

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ ТРЕНИРОВОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СПОРТСМЕНОВ КАК ОСНОВА ИХ СПОРТИВНОЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ

Н.А. ФУДИН, С.Я. КЛАССИНА

ФГБУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН,
125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, строение 4, n.fudin@mail.ru, тел.: 8 (495) 724-85-12

Аннотация: системный подход к анализу спортивной деятельности, в основе которого лежит принцип системного квантования поведения, позволяет проследить степень вовлеченности той или иной физиологической функции в системную организацию деятельности спортсмена, а, следовательно, выявить наиболее напряженные этапы его системокванта и внести своевременную коррекцию в тренировочный процесс и соревновательную деятельность.

Ключевые слова: системный подход, теория функциональных систем П.К. Анохина, концепция системного квантования, системоквант спортивной деятельности, системная организация функций.

FUNCTIONAL SELF-ORGANIZATION OF SPORT ACTIVITY AS BASE OF SPORT RESULTS

N.A. FUDIN, S.YA. KLASSINA

P.K. Anokhin Institute of normal physiologie of RAMS

Abstract: in this paper it is shown, that the K.V. Sudakov systemic behavior quantum conception might be used as methodology for sportsmen' activity. The functional self-organization of sport activity is a base of sport results.

Key words: P.K. Anokhin functional system theory, K.V. Sudakov systemic behavior quantum conception, systemoquant of sport activity, systemic organization of functions.

Введение. Организм человека в процессе его взаимодействия с внешней средой может рассматриваться как сложная система, характеризующаяся процессами самоорганизации. Такого рода сложные системы представлены в работах П.К. Анохина, создавшего теорию функциональных систем, получившую дальнейшее развитие в концепции системного квантования поведения К.В. Судакова [1, 6]. Существует мнение, что теория П.К. Анохина является системным методологическим подходом, объединяющим физиологию, кибернетику и синергетику (теорию самоорганизующихся систем) [4].

Спортивная деятельность человека является разновидностью поведения, а ее четкая направленность на конечный результат требует системного подхода к проблеме. Таким подходом может быть концепция системного квантования поведения, предложенная К.В. Судаковым, согласно которой спортивная деятельность может быть представлена как последовательность отдельных системных поведенческих единиц – системоквантов, каждый из которых имеет все черты функциональной системы. Системокванты включают формирование потребности, возникновение на ее основе доминирующей мотивации, а также целенаправленную деятельность по удовлетворению этой потребности. Тот факт, что системокванты представляют собой саморегуляторные функциональные системы с обратной связью, позволяет основе обратной афферентации вести постоянную оценку параметров достигнутых этапных и конечного результатов, направленных на удовлетворение потребности организма [1, 6].

Объекты и методы исследования. В данном исследовании в качестве модели спортивной деятельности была выбрана тренировочная работа на велоэргометре. Нетрудно понять, что в процессе тренировки спортсмены пребывают в тесном психологическом контакте с тренером, который постоянно отслеживает динамику результативности спортсмена и корректирует ее путем тренерского инструктажа. Именно результативность спортсмена является «информационным маркером» для коррекции тренировочного процесса.

Для отработки методик нагрузочного тестирования под физиологическим контролем были приглашены регулярно занимающиеся спортом практически здоровые мужчины (9 человек). Зная, что регулярные экстремальные или изнурительные физические нагрузки, выходящие за рамки физиологических возможностей, не только не повышают работоспособность спортсменов, а, наоборот, ведут к необратимому истощению их функциональных резервов [2, 3], мы подбирали тестовую физическую нагрузку индивидуально для каждого испытуемого. При подборе нагрузки мы полагали, что ее уровень не должен превышать физиологических возможностей испытуемого и, при оптимальном выборе нагрузки, они должны повышаться постепенно вместе с ростом физиологических возможностей испытуемого. В связи с этим подбор *тренировочной нагрузки* (ЧСС трен) производили с учетом *исходной частоты сердечных сокращений испытуемого* (ЧСС фон). Расчет ЧСС трен производился по формуле Karvonen: ЧСС трен=ЧСС фон+0,6×(ЧСС макс–ЧСС фон),

где ЧСС макс = 220-возраст (годы) [5].

В процессе нагрузочного тестирования мощность нагрузки на велоэргометре выставлялась постоянной (70 Вт), а требуемый *уровень тренировочной нагрузки для испытуемых* (ЧССн) задавался тренером-экспериментатором, и этого уровня нагрузки испытуемые должны были достичь путем изменения скорости вращения педалей (ω , об/мин). Использовали пятидневную схему предъявления нагрузки, при которой в первые 3 дня испытуемому последовательно повышали уровень физической нагрузки, начиная с низкого и заканчивая ЧСС трен., а в последние 2 дня, нагрузка снижалась до исходного уровня. Такого рода снижение нагрузки позволяло закрепить тренирующий эффект, полученный в предыдущих нагрузочных тестах. Так, например, для испытуемого Г. пятидневная схема дозирования нагрузки на основе ЧСС имела вид: 90-95-100-95-90 уд/мин. Мы полагали, что такого рода повышение и снижение в динамике уровня физической нагрузки позволит нам проследить работу вовлеченных функциональных систем испытуемого при его адаптации к росту и последующему снижению уровня нагрузки, и, в конечном итоге, позволит судить о функциональных резервах и потенциальных возможностях спортсменов [7].

Для проведения исследований был использован велоэргометр «Sports Art 5005», а само нагрузочное тестирование велось под контролем ЭКГ (1-е отведение) и пневмографии с использованием электрокардиографа «Поли-Спектр-8» («Нейрософт», Россия). Измеряли АД (мм рт. ст.), оценивали уровень потребления кислорода (VO_2 , мл) и выделения углекислого газа (VCO_2 , мл) в процессе нагрузочного тестирования с помощью газоанализатора с компьютерным управлением «Quark b²» (Cosmed, Италия). Расчетным путем оценивали *дыхательный коэффициент* (ДК), *уровень энергозатрат* (ЕЕ, ккал). На их основе оценивали показатели вариабельности сердечного ритма и спектрального анализа в состояниях «фон1» и «фон2», ЧСС (уд/мин), величины зубцов и сегментов ЭКГ – при физической нагрузке. На основе пневмограммы производили оценку *частоты дыхания* (ЧД, 1/мин).

Протокол системного исследования (системоквант спортивной тренировки) представлен на рис. 1.

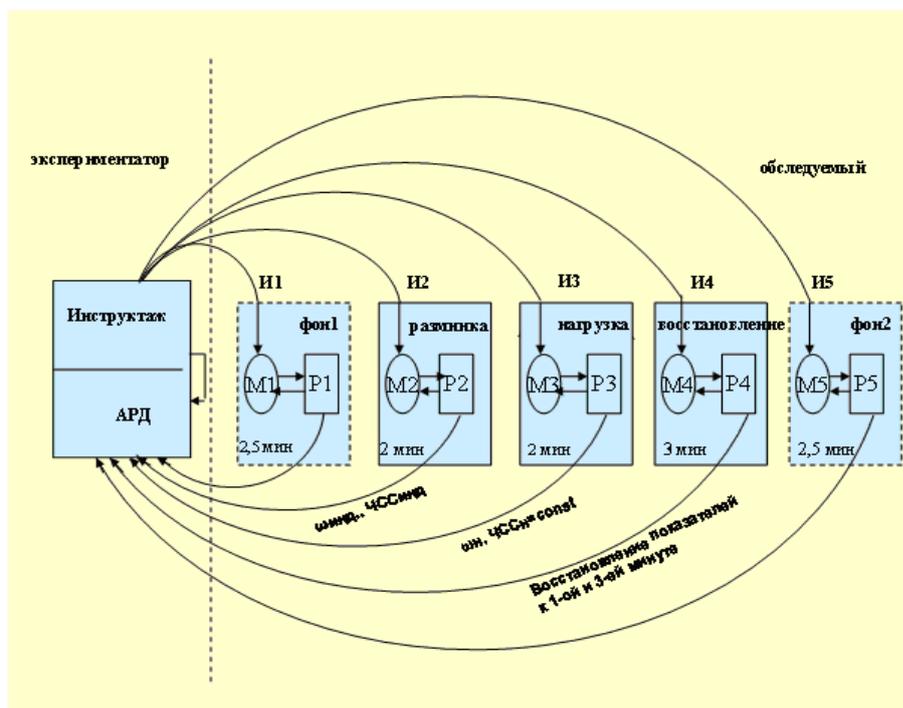


Рис. 1. Протокол системного исследования результативной деятельности человека при физической нагрузке (системоквант спортивной тренировки). Примечание: На всех этапах системокванта (фон1, разминка, нагрузка, восстановление, фон2) регистрируются ЭКГ, пневмограмма, ведется газовый анализ O_2 и CO_2

Конечным результатом системокванта является выполнение заданного уровня физической нагрузки. Достижение этого результата происходит поэтапно, на основе предварительного вербального инструктажа и под контролем экспериментатора. Характер поэтапного инструктажа, а также достигнутые при этом этапные результаты и их параметры приведены в табл.

Системоквант и его этапы, характер поэтапного инструктажа, а также достигнутые при этом этапные результаты и их параметры

Этап системокванта (временная длительность этапа)	Инструкция экспериментатора	Этапный результат (параметры результата)
Исходный фон (фон 1). (2,5 мин)	«Сидите спокойно, без движения, будут записываться фоновые показатели».	Состояние покоя. (кардиореспираторные показатели, показатели газового анализа)
Разминка (2 мин)	«Вращайте педали велоэргометра в свободном режиме».	Состояние свободной двигательной активности. (индивидуальная скорость вращения педалей- $\omega_{инд.}$), индивидуальная частота сердечных сокращений- $ЧСС_{инд.}$)
Нагрузка (2 мин)	«Вращайте педали с такой частотой, чтобы Ваш пульс на протяжении всей пробы удерживался постоянным на уровне $ЧСС_n$ уд/мин. Текущую величину пульса Вы видите на часах»	Достижение и удержание заданной частоты сердечных сокращений. (нагрузочная скорость вращения педалей- ω_n , стабильность заданной частоты сердечных сокращений - $ЧСС_n$)
Восстановление (3 мин)	«Постепенно снижайте скорость вращения педалей вплоть до полной остановки, далее сидите спокойно – будут записываться показатели».	Заключение о восстановлении функций на 1-ой и 3-ей минуте восстановления. (величины отклонений показателей в процентах от исходного фона к 1-ой и 3-ей минуте).
Фон после тренировки (фон 2) (2,5 мин)	«Сидите спокойно, производится запись показателей».	Состояние покоя. (кардиореспираторные показатели, показатели газового анализа).

На рис. 2 представлена нативная ритмограмма испытуемого на различных этапах системокванта («фон1»-«разминка»-«нагрузка»-«восстановление»-«фон2») для уровня физической нагрузки ($ЧСС_n=95$ уд/мин).

Видно, что на этапах «фон1» и «фон2» динамика кардиоинтервалов носит стационарный характер, во время как на этапах «разминка», «нагрузка» и «восстановление» этот процесс является нестационарным.

Из рис. 2 видно, что на этапе «разминка», когда испытуемому предлагалось выйти из состояния покоя и вращать педали велоэргометра в свободном режиме, длительность кардиоинтервалов резко уменьшилась, а вариабельность сердечного ритма снизилась. Когда временная длительность кардиоинтервалов прекращала свое снижение, более того, – стабилизировалась, испытуемый достигал такой скорости вращения педалей, которая, по его словам, была для него комфортной. При этом достигался устойчивый индивидуальный ритм вращения педалей ($\omega_{инд.}$), сопровождавшийся стабилизацией частоты сердечных сокращений, названной $ЧСС_{инд.}$

На этапе «нагрузка» испытуемому предлагалось достичь и удержать заданную экспериментатором нагрузочную частоту сердечных сокращений – $ЧСС_n$. При этом испытуемый резко увеличивал скорость вращения педалей велоэргометра, и только при частоте вращения ω_n он мог обеспечить удержание требуемой экспериментатором $ЧСС_n$. При этом на этапе «нагрузка» в динамике кардиоинтервалов можно было выделить 2 фазы: вход в нагрузку – «n1» и стабильное нагрузочное «плато» – «n2». При входе в нагрузку («n1») испытуемый резко увеличивал скорость вращения педалей, чтобы достичь должного уровня $ЧСС_n$, однако при достижении заданной $ЧСС_n$ на фазе «плато» («n2») он вращал педали с такой частотой – (ω_n), чтобы удержать достигнутый уровень $ЧСС_n$.

По истечении 2-х минут нагрузочного тестирования по команде экспериментатора испытуемый снижал скорость вращения педалей вплоть до полной остановки, после чего начинался этап «восстановление». Временная протяженность этого этапа составляла 6 минут, причем после 1-ой, 3-ей и 6-ой минут у испытуемого измеряли $ЧСС$ и сравнивали с фоновым значением ($ЧСС_{фон1}$). Полагали, что испытуемый восстановился, если относительные отклонения этих показателей не превышали более 10%.

Заключительным этапом являлся этап «фон2», который был полностью аналогичен исходному этапу «фон1», что впоследствии позволяло провести их сравнение. Таким образом, анализ динамики кардиоинтервалов позволяет заключить, что нагрузочное тестирование на велоэргометре носит дискретный характер, причем каждый из этапов системокванта завершался своим этапным результатом.

Выявлены наиболее «чувствительные» к физической нагрузке физиологические показатели. Известно, что к таковым можно отнести ЧСС и ЧД, которые повышаются пропорционально с ростом интенсивности нагрузки. При этом показано, что изменения артериального давления носят разнонаправленный характер [5].

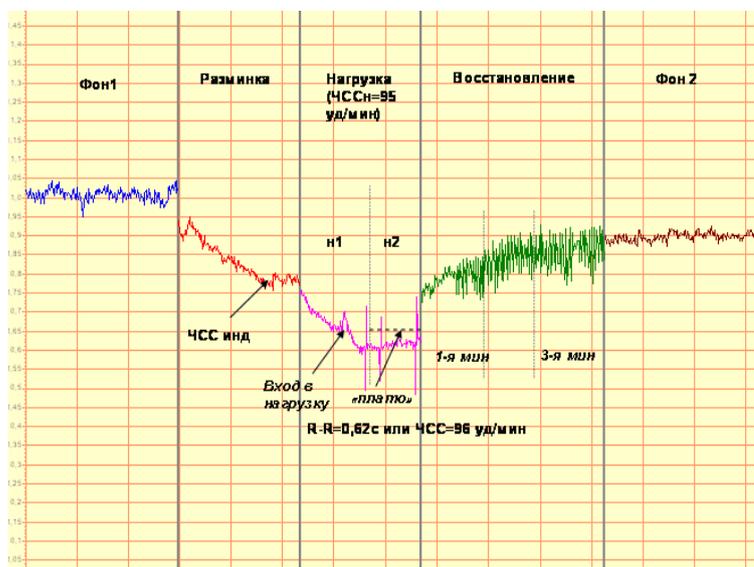


Рис.2. Нативная запись кардиоинтервалов ЭКГ на различных этапах системокванта

Показано, что воздействие физической нагрузки сказывается на зубцах и сегментах электрокардиограммы. На рис.3. представлена динамика амплитуды сегмента S-T электрокардиограммы испытуемого на этапах системокванта («фон1» -«разминка» - «н1» - «н2»), а также на 1-ой, 3-ей и 6-ой минутах восстановления («в1»-«в3»-«в6») при уровнях физической нагрузки 90-95-100-95-90 уд/мин (обозначено 1-2-3-4-5). Видно, что для каждого уровня нагрузки соотношение амплитуд сегмента S-T на этапах системокванта («фон1»-«разминка»-«н1»-«н2») менялась. По мере увеличения уровня физической нагрузки отмечалась тенденция к снижению амплитуды сегмента S-T (на этапе «н2»), а при снижении нагрузки, наоборот, амплитуда сегмента S-T повышалась (рис.3а, пунктирная линия тренда). Анализ этапов восстановления показал, что при увеличении уровня нагрузки амплитуда сегмента S-T повышалась к 3-ей и 6-ой минуте восстановления (рис.3б). Все сказанное согласуется с результатами наблюдений В.М. Михайлова, который утверждает, что снижение S-T на ЭКГ при физической нагрузке отражает снижение функциональных резервов миокарда [5].

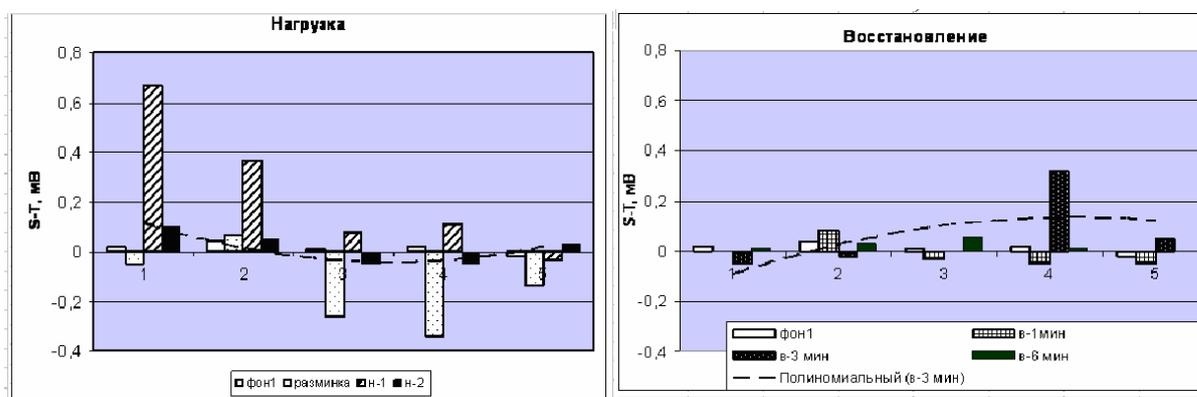


Рис.3. Изменения амплитуды сегмента S-T электрокардиограммы испытуемого на нагрузочных этапах системокванта («фон1» -«разминка» - «н1» - «н2»), а также на этапах восстановления («в1»-«в3»-«в6») при уровнях нагрузки 90-95-100-95-90 уд/мин (обозначены 1-2-3-4-5). Пунктиром представлена линия тренда для этапа "н1- «плато»" и этапа восстановления к 3-ей минуте («в-3»).

На рис.4 представлена динамика амплитуд зубца Т электрокардиограммы испытуемого на нагрузочных этапах системокванта («фон1»-«разминка»-«н1»-«н2») при уровнях физической нагрузки 90-95-100-95-90 уд/мин (обозначено 1-2-3-4-5). Пунктиром представлена линия тренда для нагрузочной фазы «н2». Из рисунка видно, что по мере роста уровня нагрузки амплитуда зубца Т на этапе нагрузки в фазе «н2» имеет тенденцию к снижению, что, вероятно, обусловлено снижением метаболического обеспечения сердечной мышцы [4]. Таким образом, при повышении уровня физической нагрузки на фоне усиления симпатических влияний у испытуемого отмечалось повышение ЧСС и ЧД, снижалась амплитуда сегментов S-T и зубцов Т электрокардиограммы.

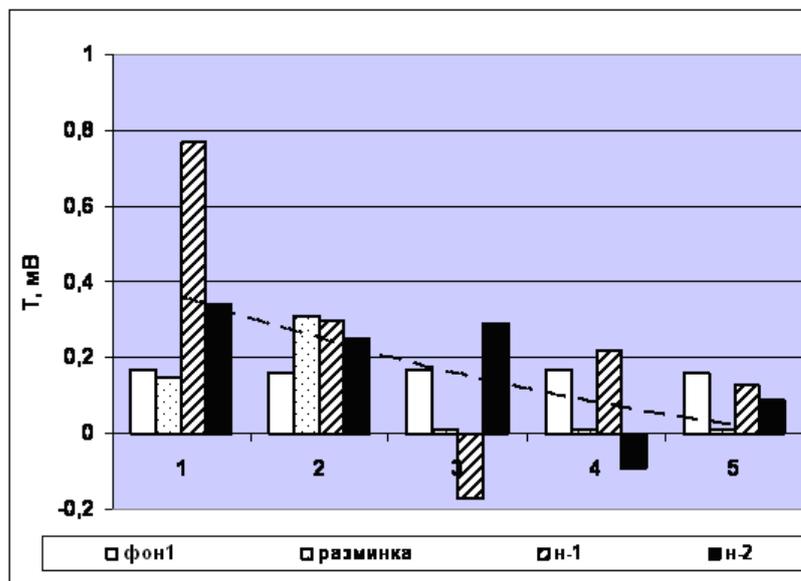


Рис.4. Динамика амплитуд зубца Т электрокардиограммы испытуемого на этапах системокванта («фон1»-«разминка»-«н1»-«н2») при уровнях нагрузки 90-95-100-95-90 уд/мин (обозначены 1-2-3-4-5). Пунктиром представлена линия тренда для этапа нагрузки (н2-«плато»)

Показано, что физическая нагрузка оказала выраженное влияние на газообмен испытуемого. На рис.5 представлены кривые объемов потребленного испытуемым O_2 (сплошная линия) и выделенного CO_2 (пунктирная линия) на различных этапах системокванта («фон1»-«разминка»-«нагрузка»-«восстановление»-«фон2») для уровня нагрузки ЧССн=95 уд/мин. Видно, что на этапах «разминка» и «нагрузка» отмечается доминирование объема потребления O_2 над объемом выделенного CO_2 , в то время, как при восстановлении растет объем выделенного CO_2 . Заметим, что на этапе восстановления ДК становится больше 1. На основе этих показателей производился расчет энергозатрат. На рис.5б представлена гистограмма суммарных энергозатрат (ккал) при уровнях физической нагрузки 90-95-100-95-90 уд/мин (обозначено 1-2-3-4-5). Видно, что чем выше уровень нагрузки, тем больше энергозатраты. Характерно, что уровни энергозатрат на однотипных ступенях нагрузки (1 и 5, 2 и 4) у испытуемого не только не совпадают, но и становятся меньше на последних ступенях, что, вероятно, может быть истолковано как повышение адаптивности регуляторных систем испытуемого в процессе тренировки.

Известно, что любая физиологическая функция включается в системную организацию лишь в той мере, в которой она взаимодействует достижению результата. Только ради результата система может пойти на изменение своего состояния, а, следовательно, изменения в системной организации функций являются отражением той «физиологической цены», которую система «платит» за достижение результата. В основе количественной меры «физиологической цены» лежат сдвиги показателей физиологических функций. На рис.6 представлены относительные сдвиги физиологических показателей (%) по отношению к исходному фону («фон1») у испытуемого на отдельных этапах системокванта («разминка»-«н2»-«н3»-«фон2») при уровне нагрузки (ЧССн=95 уд/мин). Видно, что каждому из вышеперечисленных этапов системокванта спортивной деятельности присущ свой «вегетативный портрет», отражающий степень включения той или иной физиологической функции в системную организацию.

Так, на этапе «разминка» по сравнению с исходным фоном ЧСС повышается на 30,1%, ЧД – на 10,5%, объем потребленного O_2 – на 240%, объем потребленного CO_2 – на 226%, увеличиваются амплитуды сегмента S-T и зубца Т электрокардиограммы на 75 и 94% соответственно, повышаются энергозатраты на 137%. Заметим, что этот режим двигательной активности испытуемого хотя и сопровождается повышением энергозатрат, однако он же является и комфортным для него, что подтверждается ростом функциональных возможностей миокарда и метаболического обеспечения сердечной мышцы.

Достижение заданной нагрузочной ЧСС_n = 95 уд/мин (фаза нагрузки – «н2» системокванта) потребовал большей активации физиологических функций, а потому по сравнению с исходным фоном ЧСС повысилась на 54%, ЧД – на 26,3%, объем потребленного O₂ – на 380%, объем выдыхаемого CO₂ – на 552%, а энергозатраты – на 392%. Заметим, что по сравнению с предыдущим этапом повышение амплитуды сегмента S-T составило лишь 25%, а амплитуда зубца T – 56% по отношению к исходному фону, что можно трактовать как снижение функциональных возможностей миокарда и снижение метаболического обеспечения сердечной мышцы. Такого рода динамика показателей свидетельствует о росте «физиологической цены» этого этапного результата системокванта.



Рис.5. Объемы потребленного испытуемым O₂ (сплошная линия) и выделенного CO₂ (пунктирная линия) на различных этапах системокванта («фон1»-«разминка»-«нагрузка»-«восстановление»-«фон2») для нагрузки ЧСС_n=95 уд/мин, а также динамика суммарных энергозатрат (ккал) при уровнях нагрузки 90-95-100-95-90 уд/мин (обозначены 1-2-3-4-5).

После нагрузки следовал этап восстановления функций. На рис.6 представлены относительные сдвиги физиологических функций для 3-ей минуты восстановления (фаза «в-3»). Видно, что к этому моменту сдвиги физиологических функций по отношению к исходному фону снизились и составили: по ЧСС – 15,8%, по ЧД – (-105%), по объему потребленного O₂ – 110%, по объему потребленного CO₂ – 273%, по энергозатратам – 244%. По амплитуде сегмента S-T сдвиг стал отрицательным и составил (-150%), аналогично и для амплитуды зубца T – (-19%). Видно, что восстановительный период характеризуется перераспределением степени вовлеченности функций в системную организацию, выражающуюся в некотором снижении

жении ритма сердца и дыхания, в снижении объема потребляемого кислорода, однако уровень выдыхаемого CO_2 и уровень энергозатрат отстает еще достаточно высоким. Функциональные возможности миокарда существенно снижены.

Через 5,5 минут после нагрузки (этап «фон2») ритм сердца и дыхания практически не меняется, но отмечается дальнейшее снижение объема потребляемого O_2 , объема выдыхаемого CO_2 , снижение уровня энергозатрат. Функциональные возможности миокарда восстанавливаются. Однако следует подчеркнуть, что на этом этапе физиологические функции так и не восстановились до исходного уровня.



Рис.6 Относительные сдвиги показателей (%) по отношению к исходному фону («фон1») на различных этапах системокванта («разминка»-«n2»-«в3»-«фон2») при уровне нагрузки ЧССн=95 уд/мин.

Заключение. Обобщая сказанное, можно заключить, что предлагаемый нами системный подход к анализу спортивной деятельности позволяет проследить степень вовлеченности той или иной физиологической функции в системную организацию деятельности спортсмена, т.е. оценить функциональную самоорганизацию его деятельности. Такой подход позволяет выявить наиболее напряженные этапы системокванта для данного спортсмена, оптимально дозировать тренировочные нагрузки для каждого этапа и вносить своевременную коррекцию в тренировочный процесс.

Литература

1. Анохин, П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / П.К.Анохин.– М: Медицина.– 1975.– 448 с.
2. Волков В.Н. Современная спортивная медицина: Парадоксы развития / В.Н. Волков // Теория и практика физической культуры.– 1989.– N4.– С. 23–25.
3. Волков, В.Н. Теоретические основы и прикладные аспекты управления состоянием тренированности в спорте. Монография / В.Н. Волков.– Челябинск: Факел, 2001.– 252 с.
4. Еськов, В.М. Теория функциональных систем организма П.К. Анохина и синергетическая парадигма / В.М. Еськов, О.Е. Филатова, А.А. Хадарцев, В.В. Еськов // Труды научного совета по эксперим. и прикл. физиологии, т.16 «Системная саморегуляция функций организма».– М., НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН.– 2011.– С.18–27.
5. Михайлов, В.М. «Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ / В.М. Михайлов.– Иваново, 2008.– С. 252
6. Судаков, К.В.Общая теория функциональных систем / К.В. Судаков.– М: Медицина, 1984.– 224 с.
7. Фудин, Н.А. Медико-биологическое обеспечение физической культуры и спорта высших достижений / Н.А. Фудин, С.В. Чернышов, А.И. Романов // Вестник Международной Академии наук (Русская секция).– 2006.– N2.– С. 28–30.