаптации к физическим нагрузкам. Для других занимающихся некоторые отклонения показателей иммунограммы от нормы являются отражением дисбаланса метаболизма в связи с недостаточным уровнем двигательной активности либо могут служить подтверждением преходящего снижения физической работоспособности в связи с текущей реакцией

организма на воздействие биотических факторов внешней среды [4]. Помимо того, определенные сочетания показателей иммунограммы, тесно связанные с адаптацией [1], в том числе к физической нагрузке, могут отражать существенное снижение надежности функционирования защитных механизмов. В этом случае систематизация и классификация типов связи показателей иммунограммы у обучающихся с разным уровнем повседневной двигательной активности является актуальным для определения рекомендаций по определению адекватных по уровню физических нагрузок.

**Цель исследования** состояла в сокращении числа исследуемых переменных с дифференциацией выборки на подгруппы для выявления закономерностей близких по свойствам сгруппированных объектов.

## Материалы и методы

У обучающихся медицинского университета в возрасте 18-24 лет (юноши n = 40 и девушки n = 40) различной физической подготовленности и с разным уровнем повседневной двигательной активности, не имеющих противопоказаний для занятий физическими упражнениями, в состоянии покоя выполнен забор крови из локтевой вены с определением показателей лейко- и иммунограммы с последующим определением уровня физической работоспособности в тесте PWC170 по скорости передвижения на беговой дорожке. Обучающиеся с ординарным режимом двигательной активности (2 ч в неделю на занятиях по физической культуре) составили основное отделение (n = 34); обучающиеся, занимающиеся легкой атлетикой 3 раза в неделю по 2 ч, – спортивное отделение (n = 27); обучающиеся с низкой физической подготовленностью, занимающиеся физической культурой 1 раз в неделю в щадящем режиме, – подготовительное отделение (n = 19). Исследования проведены с информированного согласия испытуемых в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации 2001 г.

Определение показателей лейко- и иммунограммы проводили на базе клинико-диагностической лаборатории «ДокторЛаб» (лицензия № Л041-01024-74/00316445 от 27.09.2017). Оценку фагоцитоза и НСТ-активности нейтрофилов (Нф) и определение содержания CD-лимфоцитов (Лф) в периферической крови методом иммунофенотипирования осуществляли с применением проточной цитометрии [2], а определение содержания антител иммуноглобулинов класса А и М (IgA и IgM) в сыворотке крови к вирусу SARS-CoV-2 (COVID-19) выполняли методом иммуноферментного анализа на основе тест-систем (АО «Вектор-Бест», Россия) [5].

Статистическую обработку и сравнение результатов осуществляли с применением параметрических и непараметрических методов для несвязанных выборочных (U-критерий Манна–Уитни) с применением пакета прикладных программ Excel и Statistica. Группировку испытуемых на основе состояния показателей иммунограммы осуществляли с помощью дивизивной кластеризации методом k-средних, что позволяет выделить группы с сопоставимыми характеристиками на основании анализа особенностей распределения исследуемых переменных в выборке [3].

## Результаты и обсуждение

На начальном этапе исследования после стандартизации исходных значений показателей лейко- и иммунограммы мы провели кластеризацию 65 исследуемых переменных у обучающихся с разным уровнем физической работоспособности и различным уровнем повседневной двигательной активности. В результате 3 итераций выделены 13 кластеров переменных, охвативших всех испытуемых по соотношению внутри- и межгрупповой дисперсий. Центроиды данных кластеров были выбраны в качестве переменных при кластеризации испытуемых на следующем этапе исследования. За счет 4 итераций при кластеризации обследуемых методом k-средних по 13 переменным были выделены 5 кластеров испытуемых, включающие данные всех наблюдений у обучающихся с разным уровнем двигательной активности. Состав кластеров, с дифференциацией включенных в них обследованных юношей и девушек по величине индекса массы тела, представлен в таблице 1.

Как видно из представленных данных, в состав каждого со второго по пятый кластер входило от 21% до 26% обследованных в соотношении юношей и девушек 1:1. При этом к первому кластеру были отнесены лишь 7,5% испытуемых, 2/3 из которых представлены юношами основной группы с ординарным уровнем двигательной активности, а 1/3 – девушками с низким уровнем физической подготовки и щадящим режимом двигательной деятельности. Индекс массы тела у одной из девушек из первого кластера соответствовал нормальным значениям, а у другой – характеризовался избыточной величиной. У всех юношей, вошедших в состав первого кластера, отмечался избыточный уровень индекса массы тела. Ввиду небольшого числа включенных в исследование наблюдаемых, иных выраженных тенденций распределения обследованных по кластерам в зависимости от величины индекса массы тела мы не отмечали, за исключением уменьшения в составе четвертого кластера доли юношей с нормальной величиной индекса массы тела за счет присутствия лиц с избыточной величиной индекса массы тела и лиц с признаками ожирения.

**ТАБЛИЦА 1. СОСТАВ КЛАСТЕРОВ В СВЯЗИ С УРОВНЕМ ИНДЕКСА МАССЫ ТЕЛА ОБСЛЕДОВАННЫХ ЮНОШЕЙ И ДЕВУШЕК**

TABLE 1. THE COMPOSITION OF CLUSTERS IN RELATION TO THE BODY MASS INDEX LEVEL OF THE SURVEYED BOYS AND GIRLS

| **Пол** / Gender | **Индекс массы тела** Body mass index | **№ кластера** / Cluster number | | | | | **В ряду** Row |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | |
| **Юноши** Young men | **Дефицит** / Deficit | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | **Нормальный** / Normal | 0 | 7 | 6 | 3 | 5 | 21 |
| | **Избыток** / Excess | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 14 |
| | **Ожирение 1-й степени** Grade 1 obesity | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 |
| | **Ожирение 3-й степени** Grade 3 obesity | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | **Всего** / Total | 4 | 10 | 9 | 8 | 9 | 40 |
| | % | 5,00 | 12,50 | 11,25 | 10,00 | 11,25 | 50,00 |
| **Девушки** Girls | **Дефицит** / Deficit | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 6 |
| | **Нормальный** / Normal | 1 | 9 | 5 | 8 | 6 | 29 |
| | **Избыток** / Excess | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 5 |
| | **Всего** / Total | 2 | 11 | 8 | 9 | 10 | 40 |
| | % | 2,50 | 13,75 | 10,00 | 11,25 | 12,50 | 50,00 |
| **Общий процент** / Total percent | | 7,50 | 26,25 | 21,25 | 21,25 | 23,75 | 100 |

Результаты сравнения показателей иммунограммы испытуемых из разных кластеров представлены в таблице 2. Как видно из этих данных, показатели испытуемых первого кластера характеризовались высокими значениями относительного и абсолютного содержания $CD3^+CD16^+CD56^+$ и $CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$ лимфоцитов, а также содержания НСТ-негативных Нф в индуцированном тесте на фоне сниженных до уровня нижней границы нормы фагоцитарного числа Нф. Во второй кластер с высоким уровнем процентного содержания $CD3^+CD4^-CD8^+CD45^+$ клеток и низким уровнем количества фагоцитов, сниженным количеством $CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$ и $CD3^+CD16^+CD56^+$ лимфоцитов, а также NK-клеток включен 21 испытуемый. 42,86% из их числа представляли спортивное и основное отделения и характеризовались высокими показателями физической работоспособности в тесте PWC170. 28,57% наблюдаемых второго кластера характеризовались средним уровнем физической работоспособности и столько же – низкой аэробной производительностью. Третий кластер составили данные 17 испытуемых с высокими значениями индекса активности и резервных возможностей в индуцированном НСТ-тесте Нф на фоне низкого уровня содержания $CD3^+CD4^-CD8^+CD45^+$ лимфоцитов и спонтанного НСТ-теста Нф. 58,82% испытуемых из этого кластера были представителями спортивного отделения с высоким и средним уровнем физической работоспособности.

В состав четвертого кластера вошли 17 наблюдаемых с высоким уровнем количества Нф, активности фагоцитоза и спонтанного НСТ-теста, а также абсолютного содержания $CD3^+CD19^-$ и $CD3^+CD4^+CD8^-CD45^+$ лимфоцитов, а также $CD3^-CD16^+CD56^+$ клеток на фоне низких значений индекса активности НСТ-теста Нф. Испытуемые четвертого кластера в 47,06% случаев являлись представителями подготовительного отделения со щадящим режимом двигательной активности, а в целом 70,59% состава данного кластера из числа основного и подготовительного отделений характеризовались низким уровнем физической работоспособности в тесте PWC170. В пятый кластер вошли 19 наблюдений с высоким уровнем фагоцитарного числа Нф, количества и содержания $CD3^-CD16^+CD56^+$ клеток на фоне низких значений индекса активности НСТ-теста Нф и сниженного содержания $CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$ и $CD3^+CD16^+CD56^+$ лимфоцитов. 47,37% испытуемых пятого кластера представляли лиц с ординарным уровнем двигательной активности, 36,84% – спортсмены с высокой двигательной активностью и 15,79% – лица со щадящим режимом двигательной деятельности. При этом все спортсмены данного кластера проявляли высокий уровень физической работоспособности, тогда как лишь 1/3 часть испытуемых основного и подготовительного отделения из состава этого кластера демонстрировали средний уровень физической выносливости, а 2/3 из этого числа – низкий уровень аэробной производительности.

**ТАБЛИЦА 2. ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИММУНОГРАММЫ В СОСТАВЕ КЛАСТЕРОВ, Me ($Q_{0,25}$-$Q_{0,75}$)**

TABLE 2. VALUES OF IMMUNOGRAM PARAMETERS IN CLUSTERS, Me ($Q_{0.25}$-$Q_{0.75}$)

| **Показатели** Indicators | **Номер кластера** / Cluster number | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1 (n = 6)** | **2 (n = 21)** | **3 (n = 17)** | **4 (n = 17)** | **5 (n = 19)** |
| **Фагоцитарное число, усл. ед.** Phagocytic number, c. e. | 3,5 (2,3-3,7) | 3,4 (2,8-4,9) | 3,7 (2,9-4,2) | 4,6 (3,4-5,2)[1] | 8,3 (6,8-9,1)[1, 2, 3, 4] |
| **Спонтанный НСТ-тест, %** Spontaneous NBT-test, % | 22 (17-24) | 22 (14-29) | 11 (7-15)[1, 2] | 36 (29-44)[1, 2, 3] | 29 (23-36)[2, 3, 4] |
| **Индуцированный НСТ-тест, %** Induced NBT-test, % | 51 (42-64) | 69 (57-79) | 70 (67-79)[1] | 68 (59-76)[1] | 54 (41-63)[2, 3, 4] |
| **$CD3^+CD19^-CD45^+$, % × $10^6$/L** | 80,1 (77,8-82,5) 1621 (1491-1905) | 80,3 (77,5-82,6) 1514 (1222-1685) | 73,9 (69,6-79,5)[1, 2] 1335 (1151-1765) | 75,5 (69,4-79,4) 1819 (1598-1928)[2, 3] | 75,6 (72,4-79,4)[1, 2] 1274 (1018-1565)[1, 4] |
| **$CD3^+CD4^+CD8^-CD45^+$, % × $10^6$/L** | 38,0 (36,3-42,4) 839 (673-844) | 46,1 (41,6-52,6)[1] 841 (704-1043) | 41,4 (38,8-45,8) 786 (616-991) | 43,2 (38,6-46,5) 1028 (841-1144)[2, 3] | 45,0 (39,4-50,2)[1] 702 (619-912)[4] |
| **$CD3^+CD4^-CD8^+CD45^+$, % × $10^6$/L** | 27,9 (25,9-29,5) 625 (502-654) | 29,6 (26,4-31,2) 537 (462-636) | 23,2 (21,3-24,7)[1, 2] 380 (308-582)[1] | 24,0 (22,3-27,6)[2] 560 (477-644)[3] | 26,0 (24,3-29,2)[2, 3] 466 (338-548)[1, 4] |
| **$CD3^+CD4^-CD8^-CD45^+$, % × $10^6$/L** | 11,6 (8,6-19,2) 282 (183-379) | 3,6 (2,3-5,2)[1] 63 (46-80)[1] | 7,8 (6,3-10,9)[2] 157 (104-221)[2] | 6,6 (4,4-7,8)[1, 2] 141 (119-210)[2] | 4,5 (1,2-6,4)[1, 3, 4] 75 (26-118)[1, 3, 4] |
| **$CD3^+CD4^+CD8^+CD45^+$, % × $10^6$/L** | 0,2 (0,1-0,3) 3,0 (2,1-6,0) | 0,3 (0,3-0,5) 5,9 (4,2-10,9) | 0,5 (0,3-0,8) 10,4 (5,6-17,2) | 0,4 (0,2-1,3) 10,6 (5,4-29,2)[1] | 0,4 (0,2-0,8) 6,6 (4,1-12,5) |
| **$CD3^-CD19^+CD45^+$, % × $10^6$/L** | 11,5 (10,5-12,2) 224 (209-249) | 10,0 (8,0-12,1) 174 (153-204)[1] | 10,8 (7,7-13,1) 203 (170-273) | 9,8 (6,9-12,2) 240 (172-274) | 8,3 (6,3-12,2) 150 (131-183)[1, 3, 4] |
| **$CD3^-CD16^+CD56^+$, % × $10^6$/L** | 7,0 (6,3-7,6) 129 (117-168) | 8,7 (6,4-10,5) 134 (102-202) | 11,7 (6,7-17,6)[2] 195 (124-279) | 10,3 (6,2-15,0) 238 (142-405)[1, 2] | 13,7 (10,3-16,4)[1, 2] 265 (165-308)[1, 2] |
| **$CD3^+CD16^+CD56^+$, % × $10^6$/L** | 10,4 (9,5-10,7) 235,0 (188,7-278,5) | 1,2 (0,5-2,2)[1] 22,7 (10,2-41,5)[1] | 2,7 (0,9-3,1)[1] 47,6 (24,1-74,9)[1] | 3,3 (1,7-3,6)[1, 2] 73,5 (40,3-87,4)[1, 2] | 1,5 (0,9-2,6)[1] 27,7 (15,6-61,8)[1, 4] |

**Примечание. Условные обозначения: [1, 2...] – по критерию Манна–Уитни значимые различия с показателями соответствующего кластера.**

Note. Symbols: [1, 2...], according to Mann–Whitney test there are significant differences with the indicators of the corresponding cluster.

Таким образом, результаты кластеризации обучающихся различной физической подготовленности с разным уровнем ежедневной двигательной активности на основе состояния показателей иммунограммы позволили выделить 5 типов состояния иммунной системы у студентов, не имеющих противопоказаний для занятий физическими упражнениями. Первый кластер, включающий лиц с избыточной величиной индекса массы тела, характеризовался низкой способностью к стимуляции кислородзависимого метаболизма Нф на фоне повышения содержания TNK и дубль-негативных лимфоцитов. Второй кластер, включающий в сопоставимых про-

порциях представителей всех исследуемых групп с преимущественно средним и низким уровнем физической работоспособности, характеризовался низкой активностью фагоцитоза, количества NK, TNK и дубль-негативных клеток в сочетании с высоким процентным содержанием Т-цитотоксических Лф. Третий кластер, включающий преимущественно спортсменов с высоким и средним уровнем двигательной выносливости, отражал высокий потенциал резервных возможностей кислородзависимого метаболизма Нф при низком содержании цитотоксических Т-клеток. Четвертый кластер, охватывающий преимущественно испытуемых с низким и средним уровнем физической работоспособности, отличался высокой активностью механизмов врожденного иммунитета (фагоцитоз, спонтанный НСТ-тест и содержание NK-клеток), а также регуляторного Т-клеточного звена адаптивного иммунитета. Пятый кластер, включающий спортсменов с высоким уровнем физической работоспособности и лиц с ординарным и щадящим режимом двигательной активности с низким уровнем аэробной производительности, характеризовался высоким потенциалом механизмов врожденного иммунитета на фоне низкого базального уровня кислородзависимого метаболизма фагоцитов и содержания TNK и дубль-негативных Лф.

## Выводы

1. Соотношение юношей и девушек в составе выявленных кластеров не имело значимых различий.
2. В составе первого и четвертого кластеров отмечалась более высокая доля юношей с повышенным индексом массы тела и признаками ожирения по сравнению с таковой в других кластерах.
3. В состав каждого со второго по пятый кластеров входили испытуемые всех обследованных групп с разным соотношением среди них лиц с высоким, средним и низким уровнем физической работоспособности в тесте PWC170.

## Список литературы / References

1. Борисов А.Г. Кластерный анализ типов иммунных нарушений при инфекционно-воспалительных заболеваниях // Российский иммунологический журнал, 2014. Т. 8 (17), № 4. С. 1002-1011. [Borisov A.G. Cluster analysis of types of immune disorders in infectious-inflammatory diseases. *Rossiyskiy immunologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Immunology, 2014, Vol. 8 (17), no. 4, pp. 1002-1011.* (In Russ.)]
2. Зурочка А.В., Хайдуков С.В., Кудрявцев И.В., Черешнев В.А. Проточная цитометрия в биомедицинских исследованиях. Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 720 *с.* [Zurochka A.V., Haidukov S.V., Kudryavtsev I.V., Chereshnev V.A. Flow cytometry in biomedical research]. Yekaterinburg: UrO RAS, 2018. 720 p.
3. Касюк С.Т. Анализ данных на компьютере в пакете Statistica. Челябинск: Челябинский филиал РАНХиГС, 2018. 346 с. [Kasyuk S.T. Analysis of data on a computer in the Statistica package]. Chelyabinsk: Chelyabinsk branch of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 2018. 346 p.
4. Котова Н.В., Зурочка В.А., Сашенков С.Л., Колупаев В.А., Клочкова С.В. Физическая работоспособность и состояние иммунограммы обучающихся, перенесших COVID-19 // Человек. Спорт. Медицина, 2024. Т. 24, № S1. С. 20-28. [Kotova N.V., Zurochka V.A., Sashenkov S.L., Kolupaev V.A., Klochkova S.V. Physical performance and immunogram status of students who have had COVID-19. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine, 2024, Vol. 24, no. S1, pp. 20-28.* (In Russ.)]
5. Zurochka A., Dobrinina M., Zurochka V, Hu D., Solovyev A., Ryabova L., Kritsky I., Ibragimov R., Sarapultsev A. Seroprevalence of SARS-CoV-2 antibodies in symptomatic individuals is higher than in persons who are at increased risk exposure: the results of the single-center, prospective, cross-sectional study. *Vaccines, 2021, Vol. 9, no. 6, 627.* doi: 10.3390/vaccines9060627.

**Авторы:**

***Колупаев В.А.*** *— д.б.н., доцент, заведующий кафедрой физической культуры ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Челябинск, Россия*

***Сашенков С.Л.*** *— д.м.н., профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Челябинск, Россия*

***Котова Н.В.*** *— старший преподаватель кафедры физической культуры ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Челябинск, Россия*

**Authors:**

***Kolupaev V.A.,*** *PhD, MD (Biology), Associate Professor, Head, Department of Physical Culture, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russian Federation*

***Sashenkov S.L.,*** *PhD, MD (Medicine), Professor, Head, Department of Normal Physiology, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russian Federation*

***Kotova N.V.,*** *Senior Lecturer, Department of Physical Culture, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russian Federation*

*Поступила 29.03.2025*
*Отправлена на доработку 10.05.2025*
*Принята к печати 31.05.2025*

*Received 29.03.2025*
*Revision received 10.05.2025*
*Accepted 31.05.2025*