



Эсселевич И.А.

Особенности адаптации
организма спортсмена к
высокой физической
нагрузке, выявленные с
помощью «зонной» модели

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Эсселевич И.А. Особенности адаптации организма спортсмена к высокой физической нагрузке, выявленные с помощью «зонной» модели // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2008. № 42. 37 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2008-42>

ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
им. М.В. Келдыша
Российская академия наук

Эсселевич И.А.

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА
СПОРТСМЕНА К ВЫСОКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ,
ВЫЯВЛЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ «ЗОННОЙ» МОДЕЛИ

МОСКВА, 2008

Особенности адаптации организма спортсмена к высокой физической нагрузке, выявленные с помощью «зонной» модели.

Эсселевич И.А.

Работа посвящена выявлению особенностей адаптации организма спортсмена к высокой физической нагрузке с помощью «зонной» модели. Симптомный анализ различных физиологических показателей позволил предложить модели механизмов адаптации организма, основанные на понятиях «разгона» аэробных процессов в начале тестирования и истощения ресурсов организма к концу тестирования. Получены формализованные аналоги некоторых физиологических критериев анаэробного порога. «Зонная» модель помогает выделить изменения (переходы) соотношения аэробного и анаэробного процессов энергообеспечения организма при адаптации к высокой физической нагрузке. Симптомный анализ позволил выделить некоторые признаки этих переходов. Также используемый подход помогает выделить наиболее слабые звенья (лимитирующие факторы) в сложной системе энергообеспечения организма. Так, в ряде случаев аэробные возможности организма лимитирует сердечно-сосудистая система, в ряде случаев – аэробные возможности тканей (то есть тканевое дыхание), а иногда – дыхательная система.

The athlete organism adaptation peculiarities in high intensity test detected using «zones» model.

Esselevich I.A.

The work concerns the adaptation dynamics of athlete organism to high intensity exercise. We used «zones» model and symptom analysis for physiological parameters study. The method allowed us to offer the organism adaptation models based on the concepts of aerobic processes acceleration following exercise onset and exhaustion of the organism resources towards the end of test. The formalized analogues of physiological anaerobic threshold criteria are obtained. The «zones» model permitted us to mark aerobic and anaerobic processes ratio changes (transitions) during adaptation to high intensity exercises. Symptom analysis allowed to obtain some signs of these transitions. Also the approach pointed the weakest parts (limiting factors) in the complex system of organism energy supply. So in a number of cases aerobic potential of organism is limited by cardiovascular system, in a number of cases – by tissue aerobic potential (tissue respiration), and sometimes – by respiratory system.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение	4
2. Задача классификации	6
3. Симптомный анализ отдельных показателей	7
3.1. Потребление кислорода	7
3.2. Потребление кислорода на килограмм массы тела	9
3.3. Выделение углекислого газа	11
3.4. Дыхательный коэффициент	12
3.5. Частота дыхания	14
3.6. Легочная вентиляция	15
3.7. Частота сердечных сокращений	17
3.8. Отношение потребления кислорода к частоте сердечных сокращений	18
3.9. «Глубина» дыхания	19
3.10. Вентиляторный эквивалент потребления кислорода	21
3.11. Вентиляторный эквивалент выделения углекислого газа	22
3.12. «Углекислая стоимость дополнительного потребления кислорода»	24
4. Описание класса R	25
5. Описание класса F	31
6. Заключение	35
Литература	36

Основные сокращения и обозначения

– логический симптом

АВРК – артериально-венозная разность по кислороду

ГД – «глубина» дыхания

ВУГ – выделение углекислого газа

ВЭВУГ – вентиляторный эквивалент выделения углекислого газа

ВЭПК – вентиляторный эквивалент потребления кислорода

ДК – дыхательный коэффициент

ЛВ – легочная вентиляция

ОПК – относительное потребление кислорода (потребление кислорода на килограмм массы тела)

ПК – потребление кислорода

СВ – сердечный выброс

УОС – ударный объем сердца

УСДПК – углекислая стоимость дополнительного потребления кислорода

ЧД – частота дыхания

ЧСС – частота сердечных сокращений

1. Введение

Адаптационные свойства организма человека определяют возможности организма и допустимую продолжительность работы в предельных режимах. Данная работа является продолжением исследования, посвященного моделированию процессов адаптации организма футболиста высокого класса к высоким и предельным физическим нагрузкам [1, 2].

Генерация силы и мощности во время мышечного сокращения осуществляется за счет энергии, выделяющейся при распаде АТФ. Для обеспечения непрерывной сократительной деятельности мышцы АТФ в ней должна восстанавливаться с такой же скоростью, с какой она расщепляется в процессе сокращения [3, 4].

Ресинтез АТФ при мышечной деятельности возможен как в ходе реакций, идущих без потребления кислорода (анаэробный механизм), так и за счет окислительных превращений в клетках (аэробный механизм). Обычно ресинтез АТФ происходит в основном путем аэробных превращений. При напряженной мышечной деятельности доставка кислорода к мышцам затруднена и в тканях усиливаются анаэробные процессы ресинтеза АТФ. В скелетных мышцах человека возможны три вида анаэробных процессов ресинтеза АТФ: креатинфосфокиназная реакция, миокиназная реакция; гликолиз (называемый также лактатным анаэробным процессом, он сопровождается образованием молочной кислоты, лактата, с которым сопряжено развитие утомления в работающих мышцах). Образование молочной кислоты в первых двух процессах не происходит, их называют алактатными анаэробными механизмами. Анаэробные процессы имеют преимущество при выполнении кратковременных упражнений

высокой интенсивности, а аэробные – при длительной работе умеренной интенсивности.

Цель данного исследования – изучение процессов адаптации организма спортсмена к физической нагрузке для решения основных задач спортивной физиологии:

- 1) Определение максимальных адаптационных возможностей организма;
- 2) Выявление факторов, лимитирующих адаптационные возможности организма;
- 3) Определение соотношения аэробного и анаэробного механизмов энергообеспечения организма. Признаки изменения этого соотношения (перехода). Возможности прогнозирования переходов, их физиологические предвестники.

Решение этих задач должно помочь при поиске перспективных спортсменов и выборе адекватной спортивной специализации для них, определении функциональной готовности спортсмена к соревнованиям, планировании его тренировок, а также при выработке стратегии и тактики во время соревнования.

Для определения состояния здоровья спортсмена и уровня его работоспособности применяются процедуры нагрузочного тестирования. Материалом данной работы послужили результаты нагрузочных тестов 133 футболистов Российской премьер-лиги [2].

Во время тестирования испытуемые бегут в «гору» по дорожке, установленной под небольшим углом к горизонту. Угол наклона дорожки можно менять, не прерывая тестирование. Скорость бега принудительная, задается врачом. Продолжительность испытания не превышала 20 минут. В процессе тестирования регистрировали следующие показатели: легочную вентиляцию, частоту дыхания, потребление кислорода, выделение углекислого газа и частоту сердечных сокращений.

Нагрузка спортсмена в этом упражнении определяется двумя параметрами: скоростью бега и уровнем наклона дорожки ($G[\%]$), который связан с углом наклона дорожки α соотношением: $\alpha = \arctan(G/100)$. Нами использовался следующий протокол проведения испытаний:

- 1) Разминка: бег со скоростью 5 км/час при уровне подъема дорожки 0.5 в течение 1.5 минут;
- 2) Основная нагрузка. Бег со ступенчатым увеличением нагрузки и постоянной длительностью ступеней. Начальная скорость бега – 7 км/час, уровень подъема дорожки 0.5; возрастание скорости бега при переходе к следующей ступени на 1.5 км/час, увеличение уровня наклона дорожки на 0.2, длительность каждой ступени 2 мин.

Тестирование завершали при выполнении хотя бы одного из критериев [1, 9] достижения максимального потребления кислорода – одной из основных характеристик аэробных возможностей организма [8, 9]. Кроме того, тестирование может быть прекращено по требованию спортсмена.

В [2] для описания адаптации к нагрузке нами была предложена «зонная» модель, позволяющая для каждого испытуемого выделить несколько зон, представляющие собой интервалы (по времени) процесса выполнения нагрузочного

теста, в каждом из которых потребление кислорода находится на приблизительно постоянном уровне q_i в индивидуальном нормативном коридоре. Такая модель позволяет обратить внимание исследователя на видимые стадии процесса адаптации организма к высоким физическим нагрузкам. В [2] также был предложен адаптивный алгоритм идентификации зон. Данная работа посвящена выявлению физиологических особенностей процесса адаптации организма спортсмена к возрастающей физической нагрузке с на основе выделенных зон.

В исследовании использовались идеи динамики открытых и сложных систем [5], методы аппроксимации и непараметрической статистики [6, 7], а также язык логических симптомов [6], с помощью которых решались информационные задачи выделения и подробного описания классов адаптации к нагрузке.

2. Задача классификации

Итак, в соответствии с «зонной» моделью динамика q_i представляет собой ступенчатую функцию (то есть в каждой из зон динамика потребления кислорода описывается постоянным квантилем в индивидуальном нормативном коридоре). Наша гипотеза состоит в том, что внутри разных зон разные звенья процесса адаптации к высоким физическим нагрузкам играют определяющую роль. Особый интерес представляют переходы от одной зоны к другой, когда в организме спортсмена происходят изменения, «переводящие» его на другой уровень q_i . Понимание этих изменений должно позволить выяснить особенности зон. Таким образом, задача интерпретации переходов между зонами приобретает ключевое значение.

Каждый переход характеризуется предшествующей зоной и последующей. В дальнейшем предшествующую зону будем называть левой зоной, а последующую – правой. Из всех переходов (для всех 133 футболистов) нами были выбраны наиболее яркие, по условию: изменение уровня q_i при переходе от левой зоны к правой составляет не менее 0.2, при этом длительность каждой зоны не менее 60 с. Отобранные переходы были разделены на два класса:

- Класс R (от англ. *rise*): значение q_i при переходе от левой зоны к правой растет;
- Класс F (от англ. *fall*): значение q_i при переходе от левой зоны к правой падает.

В класс R вошло 76 переходов, а в класс F – 68 переходов.

Для интерпретации нами использовались все доступные показатели, получаемые в ходе тестирования: потребление кислорода, выделение углекислого газа, частота сердечных сокращений, частота дыхания и другие.

Итак, мы пришли к информационной задаче деления классов и максимально подробного их описания. Решать эту задачу будем с помощью языка логических симптомов [6].

Также будем использовать понятие чистого подкласса. Чистый подкласс возникает как результат деления множества объектов, уже имеющих истинную (верифицированную) классификацию, на новые классы формальным пра-

вилом (в нашем случае истинными классами будут класса R и F). Если в результате такого разделения образуется формальный класс, содержащий объекты некоторого истинного класса и не содержащий объектов других истинных классов, будем называть его чистым подклассом.

3. Симптомный анализ отдельных показателей

Сначала был проведен первичный статистический анализ количественных параметров, позволяющий выявить границы (пороги) одномерного разделения классов (критерии Вилкоксона-Манна-Уитни и Смирнова). Для каждого анализируемого показателя были сформулированы «простейшие» логические симптомы, представляющие собой сравнение показателя с порогом. Некоторые пороги были скорректированы с целью выделения чистых подклассов. «Простейшие» логические симптомы, полученные для всех доступных показателей, служат «кирпичиками» для дальнейших построений. Таким образом, происходит переход от количественных показателей к логическим.

Сначала проведем симптомный анализ для каждого показателя в отдельности: рассмотрим простейшие логические симптомы для этого показателя и попытаемся построить из них симптомы, более полно характеризующие классы R и F. После чего выясним, как симптомы для разных показателей соотносятся между собой. Таким образом, получим достаточно полное описание классов R и F.

3.1. Потребление кислорода

Потребление кислорода (ПК) есть объем кислорода, потребленного организмом за единицу времени. Определяется по разнице концентраций кислорода во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе. Единица измерения: [мл/мин]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ПК, измеряемая в [(мл/мин)/с]. Потребление кислорода тесным образом связано с работой, совершаемой за счет аэробных механизмов энергообеспечения.

Для ПК получены следующие простейшие логические симптомы (символ «#» заменяет слово «симптом»):

#25. «Высокое значение ПК в правой зоне (медиана ПК в правой зоне больше 3469)».

#74. «Резкое снижение (больше, чем на 1.18) скорости изменения ПК при переходе от левой зоны к правой».

#75. «Значительное увеличение ПК при переходе от левой зоны к правой (разница медиан ПК в правой и левой зонах больше 635)».

В Табл. 1 для каждого симптома указаны код симптома, класс, для которого специфичен данный симптом, данные о его встречаемости в классах R и F (символ «X» соответствует наличию симптома, «—» – его отсутствию), а также вероятность гипотезы о неотличимости классов R и F по этому симптому (то есть об одинаковой встречаемости этого симптома в обоих классах) по критерию «хи-квадрат» ($p(chi)$).

Табл. 1. Простейшие симптомы для ПК

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
25	R	43	8	33	60	4.5e-7
74	F	18	41	58	27	3.9e-7
75	R	45	10	31	58	7.5e-7

Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 2. Каждому столбцу этой таблицы соответствует комбинация значений симптомов 25 и 75, а строке значение симптома 74, в клетках по два числа: первое – число таких комбинаций в классе R, а второе – в классе F. В названии таблицы для каждого класса в скобках указана его численность.

Табл. 2. Встречаемость простейших симптомов ПК (R(76) : F(68))

25 75 74	– –	X –	– X	X X
–	11 22	13 1	13 3	21 1
X	3 29	4 6	6 6	5 0

Достаточно большое число представителей класса F при относительно малом представительстве класса R содержится в клетках данной таблицы, отвечающих комбинациям симптомов 25, 75, 74 «– – →» и «– – X», исходя из которых можно сформулировать следующие симптомы, специфичные для класса F:

$$\#139 = \#25 \ \&\& \ \#75 \ \&\& \ \#74$$

$$\#140 = \#25 \ \&\& \ \#75$$

Объединяя комбинации с преимущественным представительством класса R («X – →», «– X →», «X X →» и «X X X») получим симптом, специфичный для класса R:

$$\#141 = (\#25 \ \&\& \ \#74) \ || \ (\#25 \ \&\& \ \#75) \ || \ (\#74 \ \&\& \ \#75)$$

Этот симптом представляет собой «голосование 2 из 3»: принимает значение «истина», если значение «истина» принимают хотя бы 2 симптома из 3 (#25, #74, #75).

Смысл полученных «сложных» (то есть составленных из более простых) симптомов:

#139 = #25 && #75 && #74. «Невысокий рост ПК при переходе от левой зоны к правой при невысоких значениях ПК в правой зоне, совмещенный с заметным снижением скорости изменения ПК».

#140 = #25 && #75. «Невысокий рост ПК при переходе от левой зоны к правой при невысоких значениях ПК в правой зоне».

#141 = (#25 && #74) || (#25 && #75) || (#74 && #75) (голосование 2 из 3). «Наличие хотя бы двух из трех признаков: высокий рост ПК при переходе от левой зоны к правой, отсутствие резкого снижения скорости изменения ПК при переходе от левой зоны к правой, высокие значения ПК в правой зоне».

Сравнение классов R и F по этим «сложным» симптомам представлено в Табл. 3. Симптомы 139, 140 не встречаются совместно с симптомом 141.

Табл. 3. «Сложные» симптомы для ПК

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
139	F	3	29	73	39	5.9e-7
140	F	14	51	62	17	2.5e-9
141	R	52	5	24	63	1.2e-10

Симптомы 139 и 140 говорят о существенном замедлении роста ПК с ростом нагрузки, что может быть связано с «разгоном» аэробной системы энергообеспечения в начале тестирования или достижением этой системой мощностей, близких к максимальным (проверка этой гипотезы будет произведена позже, при построении описания класса F). И в том, и в другом случае естественным является наличие невысоких значений ПК в правой зоне: в первом случае это может быть связано с невысокой мощностью выполняемой работы, а во втором – со сниженными возможностями аэробной системы спортсмена по отношению к другим спортсменам. Такое замедление роста ПК оказывается несвойственным для представителей класса R (симптом 141).

Отметим, что симптом 139 является более «сильным», чем симптом 140 в том смысле, что встречается всегда совместно с симптомом 140, а симптом 140 может встречаться и без симптома 139.

Полученные «сложные» симптомы более полно, чем «простейшие», описывают свойства интересующих нас классов, поэтому именно они и будут использоваться при дальнейшем анализе.

3.2. Потребление кислорода на килограмм массы тела

В видах спорта, где совершается большая дополнительная работа по перемещению центра тяжести спортсмена (например, бег), часто кроме абсолютных значений потребления кислорода во внимание принимается потребление кислорода на килограмм массы тела, называемое также относительным потреблением кислорода (ОПК). Единица измерения: [(мл/мин)/кг]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ОПК, измеряемая в [((мл/мин)/кг)/с].

Для ОПК получены следующие простейшие симптомы:

#27. «Низкая скорость изменения ОПК в правой зоне (ниже 0.0213)».

#31. «ОПК в правой зоне достигает значений выше 54.3».

#78. «Заметное снижение (больше, чем на 0.0169) скорости изменения ОПК при переходе от левой зоны к правой».

#79. «Значительный рост ОПК при переходе от левой зоны к правой (разница медиан распределения ОПК в правой и левой зонах больше 9.5)».

#82. «Отсутствие значительного увеличения максимальных значений ОПК при переходе от левой зоны к правой (разница максимальных значений ОПК в правой и левой зонах меньше 4)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 4. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 5.

Табл. 4. Простейшие симптомы для ОПК

Код	Класс	X		–		p (χ)
		R	F	R	F	
27	F	15	28	61	41	8.5e-3
31	R	14	0	62	68	7.2e-4
78	F	17	41	59	27	2.1e-5
79	R	35	3	41	65	4.0e-7
82	F	8	40	68	28	5.1e-8

Табл. 5. Встречаемость простейших симптомов для ОПК (R(76) : F(68))

27 78 82 31 79	– – –	X – –	– X –	X X –	– – X	X – X	– X X	X X X
– –	18 12	6 0	3 11	2 2	3 7	1 7	0 7	2 19
X –	2 0	0 0	0 0	0 0	1 0	1 0	0 0	0 0
– X	15 1	2 0	9 2	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0
X X	8 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0

Из простейших симптомов для ОПК получены следующие «сложные» симптомы:

#142 = #78 && #82 && !#79. «Невысокий рост ОПК (и медианы, и максимума) при переходе от левой зоны к правой при снижении скорости изменения ОПК».

#143 = (#78 || #82) && !#79. «Невысокий рост ОПК (медианы) при переходе от левой зоны к правой при снижении скорости изменения ОПК или отсутствии значительного увеличения максимальных значений ОПК».

#144 = #79. «Значительный рост ОПК (медианы) при переходе от левой зоны к правой».

#145 = !#78 && !#82. «Значительное увеличение максимальных значений ОПК при переходе от левой зоны к правой при отсутствии заметного снижения скорости изменения ОПК».

#146 = (!#78 && #79) || (!#78 && !#82) || (#79 && !#82) (голосование 2 из 3). «Наличие хотя бы двух из трех признаков: высокий рост ОПК (медианы) при переходе от левой зоны к правой, отсутствие резкого снижения скорости изменения ОПК при переходе от левой зоны к правой, значительное увеличение максимальных значений ОПК».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 6. Симптомы 142, 143 не встречаются совместно с симптомами 144, 145, 146.

Симптомы 142 и 143 говорят о существенном замедлении роста ОПК с ростом нагрузки, что, как и в случае с ПК, может быть связано с «разгоном» аэробной системы энергообеспечения в начале тестирования или достижением этой системой мощностей, близких к максимальным. Такое замедление роста потребления кислорода оказывается несвойственным для представителей класса R (симптомы 144, 145, 146).

Табл. 6. «Сложные» симптомы для ОПК

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
142	F	2	26	74	42	1.3e-6
143	F	13	53	63	15	2.5e-10
144	R	35	3	41	65	4.0e-7
145	R	53	13	23	55	6.1e-8
146	R	63	15	13	53	2.5e-10

Отметим, что в логические формулы полученных «сложных» симптомов не вошли простейшие симптомы 27 и 31. То есть определяющим оказалось изменение показателей динамики ОПК при переходе между зонами, а не абсолютные значения самих этих показателей.

3.3. Выделение углекислого газа

Выделение углекислого газа (ВУГ) есть объем углекислого газа, выделенного организмом за единицу времени. Определяется по разнице концентраций углекислого газа в выдыхаемом и вдыхаемом воздухе. Единица измерения: [мл/мин]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ВУГ, измеряемая в [(мл/мин)/с]. Выделение углекислого газа связано с работой, совершаемой за счет аэробных механизмов энергообеспечения и анаэробного гликолиза, а также с включением буферных систем при закислении организма [3, 4].

Для ВУГ получены следующие простейшие симптомы:

#4. «Низкая скорость изменения ВУГ в левой зоне (ниже 4.97)».

#33. «Высокая скорость изменения ВУГ в правой зоне (выше 4.85)».

#34. «Низкая скорость изменения ВУГ в правой зоне (ниже 3.00956)».

#35. «Повышенное ВУГ в правой зоне (значение медианы ВУГ больше 3959)».

#84. «Увеличение скорости изменения ВУГ при переходе от левой зоны к правой (разница скоростей изменения ВУГ в правой и левой зонах больше 0)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 7. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 8.

Табл. 7. Простейшие симптомы для ВУГ

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
4	R	53	20	23	48	9.7e-6
33	R	57	15	19	53	2.0e-8
34	F	0	12	76	56	5.5e-4
35	R	52	18	24	50	4.6e-6
84	R	56	15	20	53	4.0e-10

Табл. 8. Встречаемость простейших симптомов для ВУГ (R(76) : F(68))

4 33 34 35 84	— — —	X — —	— X —	X X —	— — X	X — X	— X X	X X X
— —	3 21	2 1	4 5	0 0	0 8	0 3	0 0	0 0
X —	4 6	2 4	5 4	0 0	0 1	0 0	0 0	0 0
— X	0 0	5 8	0 2	10 2	0 0	0 0	0 0	0 0
X X	0 0	3 1	7 1	31 1	0 0	0 0	0 0	0 0

Из простейших симптомов для ВУГ получены следующие «сложные» симптомы:

#147 = !#4 && !#33. «Высокая скорость изменения ВУГ в левой зоне и низкая в правой зоне».

#148 = #4 && #33. «Низкая скорость изменения ВУГ в левой зоне и высокая в правой зоне».

#149 = #35 && #84. «Высокие значения ВУГ в правой зоне, совмещенные с увеличением скорости изменения ВУГ при переходе от левой зоны к правой».

#150 = (#4 && #33 && #35) || (#4 && #33 && #84) || (#4 && #35 && #84) || (#33 && #35 && #84) (голосование 3 из 4). «Наличие хотя бы трех из четырех признаков: низкая скорость изменения ВУГ в левой зоне, высокая скорость изменения ВУГ в правой зоне, увеличение скорости изменения ВУГ при переходе от левой зоны к правой, высокие значения ВУГ в правой зоне».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 9. Симптом 147 не встречается совместно с симптомами 148, 149, 150.

Табл. 9. «Сложные» симптомы для ВУГ

Код	Класс	X		—		<i>p (chi)</i>
		R	F	R	F	
147	F	7	36	69	32	3.0e-7
148	R	41	3	35	65	1.4e-8
149	R	41	3	35	65	1.4e-8
150	R	51	5	25	63	2.2e-10

Данные симптомы свидетельствуют о том, что для класса R при переходе от левой зоны к правой наблюдается существенное ускорение динамики выделения углекислого газа, что может быть связано либо с увеличением доли анаэробных процессов в энергообеспечении организма, либо с резким увеличением мощности выполняемой работы (в этом случае аналогичные изменения должны наблюдаться в динамике потребления кислорода), что может быть обусловлено снижением эффективности совершаемой работы (например, при нарушении координации движений).

3.4. Дыхательный коэффициент

Дыхательный коэффициент (ДК) – отношение выделенного объема углекислого газа к объему потребленного кислорода, содержит информацию о том,

за счет каких метаболических процессов выполняется совершаемая работа. Поскольку потребление кислорода и выделение углекислого газа измеряются в одних единицах, то ДК – безразмерная величина. Для аэробных процессов максимальное теоретическое значение ДК равно 1 [4]. Если ДК больше 1, то в энергообеспечении организма принимают участие и анаэробные механизмы. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ДК, измеряемая в [1/с].

Для ДК получены следующие простейшие симптомы:

#6. «Низкая скорость изменения ДК в левой зоне (ниже 0.0007227)».

#9. «Низкие (ниже 1) значения ДК в левой зоне».

#37. «Низкая скорость изменения ДК в правой зоне (ниже 0.00062)».

#41. «Низкие (ниже 1.17) значения ДК в правой зоне».

#90. «Увеличение скорости изменения ДК при переходе от левой зоны к правой (разность скоростей изменения ДК в правой и левой зонах больше 0)».

#95. «Значительное увеличение максимальных значений ДК при переходе от левой зоны к правой (не меньше, чем на 0.13)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 10.

Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 11.

Табл. 10. Простейшие симптомы для ДК

Код	Класс	X		-		<i>p (chi)</i>
		R	F	R	F	
6	R	54	24	22	44	6.9e-5
9	F	16	29	60	39	8.8e-3
37	F	7	31	69	37	6.9e-5
41	F	13	36	63	32	3.1e-5
90	R	61	26	15	42	2.9e-6
95	R	61	26	15	42	2.9e-6

Табл. 11. Встречаемость простейших симптомов для ДК (R(76) : F(68))

6 37 90	— — —	X — —	— X —	X X —	— — X	X — X	— X X	X X X
9 41 95								
— — —	3 6	0 0	1 2	0 1	0 2	3 2	0 0	0 1
X — —	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
— X —	0 0	0 0	0 2	0 1	0 1	0 2	0 0	2 2
X X —	0 4	0 0	0 9	2 5	2 0	2 0	0 0	0 2
— — X	6 4	0 0	0 0	0 1	8 8	36 4	0 0	1 0
X — X	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	5 1	0 0	0 0
— X X	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
X X X	1 2	1 0	1 4	0 1	0 0	2 1	0 0	0 0

Из простейших симптомов для ДК получены следующие «сложные» симптомы:

#151 = #37 && !#90. «Отсутствие увеличения скорости изменения ДК при переходе от левой зоны к правой при низкой скорости изменения ДК в правой зоне».

#152 = (#90 && #95). «Отсутствие увеличения скорости изменения ДК и значительного увеличения максимальных значений ДК при переходе от левой зоны к правой».

#153 = (#6 && #37 && #41 && #90 && #95). «Увеличение скорости изменения ДК и значительное увеличение максимальных значений ДК при переходе от левой зоны к правой при низкой скорости изменения ДК в левой зоне и высокой – в правой, а также высокие значения ДК в правой зоне».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 12. Симптомы 151, 152 не встречаются совместно с симптомом 153.

Табл. 12. «Сложные» симптомы для ДК

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
151	F	4	26	72	42	9.9e-6
152	F	6	30	70	38	5.4e-7
153	R	41	5	35	63	9.8e-8

Таким образом, класс R характеризуется сильным ускорением динамики ДК и очень высоким уровнем ДК (достигающим значений, существенно больших 1) в правой зоне, что говорит о значительном увеличении доли анаэробных процессов в энергообеспечении организма.

3.5. Частота дыхания

Частота дыхания (ЧД) есть число вдохов/выдохов, совершаемых за единицу времени. Единица измерения: [1/мин]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ЧД, измеряемая в [(1/мин)/с].

Для ЧД нами были получены следующие простейшие логические симптомы:

#10. «Низкая скорость изменения ЧД в левой зоне (ниже 0.033)».

#43. «Высокая скорость изменения ЧД в правой зоне (выше 0.305)».

#45. «Значительный разброс значений ЧД в правой зоне (межквартильный интервал распределения ЧД не менее 5)».

#97. «Увеличение скорости изменения ЧД при переходе от левой зоны к правой больше, чем на 0.005».

#99. «Увеличение разброса значений ЧД при переходе от левой зоны к правой (межквартильный интервал распределения ЧД в правой зоне больше межквартильного интервала в левой зоне не менее чем на 2)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 13. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 14.

Из простейших симптомов для ЧД получены следующие «сложные» симптомы:

#154 = (#10 || #43) && #97 && #45 && #99. «Высокая скорость изменения ЧД в левой зоне или низкая скорость изменения ЧД в правой зоне в сочетании с отсутствием заметного увеличения скорости изменения ЧД и заметного

увеличения разброса значений ЧД при переходе от левой зоны к правой, а также с незначительным разбросом значений ЧД в правой зоне».

#155 = #10 && #97. «Увеличение скорости изменения ЧД при переходе от левой зоны к правой при низкой скорости изменения ЧД в левой зоне».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 15. Симптом 154 не встречается совместно с симптомом 155.

Табл. 13. Простейшие симптомы для ЧД

Код	Класс	X		–		<i>p (chi)</i>
		R	F	R	F	
10	R	56	22	20	46	5.7e-6
43	R	57	32	19	36	1.2e-3
45	R	46	15	30	53	1.8e-5
97	R	56	18	20	50	3.7e-7
99	R	47	13	29	55	2.4e-6

Табл. 14. Встречаемость простейших симптомов для ЧД (R(76) : F(68))

10 43 97	– – –	X – –	– X –	X X –	– – X	X – X	– X X	X X X
45 99								
– –	6 20	2 11	2 10	1 0	0 0	3 2	0 3	6 3
X –	0 0	0 0	1 3	0 0	0 0	0 0	3 2	5 1
– X	0 1	2 0	0 2	0 0	0 0	1 0	0 0	7 1
X X	0 0	1 1	4 2	1 0	0 0	4 1	4 3	23 2

Табл. 15. «Сложные» симптомы для ЧД

Код	Класс	X		–		<i>p (chi)</i>
		R	F	R	F	
154	F	10	41	66	27	1.4e-7
155	R	49	10	27	58	6.8e-8

Таким образом, класс R характеризуется значительным ускорением динамики ЧД при наличии ресурса к этому ускорению (низкая скорость изменения ЧД в левой зоне), что может быть связано с резким увеличением концентрации углекислого газа в крови (один из основных сигналов для дыхательного центра), что в свою очередь может быть обусловлено резким увеличением доли анаэробных лактатных процессов в энергообеспечении организма. В то же время, для класса F характерно отсутствие такого резкого ускорения динамики ЧД.

3.6. Легочная вентиляция

Легочная вентиляция (ЛВ) есть объем воздуха, проходящий через легкие за единицу времени. Определяется исходя из объема вдыхаемого/выдыхаемого воздуха. Единица измерения: [л/мин]. Более высокие значения ЛВ, как правило, позволяют большему объему кислорода поступать в кровь и большему объему

углекислого газа выводиться из организма за единицу времени. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ЛВ, измеряемая в [(л/мин)/с].

Для ЛВ нами получены следующие простейшие симптомы:

#12. «Высокая скорость изменения ЛВ в левой зоне (выше 0.115)».

#46. «Высокая скорость изменения ЛВ в правой зоне (выше 0.142)».

#101. «Большое увеличение скорости изменения ЛВ при переходе от левой зоны к правой (больше, чем на 0.03)».

#103. «Очень большое увеличение скорости изменения ЛВ при переходе от левой зоны к правой (больше, чем на 0.102997)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 16. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 17.

Табл. 16. Простейшие симптомы для ЛВ

Код	Класс	X		-		$p(chi)$
		R	F	R	F	
12	F	37	58	39	10	2.1e-5
46	R	56	22	20	46	5.7e-6
101	R	54	14	22	54	6.9e-8
103	R	20	0	56	68	3.5e-5

Табл. 17. Встречаемость простейших симптомов для ЛВ (R(76) : F(68))

12 46 101 103	- - -	X- -	-X-	XX-	- -X	X-X	-XX	XXX
-	5 5	8 38	0 0	9 11	6 3	0 0	15 2	13 9
X	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0	0 0	12 0	7 0

Из простейших симптомов для ЛВ получены следующие «сложные» симптомы:

#156 = #12 && #46. «Высокая скорость изменения ЛВ в левой зоне и низкая – в правой зоне».

#157 = #101. «Большое увеличение скорости изменения ЛВ при переходе от левой зоны к правой».

#158 = (!#12 && #46) || #103. «Низкая скорость изменения ЛВ в левой зоне в сочетании с высокой – в правой зоне или очень большое увеличение скорости изменения ЛВ при переходе от левой зоны к правой».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 18. Симптом 156 не встречается совместно с симптомами 157, 158.

Табл. 18. «Сложные» симптомы для ЛВ

Код	Класс	X		-		$p(chi)$
		R	F	R	F	
156	F	8	38	68	30	1.9e-7
157	R	54	14	22	54	6.9e-8
158	R	35	2	41	66	1.4e-7

Таким образом, класс R характеризуется значительным ускорением динамики ЛВ, что, как и в случае с частотой дыхания, может быть связано с резким увеличением доли анаэробных лактатных процессов в энергообеспечении организма и концентрации углекислого газа в крови. В то же время, для класса F характерно отсутствие такого резкого ускорения динамики ЛВ.

3.7. Частота сердечных сокращений

Частота сердечных сокращений (ЧСС) есть число сокращений сердца, совершаемых за единицу времени. Единица измерения: [1/мин]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ЧСС, измеряемая в [(л/мин)/с].

Для ЧСС получены следующие простейшие симптомы:

#13. «Высокая скорость изменения ЧСС в левой скорости (выше 0.1284)».

#50. «Низкое значение ЧСС в правой зоне (значение медианы распределения ниже 158)».

#106. «Снижение скорости изменения ЧСС при переходе от левой зоны к правой больше, чем на 0.00288».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 19. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 20.

Табл. 19. Простейшие симптомы для ЧСС

Код	Класс	X		-		$p (chi)$
		R	F	R	F	
13	F	18	35	58	33	1.2e-3
50	F	15	35	61	33	2.1e-4
106	F	37	51	39	17	2.4e-3

Табл. 20. Таблица встречаемости простейших симптомов для ЧСС (R : F)

13 106	- -	X -	- X	X X
50				
-	29 8	2 1	20 14	10 10
X	7 7	1 1	2 4	5 23

Из простейших симптомов для ЧСС получены следующие «сложные» симптомы:

#159 = #13 && #50 && #106. «Заметное снижение скорости изменения ЧСС при переходе от левой зоны к правой при высокой скорости изменения ЧСС в левой зоне в сочетании с низкими значениями ЧСС в правой зоне».

#160 = #50 && #106. «Заметное снижение скорости изменения ЧСС при переходе от левой зоны к правой в сочетании с низкими значениями ЧСС в правой зоне».

#161 = !#13 && !#50 && !#106. «Отсутствие заметного снижения скорости изменения ЧСС при переходе от левой зоны к правой при низкой скорости изменения ЧСС в левой зоне в сочетании с высокими значениями ЧСС в правой зоне».

#162 = !#13 && !#50. «Низкая скорость изменения ЧСС в левой зоне в сочетании с высокими значениями ЧСС в правой зоне».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 21. Симптомы 159, 160 не встречаются совместно с симптомами 161, 162.

Табл. 21. «Сложные» симптомы для ЧСС

Код	Класс	X		–		<i>p (chi)</i>
		R	F	R	F	
159	F	5	23	71	45	1.5-4
160	F	7	27	69	41	7.6e-5
161	R	29	8	47	60	7.6e-4
162	R	49	22	27	46	3.3e-4

Симптомы 159 и 160 могут наблюдаться, например, при «разгоне» аэробной системы энергообеспечения, поскольку имеют место при относительно невысоких нагрузках (относительно невысокие значения ЧСС в правой зоне) и при замедлении динамики ЧСС (это может быть связано с тем, что кислород к мышцам поступает в достаточном количестве). Для класса R характерны высокие значения ЧСС в правой зоне, то есть переход от левой зоны к правой наблюдается при нагрузках, близких к критическим.

3.8. *Отношение потребления кислорода к частоте сердечных сокращений*

Потребление кислорода (ПК) в минуту равно произведению сердечного выброса (СВ) в минуту на артериально-венозную разность по кислороду (АВРК; разность концентраций кислорода в артериальной и венозной крови). В свою очередь, СВ равен произведению ударного объема сердца (УОС; объем крови, выталкиваемой сердцем за одно сокращение) на количество сердечных сокращений в минуту (ЧСС). Таким образом, данный показатель, отношение ПК к ЧСС, равен произведению УОС на АВРК. Единица измерения: [мл]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения отношения ПК к ЧСС, измеряемая в [мл/с].

Для отношения ПК к ЧСС получены следующие простейшие симптомы:

#52. «Высокие значения отношения ПК к ЧСС в правой зоне (значение медианы распределения отношения ПК к ЧСС больше 18.4)».

#107. «Заметное снижение скорости изменения отношения ПК к ЧСС при переходе от левой зоны к правой (больше, чем на 0.0048)».

#108. «Заметное увеличение отношения ПК к ЧСС при переходе от левой зоны к правой (разница медиан распределения отношения ПК к ЧСС в правой и левой зонах не менее 0.9)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 22. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 23.

Из простейших симптомов для отношения ПК к ЧСС получены следующие «сложные» симптомы:

#163 = #107 && !#108. «При переходе от левой зоны к правой наблюдается заметное снижение скорости изменения отношения ПК к ЧСС при отсутствии заметного увеличения отношения ПК к ЧСС».

#164 = #52 && !#107 && #108. «Заметное увеличение отношения ПК к ЧСС при отсутствии заметного снижения скорости изменения отношения ПК к ЧСС при переходе от левой зоны к правой в сочетании с высокими значениями отношения ПК к ЧСС в правой зоне».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 24. Симптом 163 не встречается совместно с симптомом 164.

Табл. 22. Простейшие симптомы для отношения ПК к ЧСС

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
52	R	54	31	22	37	3.5e-3
107	F	26	44	50	24	6.2e-4
108	R	59	26	17	42	1.1e-5

Табл. 23. Встречаемость простейших симптомов для отношения ПК к ЧСС (R(76) : F(68))

52 108 107	– –	X –	– X	X X
–	7 10	8 7	6 6	29 1
X	1 15	1 10	8 6	16 13

Табл. 24. «Сложные» симптомы для отношения ПК к ЧСС

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
163	F	2	25	74	43	2.4e-6
164	R	29	1	47	67	1.2e-6

Поскольку отношение ПК к ЧСС представляет собой комплексную характеристику, сочетающую УОС и АВРК, интерпретация полученных «сложных» симптомов требует их рассмотрения в совокупности с другими показателями, что будет проделано ниже.

3.9. «Глубина» дыхания

«Глубина» дыхания (ГД) есть объем воздуха, проходящий через легкие за один вдох/выдох. Определяется как отношение легочной вентиляции к частоте дыхания. Единица измерения: [л]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ГД, измеряемая в [л/с].

Для ГД получены следующие простейшие симптомы:

#15. «Высокие значения ГД в левой зоне (значение медианы распределения ГД больше 2.48)».

#16. «Высокие значения ГД в левой зоне (больше 1.31)».

#55. «Высокие значения ГД в правой зоне (значение медианы распределения ГД не меньше 2.6)».

#58. «ГД в правой зоне достигает высоких значений (больше 3.92)».

#59. «ГД в правой зоне достигает очень высоких значений (больше 4.74074)».

#111. «Заметное увеличение ГД при переходе от левой зоны к правой (разница медиан распределения ГД в правой и левой зонах более 0.3385)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 25. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 26.

Табл. 25. Простейшие симптомы для ГД

Код	Класс	X		-		<i>p (chi)</i>
		R	F	R	F	
15	R	27	9	49	59	4.0e-3
16	R	36	12	40	56	4.1e-4
55	R	41	14	35	54	1.3e-4
58	R	49	25	27	43	1.8e-3
59	R	15	0	61	68	4.3e-4
111	R	52	22	24	46	6.3e-5

Табл. 26. Встречаемость простейших симптомов для ГД (R(76) : F(68))

15 55 111	- - -	X - -	- X -	X X -	- - X	X - X	- X X	X X X
16 58 59								
- - -	5 21	0 1	0 2	2 1	9 10	0 0	0 1	1 0
X - -	5 5	0 0	0 0	2 1	2 1	0 0	0 0	1 0
- X -	3 10	0 0	0 0	0 1	3 5	0 0	6 2	5 2
X X -	3 1	0 0	0 0	2 3	2 0	0 0	4 1	6 0
- - X	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
X - X	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
- X X	0 0	0 0	0 0	0 0	2 0	0 0	3 0	1 0
X X X	0 0	0 0	0 0	2 0	1 0	0 0	1 0	5 0

Из простейших симптомов для ГД получены следующие «сложные» симптомы:

#165 = !#15 && !#16 && !#55 && !#111. «Низкие значения ГД в левой и правой зонах при отсутствии заметного увеличения ГД при переходе от левой зоны к правой».

#166 = #55 && #58 && #111. «Высокие значения ГД в правой зоне и заметное увеличение ГД при переходе от левой зоны к правой».

#167 = #59. «ГД в правой зоне достигает очень высоких значений».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 27. Симптом 165 не встречается совместно с симптомами 166, 167.

Заметное увеличение ГД, характерное для класса R, как и в случае с частотой дыхания и легочной вентиляцией, может быть связано со значительным увеличением концентрации углекислого газа в крови (служащего сигналом для дыхательного центра), что может быть обусловлено резким увеличением доли

анаэробных лактатных процессов в энергообеспечении организма. Более полную интерпретацию полученных для ГД «сложных» симптомов можно будет дать при их сопоставлении с симптомами для частоты дыхания и легочной вентиляции, что будет сделано ниже.

Табл. 27. «Сложные» симптомы для ГД

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
165	F	8	31	68	37	1.6e-5
166	R	31	5	45	63	2.3e-5
167	R	15	0	61	68	4.3e-4

3.10. Вентиляторный эквивалент потребления кислорода

Вентиляторный эквивалент потребления кислорода (ВЭПК) показывает, какой объем воздуха требуется «пропустить» через легкие, чтобы обеспечить потребление единичного объема кислорода. Определяется как отношение легочной вентиляции к потреблению кислорода. Единица измерения: [л/мл]. Также нами будет рассматриваться скорость изменения ВЭПК, измеряемая в [(л/мл)/с].

Для ВЭПК нами получены следующие простейшие симптомы:

#18. «Высокая скорость изменения ВЭПК в левой зоне (выше 0.000014)».

#60. «Низкая скорость изменения ВЭПК в правой зоне (ниже 0.000022)».

#115. «Снижение скорости изменения ВЭПК при переходе от левой зоны к правой (разность скоростей изменения ВЭПК в правой и левой зонах меньше 0)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 28. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 29.

Табл. 28. Простейшие симптомы для ВЭПК

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
18	F	30	49	46	19	2.6e-4
60	F	13	38	63	30	9.0e-6
115	F	10	37	66	31	1.8e-6

Табл. 29. Встречаемость простейших симптомов для ВЭПК (R(76) : F(68))

18 60	– –	X –	– X	X X
115				
–	38 10	21 16	7 4	0 1
X	0 0	4 4	1 5	5 28

Из простейших симптомов для ВЭПК получены следующие «сложные» симптомы:

#168 = #60 && #115. «Низкая скорость изменения ВЭПК в правой зоне при снижении скорости изменения ВЭПК при переходе от левой зоны к правой».

#169 = !#18 && !#60. «Низкая скорость изменения ВЭПК в левой зоне и высокая – в правой».

#170. «Рост скорости изменения ВЭПК при переходе от левой зоны к правой» (разность скоростей изменения ВЭПК в правой и левой зонах больше 0; уточнение симптома !#115).

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 30. Для симптома 170, изначально определявшегося как !#115, было произведено уточнение с целью придать более ясного смысла без ухудшения качества симптома по критерию «хи-квадрат». Симптом 168 не встречается совместно с симптомами 169, 170.

Табл. 30. «Сложные» симптомы для ВЭПК

Код	Класс	X		–		<i>p (chi)</i>
		R	F	R	F	
168	F	6	33	70	35	8.3e-7
169	R	38	10	38	58	3.6e-5
170	R	66	28	10	40	2.6e-7

Замедление динамики ВЭПК для представителей класса F, у которых наблюдается симптом 168, может быть связано с «разгоном» аэробной системы энергообеспечения, сопровождающимся увеличением эффективности использования поступающего в организм из воздуха кислорода.

Ускорение динамики ВЭПК, характерное для класса R, наоборот, говорит о снижении эффективности использования поступающего в организм кислорода, что может быть связано с увеличением доли анаэробных процессов в энергообеспечении организма.

3.11. Вентиляторный эквивалент выделения углекислого газа

Вентиляторный эквивалент выделения углекислого газа (ВЭВУГ) показывает, какой объем воздуха требуется «пропустить» через легкие, чтобы обеспечить вывод единичного объема выделенного углекислого газа. Определяется как отношение легочной вентиляции к выделению углекислого газа. Единица измерения: [л/мл]. Также будет рассматриваться скорость изменения ВЭВУГ, измеряемая в [(л/мл)/с].

Для ВЭВУГ получены следующие простейшие симптомы:

#66. «Низкая скорость изменения ВЭВУГ в правой зоне (ниже 0.0000031)».

#122. «Увеличение скорости изменения ВЭВУГ при переходе от левой зоны к правой (разность скоростей изменения ВЭВУГ в правой и левой зонах больше 0)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 31. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 32.

Табл. 31. Простейшие симптомы для ВЭВУГ

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
66	F	19	37	57	31	7.2e-4
122	R	59	34	17	34	1.2e-3

Табл. 32. Встречаемость простейших симптомов для ВЭВУГ (R(76) : F(68))

66	–	X
122		
–	6 8	11 26
X	51 23	8 11

Из простейших симптомов для ВЭВУГ получены следующие «сложные» симптомы:

#171 = #66 && #122. «Низкая скорость изменения ВЭВУГ в правой зоне при отсутствии увеличения скорости изменения ВЭВУГ при переходе от левой зоны к правой».

#172 = !#66 && #122. «Увеличение скорости изменения ВЭВУГ при переходе от левой зоны к правой при высокой скорости изменения ВЭВУГ в правой зоне».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 33. Симптом 171 не встречается совместно с симптомом 172.

Табл. 33. «Сложные» симптомы для ВЭВУГ

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
171	F	11	26	65	42	2.3e-3
172	R	51	23	25	45	2.0e-4

При высоких нагрузках обычно не наблюдается снижения выделения углекислого газа, поэтому ускорение динамики ВЭВУГ, характерное для класса R, скорее всего, вызвано значительным ускорением динамики легочной вентиляции, что может быть ответом на существенное увеличение концентрации углекислого газа в крови при увеличении доли анаэробных процессов в энергообеспечении организма. Однако более точную интерпретацию полученным для ВЭВУГ «сложных» симптомов можно будет дать, рассматривая их совместно с другими показателями.

3.12. «Углекислая стоимость дополнительного потребления кислорода»

«Углекислая стоимость дополнительного потребления кислорода» (УСДПК) есть отношение приращения объема выделения углекислого газа к приращению объема потребленного кислорода, определяется как множитель линейной зависимости выделения углекислого газа от потребления кислорода. Этот показатель является безразмерной величиной и близок по смыслу к дыхательному коэффициенту, но характеризует то, за счет каких метаболических процессов покрываются *дополнительные* энерготраты организма, в то время как дыхательный коэффициент – то, за счет каких метаболических процессов покрываются энерготраты организма *в целом*. Также нами будет рассматриваться скорость изменения УСДПК, измеряемая в [1/с].

Для УСДПК были получены следующие простейшие симптомы:

#70. «Высокое значение УСДПК в правой зоне (больше 1.25)».

#71. «Очень высокое значение УСДПК в правой зоне (больше 1.63246)».

#72. «Низкое значение УСДПК в правой зоне (не больше 1)».

#123. «Уменьшение УСДПК при переходе от левой зоны к правой».

#124. «Значительное увеличение УСДПК при переходе от левой зоны к правой (больше, чем на 0.143)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам представлено в Табл. 34. Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 35.

Табл. 34. Простейшие симптомы для УСДПК

Код	Класс	X		–		$p (chi)$
		R	F	R	F	
70	R	47	14	29	54	5.1e-6
71	R	18	0	58	68	9.6e-5
72	F	6	20	70	48	1.9e-3
123	F	10	29	66	39	2.3e-4
124	R	51	18	25	50	8.3e-6

Табл. 35. Встречаемость простейших симптомов для УСДПК (R(76) : F(68))

70	71	72	–	–	–	X	–	–	–	X	X	–	–	–	X	X	–	X	–	X	–	X	X	X	
123	124																								
–	–		6	12		4	4		0	0		0	0		5	5		0	0		0	0		0	0
X	–		5	14		4	3		0	0		0	0		1	12		0	0		0	0		0	0
–	X		12	8		21	7		0	0		18	0		0	3		0	0		0	0		0	0
X	X		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0

Из простейших симптомов для УСДПК получены следующие «сложные» симптомы:

#173 = #72 && #123. «Уменьшение УСДПК при переходе от левой зоны к правой при низком значении УСДПК в правой зоне (не больше 1)».

#174 = !#70 && #123. «Уменьшение УСДПК при переходе от левой зоны к правой при невысоком значении УСДПК в правой зоне».

#175 = !#70 && !#72 && !#124. «Отсутствие значительного увеличения УСДПК при переходе от левой зоны к правой при значениях УСДПК в правой зоне в диапазоне от 1 до 1.25».

#176 = #70 && #124. «Значительное увеличение УСДПК при переходе от левой зоны к правой при высоких значениях УСДПК в правой зоне (больше 1.25)».

#177 = !#72 && #124. «Значительное увеличение УСДПК при переходе от левой зоны к правой при высоких значениях УСДПК в правой зоне (больше 1)».

Сравнение классов R и F по этим симптомам приведено в Табл. 36. Симптомы 173, 174, 175 не встречаются совместно с симптомами 176, 177.

Табл. 36. «Сложные» симптомы для УСДПК

Код	Класс	X		–		p (<i>chi</i>)
		R	F	R	F	
173	F	1	12	75	56	2.0e-3
174	F	6	26	70	42	6.0e-5
175	F	11	26	65	42	2.3e-3
176	R	39	7	37	61	1.8e-6
177	R	51	15	25	53	9.8e-7

Уменьшение УСДПК при переходе от левой зоны к правой у представителей класса F (симптомы 173, 174) может быть связано с «разгоном» аэробной системы энергообеспечения (что в случае симптома 173 подтверждено также значениями УСДПК не больше 1 в правой зоне, то есть возможностью выполнять работу только за счет аэробных механизмов).

Характерное для класса R значительное увеличение УСДПК при переходе от левой зоны к правой в сочетании с высокими (больше 1) значениями УСДПК в правой зоне говорит о достижении аэробными механизмами мощностей близких к максимальным, так что совершение дополнительной работы требует существенного участия анаэробных процессов, вследствие чего доля анаэробных процессов в энергообеспечении организма растет.

4. Описание класса R

Для описания класса R будем использовать только «сложные» симптомы, специфичные для этого класса.

Таблица встречаемости симптомов, полученных для ПК (#141) и ОПК (#144, #145, #146), приведена в Табл. 37.

Наиболее сильное преобладание количества представителей класса R над количеством представителей класса F в клетках, выделенных курсивом, которые могут быть объединены одним симптомом:

#178 = #141&’. В Табл. 38 приведена таблица сопряженности 2x2 для этого симптома ($p(chi) = 3.0e-10$). Наличие этого симптома говорит о достаточно высокой интенсивности роста ПК и ОПК, как правило, без признаков существенного замедления темпов роста.

Табл. 37. Встречаемость симптомов, специфичных для класса R, полученных для ПК и ОПК (R(76) : F(68))

144 145 146 141	— — —	x— —	—x—	xx—	— —x	x—x	—xx	xxx
—	10 52	0 0	0 0	0 0	0 0	6 2	8 9	0 0
x	3 1	0 0	0 0	0 0	0 0	4 0	20 3	25 1

Табл. 38. Таблица сопряженности 2x2 для симптома 178 ($p(chi) = 3.0e-10$)

КЛАССЫ	X	—
R	49	27
F	4	64

Представление о том, насколько симптом 178 сочетается с симптомами, полученными для ВУГ (#148, #149, #150), можно получить из Табл. 39.

Табл. 39. Встречаемость симптома 178 и специфичных для класса R симптомов, полученных для ВУГ (R(76) : F(68))

148 149 150 178	— — —	x— —	—x—	xx—	— —x	x—x	—xx	xxx
—	19 59	0 0	0 0	0 0	0 0	3 2	2 2	3 1
x	6 4	0 0	0 0	0 0	0 0	7 0	8 0	28 0

Объединение клеток, выделенных курсивом, позволяет получить мощный симптом, выделяющий чистый подкласс класса R:

#179 = #178&–. В Табл. 40 приведена таблица сопряженности 2x2 для этого симптома ($p(chi) = 1.7e-10$). Наличие данного симптома говорит об ускорении динамики ВУГ в сочетании с высокой интенсивностью роста ПК и ОПК без признаков существенного замедления темпов роста.

Табл. 40. Таблица сопряженности 2x2 для симптома 179 ($p(chi) = 1.7e-10$)

КЛАССЫ	X	—
R	43	33
F	0	68

Как отмечалось выше (при интерпретации симптомов для ВУГ) это может быть связано с разными факторами, в том числе, с увеличением доли анаэробных лактатных механизмов энергообеспечения организма. Выяснить, с какими именно факторами связано наличие симптома 179, позволит включение в анализ симптомов, полученных для ДК (#153) и УСДПК (#176, #177). Таблица встречаемости этих симптомов приведена в Табл. 41.

Все три симптома для ДК и УСДПК (#153, #176, #177) говорят о резком возрастании доли анаэробных процессов в энергообеспечении организма при переходе от левой зоны к правой. Таким образом, можно сформулировать симптом:

#180 = #179 & (#153 || #177). В Табл. 42 приведена таблица сопряженности 2x2 для этого симптома ($p(chi) = 3.0e-9$). Смысл данного симптома: резкое увеличение доли анаэробных лактатных процессов в энергообеспечении организма, сопровождающееся ускорением динамики ВУГ в сочетании с высокой интенсивностью роста ПК и ОПК без признаков существенного замедления темпов роста. Ускорение динамики ВУГ может быть связано как с выделением углекислого газа при гликолизе, так и с выделением углекислого газа при взаимодействии выходящей в кровь молочной кислоты с бикарбонатной буферной системой.

Табл. 41. Встречаемость #179 и специфичных для класса R симптомов, полученных для ДК и УСДПК (R(76) : F(68))

153 176 177 179	— — —	X — —	— X —	XX —	— — X	X — X	— XX	XXX
—	12 52	2 1	0 0	0 0	9 8	0 0	6 3	4 4
X	5 0	6 0	0 0	0 0	1 0	2 0	2 0	27 0

Табл. 42. Таблица сопряженности 2x2 для симптома 180 ($p(chi) = 3.0e-9$)

КЛАССЫ	X	—
R	38	38
F	0	68

Обозначим R180 чистый подкласс, выделяемый симптомом 180. Рассмотрим поведение других показателей в этом подклассе.

В Табл. 43 приведена встречаемость симптомов для ЛВ (#157, #158) в классе R180. Симптом 158 встречается только вместе с симптомом 157. Таким образом, класс R180 характеризуется значительным ускорением динамики ЛВ (#157), которое связано с ускорением динамики ВУГ, обусловленным увеличением доли анаэробных процессов в энергообеспечении организма. Отсутствие значительного ускорения динамики ЛВ (не наблюдается #157) у двух представителей класса R180 может свидетельствовать о том, что именно дыхательная система является у них фактором, лимитирующим аэробные возможности организма.

Табл. 43. Таблица встречаемости специфичных для класса R симптомов, полученных для ЛВ, в классе R180(38)

157 158	—	X
—	2	9
X	0	27

Увеличение легочной вентиляции (ЛВ) может быть связано с увеличением частоты дыхания (ЧД) или «глубины» дыхания (ГД).

Таблица встречаемости симптомов для ГД (#166, #167) в классе R180 представлена в Табл. 44. Таким образом, симптом 167 чаще встречается совместно с симптомом 166, поэтому для описания класса R180 дальше будем использовать симптом 166 (Заметное увеличение ГД при переходе от левой зоны к правой при высоких значениях ГД в правой зоне).

Табл. 44. Таблица встречаемости специфичных для класса R симптомов, полученных для ГД, в классе R180(38)

166	—	X
167		
—	15	16
X	2	5

В Табл. 45 приведена таблица встречаемости симптомов 157 (ЛВ), 155 (ЧД) и 166 (ГД). Таким образом, в 25 случаях из 36 ускорение динамики ЛВ обусловлено ускорением динамики ЧД (#155), в 20 случаях из 36 заметным увеличением ГД до высоких значений (#166), при этом в 15 случаях двумя факторами одновременно.

Табл. 45. Встречаемость симптомов 155, 157 и 166 в классе R180(38)

155 166	— —	X —	— X	X X
157				
—	1	0	0	1
X	6	10	5	15

В Табл. 46 приведена таблица встречаемости симптомов 157 (ЛВ) и 169 и 170 (ВЭПК). В 32 случаях из 36 при наличии #157 встречается также #170 (рост скорости изменения ВЭПК при переходе от левой зоны к правой). Таким образом, отмечается ускорение темпов роста отношения ЛВ к ПК (ВЭПК), то есть, во-первых, ускорение темпов роста ЛВ во многом обусловлено выделением углекислого газа, источником которого не является аэробный метаболизм; а во-вторых, снижается эффективность использования поступающего в организм кислорода, то есть мощность аэробных механизмов энергообеспечения приближается к максимально возможной для данного спортсмена. Сохраняющаяся при этом достаточно высокая интенсивность роста ПК (см. определение класса R180), может быть связана с увеличением потребления кислорода мышцами, обеспечивающими дыхание, со значительным ростом концентрации кислорода в артериальной крови (а значит, и с увеличением его доставки к мышцам) вследствие наблюдающейся повышенной легочной вентиляции, а также с утилизацией поступивших в кровь продуктов анаэробного метаболизма (лактата), в других тканях организма с помощью аэробных механизмов без совершения полезной работы. Во всех трех случаях возросшая активность анаэробных про-

цессов стимулирует также аэробные процессы, задействуя таким образом доступные резервы организма.

Табл. 46. Встречаемость симптомов 157, 169 и 170 в классе R180(38)

169 170 157	— —	X —	— X	X X
—	1	0	1	0
X	4	0	8	24

В Табл. 47 приведена таблица встречаемости симптомов 157 (ЛВ) и 172 (ВЭВУГ). В 28 случаях из 36 при наличии #157 встречается также #172 (увеличение скорости изменения ВЭВУГ при переходе от левой зоны к правой при высокой скорости изменения ВЭВУГ в правой зоне). То есть наблюдается ускорение темпов роста отношения ЛВ к выделению углекислого газа, повышенная концентрация которого в крови служит сигналом к росту ЛВ. Таким образом, концентрация углекислого газа в крови остается на достаточно высоком уровне и эффективность выведения выделенного углекислого газа из организма снижается, что может быть связано с тем, что углекислый газ просто не успевает в достаточном количестве диффундировать в легких из крови в выдыхаемый воздух.

Табл. 47. Встречаемость симптомов 157 и 172 в классе R180(38)

172 157	—	X
—	2	0
X	8	28

В Табл. 48 приведена таблица встречаемости симптомов 161, 162 (ЧСС) и 164 (отношение ПК к ЧСС). В 29 случаях из 38 у представителей класса R180 наблюдается #162, что говорит о том, что переход от левой зоны к правой выполняется при достаточно высокой нагрузке (высокие значения ЧСС в правой зоне). Более того, высокие значения ЧСС говорят о том, что заметное увеличение отношения ПК к ЧСС (#164, наблюдаемый в 19 случаях из 29 случаев наличия #162), равное произведению УОС на АВРК, обусловлено, главным образом, ростом АВРК, поскольку рост УОС в условиях высоких значений ЧСС становится невозможным. В свою очередь, рост АВРК говорит о том, что растет процент утилизации (использования) кислорода, поступающего к тканям, а значит, уменьшаются резервы увеличения мощности аэробных процессов в организме, что подтверждается резким увеличением доли анаэробных процессов в энергообеспечении организма (см. определение класса R180). Рост АВРК также говорит, что аэробные возможности организма ограничивает доставка кислорода к тканям (поскольку утилизация кислорода в тканях продолжает расти), что при высокой активности дыхательной системы свидетельствует о том, что лимитирующим фактором является сердечно-сосудистая система. Соответственно

отсутствие роста АВРК может быть связано с тем, что лимитирующим фактором являются аэробные возможности тканей (то есть тканевое дыхание).

Табл. 48. Встречаемость симптомов 161, 162 и 164 в классе R180(38)

161 162 164	— —	X —	— X	X X
—	7	0	3	7
X	2	0	10	9

Таким образом, нами построено достаточно полное описание класса R. Полученная картина очень похожа на явление анаэробного порога (резкое усиление гликолиза в мышцах) [3, 4, 9]. Выполнены сразу несколько критериев достижения анаэробного порога, используемые в настоящее время на практике, например, ускорение темпов роста легочной вентиляции (гипервентиляция легких) [9].

Важной информацией является и то, когда наблюдается анаэробный порог. В [3] отмечено, что у спортсменов в видах спорта на выносливость (то есть с наиболее развитой аэробной системой энергообеспечения) анаэробный порог наблюдается при более высоких мощностях выполняемой работы (в процентах от максимальной мощности для данного спортсмена). Поскольку в соответствии с классической концепцией [3, 4, 9] во время теста с возрастающей мощностью нагрузки не может быть двух анаэробных порогов, нами были отобраны спортсмены, для которых наблюдается переход из класса R180, и этот переход единственный для данного спортсмена из класса R. В Табл. 49 приведены данные об относительном времени (*totn*, значение 0 для каждого испытуемого соответствует началу тестирования, а 1 – прекращению тестирования) момента перехода от левой зоны к правой (из класса R180) и об игровом амплуа отобранных спортсменов. В клетках – число спортсменов.

Табл. 49. Игровое амплуа и моменты относительного времени перехода от левой зоны к правой у представителей класса R180 (при отсутствии других переходов из класса R у данного спортсмена)

<i>totn</i>	от 0.1 до 0.2	от 0.2 до 0.3	от 0.3 до 0.4	от 0.4 до 0.5	от 0.5 до 0.6	от 0.6 до 0.7	от 0.7 до 0.8	Всего
Защитники	3	1	0	0	2	3	0	9
Полузащитники	0	0	2	1	1	5	3	12
Нападающие	0	0	1	2	0	2	1	6
Всего	3	1	3	3	3	10	4	27

Интересно отметить, что очень рано ($totn < 0.3$) переход осуществляется только у защитников (4 человека), что может говорить о том, что их мышцы больше адаптированы к анаэробной работе (короткие ускорения, а также силовые единоборства), при этом они достаточно долго могут переносить высокую активность анаэробных процессов (что может быть связано с хорошим развити-

ем буферных систем организма и высокой утилизацией продуктов гликолиза в других тканях). В то же время достаточно поздно ($totn > 0.7$) переход осуществляется только у игроков атакующих амплуа (3 полузащитника и 1 нападающий), что хорошо согласуется с большим объемом работы на выносливость, выполняемой представителями этих амплуа.

5. Описание класса F

Таблица встречаемости специфичных для класса F симптомов, полученных для ПК (#139, #140) и для ОПК (#142, #143), в классах R и F приведена в Табл. 50. Наиболее сильное преобладание количества представителей класса F над количеством представителей класса R в клетке, выделенной курсивом, которая может быть описана следующим симптомом:

#181 = #139&Ž (эквивалентно #139&Œ&Ž&). В Табл. 51 приведена таблица сопряженности 2x2 для этого симптома ($p(chi) = 4.7e-6$). Наличие этого симптома говорит о существенном замедлении роста ПК и ОПК с ростом нагрузки, что может быть связано с «разгоном» аэробной системы энергообеспечения в начале тестирования или достижением этой системой мощностей, близких к максимальным. И в том, и в другом случае естественным является наличие невысоких значений ПК в правой зоне (см. определение симптома 139): в первом случае это может быть связано с невысокой мощностью выполняемой работы, а во втором – со сниженными возможностями аэробной системы спортсмена по отношению к другим спортсменам.

Табл. 50. Встречаемость специфичных для класса F симптомов, полученных для ПК и ОПК (R(76) : F(68))

139 140	— —	X —	— X	X X
142 143				
— —	55 6	0 0	8 9	0 0
X —	0 0	0 0	0 0	0 0
— X	5 6	0 0	3 12	3 9
X X	2 5	0 0	0 1	0 20

Табл. 51. Таблица сопряженности 2x2 для симптома 181 ($p(chi) = 4.7e-6$)

КЛАССЫ	X	—
R	0	76
F	20	48

На Рис. 1 представлен график эмпирической функции распределения относительного времени (значение 0 для каждого испытуемого соответствует началу тестирования, а 1 – прекращению тестирования) момента перехода от левой зоны к правой в чистом подклассе класса F, выделяемом с помощью симптома 181 (для каждого из 20 представителей этот момент отмечен точкой). Как видим, наблюдается две группы: ближе к началу тестирования (7 представителей) и ближе к концу тестирования (13 представителей). Выделим эти

группы в отдельные классы, первый из которых обозначим F181В (начало тестирования, 7 футболистов, 7 переходов), а второй – F181Е (конец тестирования, 13 футболистов, 13 переходов). Попытаемся понять, чем эти классы похожи, и чем они отличаются. В Табл. 52 приведены данные о встречаемости специфичных для класса F симптомов в классах F181В и F181Е.

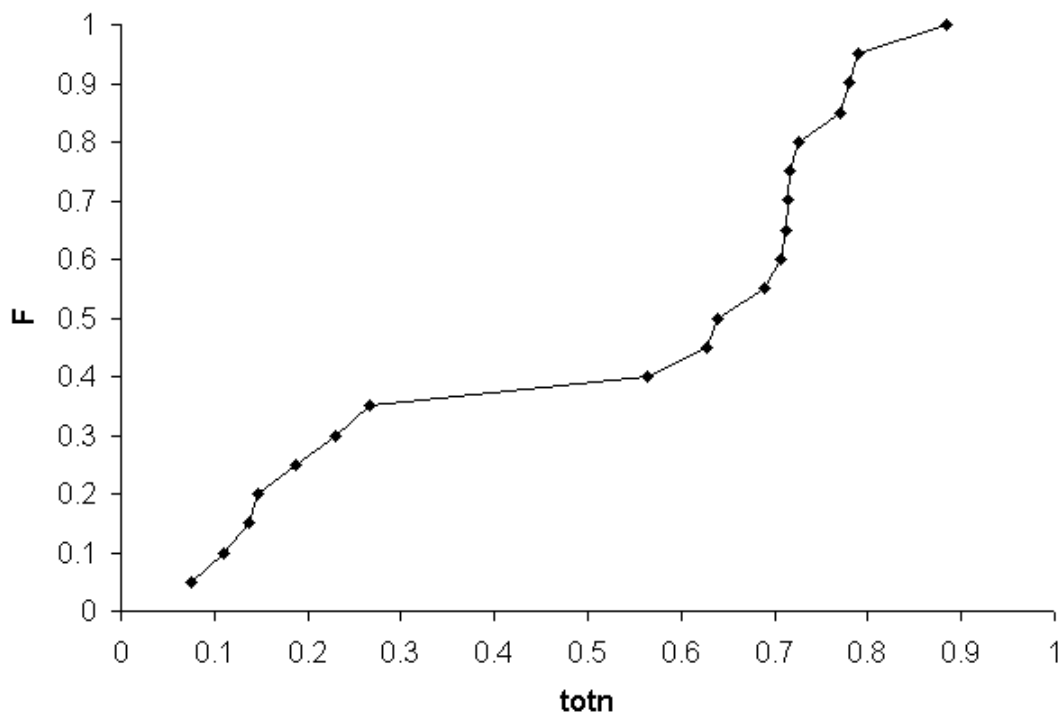


Рис. 1. Функция распределения моментов относительного времени перехода от левой зоны к правой в чистом подклассе класса F, выделяемом с помощью симптома 181

Несколько симптомов встречаются только у представителей класса F181В (#151, #159, #160). Наличие #151 говорит об отсутствии увеличения скорости изменения ДК при переходе от левой зоны к правой при низкой скорости изменения ДК в правой зоне, что хорошо согласуется с гипотезой о «разгоне» аэробной системы в начале тестирования. Наличие #159 и #160 свидетельствует о заметном снижении скорости изменения ЧСС при переходе от левой зоны к правой в сочетании с низкими значениями ЧСС в правой зоне. Низкие значения ЧСС обусловлены невысокой мощностью выполняемой спортсменом в начале тестирования работы, а снижение скорости изменения ЧСС при этом – о «разгоне» аэробной системы: доставка кислорода к тканям осуществляется в достаточном количестве (во время «разгона» наличие продуктов анаэробного метаболизма в крови воспринимается организмом как сигнал о недостаточном поступлении кислорода к тканям, что, в том числе, приводит и к более резкому росту ЧСС).

Достаточно часто в обоих классах встречается #163 (при переходе от левой зоны к правой наблюдается заметное снижение скорости изменения отношения ПК к ЧСС при отсутствии заметного увеличения отношения ПК к ЧСС). Но для класса F181В это наблюдается при низких значениях ЧСС, а для класса

F181E при высоких. То есть в случае класса F181B это связано с «разгоном» аэробной системы: ударный объем сердца обеспечивает необходимый сердечный выброс при заданном ЧСС, а артериально-венозная разность по кислороду (АВРК) полностью соответствует потреблению кислорода, необходимому для покрытия энерготрат организма преимущественно аэробными механизмами. А в случае класса F181E наличие #163, скорее всего, связано с приближением к предельным возможностям организма: ударный объем сердца не может дальше расти из-за высокой ЧСС, а АВРК не может расти, поскольку увеличить концентрацию кислорода в артериальной крови уже невозможно (легкие работают практически на полную мощность), а утилизация кислорода в тканях и так высока (аэробные механизмы имеют неограниченную мощность).

Табл. 52. Таблица встречаемости специфичных для класса F симптомов в классах F181B(7) и F181E(13)

Код симптома	Показатель	X		–		<i>p (chi)</i>
		F181B	F181E	F181B	F181E	
139	ПК	7	13	0	0	-
140	ПК	7	13	0	0	-
142	ОПК	7	13	0	0	-
143	ОПК	7	13	0	0	-
147	ВУГ	6	4	1	9	0.058
151	ДК	5	0	2	13	0.003
152	ДК	7	2	0	11	0.002
154	ЧД	6	9	1	4	0.78
156	ЛВ	6	3	1	10	0.025
159	ЧСС	6	0	1	13	0.0006
160	ЧСС	6	0	1	13	0.0006
163	Отношение ПК к ЧСС	5	8	2	5	0.91
165	ГД	6	2	1	11	0.0095
168	ВЭПК	4	2	3	11	0.148
171	ВЭВУГ	4	2	3	11	0.148
173	УСДПК	4	2	3	11	0.148
174	УСДПК	4	4	3	9	0.51
175	УСДПК	0	4	7	9	0.29

Гипотезу о «разгоне» аэробной системы для класса F181B также подтверждает совместное рассмотрение #168 (ВЭПК), #171 (ВЭВУГ) и #173 (УСДПК). В Табл. 53 приведена таблица встречаемости этих симптомов в классах F181B и F181E. Одновременно эти симптомы наблюдаются только в классе F181B (в 4 случаях из 7). Снижение скорости изменения ВЭПК при невозрастании скорости изменения ВЭВУГ может быть связано с увеличением доли аэробных процессов в энергообеспечении организма. С «разгоном» аэробных механизмов также связано уменьшение УСДПК, тем более что в правой зоне

УСДПК не превосходит 1, то есть дополнительная работа может осуществляться только за счет аэробных механизмов.

Табл. 53. Встречаемость симптомов 168, 171, 173 (F181B(7) : F181E(13))

168 171 173	— —	Х —	— Х	Х Х
—	3 8	0 1	0 1	0 1
Х	0 2	0 0	0 0	4 0

Из Табл. 52 видно, что достаточно низкими значениями p (chi) обладают симптомы, связанные с функцией легких (#156, #165). В Табл. 54 приведена таблица встречаемости симптомов 156 (ЛВ), 165 (ГД) и 154 (ЧД). Все три симптома одновременно наблюдаются только у представителей класса F181B. Отсутствие заметного увеличения скорости изменения ЧД и заметного увеличения ГД при переходе от левой зоны к правой может говорить об отсутствии возникновения резкого дефицита кислорода в организме, при этом низкие значения ГД в левой и правой зонах могут свидетельствовать о том, что механизмы по доставке кислорода в организм работают не на всю мощность (легкие не нагружены полностью). Относительно высокая скорость изменения ЛВ в левой зоне и низкая в правой зоне могут говорить о том, что произошла ликвидация дефицита поставки кислорода в организм легкими при «разгоне» аэробной системы энергообеспечения.

Табл. 54. Встречаемость симптомов 154, 156, 165 (F181B(7) : F181E(13))

154 165 156	— —	Х —	— Х	Х Х
—	0 2	0 6	1 2	0 0
Х	0 0	1 3	0 0	5 0

В Табл. 55 приведены данные об игровом амплуа футболистов, у которых наблюдаются переходы из классов F181B и F181E. Как видно, переходы из класса F181B чаще встречаются у защитников. Сама регистрация перехода из класса F181B может сигнализировать о медленном «разгоне» аэробной системы энергообеспечения, поскольку у других футболистов подобный «разгон» осуществляется во время разминки или в первую минуту нагрузки, то есть не выполнено условие на длительность зон, составляющих переход из класса F (не менее минуты каждая). Медленный «разгон» аэробной системы у защитников может быть связан с тем, что их мышцы больше адаптированы к анаэробной работе (короткие ускорения, а также силовые единоборства).

Интересно отметить, что у 9 из 13 футболистов, у которых встречается переход из класса F181E, не встречается больше ни одного перехода из классов R и F. При этом после перехода у этих спортсменов мощности аэробных процессов не хватает для покрытия энергозатрат организма (дополнительный анализ показал, что в правой зоне ДК выше 1, а УСДПК выше 1.08). Но активация анаэробных процессов не стимулирует в достаточной степени аэробные процессы

(отсутствуют переходы из класса R), то есть фактором, лимитирующим адаптацию этих организмов к более высоким нагрузкам, является способность устранять продукты анаэробного обмена.

Табл. 55. Игровое амплуа футболистов, имеющих переходы из классов F181B и F181E

Амплуа	F181B	F181E
Защитники	5	3
Полузащитники	1	9
Нападающие	1	1
Всего	7	13

6. Заключение

Симптомный анализ показателей позволил предложить модели механизмов адаптации организма, основанные на понятиях «разгона» аэробных процессов в начале тестирования и истощения ресурсов организма к концу тестирования.

Переходы на более высокий уровень в индивидуальном нормативном коридоре потребления кислорода часто сопряжены с большим вовлечением анаэробных лактатных механизмов в процессы энергообеспечения, что может приводить к мобилизации ресурсов организма для поддержания аэробных процессов, но с другой стороны, и к снижению эффективности использования кислорода и подавлению аэробных процессов вследствие закисления.

Для некоторых физиологических критериев анаэробного порога (например, гипервентиляция легких) получены формализованные аналоги. Язык логических симптомов позволяет дать более полное описание происходящих в организме процессов, а также объединить описание процессов, относящихся к различным системам жизнеобеспечения организма.

Таким образом, «зонная» модель помогает выделить изменения (переходы) соотношения аэробного и анаэробного процессов энергообеспечения организма при адаптации к высокой физической нагрузке, что является одной из задач спортивной физиологии. Симптомный анализ позволил выделить некоторые признаки этих переходов. Дальнейшее исследование будет направлено на изучение возможностей прогнозирования переходов, поиск их физиологических предвестников.

Также используемый подход помогает выделить наиболее слабые звенья (лимитирующие факторы) в сложной системе энергообеспечения организма. Так, в ряде случаев аэробные возможности организма лимитирует сердечно-сосудистая система, в ряде случаев – аэробные возможности тканей (то есть тканевое дыхание), а иногда – дыхательная система. Работа над усилением слабых звеньев в ходе тренировок может способствовать достижению более высоких спортивных результатов. Информация о лимитирующих факторах также полезна при отборе спортсменов и определении их спортивной специализации. Особый интерес для дальнейших исследований представляет эволюция для от-

дельно взятого спортсмена его симптомного «портрета» в течение карьеры, что может помочь при оптимизации индивидуального тренировочного процесса.

Автор выражает глубокую благодарность Ю.Б. Котову, А.В. Гусеву, В.И. Павлову, З.Г. Орджоникидзе, Ю.П. Попову, Г.Г. Малинецкому, В.В. Самойленко, А.В. Ермакову, Н.И. Волкову, А.В. Подлазову за обсуждение и поддержку.

Работа частично поддержана РФФИ. Грант 07-01-00376а.

Литература

1. Гусев А.В., Котов Ю.Б., Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Эсселевич И.А. Исследование динамики высоких физических нагрузок с помощью компьютерного тестирования и методов математического моделирования. – Информационные технологии и вычислительные системы – 2007 – №1 – с.49-55
2. Эсселевич И.А. Выделение различных фаз адаптации организма спортсмена к высокой физической нагрузке. // Препринт института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2008 г., №39, 20 с.
3. Волков Н.И., Несен Э.Н., Осипенко А.А., Корсун С.Н. Биохимия мышечной деятельности. Олимпийская литература (Киев), 2000. – 503 с.
4. Физиология человека: Учебник для вузов физ. культуры и факультетов физ. воспитания педагогических вузов / Под общ. ред. В.И. Тхоревского. – М.: Физкультура, образование и наука, 2001. – 492 с.
5. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. – М.: УРСС, 2000. – 256 с.
6. Котов Ю.Б. “Новые математические подходы к задачам медицинской диагностики” – Москва, УРСС, 2004. – 328 с.
7. Стентон Гланц “Медико-биологическая статистика”, перевод с английского – Москва, Практика, 1999
8. Jones A.M. and Poole D.C. Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. – Routledge, Taylor&Francis Group, London and New York, 2005.
9. K. Wasserman, Hansen J.E., Sue D.Y. et al. Exercise testing and interpretation. – Lippincott Williams&Wilkins, 2005.