

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ОТ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург  
Камский государственный институт физической культуры, Набережные Челны*

**Проблемы устойчивости к физическим перегрузкам в экстремальных условиях спортивной деятельности относятся к числу наиболее актуальных проблем современной спортивной физиологии и медицины. В процессе многолетних исследований было выявлено существование релаксационного механизма срочной адаптации, которому затем было присвоено наименование релаксационного механизма срочной мобилизации защиты (РМСЗ) организма от экстремальных воздействий. Экспериментально доказано, что активизация РМСЗ обеспечивает возникновение эффекта экстренного повышения работоспособности. Установлено также, что по функциональной активности, или мощности РМСЗ все испытываемые подразделяются, по крайней мере, на три типа (с высокой, средней и низкой) и что именно величина активности РМСЗ, оцениваемая по степени прироста в скорости расслабления мышц, предопределяет индивидуальный уровень устойчивости организма при срочной адаптации к физическим нагрузкам и другим факторам среды.**

Проблемы устойчивости к физическим перегрузкам в экстремальных условиях спортивной деятельности относятся к числу наиболее актуальных проблем современной спортивной физиологии и медицины. Изучая проблему устойчивости человека в экстремальных условиях деятельности, В.И. Медведев [7] видел одну из главных причин её огромной актуальности в том, что деятельность человека всегда носит общественный характер и целевая направленность такой деятельности может резко отличаться от целевой направленности биологических защитных реакций. Современная наука располагает и множеством других фактов, свидетельствующих о чрезвычайно высокой вариативности индивидуальной устойчивости человека к различным факторам окружающей среды. Вместе с тем, физиологические механизмы этого явления, как и физиологические механизмы, лежащие в основе экстренного повышения физической работоспособности, или "феномена второго дыхания", долгое время оставались мало изученными и наиболее сложными для

интерпретации с позиций целостного организма.

Реальная возможность их расшифровки появилась после того, как в процессе многолетних исследований Ю.В. Высочиным [3] было выявлено существование релаксационного механизма срочной адаптации, которому затем было присвоено наименование релаксационного механизма срочной мобилизации защиты (РМСЗ) организма от экстремальных воздействий [4].

Суть этого механизма заключается в том, что на фоне гипоксии, возникающей при интенсивных физических нагрузках, происходят активизация тормозных систем ЦНС и снижение ее возбудимости, резкое уменьшение количества следовых потенциалов последствия в биоэлектрической активности расслабляющихся мышц, то есть нормализация процесса расслабления и существенное (иногда до 70-80%) повышение его скорости.

Экспериментально доказано, что активизация РМСЗ обеспечивает возникновение эффекта экстренного повышения работоспособности. Установлено также,

что по функциональной активности, или мощности РМСЗ все испытуемые подразделяются, по крайней мере, на три типа (с высокой, средней и низкой) и что именно величина активности РМСЗ, оцениваемая по степени прироста в скорости расслабления мышц, предопределяет индивидуальный уровень устойчивости организма при срочной адаптации к физическим нагрузкам и другим факторам среды [3].

Дальнейшие исследования в этом направлении, а также анализ экспериментальных данных с позиций теории функциональных систем П.К. Анохина [1] привели к заключению, что РМСЗ, оказывающий прямое влияние на сложнейшие внутрисистемные и межсистемные взаимоотношения процессов, которые предопределяют в конечном итоге общий коэффициент полезного действия систем организма, уровень физической работоспособности и устойчивости к экстремальным воздействиям, следует отнести к категории функциональных систем под названием неспецифическая «тормозно-релаксационная функциональная система срочной адаптации и защиты» (ТРФСЗ) организма от экстремальных воздействий [4].

Тормозно-релаксационная функциональная система защиты, с точки зрения теории функциональных систем, включает в себя все основные центральные и периферические механизмы, как и любая другая ФС: 1) полезный приспособительный результат или системообразующий фактор как ведущее звено функциональной системы; 2) рецепторы результата; 3) обратную афферентацию, поступающую от рецепторов результата в центральные образования функциональной системы; 4) центральную архитектуру, представляющую избирательное объединение функциональной системой нервных элементов различных уровней; 5) исполнительные соматические, вегетативные и эндокринные компоненты, включая организованное целенаправленное поведение.

Одним из главных системообразующих факторов ТРФСЗ является тканевая гипоксия, а положительный результат ее деятельности заключается в поддержании нормальных соотношений важнейших гомеостатических констант ( $O_2 - CO_2$ ) в

организме. Исходя из этого, ТРФСЗ можно отнести к категории антигипоксических функциональных систем.

К настоящему времени накоплено достаточно сведений о комплексах антигипоксических реакций. Описаны и гомеостатические функциональные системы обеспечения потребностей организма в кислороде, а также общая функциональная система гомеостаза [8, 9]. Вместе с тем ТРФСЗ имеет ряд принципиальных и существенных отличий от других ФС гомеостатической регуляции.

Согласно описаниям А.Н. Меделяновского [8], ведущими компонентами (эффекторами) ФС кислородного обеспечения являются сердечно-сосудистая и дыхательная системы, а конечный положительный результат (антигипоксический эффект) достигается главным образом за счет интенсификации деятельности этих эффекторов (увеличение объема вдоха, частоты дыхания, ударного объема сердца, частоты сердечных сокращений, артериального давления и т.д.). Основной принцип их работы - интенсификация деятельности эффекторов.

В ТРФСЗ, наоборот, главным рабочим принципом является экономизация энергетических затрат и функций эффекторов, а в качестве ведущих компонентов выступают тормозные системы ЦНС и релаксационные процессы нервно-мышечной системы. При этом деятельность ТРФСЗ не определяется ни сердечно-сосудистой, ни дыхательной системами, то есть теми мощными эффекторами, которые играют решающую роль в функциональных системах гомеостаза. Более того, как показали исследования Ю.В. Высочина [3] и наши собственные [5, 6], при активизации ТРФСЗ функциональная нагрузка на системы энергообеспечения мышечной деятельности даже уменьшается, о чем свидетельствует снижение уровня ЧСС, дыхания, артериального давления, содержания в крови лактата, креатинина и стрессорных гормонов. Тем не менее, благодаря большому экономизирующему эффекту резко, возрастает интегральный коэффициент полезного действия организма и существенно повышается физическая работоспособность. Третье существенное

отличие состоит в особенностях взаимодействия ТРФСЗ с другими функциональными системами.

Согласно основным принципам классической теории функциональных систем, в частности "принципам иерархии и последовательного взаимодействия", в каждый конкретный момент времени деятельность организма определяется доминирующей в плане выживаемости или адаптации к внешней среде функциональной системой (ФС). Доминирование ФС в целом организме определяется их биологической, а для человека в первую очередь социальной значимостью. По отношению к каждой доминирующей все другие ФС в соответствии с их значимостью выстраиваются в определенном иерархическом порядке. После удовлетворения ведущей потребности деятельностью организма заведует следующая ведущая по социальной или биологической значимости потребность. Она строит новую доминирующую ФС и т.д. Известен и мультипараметрический принцип взаимодействия ФС, предусматривающий их обобщенную деятельность [9]. Однако он распространяется в основном на все показатели гомеостаза и объединяет деятельность различных ФС гомеостатического уровня в единую обобщенную ФС гомеостаза.

Руководствуясь этими принципами, довольно сложно объяснить взаимоотношения функциональных систем при напряженной мышечной деятельности, выполняемой в условиях выраженных нарушений гомеостаза, то есть в ситуациях, когда человеку приходится одновременно решать и социально значимые, и биологически значимые задачи, в реализации которых участвуют разные ФС. Вероятно, именно на эту трудность указывал В.И. Медведев [7], подчеркивая актуальность исследований проблемы устойчивости человека к экстремальным воздействиям.

В наших исследованиях [3] было установлено, что в отличие от известных ФС гомеостаза, ТРФСЗ, не вступая в конкурентную борьбу за эффекторы, может параллельно взаимодействовать с другими доминирующими ФС и существенно повышать эффективность их деятельности. Это положение, на наш взгляд, служит

важным дополнением и развитием классической теории функциональных систем. Оно позволяет описать сложные причинно-следственные взаимоотношения, основанные на принципах параллельного взаимодействия между мощной локомоторной функциональной системой (ЛФС), формирующейся для удовлетворения доминирующей социально-значимой потребности (например, победы в соревнованиях), и ТРФСЗ, формирующейся для устранения нарушений гомеостаза, неизбежно возникающих при интенсивной мышечной деятельности, то есть для удовлетворения не менее значимой биологической потребности.

С возникновением доминирующей социальной мотивации (победить в соревнованиях) в соответствии с основными узловыми стадиями "центральной архитектоники" формируется локомоторная функциональная система (ЛФС) и "включается" готовая, или, так называемая старая, сложившаяся в процессе онто- и филогенеза программа. Основной принцип этой программы - интенсификация деятельности всех эффекторов ЛФС.

При этом регистрируется повышение возбудимости ЦНС, резко возрастает интенсивность функционирования нейроэндокринной, нервно-мышечной, сердечно-сосудистой, дыхательной и терморегуляционной систем. Вследствие огромных энергозатрат, повышенного потребления кислорода и интенсивного метаболизма нарастают явления ацидоза, тканевой гипоксии и гипоксемии. В мышцах накапливается молочная кислота и недоокисленные продукты обмена. Появляются явные признаки нарастающего утомления и снижения работоспособности.

На этой стадии, характеризующейся существенными нарушениями гомеостаза, информация о которых от "рецепторов результата" по каналам "афферентной обратной связи" поступает в ЦНС, возможны два крайних, совершенно различных как по содержанию, так и по эффективности пути достижения конечной цели - победить в соревнованиях (социальная потребность) и сохранить свою жизнь (биологическая потребность). Каждый из этих путей предопределяется прежде всего степе-

нию функциональной активности или мощности ТРФСЗ у того или иного спортсмена.

У спортсменов с низкой активностью ТРФСЗ организм пытается ликвидировать нарушения гомеостаза и гипоксию за счет дальнейшего повышения возбудимости ЦНС и наращивания интенсивности функционирования кислородтранспортных систем. Однако, как показали наши исследования [3, 5, 6] этот путь является крайне нерентабельным и неэффективным в силу целого ряда причин, объединяющихся в своего рода замкнутый порочный круг, одним из важных звеньев которого является повышенный уровень возбуждения ЦНС.

Повышенная возбудимость ЦНС и значительная иррадиация возбуждения в моторной зоне коры головного мозга, возникающая вследствие первичной или вторичной (относительной) слабости тормозных систем, характерная для спортсменов с низкой активностью ТРФСЗ, сопровождается явлениями, известными под названием "психозмоциональная напряженность". Для этого состояния характерен гипертонус, то есть достаточно сильно выраженное напряжение работающих и неработающих мышц, также приводящий к большим энергозатратам, большому потреблению кислорода неработающими мышцами и еще большим нарушениям координации и биомеханической структуры (техники движений).

Вследствие снижения скорости расслабления и нарушения альтернирующего ритма активности мышц-антагонистов резко уменьшаются паузы отдыха между быстрыми ритмическими сокращениями мышц бегуна, а при очень низкой скорости расслабления они вообще могут отсутствовать. По этой причине существенно ухудшается кровоснабжение и кислородное обеспечение работающих мышц, а вместе с этим уменьшается доля наиболее быстрого и выгодного аэробного ресинтеза АТФ, то есть понижается скорость восстановления энергетических ресурсов, нарастает тканевая гипоксия, ацидоз, "засорение" мышц недоокисленными продуктами обмена и т.д.

Еще большая интенсификация деятельности кислородтранспортных систем в этих условиях не эффективна, поскольку сердце не в состоянии быстро проталкивать кровь через медленно расслабляющиеся мышцы, которые к началу очередного цикла сокращения еще могут иметь более или менее выраженную степень напряжения (в зависимости от частоты ритмических сокращений и скорости расслабления) и значимо улучшить кровоснабжение. Во всяком случае не исключено, что дополнительные энергозатраты, возникающие при повышении интенсивности работы кислородтранспортных систем, могут оказаться выше, чем полезный эффект, не говоря уже о возможном перенапряжении этих систем. Вследствие напряжения большого количества работающих и неработающих мышц на фоне кислородной недостаточности возрастает их теплопродукция и возникает нарушение температурного гомеостаза, которое влечет за собой необходимость интенсификации работы систем терморегуляции, в том числе сердечно-сосудистой и дыхательной, и, естественно, еще большие дополнительные энергозатраты. Таким образом, очевидно, что на фоне огромных, причем бесполезных, энергозатрат и низкой скорости восстановления энергетических ресурсов организм не в состоянии более или менее длительно поддерживать высокий уровень физической работоспособности. Прогрессивно нарастают явления ацидоза, гипоксии, накопления недоокисленных метаболитов, ухудшаются сократительные и релаксационные характеристики мышц, снижается работоспособность.

Следует отметить также, что у 80-90% спортсменов этой категории регистрируются различного рода перенапряжения, травмы и заболевания опорно-двигательного аппарата, дистрофия миокарда, нарушения ритма и гипертрофия сердца [2, 4, 6].

Совершенно иначе причинно-следственные взаимоотношения физиологических процессов во время напряженной мышечной деятельности развиваются у спортсменов с высокой активностью ТРФСЗ с того момента, когда соответствующие "рецепторы результата" зафикси-

ровали нарушения гомеостаза. Информация о нарушениях гомеостаза по нервным и гуморальным каналам афферентной обратной связи поступает в ЦНС. Здесь происходит "афферентный синтез" и "на основе механизмов памяти и мотивации принимается решение" о переходе на новую, более совершенную и экономичную программу регуляции функций, предусматривающую необходимость формирования ТРФСЗ для удовлетворения биологически значимой потребности (восстановление гомеостаза) и ее параллельное взаимодействие с уже активно функционирующей КАС, обеспечивающей удовлетворение социально значимой потребности.

Практическая реализация новой программы начинается с активизации тормозных систем ЦНС, выполняющих, как известно, важнейшую защитную функцию в организме, не только оберегая нервные клетки от истощения, но и ограничивая стрессорные реакции, гиперкинезы, развитие патологических процессов и т.д. После этого взаимосвязанные комплексы защитных реакций одновременно разворачиваются на разных иерархических уровнях и в нескольких направлениях, сохраняя тем не менее основной рабочий принцип новой программы - экономизация функций эффекторных компонентов ТРФСЗ и ЛФС.

Активизация тормозных систем приводит к снижению уровня возбуждения в ЦНС и быстрой ликвидации отрицательных последствий повышенной возбудимости. Во-первых, снижаются "психоэмоциональная напряженность" и гипертонус скелетных мышц. В результате улучшается регуляция, координация, биомеханическая структура (техника) движений и, естественно, возрастают их экономичность и эффективность. Снижение гипертонуса приводит к уменьшению энергозатрат и потребления кислорода неработающими группами мышц. Вследствие этого большее количество кислорода поступает в активно работающие мышцы и уменьшается его дефицит. При этом уменьшается запрос и функциональная нагрузка на сердечно-сосудистую и дыхательную системы, чем в свою очередь обеспечивается дополнительная экономия энергетических ресурсов.

Во-вторых, при активизации тормозных систем ЦНС происходит нормализация процесса расслабления скелетных мышц и существенное повышение его скорости. Благодаря повышению скорости произвольного расслабления мышц, появляется альтернирующий ритм активности мышц антагонистов, увеличиваются паузы "отдыха" между очередными мышечными сокращениями во время быстрого бега, улучшаются кровоснабжение работающих мышц и доставка к ним кислорода. Следует учесть также, что при этом происходит значительное уменьшение накопления в мышцах метаболитов гликолитического (лактат) и креатинфосфатного (креатинин) обмена, снижаются ацидоз и тканевая гипоксия. Это, в свою очередь, сопровождается снижением запроса к кислородтранспортным системам и соответственно к интенсивности их деятельности, что создает дополнительную экономию энергетических ресурсов.

Весь этот далеко не полный перечень процессов, объединяемых сложными внутрисистемными и межсистемными причинно-следственными взаимоотношениями, приводит к экономизации функций и энергетических затрат при деятельности всех компонентов (эффекторов) локомоторной функциональной системы, повышению скорости ресинтеза энергетических ресурсов непосредственно во время мышечной деятельности, восстановлению и повышению физической работоспособности, то есть к появлению эффекта "экстренного повышения физической работоспособности", или "феномена второго дыхания".

Таким образом, благодаря параллельному взаимодействию локомоторной функциональной системы и тормозно-релаксационной функциональной системы защиты, организму удается одновременно и эффективно решать две чрезвычайно сложные задачи - удовлетворение социально значимой (победа в соревнованиях) и биологически значимой (восстановление гомеостаза) доминирующей потребности. При этом важнейшим рабочим механизмом, осуществляющим практическую реализацию защитной функции ТРФСЗ, является активизация тормозных систем ЦНС

и повышение скорости произвольного расслабления мышц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем - М.: Медицина. 1975. - 448 с.
2. Высочин Ю.В. Специфические травмы спортсменов // Учебное пособие. - Л.: ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта. 1980.- 43 с.
3. Высочин Ю.В. Физиологические механизмы защиты, повышение устойчивости и физической работоспособности в экстремальных условиях спортивной и профессиональной деятельности: Докт. дис. Л.. 1988. - 490 с.
4. Высочин Ю.В., Лукоянов В.В. Активная миорелаксация и саморегуляция в спорте // Монография. - Л.: СПбГАФК им. П.Ф. Лесгафта. 1997. - 85 с.
5. Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П. Влияние сократительных и релаксационных характеристик скелетных мышц на физическую работоспособность футболистов // Теория и практика физической культуры. 2004. № 6. С. 47-49.
6. Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П. Факторы, лимитирующие прогресс спортивных результатов и квалификации футболистов // Теория и практика физической культуры. 2001. № 2. С. 17-21.
7. Медведев В.И. Устойчивость физиологических и психологических функций человека при действии экстремальных факторов. – Л.: Наука. 1982.- 104 с.
8. Медеяновский А.Н. Функциональные системы, обеспечивающие гомеостаз// Функциональные системы организма: Руководство / Под. ред. К.В. Судакова.- М.: Медицина. 1987. С. 77-97.
9. Судаков К.В. Основные принципы общей теории функциональных систем // Функциональные системы организма: Руководство / Под ред. К.В. Судакова. - М. Медицина. 1987. С. 26-49.

The problems of resistance to physical overwork in extreme conditions of sport activities now are among the most urgent problems of the modern sport physiology and medicine. During the researches of many years it was found that there is a relaxation mechanism of an urgent adaptation, later named the relaxation mechanism of urgent defense mobilization (RMUD) of organism from extreme conditions or factors. It is showed by experiments that the activation of RMUD provides the effect of extra rising in efficiency. It is also found that all the respondents are classified by their functional activity or the level of RMUND, and they are subdivided into three types at least: with high, middle and low activity. And the activity of RUND itself is characterized by the degree of increase in the speed of relaxation of muscles, and predetermines the individual level of organism stability in the urgent adaptability to the physical activity and other factors of environment.