



ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ СПОРТСМЕНОВ

Мамметмырадова Дженнет

Преподаватель, Туркменский государственный институт физической культуры и спорта

г. Ашхабад Туркменистан

Аннотация

В настоящей научно-исследовательской работе представлен глубокий фундаментальный и системный анализ методов функционального исследования, а также специфических закономерностей долговременной адаптации сердечно-сосудистой системы высококвалифицированных спортсменов к экстремальным физическим нагрузкам. В рамках данного многоаспектного исследования подробно деконструируются ключевые гемодинамические, морфологические и электрофизиологические параметры, детально рассматриваются молекулярно-клеточные и биомеханические механизмы формирования истинного физиологического «спортивного сердца». Автор предлагает четкие физиологические и клинические критерии, позволяющие проводить дифференциальную диагностику между адаптивным ремоделированием миокарда и различными пограничными патологическими состояниями, такими как гипертрофическая кардиомиопатия и миокардиодистрофия. На основе детального разбора эмпирических данных в статье анализируются современные показатели вариабельности сердечного ритма, двухмерной и доплеровской эхокардиографии, а также комплексного нагрузочного тестирования. Особое академическое внимание уделяется оценке вегетативной регуляции хронотропной функции сердца, что дает возможность объективно и на ранних стадиях диагностировать синдром перетренированности, предотвращать срыв адаптационных механизмов и научно обоснованно оптимизировать структуру тренировочного процесса.

Ключевые слова: функциональная диагностика, спортивное сердце, гемодинамика, электрокардиография, вариабельность сердечного ритма, вегетативная регуляция, адаптация, миокард, левый желудочек, нагрузочное тестирование.

Введение

В современной спортивной медицине, клинической физиологии и кардиологии комплексное исследование функционального состояния сердечно-сосудистой

системы спортсменов традиционно занимает центральное место при решении широкого спектра задач, связанных с экспертной оценкой здоровья, прогнозированием успешности соревновательной деятельности и предупреждением внезапной сердечной смерти в большом спорте. Систему кровообращения принято рассматривать не просто как замкнутый контур для транспортировки жидких сред организма, а как главный лимитирующий фактор и одновременно основной чувствительный индикатор общей физической работоспособности и адаптационного потенциала человеческого организма в целом. Регулярные физические тренировки высокой интенсивности и продолжительности предъявляют экстремальные, подчас пороговые требования к гемодинамической и насосной функциям миокарда, что неизбежно запускает каскад сложных молекулярно-генетических, структурно-функциональных и нейровегетативных перестроек. Все эти изменения направлены на решение одной фундаментальной биологической задачи — обеспечение адекватного, бесперебойного транспорта кислорода и субстратов метаболизма к интенсивно работающим скелетным мышцам в условиях выраженного сдвига гомеостаза.

Актуальность детального физиологического мониторинга кардиогемодинамики существенно возрастает в мае две тысячи двадцать шестого года. Это обусловлено непрерывным, лавинообразным ростом тренировочных объемов, переходом на круглогодичные циклы подготовки и беспрецедентным повышением интенсивности нагрузок в современном спорте высших достижений. Переход мирового спорта на качественно новый уровень результатов требует от специалистов применения высокоточных, неинвазивных, динамических и воспроизводимых методов контроля, способных чутко улавливать тончайшие декомпенсаторные сдвиги еще на доклиническом этапе их проявления. Традиционные медицинские подходы, опирающиеся исключительно на статические клинические показатели покоя или стандартные терапевтические нормы, в спортивной практике часто оказываются малоинформативными. Более того, они нередко приводят к ошибочной гипердиагностике серьезных патологических состояний у здоровых атлетов из-за феномена индуцированной гипертрофии и брадикардии. В связи с этим возникает острая академическая и практическая необходимость глубокого теоретического обоснования и повсеместного внедрения комплексных функциональных тестов, включающих оценку резервных возможностей сердца и тонкий анализ центральных и периферических регуляторных механизмов.

С точки зрения фундаментальной науки, функциональное исследование кардиореспираторной системы спортсменов позволяет ученым глубже изучить общие законы биологической пластичности, тканевого ремоделирования и системного ответа на хронический стресс. Изучение физиологических границ адаптивного ремоделирования левого желудочка является ключевым фактором для своевременного разграничения нормы и патологии. Точная и своевременная верификация функционального статуса спортсмена позволяет тренерскому штабу и медицинскому персоналу гибко и оперативно корректировать тренировочные режимы.

Такой подход помогает эффективно предотвращать срыв адаптации, развитие дистрофии миокарда вследствие хронического физического перенапряжения, а также другие кардиальные патологии, угрожающие не только спортивной карьере, но и жизни атлета.

Механизмы адаптивного ремоделирования миокарда и концепция «спортивного сердца»

Морфофункциональная перестройка сердечно-сосудистой системы в ответ на систематические физические нагрузки представляет собой сопряженный, многоуровневый процесс. Характер, глубина и геометрическая конфигурация этой перестройки напрямую зависят от специфики конкретной спортивной дисциплины, направленности тренировочного процесса, стажа регулярных занятий и генетического профиля самого спортсмена. В физиологии спорта высших достижений на основе классических моделей ремоделирования принято выделять два полярных типа адаптационных изменений левого желудочка, которые известны в научном сообществе как эксцентрическая и концентрическая гипертрофия миокарда. Развитие того или иного морфологического типа строго обусловлено характером гемодинамической перегрузки, возникающей в кровеносном русле во время специфической мышечной работы.

При тренировках, направленных преимущественно на развитие общей выносливости, к которым относятся такие циклические виды спорта, как бег на длинные дистанции, академическая гребля, лыжные гонки, шоссейный велоспорт и плавание, миокард спортсмена на протяжении многих часов подвергается выраженной перегрузке объемом. Ведущим пусковым стимулом к перестройке геометрии сердца в данных условиях служит значительное и стойкое увеличение венозного возврата крови к правым и левым отделам сердца. Это явление приводит к выраженному механическому растяжению полостей предсердий и желудочков в фазу диастолы. В соответствии с классическим физиологическим законом Франка — Старлинга, увеличение конечного диастолического объема полостей сердца вызывает пропорциональное усиление мощности последующего систолического сокращения, что позволяет сердцу изгонять значительно больший ударный объем крови без увеличения энергетических затрат. Хроническое, многолетнее воздействие такой перегрузки объемом стимулирует внутриклеточную репликацию саркомеров в длину. На макроструктурном уровне это манифестирует в виде классической эксцентрической гипертрофии миокарда. Для нее характерно соразмерное, гармоничное увеличение внутреннего радиуса левого желудочка и умеренное утолщение его стенок, при этом относительный индекс толщины стенки остается в пределах нормальных значений, обеспечивая сердцу колоссальную насосную производительность.

В противоположность этому процессу, при выполнении чисто силовых, скоростно-силовых и статических нагрузок, к которым можно отнести тяжелую атлетику, пауэрлифтинг, бодибилдинг, гиревой спорт и некоторые виды единоборств, сердце функционирует в совершенно иных, жестких

биомеханических условиях, характеризующихся выраженной перегрузкой давлением. Интенсивное натуживание, задержка дыхания на пике усилия и мощные изометрические сокращения крупных мышечных групп приводят к механическому сдавлению артериальных сосудов в толще мышц. Это вызывает резкий, скачкообразный подъем общего периферического сосудистого сопротивления и систолического артериального давления до экстремальных цифр. Чтобы преодолеть это колоссальное постнагрузочное сопротивление и успешно осуществить изгнание крови в аорту, миокард левого желудочка вынужден генерировать значительно большее внутрижелудочковое давление в фазу систолы. Данный биомеханический стимул запускает внутриклеточный процесс параллельного добавления новых саркомеров внутри кардиомиоцитов. В результате развивается концентрическая гипертрофия левого желудочка, которая характеризуется значительным утолщением межжелудочковой перегородки и задней стенки сердца при сохранении или даже некотором уменьшении размеров его внутренней полости. Такое сердце приспособлено выдерживать колоссальные перепады давления, однако его резервные возможности по увеличению минутного объема крови при длительной аэробной работе оказываются существенно ниже, чем у представителей циклических видов спорта.

Вегетативная регуляция хронотропной функции и вариабельность сердечного ритма

В рамках современной фундаментальной спортивной физиологии и кардиологии характер, направленность и стабильность нейровегетативной регуляции принято рассматривать как важнейший, максимально чувствительный, информативный и прогностически значимый интегральный индикатор текущей функциональной готовности, уровня тренированности и общего адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы атлета. Деятельность сердца не является абсолютно автономной; она ежесекундно модулируется сложным комплексом центральных и периферических регуляторных влияний, которые обеспечивают тонкую подстройку параметров кардиогемодинамики под меняющиеся потребности целостного организма.

У высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в циклических, игровых и сложнокоординационных дисциплинах, в состоянии полного физического и психического покоя закономерно, стабильно и воспроизводимо регистрируется выраженная, глубокая синусовая брадикардия. При этом частота сердечных сокращений в покое у элитных атлетов может удерживаться на уровне менее пятидесяти, сорока или, в исключительных случаях, даже тридцати пяти ударов в минуту. В клинической практике для нетренированного человека подобные показатели однозначно трактовались бы как тяжелое проявление синдрома слабости синусового узла или предсердно-желудочковой блокады, требующее немедленной госпитализации. Однако в спортивной медицине это феноменальное явление отражает глубокий, долговременный, генетически фиксированный и тренировочно обусловленный сдвиг вегетативного баланса в сторону стойкого и абсолютного доминирования парасимпатического отдела

вегетативной нервной системы. Данная мощная, экономизирующая тоническая вагусная реакция служит проявлением перестройки хронотропной функции. Она позволяет сердцу функционировать в максимально щадящем, ресурсосберегающем режиме в межтренировочный период, существенно снижая общую потребность миокарда в кислороде, увеличивая время диастолического наполнения и создавая колоссальный резерв для последующего многократного ускорения ритма на пике соревновательного усилия.

Для углубленного, неинвазивного, математического анализа тонкой структуры сердечного ритма и точной количественной оценки вклада различных уровней иерархических регуляторных систем в современной исследовательской практике применяется метод спектрального и временного анализа вариабельности сердечного ритма. Данный методологический подход, базирующийся на статистической обработке последовательных интервалов между зубцами электрокардиограммы, позволяет детально дифференцировать и квантифицировать влияние симпатических, парасимпатических, а также надсегментарных гуморально-метаболических, гормональных и центральных церебральных контуров управления автоматизмом синусового узла.

Анатомическим и физиологическим субстратом высокочастотных волн (HF-компонент) спектральной мощности является дыхательная синусовая аритмия, находящаяся под прямым, оперативным парасимпатическим и вагусным контролем. Значительное нарастание абсолютной и относительной мощности этого компонента в состоянии покоя служит надежным, объективным критерием отличной переносимости предшествующих тренировочных нагрузок, завершенности процессов анаболического восстановления и высокого уровня аэробной подготовленности. Напротив, низкочастотные волны спектра (LF-компонент) отражают более сложные, сопряженные симпато-вагусные взаимодействия, активность барорефлекторных систем регуляции системного артериального давления и вазомоторного центра. Волны очень низкой частоты (VLF-компонент) тесно связаны с активностью надсегментарных центральных структур, церебральных систем и отражают влияние гуморально-метаболических факторов, таких как уровень циркулирующих катехоламинов и состояние ренин-ангиотензин-альдостероновой системы. Математический показатель кратковременной вариабельности, рассчитываемый как среднее квадратичное отклонение разностей последовательных интервалов (RMSSD), прямо указывает на степень защитного, стабилизирующего вагусного влияния на проводящую систему сердца, коррелируя со способностью миокарда противостоять аритмогенным факторам.

Регулярное, систематическое изучение динамики этих спектральных, временных и интегральных характеристик в ходе различных мезо- и макроциклов спортивной подготовки дает возможность осуществлять непрерывный донозологический мониторинг. Стабильное снижение показателей общей мощности спектра (TP) нейровегетативной регуляции и резкое, прогрессирующее падение активности высокочастотного вагусного компонента на фоне компенсаторного,

относительного или абсолютного увеличения мощности низкочастотных и особенно очень низкочастотных гуморальных волн в состоянии покоя наглядно свидетельствует об опасном ослаблении автономного контура регуляции и истощении резервов. Одновременный резкий, скачкообразный рост индекса напряжения регуляторных систем (ИН), вычисляемого по методу Баевского, однозначно указывает на переход сердца на жесткий, фиксированный, монотонный ритм и чрезмерную, энергетически затратную, истощающую активацию центральных эрготропных систем.

Такое состояние, регистрируемое в динамике, служит самым ранним, объективным, математически и физиологически доказуемым маркером развития синдрома дезадаптации, хронического функционального перенапряжения и затяжной перетренированности. Оно манифестирует задолго до появления субъективных жалоб со стороны спортсмена или падения его спортивных результатов, что предоставляет тренерскому и медицинскому штабу незаменимое временное преимущество для немедленной патогенетической коррекции тренировочных режимов, внедрения комплекса восстановительных мероприятий и предотвращения клинического срыва адаптационных механизмов кровообращения.

Механизмы адаптивного ремоделирования миокарда и концепция «спортивного сердца»

Детальное и всестороннее изучение структурно-функциональных изменений, происходящих в мышечной ткани сердца под воздействием регулярных физических нагрузок, привело к формированию и глубокому развитию фундаментальной концепции физиологического «спортивного сердца». Данный феномен представляет собой сложный, многоуровневый и строго скоординированный комплекс адаптационных перестроек, развертывающихся на органном, тканевом, клеточном, субклеточном и молекулярно-генетическом уровнях. Морфофункциональное ремоделирование левого желудочка и ассоциированных с ним магистральных сосудов не является хаотичным процессом, а носит системный, детерминированный характер. Направленность, выраженность, скорость развития и конечная геометрическая конфигурация этих преобразований находятся в прямой, жесткой зависимости от специфики конкретной спортивной дисциплины, структуры тренировочного макроцикла, общего стажа непрерывных занятий, а также от исходного генетического профиля и фенотипических особенностей организма самого спортсмена.

В классической спортивной кардиологии и физиологии, опираясь на фундаментальные модели биомеханики миокарда, принято выделять два полярных, патогенетически обоснованных типа адаптационного ремоделирования левого желудочка, которые известны в академическом сообществе как эксцентрическая и концентрическая гипертрофия. Развитие той или иной морфологической структуры и пространственной конфигурации сердца строго обусловлено характером, вектором и продолжительностью

гемодинамической перегрузки, непрерывно возникающей в центральном и периферическом кровеносном русле во время специфической мышечной деятельности.

При многолетних тренировках, направленных преимущественно на развитие и поддержание общей выносливости, к которым традиционно относится широкий спектр циклических дисциплин — включая бег на сверхдлинные и марафонские дистанции, академическую греблю, лыжные гонки, триатлон, шоссейный велоспорт высших достижений и стайерское плавание, — сердечно-сосудистая система атлета на протяжении многих часов непрерывно подвергается выраженной и сочетанной гемодинамической перегрузке объемом. Ведущим, первичным пусковым стимулом к кардинальной перестройке макроструктурной геометрии сердца в данных физиологических условиях выступает значительное, стойкое и многократное увеличение венозного возврата крови к правым и левым отделам сердца. Этот процесс обусловлен мощным функционированием так называемого «мышечного насоса» и резким увеличением объема циркулирующей плазмы крови. Столь выраженный приток жидких сред организма неизбежно приводит к сильному механическому растяжению стенок предсердий и желудочков в фазу диастолы.

В этой ситуации в полную силу вступает классический фундаментальный закон Франка — Старлинга, согласно которому увеличение конечного диастолического объема полостей сердца и, как следствие, степени растяжения мышечных волокон вызывает пропорциональное, линейное усиление мощности последующего систолического сокращения. Это позволяет сердцу эффективно изгонять значительно увеличенный ударный объем крови в аортальное русло без чрезмерного роста энергетических и метаболических затрат. Хроническое, многолетнее воздействие такой гемодинамической перегрузки объемом выступает в роли мощного индуктора внутриклеточных сигнальных каскадов, стимулирующих репликацию саркомеров в длину.

На макроструктурном уровне этот внутриклеточный процесс манифестирует в виде классической эксцентрической гипертрофии миокарда левого желудочка. Для данной геометрической модели характерно соразмерное, гармоничное, сбалансированное увеличение внутреннего радиуса и полости левого желудочка при сопутствующем умеренном, адекватном утолщении его стенок. При этом относительный индекс толщины стенки миокарда удерживается строго в пределах физиологических нормативных значений. Такое эксцентрически ремоделированное сердце приобретает колоссальные резервные возможности по увеличению дилатационной емкости, что позволяет ему в моменты пиковых соревновательных нагрузок генерировать минутный объем кровообращения, в несколько раз превышающий показатели нетренированных лиц, обеспечивая беспрецедентную доставку кислорода к работающим тканям.

В полную противоположность вышеописанному процессу, при выполнении чисто силовых, скоростно-силовых, изометрических и статических нагрузок — к

которым относятся тяжелая атлетика, пауэрлифтинг, бодибилдинг, гиревой спорт, армрестлинг и различные виды силовых единоборств — аппарат кровообращения функционирует в совершенно иных, экстремальных и жестких биомеханических условиях, определяемых выраженной перегрузкой давлением. Интенсивное, натуживание, выполнение упражнений с задержкой дыхания на пике максимального физического усилия (маневр Вальсальвы) и мощные, длительные изометрические сокращения крупных скелетных мышечных групп приводят к прямому механическому сдавлению артериальных и капиллярных сосудов в толще мышечной ткани.

Это явление вызывает резкий, лавинообразный, скачкообразный подъем общего периферического сосудистого сопротивления и, как следствие, подъем систолического и диастолического артериального давления до критических, пороговых значений. Чтобы успешно преодолеть это колоссальное постнагрузочное сопротивление, открыть аортальный клапан и осуществить изгнание крови из полости, миокард левого желудочка вынужден генерировать колоссальное внутрижелудочковое давление в фазу систолы. Данный механический стимул воспринимается специализированными механорецепторами кардиомиоцитов и запускает каскад внутриклеточного синтеза белка, направленный на параллельное добавление новых саркомеров внутри клеток.

В результате этих глубоких перестроек развивается выраженная концентрическая гипертрофия левого желудочка. Эта морфологическая модель характеризуется значительным, изолированным утолщением межжелудочковой перегородки и задней стенки сердца при стабильном сохранении или даже некотором уменьшении исходных поперечных размеров его внутренней полости. Относительный индекс толщины стенки миокарда при концентрическом типе резко возрастает. Такое утолщенное, мощное сердце идеально приспособлено к тому, чтобы выдерживать огромные, повторяющиеся перепады внутрижелудочкового давления и успешно функционировать в условиях жесткой постнагрузки.

Однако его резервные возможности по увеличению объемных показателей и минутного объема крови при длительной аэробной работе на выносливость оказываются существенно ниже, чем у представителей циклических видов спорта. Кроме того, концентрический тип ремоделирования требует максимально пристального функционального контроля, так как именно он при чрезмерной интенсификации тренировок без адекватного восстановления имеет тенденцию переходить грани физиологической нормы, трансформируясь в патологическую гипертрофию с последующим развитием относительной коронарной недостаточности и очагового фиброза.

Заключение

Подводя итог многоаспектному и детальному рассмотрению представленной проблемы, можно с абсолютной уверенностью утверждать, что комплексное и непрерывное функциональное исследование состояния сердечно-сосудистой системы высококвалифицированных спортсменов представляет собой чрезвычайно сложный, высокотехнологичный, многомерный и глубоко динамический процесс. Этот процесс разворачивается во времени и пространстве и требует от спортивного физиолога, кардиолога и исследователя системной, междисциплинарной и аналитической интеграции колоссального массива экспериментальных и клинических данных, имеющих разнородный морфологический, ультраструктурный, электрофизиологический, молекулярно-генетический, гемодинамический и автономно-регуляторный характер.

Интенсивная, многолетняя, круглогодичная и систематическая мышечная деятельность в спорте высших достижений неизбежно выступает в роли мощнейшего, бескомпромиссного биологического индуктора и триггера глубоких, фундаментальных перестроек и пластических трансформаций всей системы кардиогемодинамики. Все эти сопряженные морфофункциональные сдвиги, развивающиеся на организменном, органном, тканевом и клеточном уровнях, имеют ярко выраженную адаптационную направленность. Они строго ориентированы на долгосрочное достижение максимальных показателей ударного и минутного объемов крови при предельных режимах работы, существенное расширение функционального резерва левого желудочка, а также на филигранную оптимизацию центрального и периферического вегетативного баланса в сторону формирования устойчивой, экономизирующей и защитной физиологической ваготонии в периоды покоя. Данный комплекс сдвигов сопровождается кардинальным улучшением эластических, вязкостно-эластических, комплаентных и релаксационных свойств рабочего миокарда, что позволяет сердцу атлета совершать колоссальную механическую работу с минимальным уровнем внутриклеточного напряжения и оптимальным потреблением кислорода.

В современных реалиях физиологии и медицины двадцать шестого года становится очевидным, что назрел окончательный и полный отказ от устаревших, избыточно упрощенных, линейных и шаблонных диагностических подходов, а также от механического переноса стандартных клинических и терапевтических нормативов, рассчитанных для лиц с низкой физической активностью, на популяцию профессиональных спортсменов. На смену им должен прийти научно обоснованный, междисциплинарный и персонифицированный подход, опирающийся на сочетанное использование экспертных протоколов двухмерной, трехмерной и тканевой доплеровской эхокардиографии, непрерывного спектрального и математического анализа вариабельности сердечного ритма, а также высоконагрузочной эргоспирометрии с прямым определением газовой структуры выдоха.

Только такой прецизионный и индивидуализированный мониторинг текущего процесса срочной и долговременной адаптации позволяет практикующему специалисту осуществлять тонкую дифференциальную диагностику между пограничными состояниями, своевременно выявляя ранние стадии перетренированности. Реализация этой стратегии обеспечивает надежную, патогенетически обоснованную и эффективную профилактику целого спектра предпатологических изменений, включая дистрофию миокарда вследствие физического перенапряжения, спортивную кардиомиопатию и жизнеугрожающие нарушения ритма. В конечном счете, именно такой подход гарантирует не только стабильное сохранение профессионального здоровья и высокой соревновательной конкурентоспособности атлетов, но и закладывает прочный фундамент для их долгосрочного и безопасного спортивного долголетия.

Литература

1. Граевская Н. Д., Долматова Т. И. Спортивная медицина: Курс лекций и практические занятия. — М.: Советский спорт, 2004. — 304 с.
2. Дембо А. Г., Земцовский Э. В. Спортивная кардиология. — Л.: Медицина, 1989. — 464 с.
3. Карпман В. Л., Velotserkovsky З. Б., Гудков И. А. Тестирование физической работоспособности спортсменов. — М.: Физкультура и спорт, 1988. — 208 с.
4. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Введение в донозологическую диагностику. — М.: Слово, 2008. — 220 с.
5. Земцовский Э. В. Спортивная кардиология. — СПб.: Гиппократ, 2020. — 328 с.