

## ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



**Лойко Т.В.**

канд. пед. наук,  
доцент,  
Белорусский  
государственный  
университет  
физической культуры

Исследование показало, что даже незначительное отклонение беговой поверхности от горизонтального уровня (угол ее подъема составлял 5°) сопровождалось усилением гемодинамических процессов, направленных на удовлетворение кислородного запроса и энергетических потребностей сокращающихся мышц. На этом основании сделан вывод о том, что сложный рельеф местности, на которой в отдельных видах спорта может осуществляться тренировочный процесс, значительно увеличивает функциональную стоимость выполняемых физических упражнений. Это целесообразно учитывать при планировании тренировочных нагрузок спортсменов разного возраста и уровня подготовленности.

**Ключевые слова:** спортивная тренировка; физическое упражнение; мышечная деятельность; физическая нагрузка; сердечно-сосудистая система; гемодинамика; насосная функция сердца; функциональные резервы; рельеф местности.

### INFLUENCE OF TERRAIN RELIEF ON HEMODYNAMIC SUPPORT OF MUSCLE ACTIVITY

The study shows that even a slight deviation of the running surface from the horizontal level (its elevation angle is 5°) is accompanied by an increase in hemodynamic processes aimed at satisfying the oxygen demand and energy needs of contracting muscles. On this basis, it has been concluded that the complex terrain on which the training process can be carried out in certain sports significantly increases the functional cost of the physical exercises performed. It is advisable to take this into account when planning training loads for athletes of different ages and levels of preparedness.

**Keywords:** sports training; physical exercise; muscle activity; physical activity; cardiovascular system; hemodynamics; pumping function of the heart; functional reserves; terrain.

### ВВЕДЕНИЕ

Полное удовлетворение кислородного запроса сокращающихся мышц является важнейшим условием длительного сохранения их работоспособности на достаточно высоком уровне. Гипоксия мышц снижает содержание в мышечных клетках таких макроэргических соединений как аденозинтрифосфорная кислота и креатинфосфат [1]. Это создает дефицит энергии, на фоне которого снижаются сократительные возможности скелетной мускулатуры.

Большую роль в обеспечении кислородного запроса работающих мышц играют увеличение минутного объема крови и перераспределение кровотока между работающими и неработающими органами. Это позволяет увеличить доставку кислорода к сокращающимся мышцам, активизировать энергопродукцию в мышечных волокнах и ускорить выведение из них продуктов метаболизма [1, 2, 3].

При выполнении легкой физической нагрузки на долю сокращающихся мышц приходится 47 % от ра-

бочей величины минутного объема крови, средней – 71 %, максимальной – 88 % (в состоянии покоя – всего 21 %) [2, 4].

Быстрая активизация работы сердца в первые секунды мышечной деятельности является безусловнорефлекторным ответом на усиление импульсной активности исключительно проприорецепторов сокращающейся мускулатуры. По мере продолжения работы возрастает поток афферентных импульсов от хеморецепторов, чувствительных к накоплению в крови продуктов метаболизма [4].

Ведущим фактором, влияющим на интенсивность кровотока в работающих мышцах, является величина артериального давления. Она в значительной степени определяет скорость метаболизма и выведения продуктов распада, эффективность гуморальной регуляции функций. Большая роль в поддержании необходимой величины артериального давления принадлежит сердечной деятельности [4, 5, 6].

Насосную функцию сердца характеризуют такие показатели, как частота сердечных сокращений и систолический объем крови. Степень их увеличения, их вклад в прирост минутного объема крови в первую очередь определяются характером мышечной деятельности и функциональными возможностями организма [1, 2, 4, 7, 8].

Увеличение минутного объема крови во время мышечной работы преимущественно за счет роста систолического объема крови позволяет снизить энергозатраты организма. Важнейшим фактором, лимитирующим увеличение систолического объема крови, является низкая сократительная способность сердца. Она же ограничивает потребление кислорода работающими мышцами, а следовательно, лимитирует физическую работоспособность спортсмена [1, 4, 9, 10, 11, 12].

Увеличение систолического объема крови во время мышечной деятельности обеспечивается следующими механизмами [2, 4, 11, 13]:

1. Усилением симпатической стимуляции работы сердца.
2. Усилением механизмов инотропизма и Франка-Старлинга.
3. Включением «мышечного насоса».
4. Усилением присасывающего действия грудной клетки вследствие активизации дыхания.

Вклад этих механизмов в обеспечение адекватного кровоснабжения работающих мышц определяется характером работы.

С началом мышечной деятельности одновременно с увеличением систолического объема крови отмечается и прирост частоты сердечных сокращений. Во время напряженной мышечной деятельности и в течение первых 5–10 с восстановления она, как правило, находится в пределах 170–200 уд/мин. Это обеспечивает высокий уровень минутного объема крови, необходимый для такой работы.

Более высокая частота сердечных сокращений свидетельствует о недостаточной способности сердца поддерживать высокий уровень кровообращения, требуемый для выполнения интенсивной мышечной деятельности. Выход на чрезвычайно высокую частоту сердечных сокращений (200–220 уд/мин и более) является компенсацией недостаточной величины предельного систолического объема крови [2, 4, 11].

Гемодинамическое обеспечение мышечной деятельности при выполнении различных физических упражнений имеет свои отличительные особенности [3, 4, 8, 12]:

1. При выполнении физической нагрузки в положении лежа увеличение минутного объема крови достигается в основном за счет роста частоты сердечных сокращений. При выполнении физической нагрузки в вертикальном положении он повышается преимущественно за счет увеличения систолического объема крови.

2. Работа ног сопровождается меньшим ростом частоты сердечных сокращений и большим увеличением систолического объема крови по сравнению с со-

поставимой по величине и характеру работой рук. Причина этого, вероятно, кроется в большем объеме мышечной массы нижних конечностей, что усиливает работу «мышечного насоса», способствующего осуществлению венозного возврата к сердцу, увеличению систолического объема крови. Это позволяет уменьшить рост частоты сердечных сокращений в процессе мышечной деятельности.

3. Упражнения силовой направленности сопровождаются натуживанием, повышающим внутригрудное и внутрибрюшное давление. Это уменьшает приток крови к сердцу, затрудняя рост систолического объема крови. Снижению венозного возврата при статических усилиях, особенно продолжительных, способствует также нарушение оттока крови от конечностей. Вследствие снижения венозного возврата при выполнении силовой работы, особенно статической, минутный объем крови увеличивается преимущественно за счет роста частоты сердечных сокращений.

Адекватное гемодинамическое обеспечение работающих мышц возможно только в том случае, когда развиваемое ими напряжение не превышает 4–8 % от их максимума [3, 4, 12].

Помимо особенностей мышечной деятельности, на характер ее гемодинамического обеспечения могут влиять и некоторые условия окружающей среды, в которых выполняется физическое упражнение.

## ■ ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель настоящего исследования – изучить влияние рельефа местности на гемодинамическое обеспечение мышечной деятельности.

Для достижения поставленной цели было обследовано 49 студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры» в возрасте 18–20 лет.

Исследуемые последовательно выполняли 2 пятиминутные физические нагрузки в виде бега со скоростью 200 м/мин. Первая из них (нагрузка 1) выполнялась по горизонтальной беговой дорожке, вторая (нагрузка 2) – по наклонной беговой дорожке. Угол ее подъема составлял 5°. Отдых между нагрузками – 15 мин.

Выбор второй тестовой нагрузки обусловлен результатами предварительного пилотного эксперимента. Они показали, что увеличение подъема беговой поверхности с 5° до 10° сопровождалось увеличением случаев выхода частоты сердечных сокращений за верхнюю границу оптимального рабочего диапазона. Для 18–20-летних юношей она соответствует 180 уд/мин. Учащались и случаи выявления феномена бесконечного тона. На этом основании было принято решение о нецелесообразности использования 10° подъема беговой поверхности в рамках проведения констатирующего эксперимента.

Пятиминутная продолжительность беговой нагрузки обеспечивала выход организма на устойчивое состояние, для которого характерна стабилизация ге-

Таблица – Изменение гемодинамических показателей в зависимости от условий выполнения мышечной деятельности

Показатели	Состояния				Значимость различий (p)	
	покой 1	покой 2	нагрузка 1	нагрузка 2	между состояниями покоя	между нагрузками
ЧСС, уд./мин	76,88± 1,61	80,63± 1,81	132,73 ± 3,03	149,76± 3,19	>0,05	<0,05
СД, мм рт. ст.	118,27 ± 1,43	117,22± 1,39	144,29 ± 2,20	153,06± 2,48	>0,05	<0,05
ДД, мм рт. ст.	77,65± 1,20	75,91± 1,19	72,76± 1,73	64,59± 3,25	>0,05	>0,05
ПД, мм рт. ст.	40,61± 1,30	41,31± 1,36	71,53± 3,01	88,47± 4,65	>0,05	<0,05
Адср, мм рт. ст.	91,19± 1,13	89,69± 1,09	96,59± 1,27	94,08± 2,07	>0,05	>0,05
ОГП, усл. ед.	168,07 ± 1,90	170,32±2,02	229,33 ± 2,91	243,84± 3,04	>0,05	<0,05
Прирост ЧСС, уд/мин	–	–	55,86± 2,28	69,12± 2,19	–	<0,05
Прирост СД, мм рт. ст.	–	–	26,02± 1,46	35,84± 2,01	–	<0,05

гемодинамических показателей на уровне, соответствующем интенсивности мышечной деятельности [14].

15-минутный интервал отдыха между нагрузками обеспечивал возвращение всех изучаемых показателей гемодинамики к уровню покоя. Более короткого промежутка времени зачастую было недостаточно для возвращения гемодинамических показателей (особенно частоты сердечных сокращений) к исходному уровню перед выполнением второй беговой нагрузки.

В ходе констатирующего эксперимента в состоянии покоя и после каждой физической нагрузки у студентов определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое и диастолическое давление (соответственно СД и ДД). Рассчитывали пульсовое и среднее давление (соответственно ПД и Адср), общий гемодинамический показатель (ОГП) [15], а также прирост частоты сердечных сокращений и систолического давления по отношению к уровню покоя при выполнении каждой беговой нагрузки.

Установлено, что между исходными значениями изучаемых показателей, зарегистрированных перед обеими физическими нагрузками, статистически значимые различия отсутствовали (таблица).

Выполнение обеих беговых нагрузок активизировало работу сердечно-сосудистой системы, направленную на обеспечение возросшего кислородного запроса сокращающихся мышц. Об этом свидетельствует соответствующая динамика всех изучаемых гемодинамических показателей (таблица). При этом наиболее существенный вклад в приспособление гемодинамики к нуждам работающей мускулатуры внесло не столько усиление сердечной деятельности, сколько ее учащение. Об этом косвенно свидетельствует более выраженный прирост частоты сердечных сокращений по сравнению с приростом систолического давления в процессе бега как по горизонтальной, так и по наклонной поверхности. При выполнении первой нагрузки прирост обсуждаемых показателей по отношению к уровню покоя составил соответственно 74 и 22 %. Второй – соответственно 87 и 31 %.

Обе нагрузки, выполненные юношами, были идентичными по скорости бега и его продолжительности.

Однако по объему мышечной работы, совершенной в первом и во втором случае, они существенно отличались. Во время бега по горизонтальной поверхности скелетные мышцы совершали механическую работу, направленную исключительно на продвижение исследуемого вперед на 1000 м. Бег по наклонной поверхности требовал дополнительных мышечных усилий по перемещению исследуемых и в вертикальной плоскости (по итогам 5 мин работы подъем составил 87 м). Это увеличило кислородный запрос и энергетические потребности работающих мышц, удовлетворение которых потребовало более глубокой перестройки гемодинамики под возросшие нужды сокращающейся мускулатуры. Статистически значимые различия выявлены практически по всем изучаемым показателям гемодинамики (таблица).

Анализ средней величины рабочей частоты сердечных сокращений при выполнении обеих физических нагрузок показал, что бег по горизонтальной поверхности выполнялся ниже уровня порога анаэробного обмена. Бег по поверхности с подъемом 50 – на уровне порога анаэробного обмена, что свидетельствует о подключении анаэробного механизма ресинтеза аденозинтрифосфорной кислоты, а значит, о начале накопления в крови молочной кислоты. Кроме того, выполнение второй физической нагрузки у 8 % юношей сопровождалось возникновением феномена бесконечного тона.

Представленные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на идентичную скорость бега и его продолжительность, напряженность работы сердечно-сосудистой системы, направленной на усиление мышечного кровоснабжения, во время выполнения беговой нагрузки по наклонной поверхности была значимо выше.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно утверждать, что в таких видах спорта как, например, лыжные гонки, биатлон, велосипедный спорт, а также в отдельных беговых видах легкой атлетики, рельеф местности следует рассматривать в качестве мощного тренировочного фактора, способного увеличивать функци-

ональную нагрузку на организм спортсмена. Физические нагрузки, осуществляемые на местности со сложным рельефом (затяжные подъемы, большое количество подъемов, большие углы подъемов), сопровождаются большим напряжением сокращающейся мускулатуры, выполняющей добавочную работу, связанную с перемещением спортсмена не только в горизонтальной, но и вертикальной плоскости. Это увеличивает кислородный запрос и энергетические потребности работающих мышц, удовлетворение которых достигается за счет повышенной активности сердечно-сосудистой системы, что создает предпосылки для более глубокого истощения ее функциональных резервов. Повышение уровня функциональной активности сердечно-сосудистой системы во время мышечной деятельности в условиях сложного рельефа местности обусловлено усилением импульсной активности проприорецепторов сокращающихся мышц, стимулирующей моторно-висцеральные рефлексы.

При работе с юными спортсменами, у которых еще не завершено возрастное становление органов и систем, а также формирование эффективных механизмов долговременной адаптации к мышечной деятельности, это может спровоцировать развитие патологических изменений в функционировании сердечно-сосудистой системы, а также вызвать срыв механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности [16]. Эффективным средством профилактики негативных изменений в работе сердца и состоянии сосудистого русла в ходе спортивной тренировки в условиях сложного рельефа местности является своевременная и адекватная коррекция реализуемых программ спортивной подготовки молодых спортсменов. Она должна быть направлена на снижение интенсивности выполняемых физических нагрузок за счет снижения скорости передвижения по дистанции и/или увеличения интервалов отдыха между нагрузками. Целесообразно снижение количества повторений в серии, а также уменьшение числа серий. Допустимо и сокращение продолжительности физических нагрузок.

Критерием адекватности произведенных коррекций должна выступать рабочая частота сердечных сокращений, а также скорость и полнота ее восстановления в периоды отдыха. Их величины должны быть сопоставимы со значениями этих показателей, зарегистрированными в привычной для молодого спортсмена местности.

Для взрослых высококвалифицированных спортсменов, хорошо адаптированных к тренировочным воздействиям, характерно снижение темпов формирования дальнейших долговременных приспособительных перестроек, повышающих уровень тренированности организма [16]. Поэтому в тренировочном процессе данной категории лиц необходимо использование мощных средств стимуляции явлений суперкомпенсации, обеспечивающих переход сердечно-сосудистой системы на новый, более высокий уровень функциональных возможностей, а следова-

тельно, рост физической работоспособности и уровня тренированности спортсмена.

В качестве такого средства может выступать спортивная тренировка в условиях сложного рельефа местности, характерного для Республиканского центра олимпийской подготовки по зимним видам спорта «Раубичи». Проведение учебно-тренировочных сборов на его базе должно сопровождаться особенно тщательным контролем оперативного и текущего функционального состояния спортсмена, а при необходимости и применением средств, ускоряющих процессы восстановления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маринич, В. В. Гипоксия в спорте: учеб.-метод. пособие / В. В. Маринич, Т. В. Маринич, А. В. Устимчук. – Пинск: ПолесГУ, 2023. – 51 с.
2. Амосов, Н. М. Физическая активность и сердце / Н. М. Амосов, Я. А. Бендет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Здоровья, 1989. – 216 с.
3. Вегетативная устойчивость в спорте / С. В. Яхонтов [и др.] // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. – 2015. – № 3. – С. 224–231.
4. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Физиологические основы мышечной деятельности» для специальности 1-08 80 04 «Физическая культура и спорт» / Т. В. Лойко, И. Н. Рубчя. – Минск: БГУФК, 2020. – URL: <http://elib.sportedu.by/handle/123456789/4349> (дата обращения: 24.11.2024).
5. Ксенц, С. М. Динамика функций при мышечной деятельности / С. М. Ксенц. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986. – 168 с.
6. Шишко, В. И. Вегетативная регуляция сердечной деятельности / В. И. Шишко // *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. – 2009. – № 3. – С. 6–8.
7. Гонестова, В. К. Особенности вегетативного обеспечения организма спортсменов циклических видов спорта с разным уровнем насосной функции сердца / В. К. Гонестова, И. И. Мешконис // *Вопросы теории и практики физической культуры и спорта: респ. межевдомств. сб. / М-во спорта и туризма Респ. Беларусь* [и др.]; редкол.: А. И. Бондарь [и др.]. – Минск, 1996. – Вып. 26. – С. 21–23.
8. Янсен, П. ЧСС, лактат и тренировки на выносливость / П. Янсен; пер. с англ. – Мурманск: Тулома, 2009. – 157.
9. Баранова, Е. А. Функциональная адаптация сердечно-сосудистой системы у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта / Е. А. Баранова, Л. В. Капилевич // *Вестник Томского государственного университета*. – 2014. – № 383. – С. 176–179.
10. Верхошанский, Ю. В. Вегетативные системы обеспечения мышечной деятельности тяжелоатлета: лекция / Ю. В. Верхошанский, А. С. Медведев; Гос. центр. ин-т физ. культуры. – М.: ЦОЛИФК, 1989. – 23 с.
11. Адаптация кардиореспираторной системы спортсменов к двигательной деятельности / Ю. С. Ванюшин [и др.] // *Теория и практика физической культуры*. – 2020. – № 2. – С. 30–32.
12. Белоцерковский, З. Б. Сердечная деятельность и функциональная подготовленность у спортсменов (норма и атипичные изменения в нормальных и измененных условиях адаптации к физической нагрузке) / З. Б. Белоцерковский, Б. Г. Любина. – М.: Советский спорт, 2012. – 548 с.
13. Васильева, Р. М. Особенности гемодинамического обеспечения мышечной деятельности у детей и подростков. Обзор литературы / Р. М. Васильева // *Новые исследования*. – 2015. – № 4. – С. 90–104.
14. Лойко, Т. В. Физиологическая характеристика состояний организма, возникающих в процессе мышечной деятельности: пособие / Т. В. Лойко. – Минск: БГУФК, 2024. – 52 с.
15. Лойко, Т. В. Физиология спорта: раб. тетрадь / Т. В. Лойко, Н. В. Жилко, И. Н. Рубчя. – 2-е изд., доп. – Минск: БГУФК, 2024. – 47 с.
16. Лойко, Т. В. Морфофункциональная специализация спортсмена в свете теории адаптации / Т. В. Лойко // *Мир спорта*. – 2017. – № 1. – С. 60–64.

10.01.2025