

ДИНАМИКА ИММУНОГРАММЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Колупаев В.А.¹, Зурочка В.А.^{2,3}, Сашенков С.Л.¹, Котова Н.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Челябинск, Россия

² ФБУН «Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций “Виром”» Роспотребнадзора, г. Екатеринбург, Россия

³ ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Резюме. Анализ динамики состояния лейкоцитов крови при мышечной деятельности является актуальным в связи с развитием методов дифференциации и оценки состояния этих клеток. Цель исследования – изучение динамики показателей фагоцитарной и НСТ-активности нейтрофилов, а также содержания CD-лимфоцитов периферической крови у обучающихся при передвижении на тредмиле. У студентов основной медицинской группы 18-20 лет, занимающихся легкой атлетикой (3 юноши и 4 девушки), осуществляли забор крови из локтевой вены до начала двигательной деятельности, после 15-минутного бега в разминочном темпе, а также после 15-минутного бега средней интенсивности. Средний уровень физической работоспособности обследованных по величине PWC170 составил $16,25 \pm 2,21$ кгм/мин/кг. Изучение фагоцитарной и НСТ-активности нейтрофилов и содержания CD-лимфоцитов в крови осуществляли методом иммунофенотипирования с применением проточной цитометрии. Выявлено, что у девушек в покое относительное содержание лимфоцитов и NK-клеток было значительно ниже, а уровень индуцированной НСТ-активности Нф и относительного содержания CD4⁺CD8⁻ и CD4⁺CD8⁺ лимфоцитов существенно выше, чем у юношей. При этом динамика показателей лейкограммы обследованных в процессе физической нагрузки полностью соответствовала развитию лимфоцитарной фазы миогенного лейкоцитоза. После выполнения 1-й физической нагрузки при отсутствии значимых изменений показателей фагоцитарной и НСТ-активности Нф у испытуемых отмечалось достоверное снижение относительного содержания CD4⁺CD8⁺ и увеличение количества CD4⁺CD8⁻ клеток. При этом у девушек прирост содержания НСТ-позитивных Нф в индуцированном тесте был значимо выше, чем у юношей. С увеличением мощности повторной физической нагрузки на фоне общего повышения количества фагоцитирующих Нф существенно

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, 8 (906) 860-23-85.
E-mail: vitalico@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, +7 (906) 860-23-85.
E-mail: vitalico@mail.ru

Образец цитирования:

В.А. Колупаев, В.А. Зурочка, С.Л. Сашенков,
Н.В. Котова «Динамика иммунограммы обучающихся
под влиянием дозированной физической нагрузки»
// Российский иммунологический журнал, 2024. Т. 27,
№ 3. С. 579-586.
doi: 10.46235/1028-7221-16908-IDO

© Колупаев В.А. и соавт., 2024

Эта статья распространяется по лицензии
Creative Commons Attribution 4.0

For citation:

V.A. Kolupaev, V.A. Zurochka, S.L. Sashenkov, N.V. Kotova
“Immunogram dynamics of students under the influence
of dosed physical activity”, Russian Journal of Immunology/
Rossiyskiy Immunologicheskiy Zhurnal, 2024, Vol. 27, no. 3,
pp. 579-586.
doi: 10.46235/1028-7221-16908-IDO

© Kolupaev V.A. et al., 2024

The article can be used under the Creative
Commons Attribution 4.0 License

DOI: 10.46235/1028-7221-16908-IDO

увеличивался баланс спонтанных НСТ-позитивных и резервных потенциально активных Нф относительно содержания НСТ-негативных клеток в индуцированном тесте. При этом уровень нейтрофила у девушек был значимо выше, обуславливая более высокий уровень количества фагоцитов и абсолютного содержания НСТ-позитивных Нф в спонтанном и индуцированном тесте. Помимо того, в лимфоцитарную фазу миогенного лейкоцитоза количество $CD3^+CD19^-$ после 2-й нагрузки значимо повышалось на фоне существенного снижения их относительного содержания, тогда как количество $CD3^+CD19^+$ и $CD3^+CD4^+CD8^-CD45^+$ не изменялось, несмотря на достоверное снижение их относительного содержания. При этом наряду с повышением абсолютного содержания $CD4^-CD8^-$ и ТНК-лимфоцитов отмечалось значимое повышение относительного и абсолютного содержания НК-клеток. В отличие от девушек у юношей после 2-й физической нагрузки относительное и абсолютное содержание НК-клеток, а также прирост процентного содержания НСТ-позитивных клеток в индуцированном тесте были существенно выше, несмотря на значимо более низкое количество Нф в крови.

Ключевые слова: иммунограмма, миогенный лейкоцитоз, спортсмены, фагоцитоз нейтрофилов, НСТ-активность нейтрофилов, физическая нагрузка, CD-лимфоциты

IMMUNOGRAM DYNAMICS OF STUDENTS UNDER THE INFLUENCE OF DOSED PHYSICAL ACTIVITY

Kolupaev V.A.^a, Zurochka V.A.^{b,c}, Sashenkov S.L.^a, Kotova N.V.^a

^a South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russian Federation

^b Federal Research Institute of Viral Infections "Virom" of Rospotrebnadzor, Ekaterinburg, Russian Federation

^c Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. Analysis of the dynamics of the state of blood leukocytes in muscular activity is relevant due to the development of methods of differentiation and assessment of the state of these cells. The purpose of the study is to study the dynamics of the phagocytic and NBT activity of neutrophils, as well as the content of CD lymphocytes of peripheral blood in students when moving on a treadmill. For students 18-20 years old involved in athletics (3 boys and 4 girls), blood was taken from the ulnar vein before and after a 15-minute jog, as well as after a 15-minute run of moderate intensity. The average level of physical performance of the examined PWC_{170} was 16.25 ± 2.21 kGm/min/kg. Assessment of phagocytosis and NBT activity of neutrophils and determination of blood CD lymphocytes by immunophenotyping were performed using flow cytometry. It was found that in girls at rest, the relative content of lymphocytes and NK cells was significantly lower, and the level of induced NBT activity of neutrophils and the relative content of $CD4^-CD8^-$ and $CD4^+CD8^+$ lymphocytes was significantly higher than in boys. At the same time, the dynamics of the leukogram parameters examined during the dosed physical activity fully corresponded to the development of the lymphocytic phase of myogenic leukocytosis. With an increase in the power of repeated exercise against the background of a general increase in the number of phagocytic neutrophils, the balance of spontaneous NBT-positive and reserve potentially active neutrophils significantly increased relative to the content of NBT-negative cells in the induced test. At the same time, the level of neutrocytes in girls was significantly higher, causing a higher level of phagocyte count and absolute content of NBT-positive neutrophils in a spontaneous and induced test. At the same time, against the background of an increase in the absolute content of $CD4^-CD8^-$ and ТНК lymphocytes, a statistically significant increase in the relative and absolute content of NK cells was observed. In contrast to the boys after the 2nd physical exercise, the relative and absolute content of NK cells, as well as the increase in the percentage of НСТ-positive cells in the induced test, were significantly higher.

Keywords: immunogram, myogenic leukocytosis, athletes, neutrophil phagocytic, neutrophil NBT-activity, physical loads, CD lymphocytes

Работа выполнена по теме гос. заданий ИИФ УрО РАН «Иммунофизиологические и патофизиологические механизмы регуляции и коррекции функций организма» № гос. регистрации 122020900136-4; ФБУН ФНИИВИ «Виром» Роспотребнадзора «Изучение механизмов формирования хронической вирусной инфекции у пациентов с постковидным синдромом и нарушением функций иммунной системы. Разработка патогенетических подходов к эффективной профилактике и иммунокоррекции выявленных нарушений у пациентов с «постковидным синдромом» № гос. регистрации 124031500020-4.

Введение

Изучение и оценка динамики показателей состояния отдельных популяций лейкоцитов крови под влиянием мышечной деятельности разной мощности и длительности продолжает оставаться актуальной задачей [2] в связи с дальнейшим развитием методов дифференциации функциональных возможностей и состояния этих клеток [3]. Целью настоящего исследования являлось изучение динамики показателей состояния фагоцитарной и НСТ-активности нейтрофилов, а также содержания отдельных субпопуляций CD-лимфоцитов периферической крови у обучающихся спортсменов под влиянием физической нагрузки при передвижении с заданной скоростью на тредмиле.

Материалы и методы

Проведено изучение динамики показателей иммунограммы на дозированную физическую нагрузку у студентов основной медицинской группы в возрасте 18-20 лет, занимающихся легкой атлетикой в количестве 7 человек (3 юноши и 4 девушки), как перенесшие COVID-19 с подтверждением на основе данных ПЦР анализа ($n = 3$), так и условно не болевшие и не имевшие положительных ПЦР-тестов на COVID-19 ($n = 4$). Индекс массы тела обследуемых варьировал в диапазоне от 20,13 до 22,16 в группе юношей и от 17,17 до 20,95 в группе девушек.

Интенсивность мышечной работы определяли по величине скорости бега на беговой дорожке, а дозирование интенсивности физической нагрузки осуществлялось по величине частоты сердечных сокращений (ЧСС) во время мышечной работы. Для определения уровня физической работоспособности обучающихся нами был использован адаптированный вариант теста PWC_{170} с использованием бега с заданной скоростью по беговой дорожке в качестве входного воздей-

ствия с последующим перерасчетом в сопоставимые единицы для велоэргометрического теста для мужчин и женщин по формуле В.Л. Карпмана и соавт. (1987). Расчетная мощность физической работы при первой нагрузке варьировала от 1,06 до 1,76 Вт/кг. Относительная величина мощности работы при повторной нагрузке у юношей варьировала от 2,99 до 4,02 Вт/кг, а у девушек – от 3,02 до 3,16 Вт/кг.

Определение частоты сердечных сокращений (ЧСС) в покое, во время и после дозированной нагрузки осуществляли посредством датчика сердечного ритма Polar H10 Heart Rate Sensor (Малайзия) с расчетом величины систолического объема крови в состоянии оперативного покоя по формуле Старра, а измерение артериального давления по стандартной методике автоматическим тонометром OMRON M2 Classic (HEM-7117-RU, Япония-Нидерланды-Китай). В состоянии оперативного покоя уровень сердечного индекса обследованных в среднем составлял $3,56 \pm 0,21$ л/мин/м² при ЧСС $69,86 \pm 3,79$ и величине систолического индекса $51,01 \pm 1,00$ мл/м². Уровень физической работоспособности обследованных по величине относительного показателя теста PWC_{170} составил $16,25 \pm 2,21$ кГм/мин/кг. Уровень вегетативного индекса Кердо в состоянии покоя у 4 обследуемых отражал текущий нормотонический тип регуляции, у одного из обследуемых – некоторое преобладание симпатической регуляции и у 2 обследованных – выраженное преобладание парасимпатической регуляции.

Забор крови из локтевой вены осуществляли в состоянии оперативного покоя до начала двигательной деятельности, на первой-второй минуте после завершения 15-минутного бега в разминочном темпе, а также на первой-второй минуте после окончания 15-минутного бега средней интенсивности. Определение доступных показателей системы крови и иммунограммы проводили на базе клинико-диагностической лаборатории ООО «ДокторЛаб» (лицензия на осуществление медицинской деятельности № Л041-01024-74/00316445 от 27.09.2017). Оценку фагоцитоза и НСТ-активности нейтрофилов (Нф) и определение содержания CD-лимфоцитов в периферической крови методом иммунофенотипирования осуществляли с применением проточной цитометрии.

Статистическую обработку результатов осуществляли с применением параметрических и непараметрических методов для связанных (критерий Вилкоксона) и несвязанных (U-критерий

Манна—Уитни) выборочных с применением пакета прикладных программ Excel и Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Результаты динамики показателей лейкограммы обследованных спортсменов при мышечной деятельности представлены в таблице 1.

Как видно из представленных данных, в состоянии оперативного покоя показатели лейкограммы испытуемых не выходили за пределы диапазона нормальных значений. При этом неуклонное повышение содержания лейкоцитов в процессе мышечной деятельности отражает развитие миогенного лейкоцитоза. Если динамика показателей лейкограммы после первой нагрузки отражает изменение баланса содержания пула циркулирующих и пристеночных популяций Нф, то после второй нагрузки имеет место развитие лимфоцитарной фазы миогенного лейкоцитоза с выходом в циркуляцию депонированных лимфоцитов.

Результаты динамики показателей иммунограммы у обследованных спортсменов при мышечной деятельности представлены в таблице 2.

Показатели фагоцитарной активности Нф повышались под влиянием выполнения 2-й нагрузки за счет увеличения содержания циркулирующих клеток. При этом относительное и абсолютное содержание НСТ-позитивных Нф в

индуцированном тесте после 2-й нагрузки значительно повышалось, а процентное содержание НСТ-негативных клеток существенно снижалось по сравнению с состоянием после 1-й нагрузки. В итоге после 2-й нагрузки в сравнении с состоянием после 1-й нагрузки значительно повышалась разница как между спонтанным уровнем содержания НСТ-позитивных и НСТ-негативных Нф, так и разница между резервным уровнем НСТ-позитивных клеток в индуцированном тесте и содержанием НСТ-негативных Нф.

Динамика содержания Т-лимфоцитов во время лимфоцитарной фазы миогенного лейкоцитоза после 2-й нагрузки отличалась противоположно направленными тенденциями в сравнении с состоянием покоя и после 1-й нагрузки: повышением количества CD3⁺ клеток в периферической крови на фоне снижения их процентного содержания. Увеличение содержания лимфоцитов в крови во время лимфоцитарной фазы миогенного лейкоцитоза обеспечивало сохранение уровня абсолютного содержания CD3-CD19⁺ лимфоцитов после 2-й нагрузки, несмотря на снижение их процентного содержания. Кроме того, во время лимфоцитарной фазы отмечалось достоверное снижение иммунорегуляторного индекса за счет уменьшения относительного содержания CD3⁺CD4⁺CD8-CD45⁺ клеток, тогда как процентное содержание CD3⁺CD4-CD8⁺CD45⁺

ТАБЛИЦА 1. ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЛЕЙКОЦИТОВ У СПОРТСМЕНОВ (n = 7) ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ, Me (Q_{0,25}-Q_{0,75})

TABLE 1. DYNAMICS OF WHITE BLOOD CELL CONTENT IN ATHLETES (n = 7) UNDER PHYSICAL ACTIVITY, Me (Q_{0,25}-Q_{0,75})

Показатели Indicators	В покое At rest	Нагрузка 1 1 st load	Нагрузка 2 2 nd load
Лейкоциты, × 10 ⁹ /л Leukocytes, × 10 ⁹ /L	6,30 (4,80-7,70)	6,60 (5,80-8,30)*	8,30 (7,9-10,5)* +
Эозинофилы, × 10 ⁹ /л Eosinophils, × 10 ⁹ /L	0,23 (0,14-0,31)	0,20 (0,12-0,30)	0,26 (0,21-0,39)* +
Палочкоядерные, × 10 ⁹ /л Rod-nucleated neutrophils, × 10 ⁹ /L	0,06 (0,00-0,14)	0,11 (0,00-0,17)*	0,08 (0,07-0,21)
Нейтрофилы, × 10 ⁹ /л Neutrophils, × 10 ⁹ /L	3,13 (2,49-4,00)	3,63 (3,13-4,56)	4,39 (3,71-5,25)* +
Моноциты, × 10 ⁹ /л Monocytes, × 10 ⁹ /L	0,47 (0,29-0,92)	0,53 (0,40-0,79)	0,65 (0,50-0,73)
Лимфоциты, × 10 ⁶ /л Lymphocytes, × 10 ⁶ /L	2,15 (1,55-2,46)	2,42 (1,97-2,56)	3,35 (2,70-3,99)* +

Примечание. Условные обозначения: * – уровень значимости различий $p < 0,05$ в сравнении с покоем; + – уровень значимости различий $p < 0,05$ в сравнении с нагрузкой. 1.

Note. Legend: *, level of significance of $p < 0.05$ differences versus rest; +, level of significance of $p < 0.05$ differences versus load 1.

ТАБЛИЦА 2. ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИММУНОГРАММЫ У СПОРТСМЕНОВ (n = 7) ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ, Me (Q_{0,25}-Q_{0,75})

TABLE 2. DYNAMICS OF IMMUNOGRAM PARAMETERS IN ATHLETES (n = 7) UNDER PHYSICAL ACTIVITY, Me (Q_{0,25}-Q_{0,75})

Показатели Indicators	В покое At rest	Нагрузка 1 1 st load	Нагрузка 2 2 nd load
Активность фагоцитоза, % × 10 ⁹ /л Phagocytic neutrophils, % × 10 ⁹ /L	63 (57-71) 1,78 (1,52-2,80)	56 (50-61) 1,88 (1,26-2,92)	57 (46-60) 2,31 (1,71-3,31)*
Спонтанный НСТ-тест, % × 10 ⁹ /л Spontaneous NBT-test, % × 10 ⁹ /L	10 (7-29) 0,36 (0,25-1,02)	16 (9-21) 0,44 (0,41-0,69)	15 (11-32) 0,67 (0,52-1,40)
Индукцированный НСТ-тест, % × 10 ⁹ /л Induced NBT-test, % × 10 ⁹ /L	69 (68-74) 2,28 (1,84-2,40)	62 (56-70) 2,51 (1,34-3,19)	74 (68-81)* 3,60 (2,82-3,83)* +
CD3 ⁺ CD19 ⁻ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /л CD3 ⁺ CD19 ⁻ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	73,9 (70,2-76,1) 1,64 (1,22-1,82)	71,0 (68,8-76,1) 1,71 (1,40-1,76)	66,4 (63,0-69,2)* + 2,08 (1,81-2,62)* +
CD3 ⁺ CD4 ⁺ CD8 ⁻ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /л CD3 ⁺ CD4 ⁺ CD8 ⁻ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	38,0 (35,0-43,2) 847 (618-935)	34,9 (34,0-44,5) 842 (711-928)	28,8 (28,0-33,0)* + 1096 (673-1150)
CD3 ⁺ CD4 ⁻ CD8 ⁺ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /л CD3 ⁺ CD4 ⁻ CD8 ⁺ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	25,2 (23,3-27,6) 561 (359-668)	23,0 (21,5-25,5)* 585 (402-643)	24,9 (21,5-27,1) 750 (590-910)* +
Иммунорегуляторный индекс, усл. ед. Immunoregulatory index, cond. units	1,60 (1,30-1,70)	1,60 (1,30-2,10)	1,20 (1,10-1,50)* +
CD3 ⁺ CD4 ⁻ CD8 ⁻ CD45 ⁺ × 10 ⁹ /л CD3 ⁺ CD4 ⁻ CD8 ⁻ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	9,5 (6,7-11,6) 183 (142-235)	10,1 (8,7-12,6) 228 (184-313)*	11,6 (9,3-14,4) 446 (220-573)*
CD3 ⁺ CD4 ⁺ CD8 ⁺ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /л CD3 ⁺ CD4 ⁺ CD8 ⁺ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	0,7 (0,3-1,4) 17,0 (5,0-25,0)	0,4 (0,3-1,5) 9,0 (8,0-36,0)	0,4 (0,1-1,1) 10,0 (4,0-36,9)
CD3 ⁻ CD19 ⁺ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /л CD3 ⁻ CD19 ⁺ CD45 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	11,8 (10,0-15,3) 254 (203-289)	11,4 (10,6-13,4) 264 (237-356)	9,5 (7,8-11,9)* + 311 (227-399)
CD3 ⁻ CD16 ⁺ CD56 ⁺ , % × 10 ⁹ /л CD3 ⁻ CD16 ⁺ CD56 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	9,8 (6,7-12,6) 195 (165-239)	12,6 (11,3-16,2) 319 (267-335)	21,1 (15,7-25,4)* + 626 (597-860)* +
CD3 ⁺ CD16 ⁺ CD56 ⁺ , % × 10 ⁹ /л CD3 ⁺ CD16 ⁺ CD56 ⁺ , % × 10 ⁹ /L	3,1 (2,0-3,4) 60,0 (48,0-77,0)	3,9 (0,6-4,2) 63,0 (15,0-105,0)	3,9 (2,9-5,3) 136,0 (78,0-192,0)*

Примечание. См. примечание к таблице 1.

Note. As for Table 1.

лимфоцитов значимо было ниже после 1-й нагрузки в сравнении с состоянием покоя. Динамика содержания дубль позитивных CD4⁺CD8⁺ лимфоцитов не проявляла значимых тенденций, тогда как количество дубль негативных CD4⁻CD8⁻ клеток после 1-й и 2-й физической нагрузки было существенно больше, чем в состоянии покоя.

Во время лимфоцитарной фазы, развивавшейся у испытуемых после повторной физической нагрузки, отмечалось статистически значимое увеличение относительного и абсолютного содержания CD3⁻CD16⁺CD56⁺ клеток, что согласуется с имеющимися литературными данными [1, 3]. Вместе с тем отмечавшееся у об-

следуемых спортсменов увеличение количества CD3⁺CD16⁺CD56⁺ лимфоцитов в этот период было связано с повышением общего содержания лимфоцитов в периферической крови.

В состоянии покоя показатели лейкограммы обследованных юношей и девушек не имели значимых различий, за исключением более низкого (p < 0,05) в группе девушек относительного содержания лимфоцитов (29,50±3,00% и 37,33±4,51%). Показатели иммунограммы у девушек в состоянии покоя характеризовались более высокими значениями количества позитивных Нф в индуцированном НСТ-тесте (2,89±0,87 × 10⁹/л) и более низком относительном содержании НК-клеток (7,77±2,33%), чем

у юношей ($1,83 \pm 0,33\%$ и $14,60 \pm 4,82\%$). При этом уровень содержания дубль негативных $CD4^-CD8^-$ ($11,30 \pm 2,27\%$) и дубль позитивных $CD4^+CD8^+$ лимфоцитов ($1,13 \pm 0,51\%$) у них достоверно ($p < 0,05$) превышал таковой у юношей ($7,20 \pm 0,95\%$ и $0,27 \pm 0,06\%$).

После выполнения повторной физической нагрузки количество Нф в крови у девушек ($5,07 \pm 0,79 \times 10^9/\text{л}$) было существенно выше, чем у юношей ($3,72 \pm 0,10 \times 10^9/\text{л}$), что обусловило более высокое количество фагоцитов в циркуляции ($2,92 \pm 0,60 \times 10^9/\text{л}$ и $1,66 \pm 0,53 \times 10^9/\text{л}$) и уровня спонтанных ($1,13 \pm 0,44 \times 10^9/\text{л}$ и $0,38 \pm 0,30 \times 10^9/\text{л}$) и индуцированных НСТ-позитивных Нф ($3,85 \pm 0,25 \times 10^9/\text{л}$ и $2,69 \pm 0,26 \times 10^9/\text{л}$). Следует отметить, что если после 1-й физической нагрузки у девушек прирост содержания НСТ-позитивных Нф в индуцированном тесте относительно спонтанного уровня был существенно больше ($55,50 \pm 5,45\%$), чем у юношей ($33,77 \pm 15,04\%$), то после второй физической нагрузки прирост НСТ-позитивных Нф в индуцированном тесте у юношей был значительно выше ($62,33 \pm 3,06\%$), чем у девушек ($52,50 \pm 5,45\%$). Кроме того, после повторной физической нагрузки у девушек отмечалось достоверно более низкое относительное и абсолютное содержание НК-клеток ($16,10 \pm 4,53\%$ и $0,62 \pm 0,25 \times 10^9/\text{л}$) и более высокое количество $CD3^-CD19^+$ клеток, ($0,41 \pm 0,09 \times 10^9/\text{л}$) по сравнению с группой юношей ($24,40 \pm 2,00\%$, $0,70 \pm 0,16 \times 10^9/\text{л}$ и $0,23 \pm 0,01 \times 10^9/\text{л}$ соответственно).

Таким образом, под влиянием дозированной мышечной деятельности динамика лейкограммы у обучающихся спортсменов сопровождалась неуклонным повышением содержания лейкоцитов в крови за счет значимого увеличения количества лимфоцитов на фоне тенденции повышения их относительного содержания после 2-й нагрузки. Подобная динамика показателей лейкограммы, очевидно, в полной мере соответствует развитию лимфоцитарной фазы миогенного лейкоцитоза. При этом у девушек в состоянии покоя относительное содержание лимфоцитов и НК-клеток было значимо ниже, а уровень количества НСТ-позитивных Нф в индуцированном тесте и относительного содержания дубль негативных $CD4^-CD8^-$ и дубль позитивных $CD4^+CD8^+$ лимфоцитов существенно выше, чем у юношей.

После выполнения 1-й физической нагрузки у испытуемых на фоне отсутствия статистически значимых изменений фагоцитарной и НСТ-активности Нф наблюдалось достоверное снижение относительного содержания $CD4^-CD8^+$ лимфоцитов и увеличение количества дубль негативных $CD4^-CD8^-$ клеток. При этом у девушек

прирост содержания НСТ-позитивных Нф в индуцированном тесте был значимо выше, чем у юношей.

Под влиянием увеличения мощности выполняемой повторной физической нагрузки на фоне общего увеличения количества фагоцитирующих Нф существенно увеличивался баланс спонтанных НСТ-позитивных и резервных потенциально активных Нф относительно содержания НСТ-негативных клеток в индуцированном тесте. При этом уровень нейтрофилаза у девушек был значительно выше, обуславливая более высокий уровень количества фагоцитов и абсолютного содержания НСТ-позитивных Нф в спонтанном и индуцированном тесте. Помимо того, во время лимфоцитарной фазы миогенного лейкоцитоза количество $CD3^+CD19^-$ лимфоцитов после 2-й нагрузки значимо повышалось на фоне существенного снижения их относительного содержания, тогда как количество $CD3^-CD19^+$ и $CD3^+CD4^+CD8^-CD45^+$ лимфоцитов в крови не изменялось, несмотря на достоверное снижение их относительного содержания. Очевидно, что отмеченные количественные изменения субпопуляций лимфоцитов не в полной мере способны компенсировать значимое угнетение функциональной активности этих клеток под влиянием интенсивных физических нагрузок, сопровождающихся глубокими нарушениями механизмов иммунного ответа [2, 3]. Кроме того, во время лимфоцитарной фазы у испытуемых на фоне повышения абсолютного содержания дубль негативных $CD4^-CD8^-$ и ТНК-лимфоцитов отмечалось статистически значимое повышение относительного и абсолютного содержания НК-клеток. У юношей после 2-й физической нагрузки относительное и абсолютное содержание НК-клеток, а также прирост процентного содержания НСТ-позитивных клеток в индуцированном тесте были существенно выше, чем у девушек, несмотря на значимо более низкое количество Нф в периферической крови.

Заключение

Таким образом, после выполнения легкой 15-ти минутной двигательной активности при отсутствии значимых изменений показателей фагоцитарной и НСТ-активности Нф у испытуемых отмечалось достоверное снижение относительного содержания $CD4^-CD8^+$ и увеличение количества $CD4^-CD8^-$ -клеток. При повторной 15-ти минутной физической нагрузке умеренной мощности на фоне развития лимфоцитарной фазы миогенного лейкоцитоза отмечалось существенное снижение доли неактивных Нф в

индуцированном НСТ-тесте и увеличение уровня общей поглотительной способности этих клеток за счет повышения их количества. При этом значительно повышалось количество CD3⁺CD19⁻ на фоне существенного снижения их относительного содержания. Количество CD3⁺CD19⁺ и CD3⁺CD4⁺CD8⁻CD45⁺ не существенно изменялось, несмотря на достоверное снижение их содержания. Абсолютное содержание CD4⁺

CD8⁻, CD3⁺CD16⁺CD56⁺ и CD3⁻CD16⁺CD56⁺-лимфоцитов повышалось после повторной 15-ти минутной физической нагрузки. В отличие от девушек у юношей после 2-й физической нагрузки относительное и абсолютное содержание НК-клеток, а также прирост процентного содержания НСТ-позитивных клеток в индуцированном тесте были существенно выше, несмотря на более низкое количество Нф в крови.

Список литературы / References

1. Афанасьева И.А. Показатели неспецифической защиты у спортсменов при интенсивных физических нагрузках // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта, 2006. № 22. С. 11-15. [Afanasyeva I.A. Indicators of nonspecific protection in athletes under intense physical activity. *Uchenyye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta = Scientific Notes of P. Lesgaft University*, 2006, no. 22. pp. 11-15. (In Russ.)]
2. Долгушин И.И., Колесников О.Л., Селянина Г.А., Мезенцева Е.А. Влияние физической нагрузки на иммунный ответ // Медицинская иммунология, 1999. № 3-4. С. 12. [Dolgushin I.I., Kolesnikov O.L., Selyanina G.A., Mezentseva E.A. Effect of physical activity on the immune response. *Meditsinskaya immunologiya = Medical Immunology (Russia)*, 1999, no. 3-4. p. 12. (In Russ.)]
3. Калинин С.А., Шульгина С.М., Антропова Е.Н., Рыкова М.П., Садова А.А., Кутько О.В., Орлова К.Д., Яздовский В.В., Кофиади И.А. Состояние системы иммунитета человека и животных при физических нагрузках различного генеза // Иммунология, 2019. № 40 (3). С. 72-82. [Kalinin S.A., Shulgina S.M., Antropova E.N., Rykova M.P., Sadova A.A., Kutko O.V., Orlova K.D., Yazdovsky V.V., Kofiadi I.A. State of the human and animal immunity system under physical exertion of various genesis. *Immunologiya = Immunologiya*, 2019, no. 40 (3). pp. 72-82. (In Russ.)]

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

Зурочка В.А. — д.м.н., старший научный сотрудник лаборатории трансмиссивных вирусных инфекций и клещевого энцефалита ФБУН «Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций “Вирум”» Роспотребнадзора; старший научный сотрудник лаборатории иммунопатофизиологии ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Authors:

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

Zurochka V.A., PhD, MD (Medicine), Senior Research Associate, Laboratory of Vector-borne Viral Infections and Tick-borne Encephalitis, Federal Research Institute of Viral Infections “Virom” of Rospotrebnadzor; Senior Research Associate, Laboratory of Immunopathophysiology, Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

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

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

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

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

Поступила 03.04.2024
Отправлена на доработку 04.04.2024
Принята к печати 11.04.2024

Received 03.04.2024
Revision received 04.04.2024
Accepted 11.04.2024