

УДК: 612.112 + 612.017.1 + 612.014.4

Д. Н. Дроздов¹, А. В. Кравцов²¹Кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры зоологии, физиологии, генетики
ГГУ им. Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь²Фельдшер-лаборант ГУЗ ГГКПБ, г. Гомель, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

В работе представлены результаты исследования влияния физической нагрузки на показатели периферической крови человека. В качестве объекта исследования рассматривалась периферическая кровь, взятая у обследованных мужчин в возрасте от 20 до 35 лет до и после выполнения спортивной тренировки. По результатам общего анализа крови обследованной группы было определено влияние физической нагрузки на вариацию основных морфологических показателей крови (концентрация гемоглобина, содержание эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов), что позволило оценить границы реактивности системы крови до и после физической нагрузки. Определение изучаемых показателей производилось на автоматическом гематологическом анализаторе XS 10000i, предназначенном для диагностики in vitro. Установлено достоверное увеличение содержания эритроцитов выше верхней границы физиологической нормы (более 10%), увеличение вариации значений содержания лейкоцитов и тромбоцитов.

Ключевые слова: физическая нагрузка, кровь, общий анализ.

Введение

В настоящее время в научной литературе открытым остается вопрос о возможности и границах использования показателей периферической крови для оценки влияния физической нагрузки на организм человека. Выполнено большое количество работ, направленных на выявление закономерностей срочного и кумулятивного эффекта физической нагрузки. В научных публикациях В. В. Винантова (1996), Л. Р. Калимуллина (2005) и др. представлены результаты по показателям кардиореспираторной системы, морфологическим и биохимическим показателям крови. Установлено, что у спортсменов под влиянием систематических тренировок происходят выраженные изменения в системе крови. В работе Ю. А. Петрова (1992) показано, что у спортсменов под влиянием тренировок происходит увеличение объема циркулирующей крови, его составляющих и общего количества гемоглобина, рассчитанное на килограмм массы тела в покое и после физической нагрузки, количество лейкоцитов в литре крови и величина гематокрита. Изменения со стороны крови носят приспособительный характер, они определяют функциональную устойчивость систем организма и являются показателем адаптационной мобильности. В свою очередь, функциональная устойчивость зависит от индивидуальной полиморфности и генофонда, специфики воздействующих на организм факторов, пола, возраста, состояния психофизиологического потенциала, уровня здоровья и степени реактивности организма. Важное место имеет стаж и характер спортивной деятельности [1]–[4].

Возникновение устойчивых изменений, сопровождающих выполнение регулярных физических упражнений, является результатом биохимических и физиологических сдвигов в системе организма. Появление таких сдвигов находит свое отражение в работе внутренних органов и системе крови. В основе изменений, возникающих при выполнении физической нагрузки, лежит изменение направленности метаболизма. В организме повышается скорость катаболических процессов, сопровождающихся выделением энергии и синтезом АТФ, при одновременном снижении скорости анаболизма. Такие изменения приводят к улучшению энергообеспечения работающих мышц, повышают мощность и продолжительность выполняемой работы [5], [6].

Регуляция метаболических процессов осуществляется на уровне нейрогуморальной системы. Пусковым сигналом, по-видимому, является резкое поступление в кровь продуктов окисления и местная тканевая гипоксия. Ответом на физическую нагрузку является повышение тонууса симпатического отдела вегетативной нервной системы, следствием – повышение частоты дыхания, частоты сердечных сокращений, увеличение скорости кровотока, расширение кровеносных сосудов и усиление кровоснабжения органов. Повышение скорости окислительных процессов ведет

к высвобождению избыточной тепловой энергии, которая компенсируется усилением потоотделения [7]. Одновременно происходит отток крови из депо (селезенки, лимфатических узлов, красного костного мозга, легких, печени) и органов, непосредственно не принимающих прямого участия в обеспечении функционирования мышц. В результате этого происходит перераспределение общего объема циркулирующей крови. В случае, когда физическая нагрузка достаточно интенсивна и длительна, например бег более десяти минут, часть плазмы уходит из сосудистого русла в межклеточную жидкость, вследствие чего увеличивается концентрация форменных элементов крови, прежде всего эритроцитов, транспортирующих кислород. Увеличение числа эритроцитов на 10–20% от дорабочего уровня установлено после бега на 3–10 км (Hartmann, Jokl, 1930). В таких условиях один и тот же объем крови способен перенести больше кислорода работающим мышцам. Результатом эритроцитоза является увеличение кислотной емкости крови, которая повышается на 4–10% [8]. Недостатком уменьшения объема плазмы является увеличение вязкости крови, затрудняющее работу сердца. Повышению вязкости крови в ходе выполнения физических упражнений также способствует и ранее указанное повышение потоотделения. Обильное потоотделение способствует дополнительной потере жидкой части плазмы. Суммарное увеличение вязкости крови может достигать 70% [9].

В зависимости от характера выполняемой работы в крови повышается содержание продуктов распада гликогена и мышечных белков. Продукты распада гликогена влияют на показатель кислотно-щелочного равновесия (рН-крови). Так, например, в покое значение рН венозной крови равно 7,35–7,36. При мышечной работе субмаксимальной мощности, вследствие накопления в крови лактата, величина рН снижается до 7,10–7,20. В случае умеренной по интенсивности нагрузки (ходьба) содержание продуктов распада невелико и большинство из них успевает полностью расщепиться до углекислого газа и воды и удалиться из организма органами выделения. Первые порции лактата, диффундирующие из мышц в кровяное русло, нейтрализуются буферными системами крови. В дальнейшем, по мере исчерпания емкости буферных систем, наблюдается повышение кислотности крови, возникает некомпенсированный ацидоз. Для дезактивации продуктов белкового обмена в крови необходимы дополнительные концентрации лейкоцитов в крови. Увеличение количества лейкоцитов в периферической крови после выполнения физической нагрузки установлено в конце XIX века (W. Winteritz, E. Willebrand), это явление получило название миогенный лейкоцитоз (E. Grawitz, 1910). Позднее в работах А. П. Егорова (1926) было показано, что миогенный лейкоцитоз включает три фазы, сопровождающиеся повышением количества белых кровяных телец на 33%, 50% и более чем в 4,5 раза. Автор установил два возможных варианта развития заключительной третьей фазы, которая может сопровождаться резким повышением лейкоцитов до $50 \times 10^9/\text{л}$ (регенеративный тип лейкоцитоза), либо, наоборот, резкое снижение концентрации лейкоцитов до физиологической нормы (дегенеративный тип лейкоцитоза). Последний факт сопровождается абсолютной лимфо- и эозинопенией и появлением дегенеративных форм лейкоцитов, что свидетельствует о чрезмерности нагрузки [10]. Таким образом, характер изменения уровня лимфоцитов в крови в ответ на физическую нагрузку может являться одним из прогностических признаков уровня адаптации к физической нагрузке. Относительно малоинвазивные и простые средства в определении показателей общего анализа крови могут быть применены для изучения механизма адаптации организма к физической нагрузке и уровня его тренированности.

В большинстве случаев в научной литературе представлены данные, полученные на людях, имеющих продолжительный и систематический спортивный стаж или специализирующихся в определенном виде спорта. Их подготовка ведется по определенной программе, направленной на достижение личного или командного результата. В то же время имеется довольно значимая категория людей, самостоятельно занимающихся в спортивных секциях и клубах любительского спорта. Такого рода занятия имеют несколько иной режим тренировок, а, следовательно, и иной характер реактивности организма. В доступной нам литературе мы не встретили данных о медико-биологической оценке морфологического или функционального состояния подобной группы людей.

В связи с этим целью данной работы явилось изучение влияния физической нагрузки на показатели крови у лиц, не занимающихся спортом профессионально; оценка вариации основных морфологических показателей крови и границы реактивности системы крови до и после физической нагрузки.

Материал и методика исследований. Для достижения поставленной цели на базе УО «Гомельская федерация Джиу-джитсу» в течение двух месяцев проводилось обследование группы мужчин в возрасте от 20-ти до 35-ти лет. Всего обследовано 33 человека, которые на протяжении более чем трех лет регулярно посещали занятия. Перед выполнением специальных упражнений на занятии в течение

30 минут проводилась стандартная тренировка, которая включает: 15 минут бег в умеренном темпе (30 м/мин), 15 минут комплекс силовых упражнений (подтягивания 20 раз в минуту, отжимания от пола 50 раз в минуту, приседания 50 раз в минуту). После выполнения разминочных упражнений участники 30 минут выполняли элементы спарринга (броски). Начальный этап тренировки можно охарактеризовать как комплекс упражнений средней аэробной мощности, которому соответствует уровень потребления кислорода 55–65% от индивидуального максимального поглощения. Это упражнения, при выполнении которых почти вся энергия рабочих мышц обеспечивается аэробными процессами. Основным энергетическим субстратом служат жиры рабочих мышц и крови, в меньшей степени значение имеют углеводы (дыхательный коэффициент около 0,8). Предельная продолжительность таких упражнений до нескольких часов. Заключительный этап тренировки (спарринг) сочетает скоростно-силовые упражнения со статическим напряжением мышечной системы (броски и захваты). Статическое напряжение адаптировано к работе преимущественно в анаэробном режиме. Расход энергии при борьбе очень высокий. При выполнении захвата он достигает в среднем 10–12 ккал и более за 1 мин. Частота дыхательных движений во время выполнения элемента увеличивается до 35–40 и более движений в минуту [10].

Проведение обследования включало забор периферической крови до начала выполнения упражнений и сразу после окончания. Методика включала стандартную процедуру взятия капиллярной крови из пальца в мини-контейнер, содержащий консервант и антикоагулянт трилон-В. В течение часа пробы были доставлены в клинично-диагностическую лабораторию ГУ «ГГКБ №3» и обработаны на автоматическом гематологическом анализаторе SX10000i, предназначенном для диагностики *in vitro*. В основе работы анализатора используется метод проточной флуоресцентной цитометрии с использованием полупроводникового лазера. Эритроциты и тромбоциты анализировались с помощью эритроцитарного детектора, использовался метод гидродинамической фокусировки [11].

Для оценки влияния физической нагрузки на состояние показателей периферической крови использовались результаты общего анализа крови до и после физической нагрузки. Статистическая обработка результатов исследований выполнена с использованием прикладных программ MS Excel 2007 и Statistica for Windows 6.0. Оценка достоверности различий осуществлялась на основе критерия Фишера. Влияние физической нагрузки на показатели крови оценено методом однофакторного дисперсионного анализа.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование периферической крови до выполнения комплекса физических упражнений показало, что концентрация гемоглобина в крови составила в среднем $150,48 \pm 1,24$ г/л, содержание эритроцитов в крови – $5,00 \pm 0,08 \times 10^{12}$ /л, лейкоцитов – $6,69 \pm 0,19 \times 10^9$ /л, т. е. данные показатели находятся в пределах физиологической нормы ($p < 0,05$). Вместе с тем установлено, что показатели по гемоглобину и эритроцитам крови ближе к верхней границе физиологической нормы. Результаты анализа периферической крови после выполнения комплекса упражнений показали, что для всех показателей наблюдается достоверное увеличение средних значений ($p < 0,05$). Наиболее резкие изменения наблюдались для эритроцитов (на 10%) и лейкоцитов (на 9%). Причем, следует отметить, что показатель содержания эритроцитов в крови после физической нагрузки превысил значение физиологической нормы для данной возрастной группы ($p < 0,05$).

Увеличение содержания гемоглобина и количества форменных элементов крови свидетельствует о наличии приспособительной реакции периферической крови на физическую нагрузку. В таблице 1 представлены значения показателей периферической крови до и после физической нагрузки.

Таблица 1. – Показатели исследованной крови

Показатель	X±m		Норма*	p-уровень
	до нагрузки	после нагрузки		
Гемоглобина, г/л	150,48±2,13	158,90±2,19	130–160	<0,01
Эритроциты, 10^{12} /л	4,96±0,36	5,49±0,40	4,0–5,0	<0,01
Лейкоциты, 10^9 /л	6,68±0,44	7,31±0,47	4,5–9,0	<0,02
Тромбоциты, 10^9 /л	188,33±2,38	205,27±2,49	180–320	<0,02

* – по данным Г. П. Матвейкова (1986), А. И. Воробьева (2005) [12]

Из таблицы 1 видно, что после физической нагрузки концентрация гемоглобина в крови увеличились более чем на 6%, следовательно, увеличилась кислородная емкость крови (до 216%). Вместе с тем явления выраженного лейкоцитоза установлено не было, показатель количества лейкоцитов в крови не превысил верхней границы нормы. Поэтому в данном случае нельзя говорить о наличии миогенного лейкоцитоза.

Сравнение результатов до и после тренировки, представленных в таблице 1, показывает, что реакция крови на фактор физической нагрузки для разных показателей различна. Наиболее выраженной является реакция эритроцитов. Увеличение концентрации эритроцитов свидетельствует об изменении физико-химических свойств крови, в частности об увеличении вязкости и понижении рН крови.

Согласно работам Merrill E., Wells R. (1961) и Snigger G. (1971), увеличение гематокритного числа на 25% ведет к увеличению вязкости крови на 20%. Поскольку основную долю форменных элементов крови составляют эритроциты, то ориентировочное изменение общей вязкости крови для данного вида физической нагрузки составило около 10%. Используя метод однофакторного дисперсионного анализа, оценили степень влияния физической нагрузки на показатели периферической крови. Результаты дисперсионного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Показатель	σ^2	δ^2	$F_{расч}$	$F_{кр}$	р-уровень	Сила влияния, %
Гемоглобин	1171	3503	22	4	<0,01	25
Эритроциты	4	13	22	4	<0,01	25
Лейкоциты	7	81	5	4	<0,02	8
Тромбоциты	4734	29530	10	4	<0,02	16

Результаты однофакторного анализа показывают, что наибольшее влияние физическая нагрузка оказывает на динамику гемоглобина и эритроцитов периферической крови (25%). В меньшей степени физическая нагрузка влияет на увеличение лейкоцитов и тромбоцитов крови. Установлено, что изучаемый фактор физической нагрузки статистически достоверно влияет на показатели периферической крови при уровне значимости $p < 0,05$.

Кроме того, обращает внимание динамика коэффициентов вариации показателей крови до и после физической нагрузки. На рисунке представлена динамика показателей концентрации эритроцитов и тромбоцитов до и после физической нагрузки.

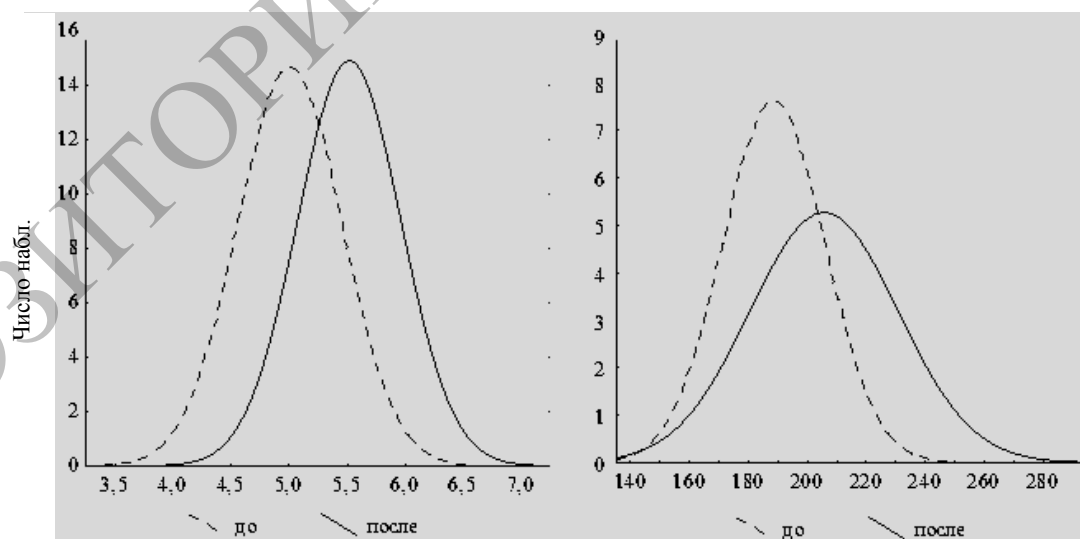


Рисунок – Динамика показателей концентрации эритроцитов (слева) и тромбоцитов (справа) до и после физической нагрузки

Для концентрации гемоглобина величина коэффициента вариации увеличилась не более чем на 2% (с 4,73 до 4,82); для концентрации эритроцитов вариация уменьшилась на 11% (с 9,0 до 8,03); для лейкоцитов на 6% (с 16,56 до 15,64). Наличие отрицательной разницы между вариацией для эритроцитов и лейкоцитов до и после тренировки указывает на стабилизирующее действие фактора нагрузки, мобилизующей резервные силы организма. В то же время динамика содержания для тромбоцитов крови принимает дистрибутивный характер – разброс значений после физической нагрузки увеличился на 33% (с 9,17 до 12,18).

Выводы

В ходе исследования установлено достоверное повышение количественных показателей крови под влиянием физической нагрузки. Наиболее реактивным звеном являются эритроциты периферической крови, количество которых после нагрузки увеличилось на 10% и превысило верхнюю границу физиологической нормы. В то же время содержание лейкоцитов и тромбоцитов не превысило верхней границы нормы, наличие миогенного лейкоцитоза установлено не было.

Фактор физической нагрузки по-разному повлиял на вариацию показателей крови. Вариация значений концентрации гемоглобина и тромбоцитов увеличилась, а эритроцитов и лейкоцитов стала меньше. Наблюдаемый нами результат, по-видимому, свидетельствует о наличии стабилизирующих механизмов регуляции уровня эритроцитов в крови. Необходимость такого механизма можно объяснить зависимостью вязкости и кислотности крови, как жестких констант организма, от концентрации эритроцитов и продуктов окисления.

Наличие хорошо выраженного эритроцитоза и увеличение вариабельности количества тромбоцитов крови позволяют использовать данные показатели в качестве одного из возможных морфологических индикаторов реактивности периферической крови и состояния организма на физическую нагрузку.

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров, Н. П. Изменения в системе красной крови человека (эритроциты) при адаптации к новым условиям / Н. П. Александров // Здоровье. – 2010. – №1. – С. 16–25.
2. Горшкова, Т. Н. Влияние мышечной деятельности на картину красной и белой крови юношей и взрослых спортсменов / Т. Н. Горшкова // Проблемы физиологии спорта. – 1960. – С. 58–72.
3. Горшкова, Т. Н. Показатели крови при спортивной деятельности юношей и взрослых спортсменов / Т. Н. Горшкова // Проблемы физиологии спорта. – 1961. – С. 15–22.
4. Ефименко, А. М. Особенности морфологического состава крови, функциональных свойств клеток и белков сыворотки крови в различные периоды тренировочного процесса стайеров / А. М. Ефименко, В. В. Ширяев, Н. В. Толкачева // Спортивная медицина. – 1978. – С. 187–188.
5. Бочкарева, А. А. Влияние физических нагрузок на изменения суточной динамики клеток крови / А. А. Бочкарева, И. М. Лисова, Т. И. Джандарова // БМИК. – 2011. – №7. – С. 18–28.
6. Волков, Н. И. Энергетический обмен и работоспособность человека в условиях напряженной мышечной деятельности : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Н. И. Волков. – М., 1969. – 18 с.
7. Горизонтов, П. Д. Система крови как основа резистентности и адаптации организма / П. Д. Горизонтов // Физиологический журнал СССР. – 1981. – Вып. 27(3). – С. 317–321.
8. Буянов, В. П. Исследования изменения объема циркулирующей крови при физических нагрузках / В. П. Буянов // Кардиология. – 1989. – № 3. – С. 143–148.
9. Хабибулина, И. Р. Влияние физической нагрузки на различные звенья системы крови у фехтовальщиков / И. Р. Хабибулина, Э. Р. Румянцева / Вестник ЮУрГУ. Сер. Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2006. – № 3–1. – С. 46–54.
10. Коц, Я. М. Спортивная физиология / Я. М. Коц. – М. : Физкультура и спорт, 1998. – 240 с.
11. Сайт научно-производственной фирмы «Медилэнд» [Электронный ресурс] / Регистрационные документы МЗРК Респ. Беларусь. – URL: http://www.mediland.kz/index.php?id=8&show_cat=2&page=4 (дата обращения : 16.06.2014).
12. Зинчук, В. В. Нормальная физиология. Краткий курс : учеб. пособие / В. В. Зинчук, О. А. Балбатун, Ю. М. Емельяничук ; под ред. В. В. Зинчук. – Минск : Высш. шк., 2012. – С. 25–26.

Поступила в редакцию 22.10.14

E-mail: dndrosdow@mail.ru, iskatelsmysla@mail.ru

D. N. Drozdov, A. V. Kravtsov

EFFECT OF EXERCISE ON THE HUMAN PERIPHERAL BLOOD

The article presents the results investigation of the influence of exercise on the human peripheral blood indicators. As the object for our research, we chose men aged 20 to 35. Peripheral blood before and after exercise were taken. According to the results of the general analysis of blood group surveyed was determined the effect of exercise on the variation of the basic morphological parameters of blood (hemoglobin concentration, red blood cells, white blood cells and platelets), which made it possible to estimate the limits of reactivity of the blood system before and after exercise. Determination of the studied parameters was performed on an automated hematology analyzer XS 10000i. intended for the diagnosis in vitro. We found a significant increase of the upper limit of erythrocytes physiological range (greater than 10%), the variation values of the content of leukocytes and platelets.

Key words: physical activity, blood, general analysis.

РЕПОЗИТОРИЙ ГТУ ІМЕНІ Ф. СКОРИНЬКІ