**Механизмы срочной адаптации спортсменов к воздействиям физических нагрузок**

Кандидат биологических наук, доцент Ю.П. Денисенко, Камский государственный институт физической культуры, Набережные Челны

Введение. Проблемы устойчивости к физическим перегрузкам в экстремальных условиях спортивной деятельности относятся к числу наиболее актуальных проблем современной спортивной физиологии и медицины. Отсутствие достаточных знаний в этой области служит серьезным препятствием на пути решения целого ряда других не менее важных проблем, прежде всего проблем профилактики спортивного травматизма и заболеваемости, интенсификации тренировочного процесса и повышения его эффективности, а также разработки новейших спортивно-оздоровительных технологий.

Современная наука располагает множеством фактов, свидетельствующих о чрезвычайно высокой вариативности индивидуальной устойчивости человека к различным факторам окружающей среды [13-15]. 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 малоизученными и наиболее сложными для интерпретации с позиции 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, который затем был назван релаксационным механизмом срочной мобилизации защиты (РМСЗ) организма от экстремальных воздействий.

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 последействия в биоэлектрической активности расслабляющихся мышц, то есть нормализация процесса расслабления и существенное (иногда до 70-80%) повышение его скорости [7, 10].

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 активностью) и что именно величина активности РМСЗ, оцениваемая по степени прироста скорости произвольного расслабления мышц (СПР), предопределяет индивидуальный уровень устойчивости организма при срочной адаптации к физическим нагрузкам и другим факторам среды [5].

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 (ОКПД) организма, уровень физической работоспособности и устойчивости к экстремальным воздействиям, следует отнести к категории функциональных систем под названием неспецифической "тормозно -релаксационной функциональной системы срочной адаптации и защиты" (ТРФСЗ) организма от экстремальных воздействий [4].

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 [7, 9], этот путь - крайне нерентабелен и неэффективен в силу целого ряда причин, объединяющихся в своего рода замкнутый порочный круг, одним из важных звеньев которого является повышенный уровень возбуждения ЦНС.

Совершенно иначе причинно-следственные взаимоотношения физиологических процессов во время напряженной мышечной деятельности развиваются у спортсменов с высокой активностью ТРФСЗ. При этом важнейшим рабочим механизмом, осуществляющим практическую реализацию защитной функции ТРФЗС, служат активизация тормозных систем ЦНС и повышение скорости произвольного расслабления мышц [З].

Следует отметить также, что у 80-90% спортсменов с низкой активностью ТРФСЗ регистрируются различного рода перенапряжения, травмы и заболевания опорно-двигательного аппарата, дистрофия миокарда, нарушения ритма и гипертрофия сердца [2, 4, 6, 8, 9].

Методы исследования. Для изучения механизмов регуляции и координации произвольных движений, контроля за сократительными и релаксационными характеристиками скелетных мышц, функциональным состоянием ЦНС и нервно-мышечной (НМС) систем нами использовался метод компьютерной полимиографии, разработанный Ю.В. Высочиным [З], который с 1970 г. применяется при подготовке спортсменов сборных команд СССР, России и Ленинграда-Санкт-Петербурга.

Метод основан на синхронной графической регистрации биоэлектрической активности (электромиограммы), поперечной твердости (тонусограммы) и силы (динамограммы) различных групп исследуемых мышц при их произвольном напряжении и расслаблении в изометрическом режиме. Изометрический режим работы мышц при тестировании предпочтителен, с одной стороны, из-за своей сравнительно небольшой энергоемкости, легкой моделируемости [11], а с другой - как один из наиболее часто встречающихся в спортивной и трудовой деятельности. По мнению А. Хаббарда [16], изометрическое напряжение мышц - переменная точка любого физического движения.

На фоне физических нагрузок проводились кардиологические и биохимические обследования. Кроме того, нами определялись специальные коэффициенты, характеризующие состояние соответствующих систем, расчет которых будет приведен ниже

Результаты исследований и их обсуждение. В серии лабораторных экспериментов 16 испытуемым давались многократные локальные физические нагрузки на мышцы - разгибатели голени (РГ). Они выполняли по 45 циклов максимального напряжения и расслабления мышц в изометрическом режиме (напряжени е-расслабление - 2 с, интервал отдыха - 3 с). С помощью метода полимиографии производилась непрерывная графическая регистрация функционального состояния работающих мышц во время всего эксперимента. В этой серии экспериментов ставились три частные задачи. Во-первых, определить, происходит ли активизация ТРФСЗ при работе мышц в изометрическом режиме. Во-вторых, попытаться установить, когда, в какие моменты и в какой последовательности происходит включение различных компонентов ТРФСЗ и какое влияние оказывает его активизация на динамику утомления и физической работоспособности. В-третьих, попытаться более точно классифицировать характерные типологические особенности реакций на тестирующие физические нагрузки у лиц с различной мощностью ТРФСЗ.

Предполагалось, что если в процессе выполнения интенсивной физической нагрузки организм использует специальные физиологические механизмы защиты, в частности ТРФСЗ, то с момента включения этих механизмов темпы ухудшения сократительных свойств мышц (ССМ), то есть темпы

нарастания утомления, должны снизиться. Соответственно испытуемые с большей мощностью ТРФСЗ должны демонстрировать более высокий уровень работоспособности и меньшую утомляемость. Вначале были проанализированы среднегрупповые данные результатов тестирования.

Установлено, что в целом по всей группе испытуемых наблюдалось быстрое снижение ССМ (на 17,3 %; р < 0,001) и СПР мышц (на 19,0%; р<0,001) до середины нагрузки (21-25-й циклы напряжения-расслабления . Затем темпы прироста утомления существенно уменьшались и к концу нагрузки по сравнению с серединой ССМ и СПР снижались всего на 6,8 и 3,4% (р > 0,05), а общие характеристики к концу работы соответственно понизились на 22,9 и 21,7% (р<0,001).

Особого внимания заслуживает анализ динамики скорости двигательной реакции. Вначале (до 11-15-го циклов нагрузки) наблюдалось быстрое уменьшение латентного времени напряжения по электромиограмме (ЛВНэ) на 11,1% и увеличение латентного времени расслабления по динамограмме (ЛВРд) на 5,5%, указывающее на существенное повышение уровня возбуждения в ЦНС (сдвиг баланса нервных процессов (БНП) сторону возбуждения на 15,8%; р < 0,01). Затем направленность реакций изменилась. После 11-15-го циклов нагрузки ЛВНэ стало прогрессивно увеличиваться, а ЛВРд - уменьшаться, то есть отмечался нарастающий сдвиг БНП в сторону торможения, который к концу нагрузки достигал исходного уровня. Примечательно, что через 25-30 с после начала повышения активности тормозных систем отмечалось существенное снижение темпов прироста утомления мышц.

Этот факт можно рассматривать как включение ТРФСЗ, но ее мощность настолько мала, что не обеспечила существенной защиты от утомления.

Однако на основе анализа среднегрупповых данных результатов этого эксперимента можно было сделать и совершенно иной вывод. Например, о том, что в начальной стадии организм компенсирует утомление за счет нарастающего возбуждения в ЦНС, а снижение возбудимости и повышение активности тормозных процессов являются признаками ярко выраженного некомпенсированного утомления. Также следует отметить, что подобная точка зрения довольно распространена в современной литературе, как, впрочем, и прямо противоположная этим взглядам позиция.

Возвращаясь к обсуждению результатов приведенной выше серии экспериментов, можно отметить, что, судя по сдвигу баланса нервных процессов в сторону возбуждения в первой половине нагрузки, организм вначале пытается бороться с утомлением самым простым путем, то есть за счет повышения возбудимости ЦНС и интенсификации работы всех систем обеспечения мышечной деятельности. Однако, судя по прогрессивному снижению ССМ и СПР, свидетельствующему о быстро нарастающем утомлении, этот путь недостаточно эффективен. Тогда организм срочно меняет тактику. Для борьбы с утомлением, а вернее, для ликвидации дисбаланса важнейших гомеостатических констант, вызванного интенсивной физической нагрузкой, происходит быстрое повышение активности тормозных систем в ЦНС и понижение ее возбудимости.

С учетом большой индивидуальной вариативности ТРФСЗ, объективно оцениваемой по величине прироста СПР мышц в ответ на физическую нагрузку, все испытуемые были разделены на три группы: 1-я -с малой, 2-я - со средней и З-я - с большой мощностью ТРФСЗ.

Для 1-й группы спортсменов было характерно быстрое уменьшение ЛВНэ (на 19-20%; р<0,001), увеличение ЛВРд (на 4-6%; р < 0,001) и соответственно сдвиг БНП (по соотношению ЛВН/ЛВР) в сторону преобладания возбуждения на 23,8% (р < 0,001), который оставался на исходном уровне до конца работы. При этом ССМ и СПР прогрессивно ухудшались, снижаясь к концу нагрузки соответственно на 40-42% (р < 0,001) и 38-40% (р<0,001) и свидетельствуя о сильно выраженном утомлении испытуемых. Очевидно, малая мощность ТРФСЗ не позволила им избежать сильного утомления, а попытка организма решить эту задачу за счет активизации возбуждения в ЦНС не увенчалась успехом.

В 3-й группе спортсменов тоже вначале регистрировалось повышение возбудимости ЦНС, но кратковременное и менее выраженное (сдвиг БНП в сторону возбуждения на 7,5%; р < 0,001). Максимум возбуждения достигался уже к 5-6-му циклам нагрузки, то есть через 25-30 с от начала работы, после чего начиналось быстрое снижение возбудимости и повышение активности тормозных систем ЦНС, достигающее максимальных значений к 18-31-му циклам нагрузки (увеличение ЛВНэ по сравнению с максимумом возбуждения на 51,0%; р < 0,001; уменьшение ЛВРд на 33,7%; р <0,001; сдвиг БНП в сторону торможения на 124,6%; р<0,001). Затем за 60-70 с до окончания работы уровень возбуждения вновь начал плавно повышаться, а торможения снижаться. Однако даже в самом конце нагрузки активность тормозных систем по БНП оставалась на 59,1% (р<0,001) выше исходного (предрабочего) уровня.

Динамике нервных процессов в ЦНС соответствовала и динамика ССМ и СПР мышц: вначале, как и в 1-й группе спортсменов, она снижалась, но в меньшей степени и гораздо медленнее. Максимальное снижение СПР(22,3%, р<0,001) регистрировалось к 15-17-му циклам нагрузки. Затем с 17-го по 38-й цикл нагрузки СПР быстро повышалась (на 39,1%, р<0,001) и даже на 8,0% (р<0,001) превышала исходный уровень, что указывает на высокую активность ТРФСЗ. После достижения максимума СПР вновь начинала снижаться, почти приближаясь к исходному уровню. Максимальное снижение ССМ (всего на 7,7 %; р<0,001) наблюдалось к 17-18-му циклам нагрузки. Вслед за началом повышения СПР (с некоторым запаздыванием на 5-10 с) начиналось быстрое восстановление ССМ мышц, которые к 34-35-му циклам нагрузки на 15,0% (р<0,001) превышали исходный уровень, а затем тоже начинали снижаться, однако оставаясь к концу нагрузки на 11,2% (р<0,001) выше исходного уровня. Несомненно, что именно высокая активность ТРФСЗ позволила этим испытуемым уже в ходе выполнения нагрузки не только полностью восстановить, но даже превысить исходный уровень работоспособности и закончить работу вообще без признаков утомления.

Особое внимание обращает на себя характерная динамика скорости двигательной реакции напряжения ЛВНэ и расслабления ЛВРд на фоне выполнения физических нагрузок. Во всех экспериментах и у всех испытуемых обе эти реакции находились в высокодостоверной отрицательной корреляционной взаимосвязи (от r = -0,73 до r = -0,91). Причем повышение скорости двигательной реакции напряжения (укорочение ЛВНэ) и снижение скорости двигательной реакции расслабления (удлинение ЛВРд), то есть сдвиг БНП в сторону возбуждения ЦНС, совпадали с нарастающим утомлением и снижением работоспособности. И наоборот, укорочение ЛВРд и удлинение ЛВНэ, то есть сдвиг БНП в сторону торможения, в зависимости от выраженности этой реакции, приводили либо к снижению темпов прироста утомления, либо к существенному повышению работоспособности. Одновременно регистрировалось достоверное повышение скорости расслабления скелетных мышц и соответственно мощности ТРФСЗ. Исходя из этого активизацию тормозных систем ЦНС следует рассматривать как целенаправленную реакцию защиты организма от переутомления и важнейший центральный компонент ТРФСЗ.

Итак, если при первом способе анализа среднегрупповых данных результатов эксперимента вывод об активизации ТРФСЗ при изометрических физических нагрузках был довольно сомнителен, то индивидуальный подход позволил совершенно четко выделить три различных типа реагирования на нагрузку, зависящих от мощности ТРФСЗ, и прийти к заключению, что активность ТРФСЗ является характерной чертой, определяющей индивидуально-типологические особенности испытуемого.

В серии экспериментов, в которых участвовали 27 футболистов команды высшей лиги и 25 футболистов команды первой лиги, предстояло решить две важные задачи. Во-первых, выяснить возможности использования повторных физических нагрузок для определения максимальной мощности ТРФСЗ и, во-вторых, исследовать влияние мощности ТРФСЗ на эффективность выполнения повторных физических нагрузок на фоне утомления от предшествующей работы.

Испытуемые выполняли по две велоэргометрические нагрузки максимальной интенсивности (50 педалирований в максимальном темпе) с 15-минутным интервалом отдыха между нагрузками. До и после нагрузок проводились полимиографические, биохимические и кардиологические обследования.

При велоэргометрических исследованиях учитывали сь стартовая (Vст), максимальная (Vm), финишная (Vф) и средняя (Vcp) скорости педалировани я (м/c).

Полимиографические обследования каждого спортсмена проводились по 5 раз: перед первой нагрузкой (исходные данные), сразу после первой нагрузки, через 15 мин после первой нагрузки, сразу после второй нагрузки и через 15 мин после второй нагрузки. В полимиографических исследованиях учитывались скорость произвольного напряжения (СПНо), максимальная произвольная сила относительная (МПСо) и скорость произвольного расслабления (СПР) четырехглавой мышцы бедра. Дополнительно по специально разработанным нами формулам рассчитывались следующие показатели: 1) ТРФСЗ; 2) сопротивляемость утомлению сократительных свойств мышц (СУссм); 3) скорость восстановления сократительных свойств мышц (СВссм); 4) полнота восстановления сократительных свойств мышц (ПВссм);

При кардиологических обследованиях [12] производилась непрерывная графическая и цифровая регистрация ЧСС перед велоэргометрическими нагрузками (в покое), во время выполнения нагрузок и в течение 1 мин восстановительного периода после нагрузок. Учитывалась ЧСС в покое (ЧССп), во время или сразу после нагрузки (ЧССм), а также в восстановительном периоде (ЧССв). Дополнительно с учетом параметров физической нагрузки, в частности средней скорости педалирования , рассчитывались следующие показатели: 1) коэффициент экономичности деятельности сердца (КЭДС); 2) коэффициент скорости восстановления пульса (КСВП); 3) коэффициент скоростной выносливости (КСВ). При биохимических исследованиях кровь из пальца бралась несколько раз за обследование: перед первой нагрузкой (в покое), на I, З, 7 и 10-й мин (после первой нагрузки, а также на 1, З, 7 и 10-й мин после второй нагрузки. С помощью общепринятых методов в крови определяли содержание (г/л) лактата, креатина, креатинина, неорганического фосфора и мочевины и с учетом средней скорости педалирований рассчитывались следующие показатели: 1) коэффициент экономичности использования гликолиза (КЭИГ), 2) коэффициент экономичности использования креатинина (КЭИК), 3) коэффициент экономичности использования неорганического фосфора (КЭИФ), 4) коэффициент эффективности периферического кровотока (КЭПК).

На основе всех перечисленных выше коэффициентов рассчитывался общий коэффициент полезного действия (ОКПД) различных систем.

Сравнительный анализ индивидуальных данных результатов исследований показал, что у 27,1% спортсменов ТРФСЗ достигала своей максимальной мощности уже после первой нагрузки, у 52,1% - лишь после второй, а у 20,8% - вообще не включилась. Из этого следует, что для определения максимальной мощности ТРФСЗ необходимо выполнение не менее двух велоэргометрических нагрузок максимальной интенсивности.

От мощности ТРФСЗ и момента ее активизации существенно зависели и индивидуальные особенности реакций на повторную нагрузку. Поэтому все испытуемые были распределены на две группы. В первую вошли спортсмены, ТРФСЗ которых достигла достаточно большой мощности уже после первой нагрузки, а во вторую - те, у которых система защиты либо вообще не включилась, либо включилась после завершения второй нагрузки и не могла существенно повлиять на эффективность ее выполнения.

Сравнительный анализ результатов исследований показал, что ни по исходным данным функционального состояния различных систем организма, ни по эргометрическим и эргономическим характеристикам выполнения первой нагрузки спортсмены этих групп фактически не отличались друг от друга. А вот в реакциях на повторные физические нагрузки у футболистов этих групп выявился ряд характерных особенностей и существенных отличий.

У спортсменов 1-й группы, отличающихся заметным повышением СПР мышц (на 17,0%; р < 0,01) после первой физической нагрузки, свидетельствующем о включении ТРФСЗ на полную мощность (ТРФСЗ = 10,91 ± 0,13), при выполнении второй велоэргометрической нагрузки на фоне утомления от предшествующей нагрузки и ухудшения сократительных свойств мышц (СПНо на 8,7%; р<0,05 и МПСо на 1,5%; р>0,05) регистрировалось существенное увеличение стартовой (Vct) на 5,2% (р>0,05), максимальной (Vм) - на 7,4% (р<0,05), финишной (Vф) - на 10,2% (р<0,01) и средней (Vcp) на 8,5% (р < 0,01) скоростей педалирования.

Отмечалось также повышение КСВ на 15,2% (р<0,01), КЭПК на 9,9% (р<0,05), КСВП на 2,8% (р>0,05), специальных расчетных коэффициентов, характеризующих КЭДС, - на 7,2% (р<0,05), КЭИГ- на 10,6% (р<0,05), КЭИК - на 12,4% (р<0,05) и КЭИФ - на 2,9% (р>0,05). Увеличение СВссм - на 5,8% (р< 0,05), ПВссм - на 10,1% (р<0,01) и ПВссм - на 5,1% (р>0,05) сократительных свойств мышц, а также достоверное (на 8,9%, р<0,01) повышение ОКПД систем организма.

Совершенно иначе реагировали на вторую нагрузку футболисты 2-й группы, у которых тормозно-релаксационная система защиты не только не включилась на помощь организму, но произошло даже достоверное ухудшение скорости СПР мышц (на 7,3%, р<0,05) после первой нагрузки, свидетельствующее об очень малой мощности ТРФСЗ (ТРФСЗ = 9,89 ± 0,05). В этих условиях при повторной нагрузке регистрировалось значительное ухудшение всех рассматриваемых параметров, в том числе достоверное (р<0,05 - р<0,01) снижение Vct, Vm, Vcp, КСВ, КСВП, КЭИГ, СУссм, СВссм, ПВссм и соответственно ОКПД различных систем организма. Все это указывает на наличие ярко выраженного некомпенсированного утомления спортсменов 2-й группы.

Заключение. Из представленных данных можно с полным основанием заключить, что именно активизация (включение) ТРФ срочной адаптации и защиты организма от экстремальных воздействий и ее мощность, оцениваемая по величине прироста скорости расслабления мышц в ответ на первую физическую нагрузку, играют решающую роль в механизмах экономизации функций, снижения энергетических затрат, повышения скорости восстановительных процессов, сопротивляемости утомлению и соответственно обеспечения экстренного повышения работоспособности (феномена второго дыхания) при повторных физических нагрузках.

**Список литературы**

1. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. - М.: Медицина, 1975. - 448 с.

2. Высочин Ю.В. Специфические травмы спортсменов: Учеб. пос. -Л.: ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта, 1980. - 43 с.

3. Высочин Ю.В. Физиологические механизмы защиты, повышения устойчивости и физической работоспособности в экстремальных условиях спортивной и профессиональной деятельности: Докт. дис. - Л.: ВМА им. С.М. Кирова, 1988. - 50 с.

4. Высочин Ю.В. Миорелаксация в механизмах повреждений опорно-двигательного аппарата // Спорт и здоровье нации / Сб. науч. тр. - СПб.: СПбГАФК им. П.Ф. Лесгафта, 2001, с. 74-84.

5. Высочин Ю.В. Общность физиологических механизмов повреждений опорно-двигательного аппарата и повреждений сердца при больших физических нагрузках // Спорт и здоровье нации / Сб. науч. тр. - СПб.: СПбГАФК им. П.Ф. Лесгафта, 2002, с. 36-66.

6. Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П. Факторы, лимитирующие прогресс спортивных результатов и квалификации футболистов // Теория и практика физ. культуры. 2001, № 2, с. 17-21.

7. Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П. Современные представления о физиологических механизмах срочной адаптации организма спортсменов к воздействиям физических нагрузок // Теория и практика физ. культуры. 2002, № 7, с. 2-6.

8. Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П. Влияние сократительных и релаксационных характеристик скелетных мышц на физическую работоспособность футболистов // Теория и практика физ. культуры. 2004, № 6, с. 47-49.

9. Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П., Рахма И.М. Миорелаксация в механизмах специальной физической работоспособности / Искусство подготовки высококвалифицированных футболистов: Науч.-метод. пос. / Под ред. Н.М. Люкшинова. - М.: Советский спорт, 2003, с. 273-311.

10. Высочин Ю.В., Денисенко Ю.П., Чуев В.А. и др. Влияние сократительных и релаксационных характеристик мышц на рост квалификации спортсменов // Теория и практика физ. культуры. 2003, № 6, с. 25-27.

11. Загрядский В.П., Сулимо-Самуйло З.К. Физические нагрузки современного человека. - Л.: Наука, 1982. - 95 с.

12. Лисицина Л.Н. Особенности гемодинамики у спортсменов с различным характером мышечной деятельности: Автореф. канд. дис. М., 1980. - 26 с.

13. Медведев В.И. Устойчивость физиологических и психологических функций человека при действии экстремальных факторов. - Л.: Наука, 1982. - 104 с.

14. Меделяновский А.Н. Функциональные системы, обеспечивающие гомеостаз // Функциональные системы организма / Под ред. К.В. Судакова. - М.: Медицина, 1987, с. 77-97.

15. Astrand P.O. The function of human organism during physical work and training // J. of Health Phys. Education and Recreation.-1972.- V. 5.- N 3. -P. 23-30.

16. Hubbard A.A. Homokinetics muscular function in human movement // Science and Medicine Exercise and Sports. - 1960. - N 5.- P. 46-67.