

На правах рукописи

ПОХАЧЕВСКИЙ
АНДРЕЙ ЛЕОНИДОВИЧ

**АДАПТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
В ДИНАМИКЕ НАГРУЗОЧНОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ
У СТАРШИХ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ**

03.03.01 – физиология

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора медицинских наук

Рязань, 2015

Работа выполнена в Государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный консультант:

доктор медицинских наук, профессор Лапкин Михаил Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук, профессор Алипов Николай Николаевич

доктор медицинских наук, профессор Глазачев Олег Станиславович

доктор медицинских наук, профессор Северин Александр Евгеньевич

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина"

Защита состоится «___» марта 2016 г. в «___» часов на заседании Диссертационного совета Д 208.084.05 ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России (г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России (390026, г. Рязань, ул. Шевченко, д. 34); на сайте www.rzgm.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Учёный секретарь Диссертационного совета

доктор медицинских наук, профессор

Жаднов В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Проблема объективной количественной оценки индивидуального здоровья остаётся одной из актуальнейших проблем современной физиологической науки.

Не случайно основные положения, обсуждаемые на 32-й сессии Всемирной ассамблеи здравоохранения – health promotion and protection (обеспечение и защита здоровья) – опосредованы выраженной зависимостью от preventive services – принципа доказательного определения и оценки уровня здоровья (Mason J.O., 1990; Walsh D.C., 1991; Healthy People, 2010).

В качестве оптимальной методологии оценки этого уровня рассматривается мониторинг функциональных резервов – донологическая диагностика на ранних этапах адаптационного синдрома. Их количественное определение строится на основе многоуровневого подхода включающего: во-первых, оценку состояния системы нейрогуморальной регуляции как показателя, отражающего текущее функциональное состояние и адаптационный потенциал организма; во-вторых, изучение нагрузочной толерантности как интегрального показателя, характеризующего реализацию адаптационных резервов организма (Баевский Р.М., 1995; Михайлов В.М., 2008).

Недооценка нейрогуморальной регуляции как одного из факторов, лимитирующих физическую работоспособность организма, определяет необходимость ее изучения и изыскания оптимальных диагностических подходов. Изучение переносимости физической нагрузки, а, по сути – формирования выносливости, акцентировано не столько в связи с непреходящей актуальностью для спортивной физиологии и медицины, сколько по поводу перекрестных эффектов адаптации, обуславливающих выживаемость (Меерсон Ф. З., 1973, 1981, 1988). Их взаимозависимость доказательно закрепила за нагрузочной толерантностью количественный эквивалент здоровья. При этом маркерами выживаемости – коронарных событий и общей смертности – оказались не привычные ЭКГ критерии, а хронотропная недостаточность – неспособность к адекватному изменению ЧСС и мощность перенесенной нагрузки, выявленные

в процессе максимального нагрузочного тестирования. Недостаточное нарастание, невозможность достижения намеченных значений при нагрузке, темп замедления ЧСС – на 1-й минуте восстановления, максимальная мощность перенесенной нагрузки оставались мощными прогностическими факторами выживаемости и после внесения поправок на возраст, динамику сегмента ST, индекс массы тела, курение, артериальную гипертензию, диабет и отношение общего холестерина к его фракции с высокой плотностью (Brenner S.J., 1995, Perini R., 1995; Jouven X., 2005).

Значения предикторов, превосходящих диагностические рамки выживаемости, вероятно, могут свидетельствовать и об адаптационной состоятельности организма и определять количественный уровень здоровья, а с точки зрения спортивной медицины – физическую выносливость.

Жизненно важным остается и выявление маркеров, отражающих механизмы регуляции сердечного ритма (СР), так как они предшествуют непосредственным изменениям на ЭКГ и могут быть использованы для изучения физиологических, пограничных и патофизиологических основ этой изменчивости. Данное обстоятельство позволит не только установить вероятность нарушений до их манифестации, но и отказаться от стресс-теста.

Известно, что новейшие предикторы коронарных инцидентов обнаружены в результате более чем полувековых наблюдений, охватывающих многотысячные выборки в условиях ограниченного количества анализируемых признаков. В свою очередь СР проявляется не столько усредненной ЧСС, а куда более сложной изменчивостью величины КИ «bit to bit», критичность которой к изучаемым явлениям недостаточно изучена.

Цель работы

Установить гомеокинетические показатели сердечного ритма, с тем чтобы выявить закономерности их изменчивости в динамике нагрузочной толерантности, разработать алгоритм их мониторинга для доказательного определения и количественной оценки адаптации к физической нагрузке.

Задачи исследования

1. Проанализировать структуру СР и выявить физиологические закономерности его изменчивости в динамике нагрузочной толерантности у испытуемых с различным уровнем физической работоспособности;
2. Разработать диагностические подходы и уточнить закономерности регуляции СР при физической нагрузке.
3. Изучить чувствительность СР к регуляторным влияниям автономной нервной системы в динамике формирования выносливости.
4. Изучить взаимосвязи изменчивости и регуляции СР при физической нагрузке и в состоянии относительного физиологического покоя.
5. Выявить КРГ-критерии аэробно-анаэробной выносливости и определить физиологические закономерности ее формирования.

Научная новизна

Разработаны и впервые применены новые диагностические подходы к изучению КРГ при нагрузочном тестировании, реализованные, в том числе, в условиях переходных процессов.

Анализ СР во взаимосвязи с эргометрическими и регуляторными маркерами вскрыл ряд принципиально новых закономерностей структуры, формирования и осуществления адаптационных реакций:

– КРГ нагрузочной части велоэргометрии характеризуется гиперболическим трендом с колебательно-затухающей изменчивостью, маркеры которых определяют нагрузочную толерантность;

– объективизация изучения СР может осуществляться посредством математического моделирования временного ряда КРГ. Особенности модели устанавливаются в процессе анализа распределения RR-интервалов;

– уровень аэробно-анаэробной выносливости определяется: накоплением хронотропного резерва, обнаруживающимся смещением выявленных маркеров в низкочастотную область, причем при нагрузке время их манифестации увеличивается, а в период восстановления – уменьшается; качественным изменением чувствительности миокарда к регуляторным влияниям ВНС;

– способность миокарда отвечать на регуляторные влияния поступательно снижается в нагрузочный и возрастает в восстановительный период с существенно различимой индивидуальной скоростью. Причем чувствительность к парасимпатическим влияниям медленнее исчезает при нагрузке и быстрее восстанавливается после её прекращения;

– показатели нейрогуморальной регуляции в состоянии относительного физиологического покоя, отражая функциональное состояние организма и цену перенесенной ранее физической нагрузки, не могут использоваться для прогноза нагрузочной толерантности.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. На основе предложенных методов изучения СР и его регуляции разработаны, апробированы и внедрены четыре диагностических способа: оценки ФС при нагрузочном тестировании; определения переносимости ФН по точке ускользания СР от вегетативного контроля; определения границы аэробно-анаэробного перехода по КРГ при нагрузочном тестировании; определения вегетативной активности при нагрузочном тестировании.

2. Обоснован, апробирован и внедрен принципиально новый нагрузочный протокол, позволяющий нивелировать индивидуальные и гендерные различия. В его рамках при проведении скрининговых исследований длительность нагрузочного периода может быть ограничена достижением нагрузочных маркеров, определяющих существенные черты физической выносливости.

3. Выявлены новые физиологические критерии нагрузочной толерантности и регуляции СР, определяющие их использование в диагностических и прогностических целях. На их основе предложены оценка и мониторинг нагрузочной толерантности, смешанной выносливости, регуляторной чувствительности миокарда.

4. Разработаны подходы к оценке адаптационной стоимости нагрузки; динамическому мониторингу тренированности лиц, подверженных систематическим физическим нагрузкам; ранней диагностике состояния

перегрузки и перетренированности; к определению переносимости и усвоения физической нагрузки с целью ее оптимизации.

5. Предложены подходы к изучению последовательности случайных величин, определяющие их использование для математического моделирования и анализа временных рядов переходных физиологических процессов.

Внедрение результатов исследования

Результаты исследования внедрены на федеральном уровне в деятельность Московского научно-практического центра медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины; в практическую деятельность государственного комитета Псковской области по физической культуре и спорту, управления физической культуры г. Вологды и используются с целью медико-биологического контроля в работе спортивных школ при подготовке спортсменов легкоатлетов, лыжников, единоборцев. Внедрение в учебный процесс представлено в 3 учебных пособиях с Грифом УМО Минобрнауки.

Результаты исследований были представлены на 10 авторитетных Российских и международных научно-практических конференциях. Инновационные диагностические подходы закрепились в 5 пунктах формулы изобретений 4 Патентов РФ. В журналах, рекомендованных ВАК, опубликована 31 научная работа.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Сердечный ритм, зарегистрированный в процессе нагрузочного тестирования в виде непрерывного временного ряда, несет в себе полноценную информацию о нагрузочной толерантности и регуляторных влияниях на сердце и может изучаться посредством математического моделирования КРГ. Характеристики модели устанавливаются в результате анализа распределения КИ.

2. Временной ряд нагрузочной части велоэргометрии характеризуется:

– индивидуальным условно-гиперболическим трендом, крутизна которого зависит от нагрузочной толерантности. Увеличение времени проявления маркера крутизны и удлинение КИ в нем определяют улучшение переносимости ФН;

– колебательно-затухающей изменчивостью, предел которой обнаруживает точку стабилизации СР. С увеличением нагрузочной толерантности время до ее проявления увеличивается, а КИ в ней и скорость стабилизации уменьшаются.

3. Способность миокарда отвечать на регуляторные влияния поступательно снижается в нагрузочный и возрастает в восстановительный период с существенно различимой индивидуальной скоростью. Чувствительность к парасимпатическим влияниям медленнее снижается при нагрузке и быстрее восстанавливается после её прекращения. Динамика чувствительности миокарда к регуляторным влияниям напрямую связана с нагрузочной толерантностью: чем выше последняя, тем меньше скорость снижения чувствительности при нагрузке и быстрее восстановление после ее прекращения.

4. Формирование выносливости характеризуется: улучшением нагрузочной толерантности обнаруживаемой накоплением хронотропного резерва и соответствующей динамикой временных и интервальных маркеров КРГ; этапным изменением чувствительности миокарда к регуляторным влияниям.

Апробация диссертации

Результаты исследования были представлены на Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности – профессия XXI века: проблемы становления и перспективы развития» (С.-Петербург, 2002); Международной научно-практической конференции «Здоровая жизнь» (Вологда, 2003); Международной научно-практической конференции «Медико-биологические проблемы физической культуры и спорта в современных условиях» (Белгород, 2003); Всероссийском сборе МЧС (Казань, 2004); Международной научно-практической конференции «Совершенствование тактико-специальных действий и боевых приемов борьбы в правоохранительных органах» (Вологда, 2007); Международном научно-практическом семинаре «Актуальные вопросы физической, боевой и тактико-специальной подготовки сотрудников уголовно-исполнительной системы» (Вологда: 2008 – 2012); Всероссийской научной конференции посвященной 70-летию основания РязГМУ им. акад. И.П. Павлова (Рязань, 2013); Межкафедральном совещании кафедр: нормальной

физиологии с курсом психофизиологии; неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики; физического воспитания и здоровья; патофизиологии; внутренних болезней и поликлинической терапии ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России; Межрегиональной научно-практической конференции VIII Павловские беседы «Научное наследие академика И.П. Павлова и современная наука» (Рязань, 2015)

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 360 страницах машинописного текста и состоит из следующих разделов: «Введение», глава 1 «Обзор литературы», глава 2 «Организация, методология, объем и методы исследования»; «Результаты исследования и их обсуждение»: глава 3 «Определение адаптационного потенциала при физической нагрузке», глава 4 «Сердечный ритм и его регуляция в динамике нагрузочной толерантности», глава 5 «Анализ адаптационных резервов организма», глава 6 «Комплекс диагностики и мониторинга функционального состояния, физической подготовленности и тренированности»; «Заключение», «Выводы», «Практические рекомендации», «Список литературы». Библиографический указатель содержит 251 источник, из которых – 113 отечественных и 138 иностранных. Текст диссертации иллюстрирован 102 рисунками и 128 таблицами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась в течение 14 лет (с 2002 по 2015 гг.) на базе научно-исследовательской лаборатории «Диагностических и оздоровительных технологий» ВИПЭ ФСИН России, кафедры гимнастики, легкой атлетики и спортивной медицины ГБОУ ВПО ВГПУ г. Вологда, кафедры педиатрии лечебного факультета ГБОУ ВПО ИвГМА Минздрава России г. Иваново, кафедры нормальной физиологии с курсом психофизиологии ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России. В исследованиях добровольно участвовали 290 человек 17-24 лет: курсанты ФСИН – 78 человек, старшие школьники и студенты вузов города Вологды – 212 человек. Проведено 433 ВЭМ-исследования на e-Bike Ergometer, 604 – АОП, изучено 2074 временных ряда КРГ, полученных в состоянии

относительного физиологического покоя и при физической нагрузке. Проведено свыше 10000 исследований, включающих изучение антропометрических показателей, ФР, адаптационного потенциала организма, эргоспирометрических характеристик методами прямого газоанализа (Cortex, Jager Oхусон). Регистрация и первичная обработка ЭКГ проводилась аппаратно-программными комплексами «Полиспектр» компании «Нейрософт» г. Иваново.

В работе использованы современные математические и статистические подходы. Репрезентативность показателей оценивалась с помощью стандартного пакета STATISTICA (Гланц С., 1998, Реброва О.Ю., 2003, Халафян А.А., 2007). Применены непараметрические методы, дисперсионный, корреляционный, кластерный анализ с соответствующими критериями надежности.

Исследование антропометрических характеристик и функционального состояния организма

Для получения данных, пригодных для последующей оценки и сравнения, антропометрические исследования проводились стандартными проверенными инструментами по общепринятой методике (Методики исследования в целях врачебно-летней экспертизы, 1995). В процессе исследования определялось функциональное состояние организма путем измерения:

- частоты сердечных сокращений (ЧСС_{н, о, тх, ср}), где «н, о» – показатели динамической модели, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение;

- систолического АД (САД, АД_{н, о, тх, ср}), где «н, о» – показатели модели, обуславливающие динамику, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение; диастолического АД (ДАД);

расчета индексов и их математических моделей:

- индекс хронотропного резерва (ИХР_{н, о, тх, ср}) определяется: $(ЧСС_{ст} - ЧСС_{п}) / ЧСС_{п} \times 100$, где «ст» – ступень нагрузки, «п» – покой, «н, о» – показатели модели, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение;

- индекс инотропного резерва (ИИР_{н, о, тх, ср}) определяется: $(САД_{ст} - САД_{п}) / САД_{п} \times 100$, где «ст» – ступень нагрузки, «п» – покой, «н, о» – показатели модели, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение;

– двойное произведение (ДПн, о, тх, ср) определяется: $(ЧСС \times САД) / 100$, где «н, о» – показатели модели, обуславливающие динамику, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение;

– производительность работы левого желудочка (ПРЛЖн, о, тх, ср) определяется: $(W / ЧСС_{ст}) \times 100$, где «ст» – степень нагрузки, W – нагрузка в Ваттах, «н, о» – показатели модели, обуславливающие динамику, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение;

– коэффициент расходования резервов миокарда (КРРМн, о, тх, ср) определяется: $(САД_{ст} - САД_{п}) / W \times 100$, где «ст» – степень нагрузки, «п» – покой, W – нагрузка в Ваттах, «н, о» – показатели модели, обуславливающие динамику, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение;

– сердечно-нагрузочный индекс (СНИн, о, тх, ср) определяется: $(ДП_{ст} - ДП_{п}) / W$, где «ст» – степень нагрузки, «п» – покой, W – мощность в кГм/мин, «н, о» – показатели модели, «тх» – на максимуме нагрузки, «ср» – среднее значение;

– максимальный индекс выносливости (МИВ) определяется: $W_{кГм/мин} / S$ поверхности тела ($м^2$) (Методы исследования в физиологии военного труда, 1993).

Физическая работоспособность исследовалась по результатам стресс-велозргометрического теста (Михайлов В.М., 2003) адаптированного для настоящего исследования (см. результаты собственных исследований).

Анализ сердечного ритма

Для оценки состояния неспецифических адаптационных механизмов использовался математический анализ ВРС (Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use, 1996). Регистрация КИ в состоянии относительного физиологического покоя и при АОП в клино- и ортоположении производилась по 5 и 6 минут соответственно. Анализ ВРС осуществлялся спектральным способом (Frequency Domain Methods). С целью оценки состояния регуляции с позиций системного подхода проводился кросс-корреляционный анализ показателей ВРС и длительности дыхательного цикла (Михайлов В.М. Патент №2195163), уточняющего границы низкочастотного компонента и синхронизацию дыхательного и сосудодвигательного центров.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Авторские диагностические методы и подходы

Нагрузочный протокол

Разработанный максимальный протокол велоэргометрии позволяет наиболее точно выявить особенности КРГ. Достигнутая по ДОО стандартизация нагрузки первой ступени, установка последней – на уровне максимума переносимости, размер нагрузочных приращений (30Вт) и их длительность (1 мин) позволили ограничить количество ступеней, при сохранении линейности отношений между потреблением кислорода и нагрузочной ЧСС, что и определило диагностическую ценность результатов.

Изучение временного ряда КРГ

Визуальный анализ КРГ нагрузочного периода выявил гиперболическую и колебательно-затухающую динамику. Причем выраженность и длительность этих процессов имели заметные индивидуальные различия. Однако несоответствие моделей (типа $y=a/x+b$) экспериментальной кривой заставило усомниться в однородности временного ряда КРГ и потребовало его изучения как последовательности случайных величин (рис. 1).

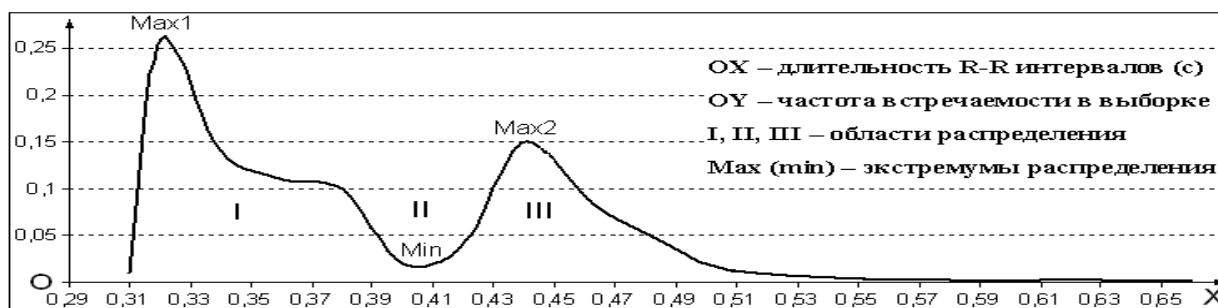


Рис. 1. Функция распределение кардиоинтервалов нагрузочного периода

Два явно выраженных максимума накопленного распределения КИ обусловили неоднородность временного ряда КРГ связанную с наличием, по крайней мере, двух конкурирующих процессов участвующих в формировании СР.

Установлено, что RR-интервалы КРГ не перемешиваются в диапазонах распределения и каждый из них соответствует собственному временному промежутку (рис. 2). При этом построение динамической модели КРГ, учитывая

факт бимодальности распределения, должно включать две отдельно моделируемые части во временных интервалах моды.

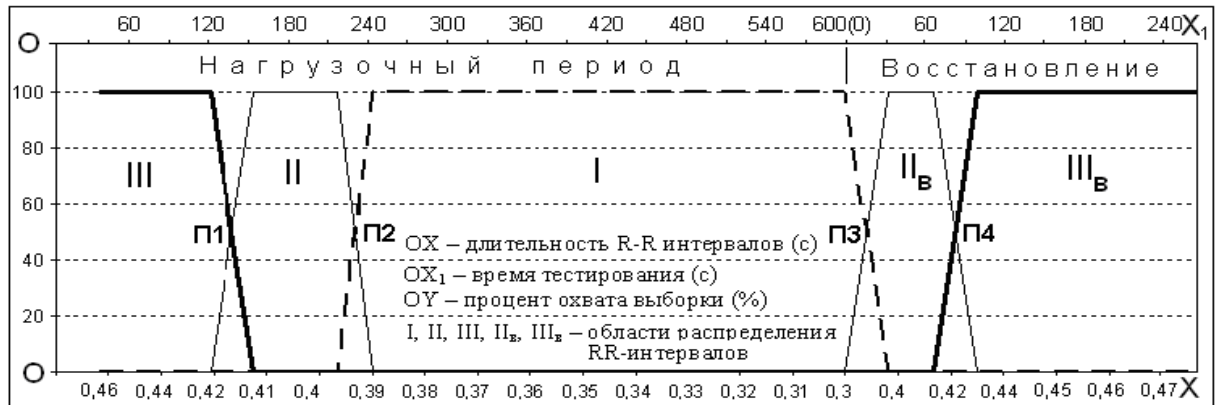


Рис. 2. Динамика функции распределения во времени

Настоящий подход позволил создать наиболее успешную математическую модель КРГ, точность которой подтвердилась наименьшей суммой квадратов отклонений (от экспериментальной кривой). Обнаруженные критические точки функции распределения, вскрывая характерные особенности КРГ, также могут быть использованы для изучения ее изменчивости в целом.

Предложенная процедура анализа временного ряда КРГ включающая накопление распределения, определение его временных границ и построение на этой основе динамической модели процесса может быть применена для исследования любых временных последовательностей в медицине и физиологии.

Концепция линейной модели КРГ

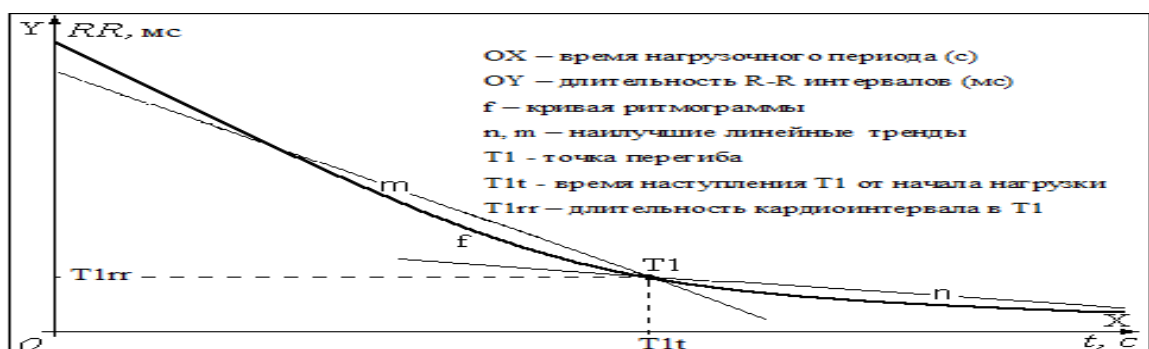


Рис. 3. Схема линейной динамической модели КРГ

Динамическая модель (рис. 3) КРГ (f), определяется двумя наилучшими линейными трендами « m » и « n », построенными во временных интервалах бимодального распределения и пересекающимися в точке «перегиба» $T1$. Параметры трендов ($H1, O1$; $H2, O2$) и точки перегиба ($T1t$, rr), являясь

принципиально новыми характеристиками КРГ, варьируют у обследуемых с различной нагрузочной толерантностью.

Маятниковая модель кардиоритмограммы

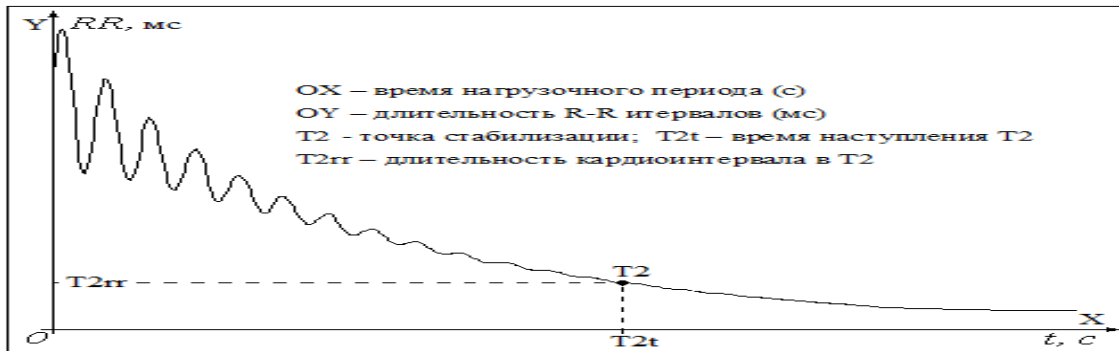


Рис. 4. Схема нагрузочной КРГ велоэргометрии по Ramp-протоколу

Характеристики колебаний оценивались модулем отклонений от наилучших линейных трендов в виде последовательности «h» (рис. 4, 5). На участке затухания она моделировалась линейной регрессией «с», которая, пересекаясь прямой «d» (интервалом трех σ (сигм)) – ригидного участка, дает точку стабилизации T2. Координаты прямой «с», длительность КИ точки стабилизации (T2rr) и время ее наступления (T2t) варьируют у обследуемых с различной нагрузочной толерантностью и определяют индивидуальные особенности СР.

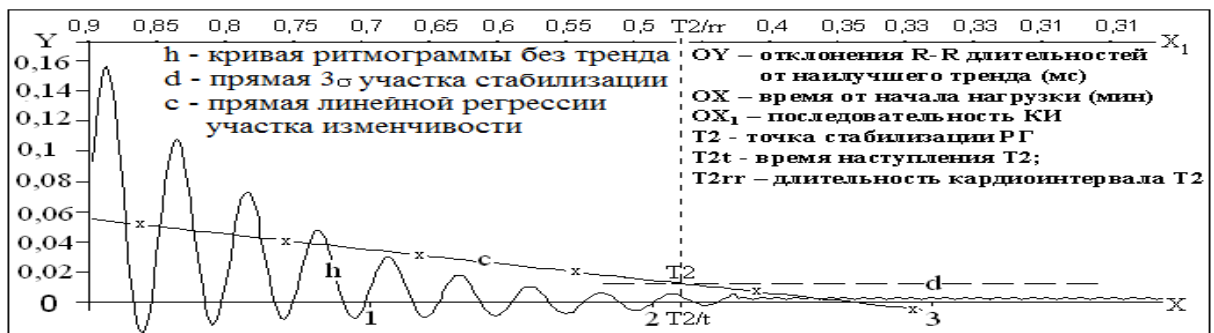


Рис. 5. Схема динамической модели КРГ (без трендов)

Исследование вегетативной регуляции СР

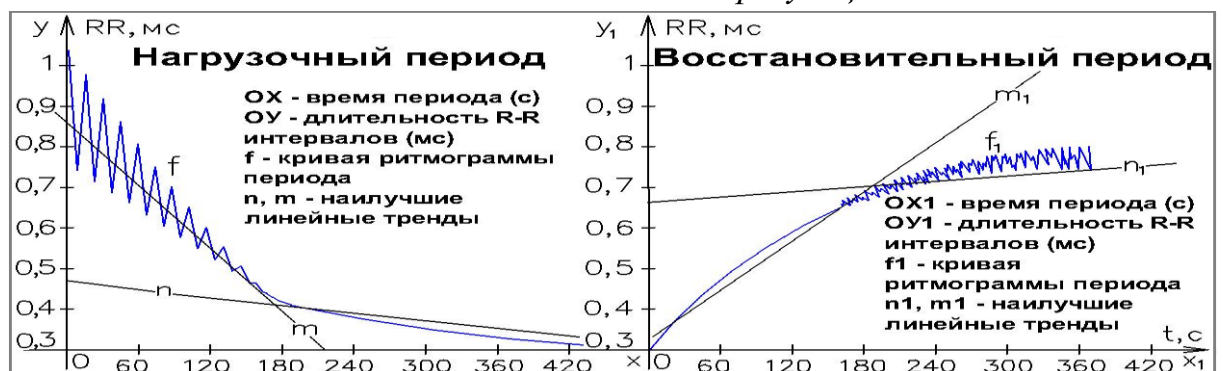


Рис. 6. Динамическая модель КРГ

В связи с тем, что изменчивость СР определяется регуляторными влияниями ВНС, существуют участки КРГ являющиеся ее маркерами. Для их определения использовалась маятниковая модель КРГ (рис. 6). Новая последовательность (рис. 7), полученная из ритмограммы вычитанием трендов, пошагово подвергается быстрому преобразованию Фурье.

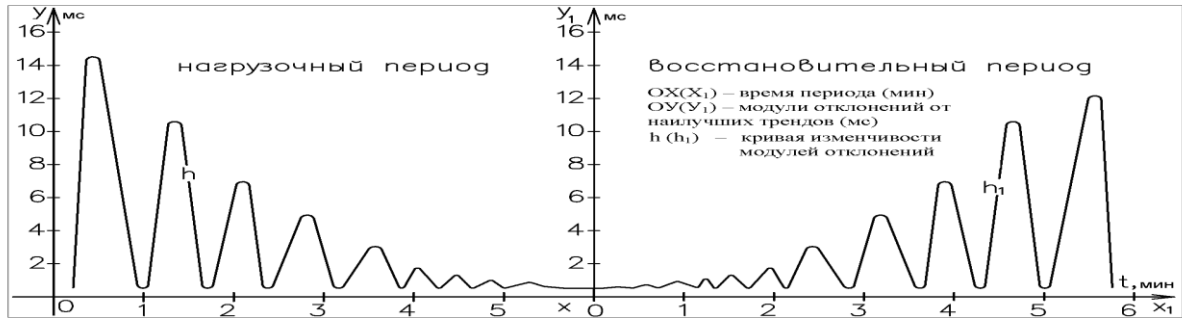


Рис. 7. Новая последовательность: модули отклонений от наилучших трендов

Анализ осуществлялся на каждом отрезке длиной – 64 с шагом в 1 интервал следующим образом: от 1 интервала до 64 [1:64], от 2 до 65 [2:65] и так далее [(n-63) : n], где n – общее число экспериментальных точек КРГ.

Изменчивость нагрузочного и восстановительного спектров в диапазонах 0.15 – 0.4Гц (HF) и 0.04 – 0.15Гц (LF) адекватно моделировалась линейной регрессией: $Y_{HF(LF)}=aX+b$, где «a» (HF_n, LF_n) и «b» (HF_0, LF_0), параметры, скорости и постоянной составляющей изучаемых спектров (рис.8).

Учитывались скорость изменения чувствительности миокарда к регуляторным влияниям, ее уровень по периодам, а также время (nHF, nLF) регуляционной ригидности миокарда (при $Y=0$) в нагрузочный период.

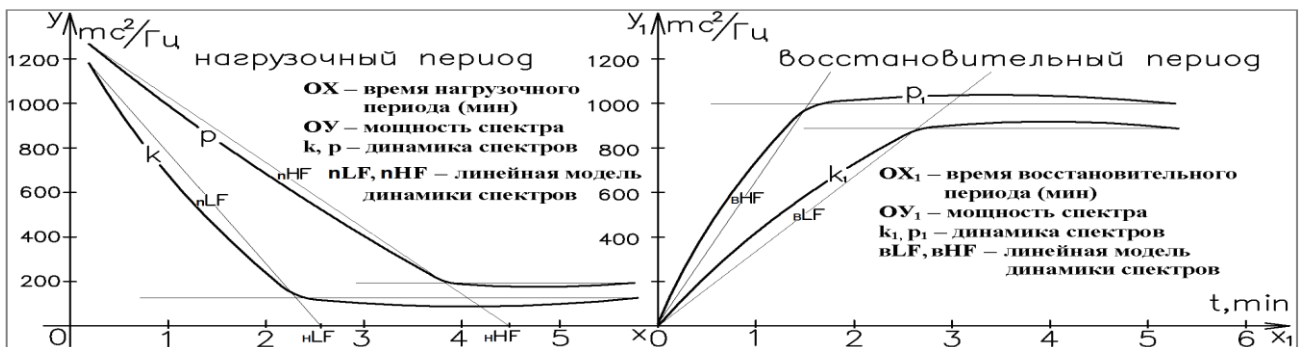


Рис. 8. Изменчивость нагрузочного и восстановительного спектров

Временной ряд восстановительного периода

Динамика временного ряда КРГ восстановительного периода изучалась, во-первых, посредством создания ее гиперболической модели $y = a / X + b$, где x –

время восстановления в секундах, y – RR-длительность в секундах, «а» (моделирующий критерий МК1) – параметр модели, характеризующий скорость изменения RR-интервалов, b (МК2) – параметр, характеризующий постоянную составляющую КИ; во-вторых, исследованием интегрального показателя (ИП), определяемого как сумма КИ за 7 минут восстановительного периода; в-третьих, при накоплении распределения временного ряда КИ восстановительного периода.

Определение межгрупповых различий КРГ

Изучение временного ряда КРГ посредством накопления группового (суммарного) распределения позволило дать его характеристику и выявить принципиальные групповые особенности (рис. 9).

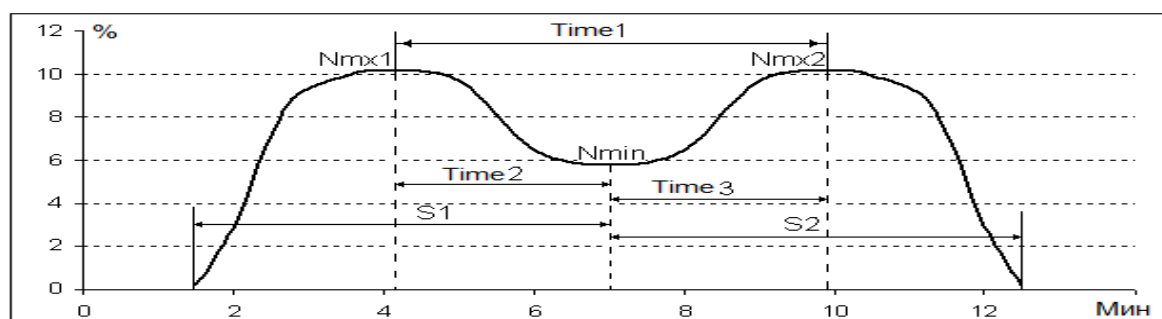


Рис. 9. Схема суммарного распределения кардиоинтервалов

Межгрупповому сравнительному и корреляционному анализу с нагрузочно-восстановительными и регуляционными маркерами подвергались выявленные характеристики суммарных распределений: время наступления, длительность ($S1$, 2 ; $Time\ 1, 2, 3$) и выраженность экстремумов ($Nmin$, $mx1,2$). Изучение настоящих закономерностей и взаимосвязей позволило выявить динамику нагрузочной толерантности и формирования выносливости.

Изучение работоспособности диагностических методик

Координаты точки перегиба $T1$ и стабилизации ритма $T2$ визуально изменчивы у различных испытуемых. Вероятно, это может быть связано с индивидуальной толерантностью к физической нагрузке. Для отработки гипотезы обследованы 2 группы практически здоровых испытуемых:

1-я группа (31 человек) – курсанты, занимающиеся физической культурой по учебному плану вуза (2 полуторачасовых занятия в неделю) и не имеющие отношения к систематическим физическим нагрузкам;

2-я группа – курсанты-спортсмены циклических видов спорта (34 человека), тренирующие преимущественно выносливость (лыжные гонки, легкая атлетика) различной квалификации (1-й спортивный разряд – 29 человек, кандидаты в мастера спорта – 5 человек).

Длительность КИ в точке перегиба и время ее наступления от начала тестирования в группе тренированных (табл. 1) существенно ($p < 0.001$) превосходят одноименные показатели группы сравнения (табл. 3), в то время как наклон моделирующего тренда вертикальной оси гиперболы в группе нетренированных значительно ($p < 0.001$) больше такового группы сравнения.

Таблица 1

Критерии нагрузочной КРГ – Т1

Гр	Критерий	*Т1t	*Т1rr	*Н1х10 ⁻⁴	*О1	Н2х10 ⁻⁴	*О2
2	Ме	498,89	0,391	-4,2	0,606	-1,9	0,498
	25Пц	461,75	0,378	-4,9	0,594	-3,2	0,454
	75Пц	563,17	0,405	-3,7	0,635	-1,5	0,567
1	Ме	244,9	0,35	-5,9	0,494	-1,8	0,407
	25Пц	170,5	0,35	-6,9	0,461	-2,4	0,386
	75Пц	266,7	0,38	-4,4	0,512	-1,5	0,428

Примечание (здесь и далее): *Групповые различия статистически существенны ($p < 0.001$)

Более позднее наступление точки перегиба, с учетом превалирующей продолжительности ее КИ и меньшей скорости укорочения RR-длительностей, свидетельствует о более экономичной сердечной деятельности в группе спортсменов. При этом если наклоны горизонтальных осей (Н2) статистически неразличимы, то существенное доминирование моделирующей переменной Н1, О1,2 обеих осей гиперболы в группе спортсменов свидетельствует о соответствии каждой временной точки (х) большему значению RR-интервала, что в свою очередь свидетельствует о хронотропном энергосбережении.

Таблица 2

Критерии нагрузочной КРГ – Т2

Группы	2				1			
	*Т2t	*Т2rr	*Н3х10 ⁻⁵	О3	Т2t	Т2rr	Н 3х10 ⁻⁵	О3
Ме	356,43	0,445	-5,3	0,027	200,15	0,372	-11,26	0,031
25Пц	323,34	0,433	-6,9	0,022	144,48	0,359	-19,01	0,022
75Пц	413,80	0,473	-3,9	0,034	231,25	0,394	-8,15	0,039

Точка стабилизации ритма в группе спортсменов существенно превышает одноименные показатели сравнения по длительности КИ и времени

возникновения (табл. 2). Моделирующие критерии регрессии также имеют существенные различия. Данные обстоятельства позволяют свидетельствовать в пользу более длительного и устойчивого периода изменчивости СР в группе тренированных, сопровождающегося отрицательным хронотропным балансом.

С целью исследования вегетативного гомеостаза в условиях различной нагрузочной толерантности анализируется маятниковая модель КРГ.

Таблица 3

Регуляционные маркеры нагрузочной КРГ

Гр	Критерий	нНFn*	НFo*	нНFв*	нLFн*	LFo*	нLFв*
2	Me	62,21	260	-930,46	18,33	225	-143,74
	25Пц	39,83	240	-1121,24	15,23	195	-241,10
	75Пц	177,59	288	-897,75	36,78	238	-74,48
1	Me	15,17	100	-4,61	3,06	80	-12,75
	25Пц	9,27	95	-112,19	-17,69	70	-31,00
	75Пц	17,48	105	-3,82	18,01	85	-7,73

При этом результирующие спектры нагрузочного периода в диапазонах HF и LF снижаются, достигая полной депрессии существенно медленнее, а в период восстановления – возрастают значительно быстрее в группе спортсменов (табл. 3). Причем динамика спектральных составляющих существенно различается вне зависимости от тренированности, что определяется более медленным снижением HF при нагрузке и быстрым возрастанием при восстановлении.

Распределение КИ временного ряда КРГ в условиях различной нагрузочной толерантности выявило существенные отличия локализации экстремумов и их временных границ (табл. 4, 5). При этом время возникновения нагрузочных экстремумов в группе спортсменов существенно превосходит, а восстановительных – опережает одноименные показатели группы сравнения.

Таблица 4

Критерии распределения RR-интервалов нагрузочной КРГ

Группы	2				1			
	*П1t	*П1rr	*П2t	*П2rr	П1t	П1rr	П2t	П2rr
Me	375,95	0,445	488,25	0,399	65,52	0,420	260,9	0,360
25Пц	329,6	0,437	449,65	0,386	45,88	0,401	199,2	0,358
75Пц	409,52	0,459	554,2	0,409	139,4	0,442	289,8	0,379

Временные координаты, RR-длительности всех переходных зон экстремумов распределения, а также показатели математических моделей КРГ

восстановления сравниваемых групп имеют существенные различия. При этом маркеры ПЗrr, ПЗн, ПЗо, П4rr, П4о, П4н существенно преобладают в группе спортсменов, в то время как временные маркеры – ПЗt, П4t – в группе сравнения.

Таблица 5

Критерии распределения RR-интервалов восстановительного периода

Гр	Критерий	*ПЗt	*ПЗrr	*ПЗо	*ПЗн	*П4t	*П4rr	*П4о	*П4н
2	Me	7,15	0,389	0,362	0,00226	25,39	0,439	0,362	0,00249
	25Пц	11,4	0,380	0,385	0,00279	30,87	0,427	0,381	0,00335
	75Пц	18,58	0,399	0,399	0,00421	42,88	0,451	0,400	0,00427
1	Me	18,09	0,360	0,321	0,00078	65,47	0,418	0,318	0,00094
	25Пц	32,21	0,358	0,336	0,00089	97,08	0,399	0,339	0,00104
	75Пц	51,79	0,378	0,352	0,00152	127,04	0,441	0,351	0,00156

Выявленные существенные различия позволяют считать настоящие показатели критериями переносимости физической нагрузки и тренированности.

Изучение взаимосвязи результатов эргоспирометрии с применением прямого газоанализа у 34 практически здоровых испытуемых выявило прямую зависимость П2rr и границы аэробно-анаэробного энергообеспечения, реализованную регрессионным уравнением: $-1428,25+4461,99 \times \text{П2rr}$ (табл. 6).

Таблица 6

Физиологический эквивалент П2rr

Показатели	П2rr (сек)	аэробно-анаэробный переход* (сек)	
		Прямой газовый анализ	По уравнению регрессии
Медиана	0,414	414	420
25 Пц	0,381	277	274
75 Пц	0,437	529	521

* *Примечание: Различия показателей статистически незначительны ($p > 0,05$)*

Таким образом, определение П2rr является необходимым и достаточным условием для уточнения аэробно-анаэробного перехода. Предлагаемый способ расширяет потенциал анализа КРГ, упрощает определение границы аэробно-анаэробного перехода без использования газоаналитического оборудования.

Классификация первичной выборки*Кластеризация*

Изучение смешанной популяции молодежи, включающей индивидуумов различной степени физической подготовленности, потребовало разработки

способа ее подразделения. Принципиальная недостаточность субъективного подхода была разрешена классификационным анализом. С целью объективизации и максимального учета индивидуальных реакций организма на физическую нагрузку кластеризации подвергалось индивидуальное распределение КИ. Наилучшее качество кластеризации проявили 6 RR-интервалов по 3 для нагрузочного и восстановительного периодов (табл. 6, рис. 10).

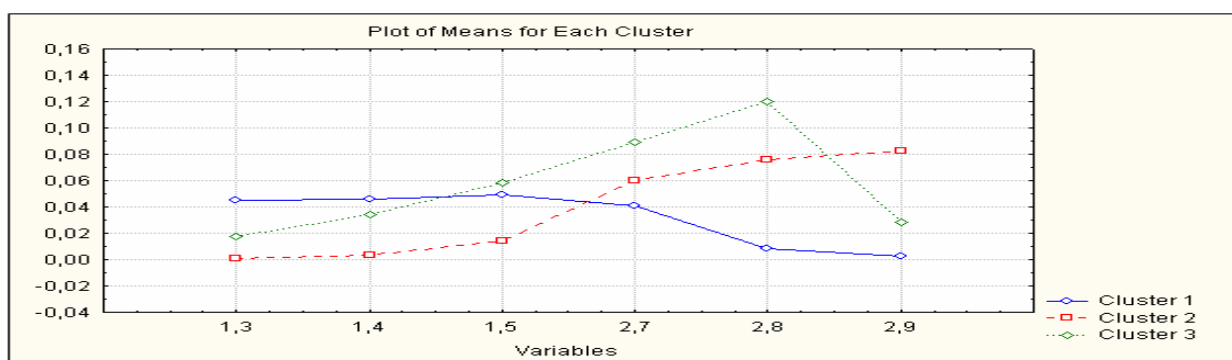


Рис. 10. Линейный график средних значений кластеров

Объективное выделение трех кластеров (групп) позволило учесть всю совокупность индивидуальной нагрузочной толерантности и градировать смешанную популяцию по уровню аэробно-анаэробной выносливости: 1 кластер – минимальный уровень; 2 кластер – уровень формирования выносливости; 3 кластер – высокий уровень.

Таблица 6

Оптимальные признаки и качество кластеризации

Период	Гц	Дисперсии		Качество кластеризации	
		Между групп	Внутри групп	F	p
Восстановительный	1,3	0,058438	0,108186	39,70	0,000000
	1,4	0,055324	0,109115	37,27	0,000000
	1,5	0,054355	0,155232	25,74	0,000000
Нагрузочный	2,7	0,047615	0,141612	24,71	0,000000
	2,8	0,282721	0,129437	160,54	0,000000
	2,9	0,195316	0,088718	161,81	0,000000

Сравнительная характеристика кластеров

Подразделение смешанной популяции на 3 кластера и их сравнительный анализ позволили выявить существенные закономерности:

1. Возрастная однородность кластерных групп нарушается существенным преобладанием индекса Кетле в 3 группе (1, 2 группы $p < 0.005$), включающим как

значение массы (1, 2 группы $p < 0.01$), так и роста (1 группа $p < 0.01$). При этом различия анализируемых показателей 1 и 2 групп минимальны.

2. Фактически все межкластерные различия являются прогрессивными (прогрессирующими) и определяются в последовательном ряду 1, 2, 3 групп (за исключением LFort, когда $2 > 1 > 3$).

3. Исследуемые кластеры существенно различаются по величине нагрузочной толерантности и ее проявлениям, включающим ино-, хронотропное обеспечение и вегетативную регуляцию.

4. Прогрессивное улучшение нагрузочной толерантности определяется ростом смешанной выносливости и проявляется:

а) накоплением хронотропного резерва:

– в нагрузочный период – возрастанием удаленности временных маркеров ($T_{1,2t}$; $N_{mx1,2}$), увеличением длительности интервальных ($T_{1,2gr}$) и уменьшением скорости роста ЧСС (H_1 , $ЧСС_H$);

– в период восстановления – уменьшением времени проявления временных маркеров ($T_{3,4t}$; $V_{mx1,2t}$) КРГ, увеличением длительности КИ в них ($T_{3,4gr}$), возрастанием скорости восстановления и снижением средней ЧСС;

б) изменением автономного обеспечения: увеличением длительности и усилением смешанной вегетативной регуляции с парасимпатическим доминированием нагрузочного периода; ускоренным возобновлением смешанного вегетативного регулирования с ранним проявлением и подавляющей интенсивностью парасимпатической активности восстановительного периода

в) изменением автономной регуляции СР в покое:

- в период клиностаза – отсроченным отражением на ритме покоя вегетативной изменчивости достигнутой в процессе формирования выносливости; абсолютным преобладанием всех вегетативных составляющих на пике тренированности, определяющим парасимпатическую регуляцию как ведущую;

- в ортостазе – возрастанием роли парасимпатической регуляции, снижением симпатической и минимизацией гуморально-метаболической.

Анализ адаптационной изменчивости СР в выявленных группах

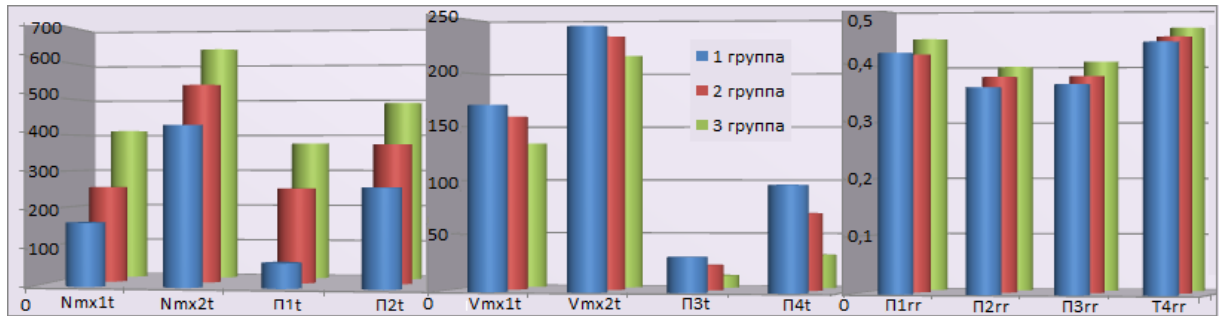


Рис. 11. Критерии временного ряда КРГ (групповые различия $p < 0.01$)

Экстремумы функций распределения временного ряда КИ велоэргометрии определяются нагрузочной толерантностью и являются характерными чертами КРГ – критериями нагрузочного и восстановительного периодов (рис. 11). При этом увеличение времени достижения нагрузочных (Nmx, П 1,2) или уменьшение восстановительных (Vmx; П 3, 4) критериев опосредует улучшение нагрузочной толерантности.

Та же динамика характерна и для маркеров динамической модели КРГ.

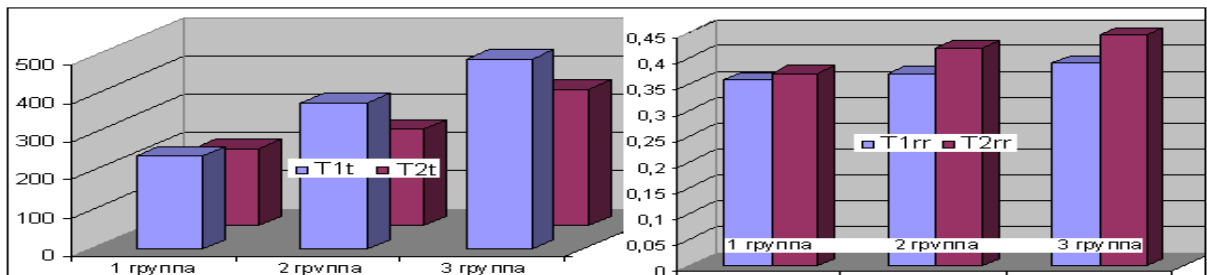


Рис. 12. Маркеры динамической модели КРГ нагрузочного периода (групповые различия $p < 0.01$)

С улучшением нагрузочной толерантности время до возникновения T1,2 увеличивается, моментальная ЧСС в них и скорость стабилизации СР уменьшаются. Устойчивый волновой период в условиях развитой выносливости возникает на фоне отрицательного хронотропного баланса – снижения скорости прироста ЧСС на единицу нагрузки (рис. 12).

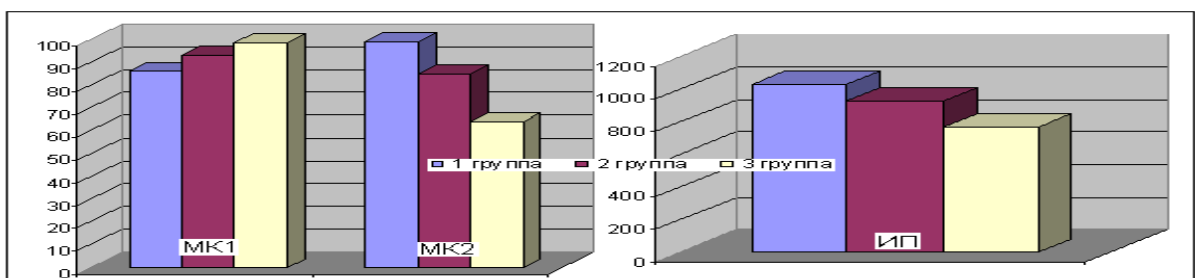


Рис. 13. Маркеры КРГ восстановительного периода (групповые различия $p < 0.01$)

Уменьшение интегрального показателя (ИП), маркера динамической модели МК2 и увеличение МК1 обуславливают ускорение восстановления и улучшение нагрузочной толерантности (рис. 13).

Регуляция сердечного ритма

Индивидуальные особенности вегетативного регулирования

Способность миокарда отвечать на регуляторные влияния поступательно снижается в нагрузочный и возрастает в восстановительный период с существенно различающейся индивидуальной скоростью (рис. 14). Причем, в отличие от симпатических, парасимпатические влияния медленнее исчезают при нагрузке и быстрее возрастают при восстановлении.

Динамика вегетативной регуляции напрямую связана с переносимостью физической нагрузки: чем она выше, тем медленнее снижение чувствительности миокарда к регуляторным влияниям при нагрузке и быстрее его восстановление.

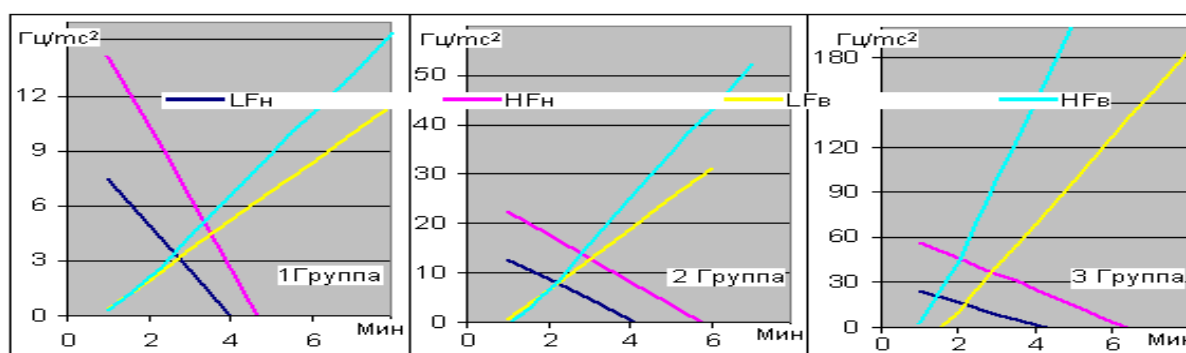


Рис. 14. Скорость изменения волновых характеристик СР в нагрузочный (HFH, LFH) и восстановительный (HFV, LFV) период (групповые различия $p < 0.01$)

В нагрузочный и восстановительный периоды ВНС по разному обеспечивает маркеры СР (рис. 15, 16), тем самым определяя процесс формирования выносливости, который характеризуется:

- на первом этапе – вегетативным дисбалансом (минимальное нагрузочное симпатическое обеспечение);
- на втором – включением восстановительного регулирования (полноценное обеспечение и временных и модельных маркеров);
- на третьем – полноценным нагрузочно-восстановительным обеспечением.

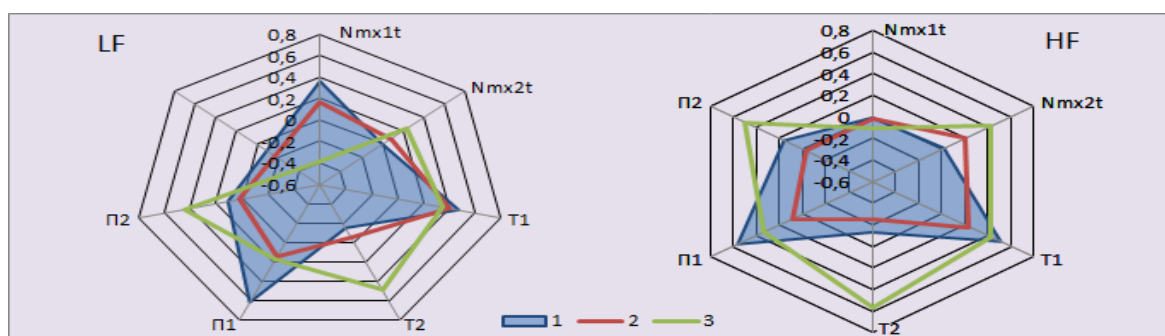


Рис. 15. Корреляционные взаимосвязи волновых характеристик СР с маркерами КРГ в нагрузочный период в 1, 2 и 3 группах ($p < 0.01$)

Совершенствование регуляции в нагрузочный период начинается от минимального симпатического обеспечения (1 фаза) к парасимпатическому (2 фаза) и заканчивается отдельным (по времени) симпато-парасимпатическим в апогее тренированности (3 фаза). В период восстановления – от фактического минимума регуляции к смешанно-парасимпатической и далее к расширению парасимпатического участия.

Высокий уровень связей регуляционных показателей с маркерами переносимости ФН позволяет использовать последние в прогностических целях.

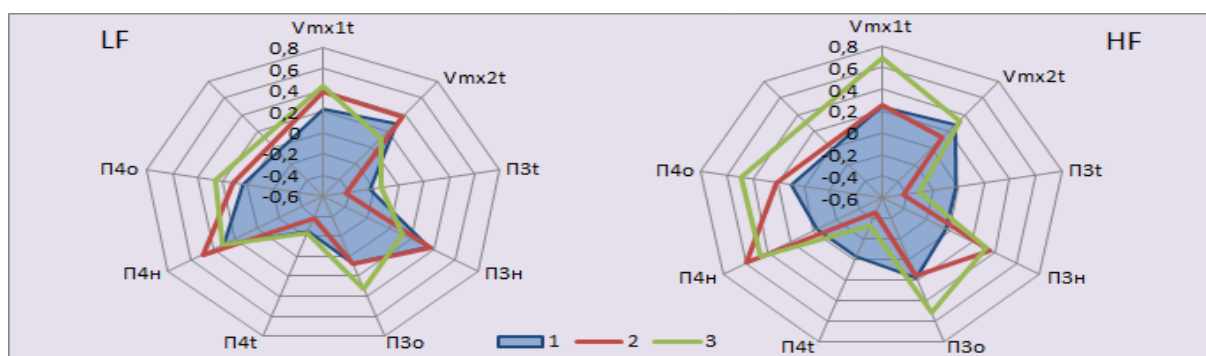


Рис. 16. Корреляционные взаимосвязи волновых характеристик СР с маркерами КРГ в период восстановления в 1, 2 и 3 группах ($p < 0.01$)

Групповые особенности вегетативного гомеостаза

Характеристики групповых распределений, вскрывая принципиальные кластерные различия, отражают динамику смешанной выносливости и являются маркерами вегетативного гомеостаза групп (рис. 17, 18). Проявлением этой динамики является смещение экстремумов распределения в низкочастотную область спектра (сторону увеличения длительности КИ), причем при нагрузке их временные характеристики (время достижения экстремумов) увеличиваются, а в период восстановления – уменьшаются.

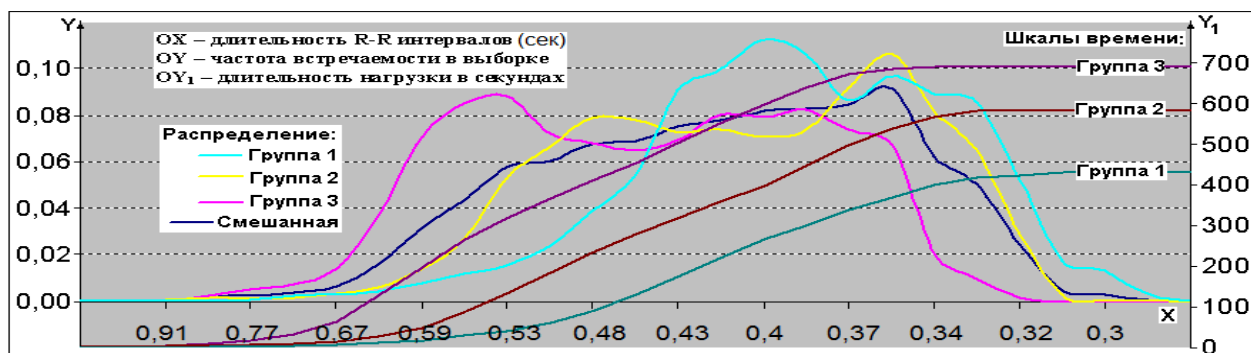


Рис. 17. Распределение R-R длительностей нагрузки со шкалой времени*
 Примечание* При построении распределения КИ равномерная шкала, характеризующая их длительность, соответствует шкале времени нелинейно.

Изменчивость частотных и временных интервалов является отражением чувствительности миокарда к вегетативной регуляции, которая проявляется:

а) в нагрузочный период:

- общим усилением ответной реакции миокарда (в частотном и временном проявлении) на регуляторные влияния как симпатической (в большей степени) так и парасимпатической системы, соответствием локализации экстремумов распределения КИ вегетативной активности,

- инверсией вегетативной регуляции (сменой лидера) в динамике выносливости – от симпатического к парасимпатическому доминированию;

б) в период восстановления – общим укорочением времени восстановления:

- увеличением чувствительности миокарда к вегетативному торможению, расширением парасимпатического диапазона чувствительности миокарда,

- обеспечением экстремумов СР – от симпатического при минимальном уровне выносливости, до смешанного в период формирования и парасимпатического – на пике.

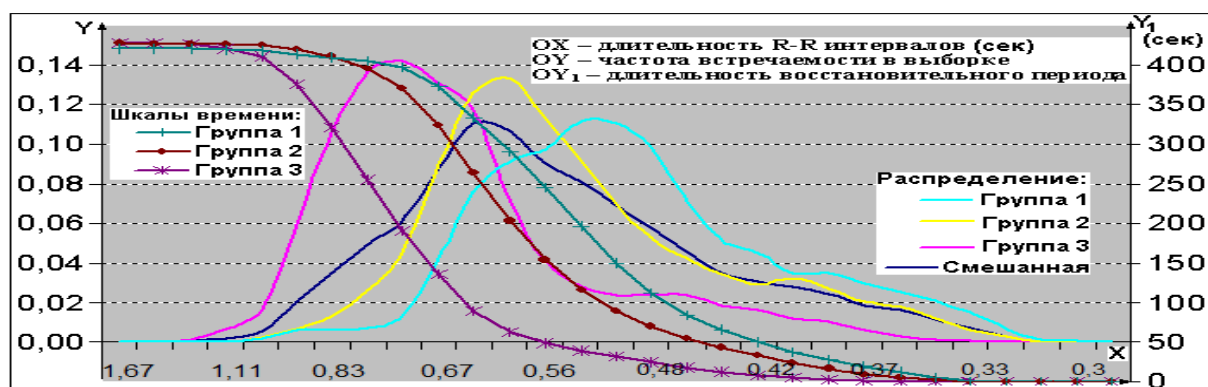


Рис. 18. Распределение RR-длительностей восстановления со шкалой времени

Таким образом, чувствительность миокарда к регуляционным влияниям проявляется, во-первых, увеличением времени достижения экстремумов при нагрузке и ускорением их наступления при восстановлении; во-вторых, полисистемным вегетативным обеспечением экстремумов в нагрузочный период против моносистемного при восстановлении; в-третьих, увеличением области активной вегетативной регуляции при нагрузке в противовес ее уменьшению (времени торможения за счет увеличения интенсивности) при восстановлении.

В нагрузочный период соответствие минимумов группового распределения инверсии-смене вегетативного обеспечения, а максимумов - точкам наивысшего функционирования симпатической (Nmx1) и парасимпатической (Nmx2) подсистем актуально только в апогее тренированности, в то время как отсутствие и формирование последней имеет преимущественно симпатическое и смешанное обеспечение соответственно.

Восстановительное распределение RR-интервалов характеризуется преимущественно моносистемным формированием экстремумов, дифференцирующихся в динамике: от симпатического в отсутствие, до смешанного в период формирования и парасимпатического – на пике тренированности.

Нарушения СР в динамике нагрузочной толерантности

Снижение чувствительности миокарда к регуляторным влияниям ВНС, проявляющееся уменьшением периода его ответной реактивности в нагрузочный период, обуславливая нагрузочную интолерантность и дезадаптацию, может приводить к возникновению нарушений СР. В свою очередь, феномен одиночной экстрасистолии на высоте нагрузки – признак регуляторной ареактивности миокарда, возникшей вследствие физической перегрузки.

Вскрытые нарушения СР в 1-3 кластерах определенно связаны с критерием T2, симпатической и парасимпатической активностью (рис. 19). Существенность взаимосвязей, их уровень и отрицательное значение определяют патофизиологическую основу аритмии.

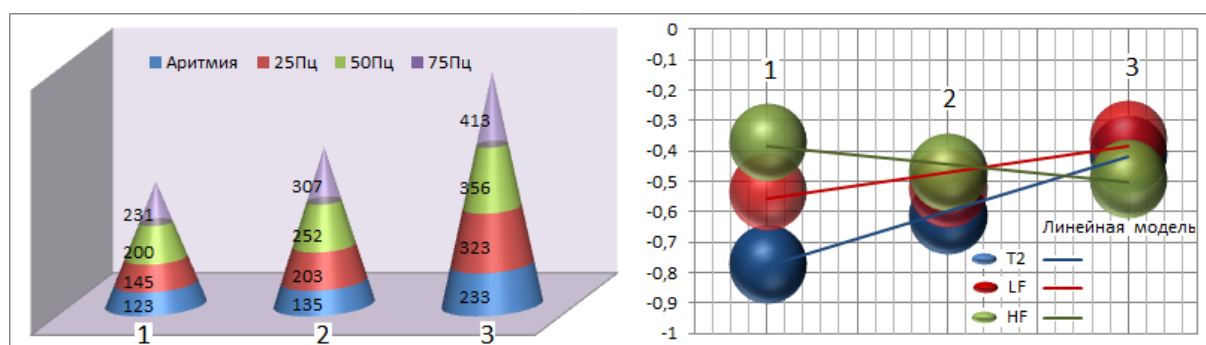


Рис. 19. Уровень T2 и корреляционная связь вегетативной активности с патогенезом нагрузочных аритмий в 1, 2 и 3 группах ($p < 0.001$)

Проявление экстрасистолии вследствие кардиально-регуляционного диссонанса, приводящего к преобладанию симпатических влияний в 1 группе, симпато-парасимпатическому равновесию во 2 и вагусному доминированию в 3, обуславливает принципиальные различия дизрегуляции СР.

Формирование смешанной выносливости расширяет возможности вегетативного регулирования, определяя устойчивость СР: уменьшая вероятность манифестации аритмии, количество эпизодов, увеличивая время до ее возникновения и мощность потенциально опасной нагрузки.

Таким образом, патогенез нагрузочных нарушений СР определяется минимумом чувствительности миокарда к регуляторным влияниям, сопровождающимся преимущественно симпатическим доминированием при минимальном уровне выносливости или парасимпатическим – в ее апогее.

Регуляторно-сердечный дисбаланс восстановительного периода, характеризуясь существенным падением чувствительности миокарда, обуславливает снижение скорости восстановления и может проявляться преходящим нарушением СР являющимся ее ранним маркером.

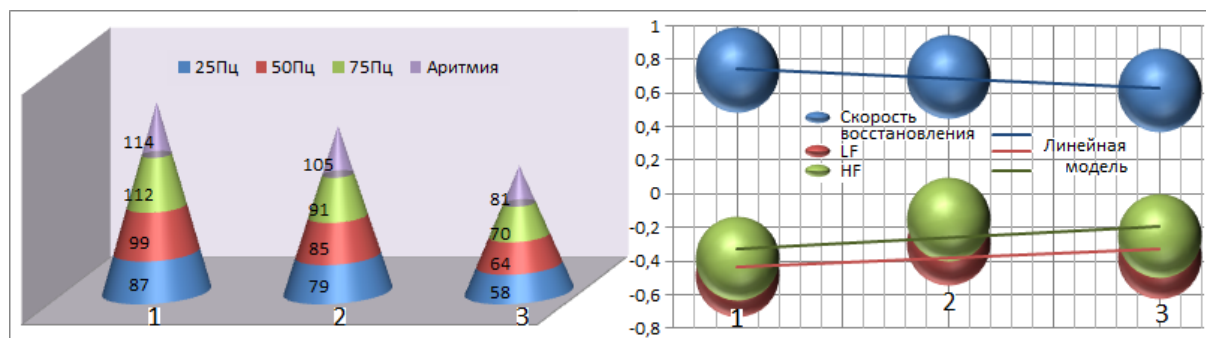


Рис. 20. Уровень МК2 и корреляционная связь вегетативной активности с патогенезом аритмий восстановительного периода в 1, 2 и 3 группах ($p < 0.001$)

При этом манифестация нарушений СР в кластерах определяется скоростью восстановления (МК2) и вегетативной активностью (рис. 20).

Патогенез функции проводимости обуславливается вегетативной активностью, соответствующей минимальному квартильному уровню (в кластере), но различается в зависимости от уровня развития выносливости.

Если при низком уровне нарушение ритма характеризуется первичной вегетативной депрессией (гиподинамической дисфункцией ВНС), то при среднем и высоком – физической перегрузкой. Причем в последнем случае ее систематический характер определяет развитие перетренированности, а настоящее нарушение СР является ее ранним признаком. Увеличение частоты настоящих нарушений в 3 кластере и выраженная связь с уровнем перенесенной нагрузки – результат несоответствия высоких физических возможностей индивида примененному уровню тренировочных нагрузок.

Совершенствование регуляции при формировании выносливости снижает вероятность нарушений СР, изменяя значение их манифестации от маркера вегетативной дистонии к предиктору физической перегрузки и перетренировки.

Необходимость дальнейшего изучения выявленных феноменов и разработки профилактических подходов продиктована не столько предупреждением жизнеугрожающих аритмий, сколько ранней диагностикой усвоения организмом ФН и предотвращением перегрузочно-перетренировочных последствий, препятствующих расширению адаптационных возможностей организма.

Взаимосвязь нагрузочных маркеров с нейрогуморальной регуляцией СР в состоянии относительного физиологического покоя



Рис. 22. Корреляционная связь спектра ВРС покоя с нагрузочными маркерами в смешанной популяции (s), 1, 2 и 3 группах ($p < 0.001$)

Смешанный вегетативный баланс с выраженной гуморально-метаболической активностью при минимальном уровне выносливости укрепляется снижением метаболического и симпатического участия в пользу парасимпатического при формировании и далее – метаболическим перигеем и парасимпатическим апогеем – на пике подготовки (рис. 22). Однако несущественность перечисленных взаимосвязей препятствует использованию маркеров адапционных резервов для прогноза нагрузочной толерантности.

Изменчивость адапционных механизмов при формировании выносливости

Факторный анализ вскрыл адапционные приоритеты, определяющие формирование смешанной выносливости (табл. 7).

Таблица 7

Факторный анализ: динамика адапционных возможностей организма

Показатели	Фактор (ф) 1 2 3 4 5-7				
	Кластер				
	1	2	3		
T1t	T1t	T1t	T1t		
T1rr	T1rr	T1rr	T1rr		
T2t	T2t	T2t	T2t		
T2rr	T2rr	T2rr	T2rr		
П(1,2)t	П(1,2)t	П(1,2)t	П(1,2)t		
П(1,2)rr	П(1,2)rr	П(1,2)rr	П(1,2)rr		
Регуляция нагрузки (РН)	РН	РН	РН		
Регуляция восстановления (РВ)	РВ	РВ	РВ		
Регуляция покоя (РП)	РП	РП	РП		
Кол-во динамических показателей регуляции	1 (4ф)	2 (2, 4ф)	4 (1-4ф)		

Адапционные механизмы при минимальном уровне тренированности, проявляясь функционально-регуляционной недостаточностью, характеризуют общую приспособительную несостоятельность.

Адапционные механизмы в период формирования выносливости, отличаясь появлением временных регуляционных маркеров СР, подключением вегетативного обеспечения восстановительного, а затем и нагрузочного периодов, обуславливают расширение приспособительных возможностей организма.

Адапционные механизмы в условиях развитой выносливости, определяясь, регуляционными (интервально-временными) и вегетативными

маркерами обоих периодов, опосредующими максимальный рост нагрузочной толерантности, обеспечивают оптимальную переносимость физической нагрузки.

Таким образом, динамика смешанной выносливости развивается от приоритета интервальных характеристик КРГ (длительности RR-интервала) к временным ($T1$, $2t$) и далее к регуляторным, от доминирования статической регуляции к динамической и от маркера перегиба ($T1$) к критерию стабилизации ($T2$) и далее к границам функции распределения (П1-4).

ВЫВОДЫ

1. Фундаментальные механизмы адаптационной изменчивости СР выявляются посредством создания динамической модели временного ряда КРГ максимального нагрузочного тестирования. Индивидуальные показатели моделей (T , Π , N_{mx} , V_{mx} , n_{HF} , n_{LF} , v_{HF} , v_{LF}) характеризуют нагрузочную толерантность, обуславливают формирование смешанной выносливости и отражают вегетативную регуляцию СР, являясь количественными критериями адаптации. Увеличение нагрузочной толерантности проявляется смещением критериев КРГ в низкочастотную область ЧСС, причем в нагрузочный период их временные характеристики (время достижения критерия) увеличиваются, а в период восстановления – уменьшаются.

2. Способность сердечной мышцы отвечать на регуляторные влияния поступательно угасает в нагрузочный и возрастает в восстановительный период. Скорость отзывчивости миокарда индивидуальна и определяется уровнем развития выносливости. Чем она выше, тем медленнее снижение чувствительности при нагрузке и быстрее восстановление. Чувствительность к парасимпатическим влияниям всегда медленнее исчезает при нагрузке и быстрее восстанавливается.

Процесс формирования выносливости на первом этапе характеризуется невосприимчивостью миокарда к вегетативным влияниям, на втором – включением восстановительного регулирования, на третьем – полноценным обеспечением как нагрузочного, так и восстановительного периода. Динамика чувствительности миокарда в нагрузочный период развивается от смешанно-

симпатической ответственности к парасимпатической и далее к раздельной по времени симпато-парасимпатической; в период восстановления – от фактического минимума к смешанно-парасимпатической и далее к расширению парасимпатической составляющей.

3. Снижение восприимчивости миокарда к регуляторным влияниям в нагрузочный период, отражая нагрузочную интолерантность, может приводить к возникновению нарушений СР. Депрессия чувствительности сердечной мышцы к регуляторным влияниям в период восстановления обуславливает снижение динамики ЧСС и может проявляться преходящим нарушением СР, являющимся ее ранним маркером. Настоящие нарушения СР имеют различную регуляторную основу в зависимости от уровня развития выносливости.

4. Соответствие смешанного вегетативного баланса с выраженной гуморально-метаболической активностью – минимальному уровню выносливости, снижения метаболического и симпатического обеспечения в пользу парасимпатического – периоду формирования выносливости, дальнейшего усиления парасимпатических влияний – максимальному уровню тренированности, тем не менее, в связи с незначительным уровнем (по интенсивности) перечисленных взаимосвязей, препятствует использованию маркеров адаптационных резервов для прогноза нагрузочной толерантности.

5. Адаптационные механизмы при минимальном уровне выносливости, проявляясь кардио-регуляторной недостаточностью, характеризуют общую приспособительную несостоятельность.

Адаптационные механизмы в период формирования выносливости отличаются появлением временных регуляторных маркеров СР, активизацией вегетативного обеспечения восстановительного, а затем и нагрузочного периодов, характеризуют расширение приспособительных возможностей организма.

Адаптационные механизмы в условиях развитой выносливости, характеризуются регуляторными (интервально-временными) и вегетативными маркерами обоих периодов, опосредующими оптимальную переносимость физической нагрузки.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для определения адаптационной изменчивости СР в научной, спортивно-оздоровительной, профилактической, восстановительной и клинической практике рекомендуется исследование временного ряда КРГ стресс-теста посредством создания его математической модели.

2. Выявленные критерии индивидуальной изменчивости СР рекомендуется использовать для объективной оценки физической работоспособности, определения вегетативной активности и границ аэробного и анаэробного энергообеспечения при нагрузочном тестировании.

3. Количественные критерии изменчивости СР рекомендуется использовать для доказательного определения и оценки уровня адаптационных резервов. Маркеры КРГ рекомендуется использовать для осуществления ранней диагностики усвоения организмом ФН, определения их стоимости, профилактики перегрузочно-перетренировочных последствий, препятствующих расширению адаптационных возможностей организма, спортивному совершенствованию.

4. Проявлением перенапряженности и срыва адаптационных реакций организма в ответ на ФН является феномен «конечной» экстрасистолии на высоте нагрузки – признак регуляторной невосприимчивости миокарда. Снижение скорости восстановления, сопровождающееся преходящим нарушением функции проводимости, также является их ранним маркером. Совершенствование вегетативной регуляции при формировании выносливости снижает вероятность нарушений СР а в период восстановления изменяет значение их манифестации от маркера вегетативной дистонии к предиктору физической перегрузки и перетренировки.

5. Настоящий протокол нагрузочного тестирования позволяет наиболее точно выявить особенности КРГ. При проведении скрининговых исследований длительность нагрузочного периода может быть ограничена 5 минутами, включающими существенные черты одноименной толерантности. Утрата в этой связи информативности восстановительного периода компенсируется его достоверным прогнозом.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК, для публикации основных результатов диссертаций

1. **Похачевский, А.Л.** Количественная оценка текущего функционального состояния при стрессе [Текст] / В.М. Михайлов, Э.В. Похачевская // Патол. физиология и эксперим. терапия. – 2006. – №2. – С.19-22.
2. **Похачевский, А.Л.** Мониторинг функционального состояния детей старшей возрастной группы при физическом стрессе [Текст] / А.Л. Похачевский, В.М. Михайлов, Э.В. Похачевская // Вестн. Ивановской медицинской академии. – 2006. – Т.11, № 3-4. – С.42-47.
3. Функциональное состояние и адаптационные резервы организма [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.] // Вестн. Новгородского государственного университета. – 2006. – №35. – С.11-16. – (Соавт.: В.М. Михайлов, А.А. Груздев, Н.В. Колесов).
4. **Похачевский, А.Л.** Взаимосвязь адаптационной реактивности и функционального состояния организма при физическом стрессе [Текст] / А.Л. Похачевский, А.А. Груздев, Н.В. Анкудинов // Вестн. ПГУ. – 2007. – №2 (12). – С. 26-33.
5. **Похачевский, А.Л.** Определение функциональной готовности организма по его адаптационной реактивности при стрессе [Текст] / А.Л. Похачевский, А.А. Груздев, Г.А.Ушаков // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2007. – Т. 38, №8. – С.135-145.
6. **Похачевский, А.Л.** Оценка функционального состояния организма по кардиоритмограмме при нагрузочном тестировании [Текст] / А.Л. Похачевский // Теория и практика физич. культуры. – 2007. – №1. – С. 9-12.
7. **Похачевский, А.Л.** Оценка функционального состояния по кардиоритмограмме при велоэргометрии [Текст] / А.Л. Похачевский // Физиология человека. – 2007. – Т.33, №6. – С. 1-4.
8. **Похачевский, А.Л.** Определение объективного критерия выносливости для диагностики здоровья здоровых [Текст] / А.Л. Похачевский // Вестн. восстановительной медицины. – 2008. – №5(27). – С. 93-98.
9. **Похачевский, А.Л.** Сравнительная характеристика критериев переносимости физической нагрузки при анализе выборки практически здоровых добровольцев [Текст] / А.Л. Похачевский // Теория и практика физич. культуры. – 2009. – №1. – С. 68-70.
10. **Похачевский, А.Л.** Изучение variability ритма сердца при нагрузочном тестировании [Текст] / А.Л. Похачевский // Кардиология. – 2010. – №1. – С. 29-35.
11. **Похачевский, А.Л.** Критерии изменчивости кардиоритмограммы при нагрузочном тестировании [Текст] / А.Л. Похачевский // Вестн. Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. – 2010. – №2. – С. 32-35.
12. **Похачевский, А.Л.** Определение объективного критерия выносливости для диагностики здоровья здоровых [Текст] / А.Л. Похачевский // Вестн. Волгоградского государственного мед. университета. – 2010. – №2. – С. 78-82.

13. **Похачевский, А.Л.** Определение адаптационного потенциала по распределению кардиоинтервалов при велоэргометрии [Текст] / А.Л. Похачевский // Воен. – мед. журн. – 2010. – Т.331, № 6. – С. 46-47.
14. **Похачевский, А.Л.** Определение степени переносимости физической нагрузки при подготовке квалифицированных борцов-самбистов [Текст] / А.Л. Похачевский, А.Б. Петров, Н.В. Анкудинов // Теория и практика физич. культуры. – 2010. – №6. – С. 35.
15. **Похачевский, А.Л.** Применение восстановительных критериев для характеристики адаптационного потенциала практически здоровых добровольцев [Текст] / А.Л. Похачевский // Вестн. Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. – 2010. – №1. – С. 39-44.
16. **Похачевский, А.Л.** Сравнительный мониторинг функционального состояния вегетативной нервной системы подростков [Текст] / А.Л. Похачевский // Педиатрия. Журн. им. Сперанского. – 2010. – Т.89, №3. – С. 51-56.
17. **Похачевский, А.Л.** Восстановление физической работоспособности квалифицированных борцов-самбистов в годичном цикле подготовки [Текст] / А.Л. Похачевский, А.Б. Петров, Н.В. Анкудинов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2011. – №11 (81). – С.126-130.
18. **Похачевский, А.Л.** Временной анализ распределения кардиоинтервалов при нагрузочном тестировании [Текст] / А.Л. Похачевский // Патол. физиология и эксперим. терапия. – 2011. – №2. – С. 34-40.
19. **Похачевский, А.Л.** Динамика минерального обмена у борцов-самбистов при выполнении соревновательной нагрузки [Текст] / А.Л. Похачевский, А.Б. Петров, Н.В. Анкудинов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2011. – №12 (82). – С. 133-137.
20. **Похачевский, А.Л.** Вегетативный контроль сердечного ритма в динамике нагрузочной толерантности [Текст] / А.Л. Похачевский // Вестн. восстановительной медицины. – 2013. – №1. – С. 38-43.
21. **Похачевский, А.Л.** Состояние автономной (вегетативной) нервной системы и нарушения сердечного ритма при физической нагрузке [Текст] / А.Л. Похачевский, М.М. Лапкин // Рос. медико-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. – 2013. – №4. – С. 49-56.
22. Изменчивость кардиоритмограммы при непредельных физических нагрузках [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2014. – №9 (115). – С. 122-127. – (Соавт.: С.А. Глушков, А.В. Фомичев, А.Н. Воробьев).
23. **Похачевский, А.Л.** Изменчивость сердечного ритма в восстановительный период эргометрии [Текст] / А.Л. Похачевский // Лечеб. физкультура и спортивная медицина. – 2014. – № 5 (125). – С. 18-23.
24. **Похачевский, А.Л.** Изучение сердечного ритма в восстановительном периоде стресс-теста [Текст] / А.Л. Похачевский, Н.В. Анкудинов, В.Ю. Шабанов // Теория и практика физич. культуры. – 2014. – № 11. – С. 6-7.
25. **Похачевский, А.Л.** Регуляция сердечного ритма в восстановительный период стресс-теста [Текст] / А.Л. Похачевский, Н.В. Анкудинов, О.В. Крапивин // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2014. – №5 (111). – С. 139-143.

26. **Похачевский, А.Л.** Регуляция сердечного ритма при нагрузочном тестировании [Текст] / А.Л. Похачевский, М.М. Лапкин // Рос. медико-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. – 2014. – №4. – С. 47-53.
27. **Похачевский, А.Л.** Сравнительная характеристика вегетативного контроля и профилактика нарушений сердечного ритма у подростков при физической нагрузке [Текст] / А.Л. Похачевский, М.М. Лапкин // Профилактическая медицина. – 2014. – №3 (17). – С. 27-31.
28. Нейрогуморальная регуляция специальной работоспособности [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2015. – №2 (120). – С. 126-130. – (Соавт.: С.М. Смолев, Е.Л. Комиссаров, Г.А. Ушаков).
29. Оценка функционального состояния организма курсантов на этапе первоначальной подготовки [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2015. – №3 (121). – С. 110-113. – (Соавт.: Ю.М. Рекша, А.А. Трунтягин, Ф.Р. Гаджимурадов, У.Р. Куржев).
30. Изучение взаимосвязи адаптационного потенциала и физической работоспособности [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2015. – №4 (122). – С. 159-164. – (Соавт.: С.П. Бодько, Д.А. Фалеев, В.К. Сейсебаев, А.В. Платонов).
31. Взаимосвязь нейрогуморальной регуляции с уровнем развития физических качеств [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.] // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2015. – №4 (122). – С. 164-167. – (Соавт.: Ю.М. Рекша, Е.В. Пивунов, В.Н. Михалев, Ф.Р. Гаджимурадов).

Патенты на изобретение

1. Пат. 2355301 РФ, МПК⁸ А61 В 5/0452. Способ определения переносимости физической нагрузки по точке ускользания сердечного ритма от вегетативного контроля [Текст] / **А.Л. Похачевский**, Б.А. Садельников, В.М. Михайлов. – № 2007143527/14; заявл. 23.11.2007; опубл. 20.05.2009, Бюл. 14. – 5 с.
2. Пат. 2355302 РФ, МПК⁸ А61 В 5/0452. Способ оценки функционального состояния при нагрузочном тестировании [Текст] / **А.Л. Похачевский**, Б.А. Садельников – № 2007143528/14; заявл. 23.11.2007; опубл. 20.05.2009, Бюл. 14. – 5 с.
3. Пат. 2405426 РФ, МПК⁸ А61 В 5/0452. Способ определения границы аэробно-анаэробного перехода по кардиоритмограмме при нагрузочном тестировании [Текст] / **А.Л. Похачевский**, В.М. Михайлов. – № 2009127230/14; заявл. 14.07.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. 34. – 6 с.
4. Пат. 2468740 РФ, МПК⁸ А61 В 5/00. Способ определения вегетативной активности при нагрузочном тестировании [Текст] / **А.Л. Похачевский**, Б.А. Садельников – № 2011110624/14; заявл. 21.03.2011; опубл. 10.12.2012, Бюл. 34. – 8 с.

Материалы научных конференций и семинаров

1. **Похачевский, А.Л.** Определение индивидуальной динамической спортивной формы ключ к улучшению качества жизни [Текст] / А.Л. Похачевский, Е.Ю. Ветюков // Сборник трудов Всерос. науч. – практ. конф. – СПб.: РГПУ, 2002. – С.134-138.

2. **Похачевский, А.Л.** Количественная оценка текущего функционального состояния при стрессе [Текст] / А.Л. Похачевский, В.М. Михайлов // Материалы Междунар. науч. – практ. конф. – Белгород, 2003. – С. 354-360.
3. **Похачевский, А.Л.** Теоретическое обоснование научного проекта: объективная оценка, оптимизация и социальная стратификация адаптационных резервов организма человека [Текст] / А.Л. Похачевский, В.М. Михайлов // Материалы межрегион. науч. – практ. конф. – Вологда, 2003. – С. 78-82.
4. **Похачевский, А.Л.** Изменчивость адаптационного пейзажа при стрессе [Текст] / А.Л. Похачевский, В.М. Михайлов // Материалы Всерос. сбора МЧС. – Казань, 2004. – С. 97-103.
5. **Похачевский, А.Л.** Мониторинг функционального состояния организма курсантов при стрессе [Текст] / А.Л. Похачевский, С.В. Ханыкова // Сборник материалов науч. – практ. семинара. – Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2005. – С.154-163.
6. **Похачевский, А.Л.** Влияние систематических занятий прикладными видами спорта на адаптационный потенциал курсантов [Текст] / А.Л. Похачевский, А.А. Груздев // Сборник материалов Междунар. науч. – практ. семинара. – Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2006. – С. 266-274.
7. **Похачевский, А.Л.** Проблемы преодоления пенитенциарного стресса [Текст] / А.Л. Похачевский, А.А. Груздев // Сборник материалов Междунар. науч. – практ. семинара. – Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2007. – С. 57-61.
8. **Похачевский, А.Л.** Об особенностях анализа временных рядов кардиоритмов под нагрузкой [Текст] / А.Л. Похачевский, О.А. Шахов, Б.А. Садельников // Сборник материалов Междунар. науч. On-line конф. – Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2009. – С. 76-79.
9. **Похачевский, А.Л.** Вегетативный контроль нарушений сердечного ритма при физической нагрузке [Текст] / А.Л. Похачевский, А.Н. Воробьев, А.В. Иванов // Сборник материалов IV Междунар. науч. – практ. семинара. – Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2012. – С. 63-73.
10. **Похачевский, А.Л.** Показатели сердечного ритма в динамике нагрузочной толерантности [Текст] / А.Л. Похачевский, М.М. Лапкин // Материалы ежегодной науч. конф., посвящ. 70-летию основания РязГМУ им. акад. И.П. Павлова. – Рязань, 2013. – С. 28-32.

Внедрения в учебный процесс

1. Здоровье детей и подростков. Индивидуальный адаптационный контроль в условиях стресса: учебное пособие [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.]– Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2007. – 181 с. - (Соавт.: А.А. Авдонин, Н.В. Колесов, Г.А. Ушаков). – (Гриф УМО по направлениям 540600 (050700)).
2. Объективные критерии здоровья здорового человека. Устойчивость адаптационных резервов при физическом стрессе: учебное пособие [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.]– Вологда: ВИПЭ ФСИН России, 2007. – 168 с. - (Соавт.: А.А. Авдонин, Г.А. Ушаков, А.А. Петровицкий). – (Гриф УМО по направлениям 540600 (050700)).
3. Физическая подготовка в учреждениях высшего профессионального образования: учебное пособие [Текст] / **А.Л. Похачевский** [и др.]– Рязань:

Академия ФСИН России, 2014. - Часть 1. – 156 с. - (Соавт.: Н.В. Анкудинов, В.Ю. Шабанов, О.В. Крапивин, Е.Л. Комисаров, А.Б. Петров). – (Гриф УМО по направлению 050100).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АОП – активная клино-ортостатическая проба

ВНС (АНС) – вегетативная (автономная) нервная система

ВРС (ВСП) – вариабельность сердечного ритма

– Показатели спектра ВРС

- TP (total power) – общая мощность спектра ВРС
 - kTP – TP в положении клиностаза; oTP – TP в положении ортостаза
- HF (high frequency) – высокочастотная мощность, отражает парасимпатическую заинтересованность
 - HFnu = $(HF / (TP - VLF)) \times 100$ – мощность в диапазоне высоких частот выраженная в нормализованных единицах
 - kHF – HF в положении клиностаза; oHF – HF в положении ортостаза
- LF (low frequency) – низкочастотная мощность, отражает активность симпатического отдела ВНС
 - LFnu = $(LF / (TP - VLF)) \times 100$ – мощность в диапазоне низких частот выраженная в нормализованных единицах
 - kLF – LF в положении клиностаза; oLF – LF в положении ортостаза
- LF/HF – симпато-парасимпатический баланс
- VLF (very low frequency) – очень медленные колебания, отражают гуморально-метаболические влияния
- %VLF = $(VLF \times 100) / TP$ – относительная мощность VLF
- %LF = $(LF \times 100) / TP$ – относительная симпатическая активность
- %HF = $(HF \times 100) / TP$ – относительная парасимпатическая активность

– Показатели спектра ВРС стресс-теста

- вTP_{н,о} – мощность TP восстановительной КРГ: н – Пм наклон, о – отрезок
- вHF_{н,о} – мощность HF восстановительной КРГ: н – Пм наклон, о – отрезок
- вLF_{н,о} – мощность LF восстановительной КРГ: н – Пм наклон, о – отрезок
- нTP_{н,о} – мощность TP нагрузочной КРГ: н – Пм наклон, о – отрезок
- нHF_{н,о} – мощность HF нагрузочной КРГ: н – Пм наклон, о – отрезок
- нLF_{н,о} – мощность LF нагрузочной КРГ: н – Пм наклон, о – отрезок
- нTP – общая мощность спектра нагрузочной КРГ: время реакции (мин)
- нHF – мощность HF нагрузочной КРГ: время реакции (мин)
- нLF – мощность LF нагрузочной КРГ: время реакции (мин)

ДОО – долженствующий основной обмен

КИ (RR, rr) – кардиоинтервал между одноименными зубцами ЭКГ (мс, сек)

КРГ – кардиоритмограмма

– Критерии моделирования и маркеры КРГ

- П – границы областей распределения КРГ
- П1 – граница II и III нагрузочных областей
- П1t – время от начала нагрузки до П1; П1rr – кардиоинтервал П1
- П2 – граница I и II нагрузочных областей; П2t, rr – аналогично П1
- П3 – нагрузочно-восстановительная граница; П3t, rr – аналогично П1
- П3н, о – линейный тренд до П3, н – Пм наклон (Ед. $\times 10^{-3}$), о – Пм отрезок
- П4 – граница II и III восстановительных областей
- П4t, rr – аналогично П1; П4н, о – аналогично П3

- T1 – точка перегиба КРГ: T1t – время от начала нагрузки до T1; T1gr – КИ в T1
 - N1, O1 – линейный тренд нагрузочной КРГ в период изменчивости: N1 – Пм наклон (Ед. $\times 10^{-3}$); O1 – Пм отрезок (Ед.)
 - N2, O2 – линейный тренд нагрузочной КРГ в период стабилизации: N2 – Пм наклон (Ед. $\times 10^{-3}$); O2 – Пм отрезок (Ед.)
- T2 – точка стабилизации КРГ: T2t, gr – аналогично T1
 - N3, O3 – линейный тренд нагрузочной КРГ в период изменчивости после вычитания трендов: N3 – Пм наклон (Ед. $\times 10^{-3}$); O3 – Пм отрезок (Ед.)
- Nmx – максимумы распределения нагрузочной КРГ
- Nmx1, 2 – выраженность (интенсивность, плотность) 1, 2 максимумов
- Nmx1,2t – время достижения 1, 2 максимумов
- Vmx – максимумы распределения восстановительной КРГ
- Vmx1, 2 – выраженность (интенсивность, плотность) 1, 2 максимумов
- Vmx1,2t – время достижения 1, 2 максимумов

КТ – коэффициент тренированности

МПК – максимальное потребление кислорода; МПК/кг – МПК на кг массы

НТ – нагрузочное тестирование

Пм – показатель математической модели

- n – наклон, характеризует скорость изменения изучаемого признака
- o – отрезок, определяет постоянную составляющую эквивалентную среднему значению за моделируемый период

Статистическая обработка

- Пц – перцентиль
- Kr-W – непараметрический метод множественных сравнений Kruskal-Wallis: * (под анализируемым критерием) - отсутствие статистической существенности различий
- M-Wh – непараметрический метод парных сравнений Mann-Whitney: (n:k) – отсутствие существенных различий в паре, где n, k – номера сравниваемых групп
- r – сила корреляционной взаимосвязи; p – статистическая вероятность

ФН – физическая нагрузка

ФС – функциональное состояние

W – мощность нагрузки (Ватт); $W_{\text{кгм}}$ – мощность нагрузки (кгм/мин)