

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОТОРНОЙ И ВЕГЕТАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА В ПРОЦЕССЕ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

(литературный обзор)



Лойко Т.В.

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

В статье представлены структура энерготрат организма в процессе мышечной деятельности, взаимосвязь интенсивности энергопродукции с уровнем потребления кислорода, роль кардиореспираторной системы в обеспечении возрастающего во время работы кислородного запроса организма, а также механизмы координации его моторной и вегетативных функций в процессе мышечной деятельности.

Ключевые слова: мышечная деятельность; энерготраты организма; моторная и вегетативные функции; кардиореспираторная система; механизмы регуляции функций; исходный вегетативный тонус; вегетативная реактивность.

INTERACTION OF MOTOR AND VEGETATIVE FUNCTIONS OF THE ORGANISM IN THE PROCESS OF MUSCLE ACTIVITY (literature review)

The structure of the body energy expenditures in the process of muscle activity, the relationship between the intensity of energy production and the level of oxygen consumption, the role of the cardiorespiratory system in providing the increasing oxygen demand of the body at work load, and the mechanisms of its motor and vegetative functions coordination in the process of muscle activity are presented in the article.

Keywords: muscle activity; energy expenditures of the body; motor and vegetative functions; cardiorespiratory system; mechanisms of functions regulation; initial vegetative tone; vegetative reactivity.

Выполнение любой физической нагрузки, независимо от ее объема и интенсивности, существенно увеличивает энергетические потребности организма (при выполнении максимальных динамических нагрузок – более чем в 50 раз по отношению к уровню покоя). Усиление энергопродукции во время мышечной деятельности призвано обеспечить: во-первых, поддержание рабочей позы спортсмена; во-вторых, адекватное энергоснабжение сокращающейся мускулатуры, а также активизировавшихся вегетативных и регуляторных систем организма; в-третьих, нормализацию его внутренней среды, нарушенной накапливающимися во время работы продуктами метаболизма [1–4].

После окончания мышечной деятельности повышенные энерготраты некоторое время сохраняются. Направлены они на окончательную нормализацию внутренней среды организма, восстановление поврежденных или измененных в

процессе работы структур, осуществление долговременных адаптивных перестроек [4].

Величина энерготрат по обеспечению мышечной деятельности служит критерием определения тяжести работы. Выполнение работы умеренной тяжести сопровождается энерготратами (в сутки), превышающими уровень основного обмена веществ менее чем в 3 раза. Энергетическая стоимость тяжелой работы превышает уровень основного обмена веществ в 3–8 раз, очень тяжелой – более чем в 8 раз [1].

Удовлетворение в полном объеме энергетического запроса сокращающейся мускулатуры является важнейшим условием эффективного выполнения физической нагрузки. Недостаточное энергообеспечение работающих мышц снижает силу и скорость их сокращения и расслабления, нарушает внутри- и межмышечную координацию, увеличивает вероятность травмирования опорно-двигательного аппарата [5].

Снижение сократительных способностей мышц из-за недостатка энергии обусловлено уменьшением числа поперечных мостиков, образующихся между актином и миозином; затруднением выхода ионов кальция из цистерн саркоплазматического ретикулума в саркоплазму. Ухудшение мышечного расслабления вызвано нарушением работы кальциевых насосов, нагнетающих соответствующие ионы обратно в цистерны.

Усиление энергопродукции во время мышечной деятельности обеспечивается интенсификацией обмена веществ. В первую очередь возрастает потребление кислорода (ПК). Чем больше мощность работы, тем выше скорость его утилизации сокращающимися мышцами. В анаэробных условиях они способны выполнять работу всего несколько десятков секунд [2, 4, 6].

Таим образом, результативность мышечной деятельности напрямую зависит от полноты удовлетворения кислородного запроса работающей скелетной мускулатуры. Увеличенное поступление кислорода к сокращающимся мышцам обеспечивается посредством активизации кардиореспираторной системы.

Входящая в ее состав система дыхания обеспечивает поступление кислорода из атмосферного воздуха в альвеолы легких и его диффузию в кровь. Первый процесс опосредован величиной легочной вентиляции (ЛВ). Второй – диффузионной способностью легких. Роль сердечно-сосудистой системы – обеспечение циркуляции крови по всему организму с целью транспортировки кислорода от легких к органам и тканям. На этот процесс влияют такие гемодинамические факторы, как сердечный выброс, или минутный объем крови (МОК), и перераспределение кровотока между органами, обеспечивающими и не обеспечивающими выполнение мышечной деятельности.

При нагрузке любой мощности величина ЛВ точно следует за изменением ПК. Линейная зависимость между МОК и ПК сохраняется только при выполнении нагрузки, не превышающей 40 % от максимальной. При более интенсивной работе рост ПК происходит на фоне стабилизации МОК либо его некоторого снижения (особенно это заметно при выполнении субмаксимальной нагрузки) [6].

Независимо от интенсивности мышечной деятельности процент прироста ЛВ по отношению к уровню покоя значительно превышает процент увеличения МОК.

В возрастном аспекте участие дыхательной и сердечно-сосудистой системы в обеспечении работающих мышц кислородом неодинаково. В возрасте 10–12 лет доминирующая роль принадлежит системе дыхания, в дальнейшем главенствующая

роль отводится сердечно-сосудистой системе. Эту особенность необходимо учитывать при планировании тренировочных воздействий для спортсменов разного возраста [6].

Для усиления кровоснабжения сокращающейся мускулатуры важно не только рациональное перераспределение МОК, но и степень мышечной капилляризации, а также проницаемость капиллярных стенок [6].

Эффективность использования (скорость утилизации) скелетной мускулатурой доставленного к ней кислорода определяется следующими мышечными факторами: содержанием миоглобина, запасами энергетических ресурсов, количеством и размерами митохондрий, количеством и активностью окислительных ферментов [2].

В процессе регулярной мышечной деятельности в вегетативных системах организма формируются долговременные адаптивные перестройки, соответствующие специфике выполняемых физических нагрузок. Они значительно расширяют функциональные резервы легких и сердца, повышая эффективность их работы. Это улучшает кислородное и энергетическое обеспечение мышечной деятельности, особенно специфической [2, 3, 7].

Ухудшение вегетативных функций как в покое, так и при выполнении физических упражнений, служит признаком развития таких состояний, как утомление, переутомление, перетренированность [3].

Эффективность мышечной деятельности определяется не только функциональными возможностями скелетной мускулатуры и кардиореспираторной системы, но и степенью согласованности их работы. Координация работы моторной и вегетативных функций организма во время выполнения физической нагрузки является важнейшим условием достижения высокой физической работоспособности и длительного ее сохранения на требуемом уровне. Рассогласование их деятельности может выражаться как в недостаточной активности вегетативных функций, так и в ее избыточности. Первое уменьшает доставку кислорода к мозгу, сердцу, мышцам, лимитирует энергопродукцию, снижает физическую работоспособность, точность выполняемых двигательных действий, эффективность их перестройки в соответствии с изменившейся окружающей обстановкой. Второе приводит к необоснованно высокому истощению физиологических ресурсов организма, быстрому снижению физической работоспособности, увеличению продолжительности восстановительного периода [3].

Координация моторной и вегетативных функций организма нарушается по мере развития утомления. Такой же эффект наблюдается и при

детренированности организма, обусловленной малоподвижным образом жизни. Дезинтеграция может выражаться как в ослаблении вегетативных функций, так и в чрезмерном их усилении. Возможно также нарушение взаимодействия между отдельными вегетативными функциями.

По мере роста тренированности спортсмена согласованность в работе мышц и кардиореспираторной системы повышается [2, 3].

Взаимодействие скелетной мускулатуры и кардиореспираторной системы при выполнении физических упражнений регулируется нервным и гуморальными механизмами, а также работой так называемого «мышечного насоса», облегчающего венозный возврат крови к сердцу. Ведущим является нервный механизм (условно-рефлекторная и безусловно-рефлекторная регуляция) [2–4, 8].

Условно-рефлекторный механизм координации деятельности мышц и кардиореспираторной системы формируется в процессе многолетних систематических занятий физическими упражнениями [3].

Данный механизм активизации вегетативных функций срабатывает еще до начала работы. Условным сигналом к запуску вегетативных перестроек может послужить не только восприятие внешней обстановки, в которой будет осуществляться мышечная работа или разъяснение содержания предстоящей двигательной деятельности, но и мысленное воспроизведение самого движения. На этом базируется идеомоторная тренировка. Следует отметить, что идеомоторное выполнение привычных для спортсмена двигательных действий (физических упражнений) сопровождается более глубокими вегетативными сдвигами [3, 9, 10].

Функциональные сдвиги, вызванные условно-рефлекторным механизмом, нередко оказываются избыточными, особенно у детей и малоподготовленных атлетов.

В самом начале мышечной деятельности условно-рефлекторный механизм активизации вегетативных функций является доминирующим, но не единственным. По мере вработывания на первый план выходит безусловно-рефлекторная регуляция, которая экономизирует ответные реакции организма, приводя активность кардиореспираторной системы в полное соответствие с интенсивностью мышечных сокращений. Данный механизм запускается активизацией проприорецепторов сокращающихся мышц, растягивающихся сухожилий, связок и суставных сумок [2, 3, 8].

Импулсация проприорецепторов активизирует деятельность системы дыхания и кровообращения с учетом интенсивности, продолжительности

и направленности текущей мышечной деятельности. Срабатывают так называемые моторно-висцеральные рефлексы. Их качество повышается по мере роста тренированности [8].

Согласование вегетативных сдвигов с уровнем проприоцептивной активности достигается к началу устойчивого состояния и является важным условием эффективного выполнения мышечной деятельности [8].

Скорость и степень активизации кардиореспираторной системы до уровня, соответствующего интенсивности мышечных сокращений, во многом определяется состоянием исходного вегетативного тонуса и типом вегетативной реактивности. Для адекватной активизации вегетативных функций организма во время мышечной деятельности наиболее благоприятна исходная нормотония (сбалансированная активность парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы). Исходная ваготония (преобладающая активность парасимпатической нервной системы) является благоприятной предпосылкой эффективного вегетативного обеспечения сокращающейся мускулатуры только у взрослого человека (19–25 лет). У детей и подростков в возрасте 9–16 лет она не дает никаких преимуществ при выполнении мышечной деятельности [11–13].

В соответствии с «законом исходного уровня», чем выше напряженность функционирования системы в состоянии покоя, тем меньше выражен ее ответ на действие возмущающих стимулов [14]. Поэтому исходная симпатикотония (преобладающая активность симпатической нервной системы) не только затрудняет адаптацию организма к мышечной деятельности, но и способствует развитию патологических изменений в сердечно-сосудистой системе. Среди подростков и юношей высокого роста она встречается почти в 2 раза чаще, чем у их сверстников среднего роста [15].

Из трех типов вегетативной реактивности, независимо от возраста человека, наиболее благоприятным для эффективного вегетативного обеспечения мышечной деятельности любой интенсивности и продолжительности является нормотонический тип. Он обеспечивает не только своевременную, но и адекватную (в нужном объеме) мобилизацию вегетативных систем организма. Асимпатикотонический и гиперсимпатикотонический типы вегетативной реактивности по причине недостаточной либо избыточной активизации вегетативных функций не могут обеспечить адекватное энергообеспечение мышечной деятельности, что препятствует длительному сохранению оптимального уровня физической работоспособности [11].

У спортсменов высокого роста приспособление сердечно-сосудистой системы к мышечной деятельности происходит за счет более значительной и даже чрезмерной активизации симпатической нервной системы (гиперсимпатикотонический тип вегетативной реактивности), что является неэффективным путем адаптации [15].

В обеспечении взаимодействия вегетативных функций друг с другом во время мышечной деятельности большое значение имеет интероцептивная импульсация (сигнализация), играющая существенную роль в формировании висцеро-висцеральных рефлексов [2].

Результаты представленного выше литературного обзора позволяют утверждать, что предпосылками наиболее полной реализации сократительных способностей скелетной мускулатуры в ходе тренировочной или соревновательной деятельности спортсмена являются высокие функциональные возможности его кардиореспираторной системы и оптимальное состояние механизмов вегетативной регуляции функций.

■ ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов, Н. М. Физическая активность и сердце / Н. М. Амосов, Я. А. Бендет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев : Здоровья, 1989. – 216 с.
2. Верхошанский, Ю. В. Вегетативные системы обеспечения мышечной деятельности тяжелоатлета : лекция / Ю. В. Верхошанский, А. С. Медведев ; Гос. центр. ин-т физ. культуры. – М. : ГЦОЛИФК, 1989. – 23 с.
3. Координация двигательных и вегетативных функций при мышечной деятельности человека / Акад. наук СССР, Объедин. науч. совет «Физиология человека и животных» ; под ред. Ю. И. Данько [и др.]. – М. ; Л. : Наука, 1965. – 140 с.
4. Энергетическое и вегетативное обеспечение мышечной деятельности [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <https://studopedia.org/4-47924.html>. – Дата доступа: 02.12.2019.
5. Лойко, Т. В. Физиология спорта в схемах и таблицах : пособие / Т. В. Лойко. – Минск : БГУФК, 2015. – 116 с.
6. Новикова, Е. И. Роль дыхательной и сердечно-сосудистой систем в аэробном обеспечении организма подростков при физических нагрузках различной интенсивности / Е. И. Новикова // Известия Волгоград. гос. пед. ун-та. – 2004. – Вып. 4. – С. 60–63.
7. Лойко, Т. В. Физиологические основы развития физических качеств и формирования двигательного навыка : пособие / Т. В. Лойко. – Минск : БГУФК, 2018. – 41 с.
8. Темкин, И. Б. К вопросу о механизме вегетативных сдвигов на первом этапе мышечной работы / И. Б. Темкин // ЛФК и массаж. – 2007. – № 3. – С. 59–61.
9. Косицин, Н. К. О вегетативных реакциях при идеомоторных физических упражнениях / Н. К. Косицин // Новое в физиологии и патологии моторно-висцеральных рефлексов : труды Перм. отд. все-союз. физиолог. о-ва им. И. П. Павлова, Перм. гос. мед. ин-т ; под ред. М. Р. Могендовича ; редкол.: Т. В. Ивановская [и др.]. – Пермь, 1967. – Вып. 7. – С. 123–129.
10. Лойко, Т. В. Особенности предстартовых реакций организма в зависимости от интенсивности предстоящей физической нагрузки и пола спортсмена / Т. В. Лойко, Е. Ю. Кулицкая, Е. Ю. Баньковская // Университетский спорт в современном образовательном социуме : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр. 2015 г. : в 4 ч. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол.: Т. Д. Полякова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУФК, 2015. – Ч. 2. – С. 142–145.
11. Кудря, О. Н. Вегетативная регуляция работы сердечно-сосудистой системы и системы энергообеспечения мышечной деятельности при выполнении дозированных нагрузок юными спортсменами / О. Н. Кудря, В. В. Вернер // Теория и практика физической культуры. – 2009. – № 3. – С. 36–41.
12. Кудря, О. Н. Роль вегетативной регуляции в формировании механизмов долговременной адаптации к физическим нагрузкам / О. Н. Кудря // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2011. – № 2. – С. 17–24.
13. Шлык, Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов : монография / Н. И. Шлык. – Ижевск : Удмуртский университет, 2009. – 255 с.
14. Шишко, В. И. Вегетативная регуляция сердечной деятельности / В. И. Шишко // Журнал Гроднен. гос. мед. ун-та. – 2009. – № 3. – С. 6–8.
15. Кудря, О. Н. Вегетативное обеспечение сердечной деятельности у спортсменов с разным антропометрическим профилем / О. Н. Кудря // Бюллетень сибирской медицины. – 2016. – № 15 (3). – С. 63–69.

06.02.2020