

Безнагрузочная оценка функционального состояния организма спортсменов

А.А. Антонов, ГОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования», кафедра анестезиологии и реаниматологии, г. Москва

Каждому спортсмену и тренеру для оптимизации физической подготовки нужна информация об уровне функционального состояния организма спортсменов в любой период годового цикла, но особенно непосредственно перед соревнованиями. Интегральный подход в оценке функционального состояния организма реализован в диагностическом аппаратно-программном комплексе «Система интегрального мониторинга «Симона 111». Приведен пример применения этой системы для оценки функционального состояния организма у 8-ми мастеров спорта по лыжным гонкам. Обследование проводилось в горизонтальном положении на спине, в спокойном состоянии. Интегральные показатели, отражающие функциональное состояние организма, продемонстрировали своё соответствие уровню спортивной квалификации.

Ключевые слова: спорт, физиология, функциональное состояние организма, диагностика.

ВВЕДЕНИЕ

Для оценки общего функционального состояния организма (ФСО) спортсменов существует множество тестов, которые основаны на анализе показателей сердечно-легочной системы под влиянием значительных физических нагрузок. Это тестирование имеет множество недостатков:

- ✓ Полное тестирование занимает 2 дня, перед которыми должен быть день отдыха;
- ✓ Нарушается привычный план подготовки к соревнованиям;
- ✓ Проводится в начале и конце спортивного сезона и во время соревновательных пауз;
- ✓ Отсутствует четкое заключение об уровне спортивной формы;
- ✓ Не выявляет острые и хронические болезни;
- ✓ Не проводится после или во время болезни или травмы;
- ✓ Для каждого вида спорта имеются свои нагрузочные пробы;
- ✓ Ограничение возраста (15–40 лет).

Спортсмену и тренеру крайне необходимо иметь объективную информацию об уровне ФСО в любой период годового тренировочно-соревновательного цикла, но особенно непосредственно перед соревнованиями. То есть существует острая необходимость в такой технологии оценки ФСО, которая бы исключала вышеперечисленные недостатки.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА (ФСО)

Этот термин часто используется в литературе [5, 7, 10, 12]. Однако в указанных работах не приводится определение этого термина, то есть подразумевается, что его семантика общеизвестна, и он всем понятен. Но реальная ситуация такова, что определение ФСО отсут-

ствует в Большой Медицинской Энциклопедии и каких-либо руководствах по физиологическим наукам.

Термин «функциональное состояние» широко используется физиологами при оценке какой-либо биологической системы, например, дыхательной, сердечно-сосудистой, нервной, пищеварительной и т. д. Исходя из определений физиологии как науки, изучающей жизнедеятельность целостного организма, его частей и взаимодействие его с окружающей средой [15], можно полагать что, наряду с функциональным состоянием «частей организма», существует категория функционального состояния целостного организма или ФСО.

Отсутствие в физиологическом лексиконе определения термина ФСО связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, с недостаточностью наших знаний об интегральной деятельности организма и отсутствием методов её контроля. Во-вторых, – с уклоном современных исследований в сторону изучения частностей [4, 13].

Президент Международного союза по физиологическим наукам Э.Р. Вейбл (1998) отметил, что одной из главных задач физиологической науки 21-го века является создание «новой интегральной физиологии» [4]. И клиницисты уже разрабатывают концепции «интегральной медицины» [2, 14].

Разработка критериев оценки функционального состояния и адаптационных резервов организма необходима для оптимизации физического развития и спортивной подготовки всевозможных профессиональных групп [7].

Проблема определения термина «ФСО» тесно переплетается с терминологическими спорами вокруг понятия «здоровье». Эти термины, по сути, являются синонимами. Поэтому системный анализ категории «здоровье» позволяет приблизиться к пониманию термина «ФСО».

Существует множество различных определений термина «здоровье», что указывает на нерешенность методологического аспекта при оценке деятельности организма как целостной системы [8, 9].

Наиболее распространенными терминами для определения понятия «здоровье» являются: «работоспособность» [6], «трудовая деятельность» [1], «физические способности» [11].

Эти термины означают возможность функционирования в определенных условиях внешней среды, то есть характеризуют устойчивость гомеостатических показателей при воздействии различных по силе внешних факторов. Зайчик А.Ш. и Чурилов Л.П. определяют здоровье как «устойчивую форму жизнедеятельности, обеспечивающую экономичные оптимальные механизмы приспособления к окружающей среде и позволяющую иметь функциональный резерв, используемый для ее изменения» [8].

Воробьев К.П. считает, что ФСО – это интегральная характеристика состояния здоровья, которая отражает адаптивные возможности организма и оценивается по данным изменений функций и структур в текущий момент при взаимодействии с факторами внешней среды [3].

Таким образом, можно сказать, что ФСО – это интегральная характеристика состояния здоровья, отражающая уровень функционального резерва, который может быть израсходован на адаптацию.

Отсюда понятен подход к созданию методов оценки ФСО. В связи с этим мы разработали критерии идеальной оценки ФСО у спортсменов.

Оценка ФСО должна:

- ✓ Быть интегральной (системной, одновременной, многофункциональной);
- ✓ Отражать адаптивные возможности организма (функциональный резерв);
- ✓ Формировать однозначное заключение об уровне ФСО;
- ✓ Быть безнагрузочной и универсальной (для любого вида спорта);
- ✓ Проводиться в любой период годового цикла и занимать короткое время;
- ✓ Не иметь противопоказаний при болезнях или травмах;
- ✓ Выявлять острые и хронические заболевания;
- ✓ Не иметь ограничения возраста.

ПЕРЕСТРОЙКА ФСО СПОРТСМЕНОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЁ ИЗМЕРЕНИЯ

В организме спортсмена под влиянием многолетних тренировочных и соревновательных нагрузок происходит функциональная перестройка. Наиболее всего она заметна в перестройке мышечно-суставного аппарата. Первостепенным фактором, лимитирующим работу мышц, является функциональное состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) [16, 20, 23].

ССС участвует в выполнении пяти важных функций:

1. Доставка кислорода ко всем тканям, в том числе и к работающим мышцам.
2. Насыщение крови кислородом и вывод из тканей углекислого газа (малый круг кровообращения).
3. Теплообмен между тканями, органами и кожей.
4. Доставка энергетических и пластических веществ ко всем органам и тканям и отвод от них продуктов обмена.

5. Транспорт гормонов, медиаторов и иммунных веществ.

Физическая активность накладывает повышенные требования ко всем этим функциям. Доставка и потребление кислорода миокардом и другими мышцами резко возрастают. Обменные процессы ускоряются и образуют увеличенное количество продуктов распада. Расхождение огромного количества питательных веществ и кислорода ведет к повышению температуры тела [46].

Под влиянием физической нагрузки в ССС происходят как мгновенные, так и долговременные изменения. Все эти изменения, в конечном счете, направлены на достижение оптимального обеспечения всего организма энергией. Поэтому при нагрузочном тестировании спортсменов наиболее универсальным и интегральным является показатель максимального потребления кислорода (МПК), отражающий функциональные возможности сердечно-сосудистой и дыхательной систем в энергообеспечении всего организма во время максимальной физической нагрузки. У элитных спортсменов при такой нагрузке минутный объем крови (МОК=сердечный выброс) может достигать 40 л/мин, а у не тренированных людей – только 20 л/мин [18].

МОК является главным фактором, определяющим МПК, как у спортсменов, так и у не спортсменов [31, 37]. Замечено, что чем выше МОК при физической нагрузке, тем выше ударный объем (УО) [26, 38]. Другим показателем, определяющим МОК, является частота сердечных сокращений (ЧСС), т.к. $МОК = УО \times ЧСС$. Но УО играет в увеличении МОК, а, следовательно, и в увеличении МПК, более значимую роль, поскольку у спортсменов и не спортсменов максимальная ЧСС почти одинаковая. Наиболее значимые различия у не спортсменов и спортсменов видны в максимальных значениях УО и МОК: 75 мл против 200 мл и 15 л/мин против 37 л/мин. Они соответственно показали разные МПК: 30 мл/кг/мин против 87 мл/кг/мин [37, 39].

Многочисленные исследования доказывают, что во время физических упражнений наблюдается выраженная корреляция между общим размером сердца (гипертрофия в покое), объемом физической работы, МПК, МОК и УО [17, 23, 24, 41]. Причем, чем выше квалификация спортсмена в циклических видах спорта, тем больше МПК и больше увеличение УО [25, 30, 36, 43, 44].

Отмечено, что без физической нагрузки (в спокойном положении на спине) МОК и УО у спортсменов выше, чем у не тренированных здоровых людей [19, 21, 27, 41].

В формировании УО имеют большое значение объем циркулирующей крови, сократимость миокарда, артериальное давление (АД), сосудистое сопротивление, время изоволюметрического сокращения (PEP) и время изгнания левого желудочка (VET) [22, 42, 46].

Регулярные продолжительные спортивные тренировки ведут к нарастанию массы сердца, что сопровождается увеличением конечного диастолического объема левого желудочка (КДО), гипертрофией межжелудочковой перегородки и задней стенки левого желудочка [34, 41].

Гипертрофия миокарда у спортсменов ведет к увеличению УО, большому максимальному МОК и низкой ЧСС в покое. За счет этого удлиняется время диастолы как в спокойном состоянии, так и во время субмаксимальных физических нагрузок, что улучшает перфузию миокарда [40].

Повышенные мышечные нагрузки вызывают пролиферацию капилляров в скелетных и сердечной мышцах [28] с увеличением количества капилляров [29] и их размеров [33], что ведет к увеличению капиллярного кровотока и объема циркулирующей крови.

Физиологические изменения ССС зависят от вида спорта, интенсивности и объема тренировок, количества лет занятия спортом, пола, возраста, генетических факторов и размеров тела [35].

Для сглаживания вариаций размеров тела принято индексировать абсолютные показатели ССС (УО, МОК, КДО, DO_2) площадью поверхности тела, которая вычисляется исходя из роста, веса и пола. И тогда УО превращается в ударный индекс (УИ), МОК – в сердечный индекс (СИ), КДО – в конечный диастолический индекс (КДИ), а DO_2 – в индекс доставки кислорода (DO_2I) [32].

Объективная оценка отдельных систем организма с помощью всевозможного мониторингового оборудования давно и широко применяется в клинической медицине. Интегральный подход в оценке ФСО реализован в современном многофункциональном аппаратном мониторинге с помощью «Системы интегрального мониторинга «Симона 111», предназначенной для неинвазивного измерения различных физиологических показателей центральной и периферической гемодинамики, транспорта и потребления кислорода, функции дыхания, температуры тела, функциональной активности мозга, активности вегетативной нервной системы и метаболизма. «Симона 111» применяется в кардиологии, пульмонологии, функциональной диагностике, спортивной медицине, анестезиологии и реаниматологии [2].

Из упомянутых выше медицинских показателей «Симона 111» может неинвазивно и одновременно измерять: УО, ЧСС, МОК, КДО, АД, насыщение гемоглобина артериальной крови (Hb) кислородом (SpO_2), доставку кислорода (DO_2), время диастолы, PEP, VET, сократимость миокарда, сосудистое сопротивление, объем циркулирующей крови и температуру тела.

Компьютерная программа многофункционального монитора «Симона 111» индексирует и выдает индивидуальные нормы 60-ти показателей ССС, которые зависят не только от размеров тела, но и его температуры, а также возраста и пола. Это позволяет легко определять отклонение всех показателей как в сторону увеличения, так и уменьшения [2].

«Симона 111» создана с учетом современного представления о физиологии ССС и интегральных принципах исследования, которые базируются на одновременном и непрерывном измерении и оценке взаимовлияния гемодинамических регуляторов, а именно, преднагрузки, сократимости миокарда и постнагрузки, формирующих АД и перфузионный кровоток (СИ). Последний, в свою очередь, обеспечивает доставку кислорода (DO_2I) в соответствии с метаболическими потребностями организма (рис. 1) [2].

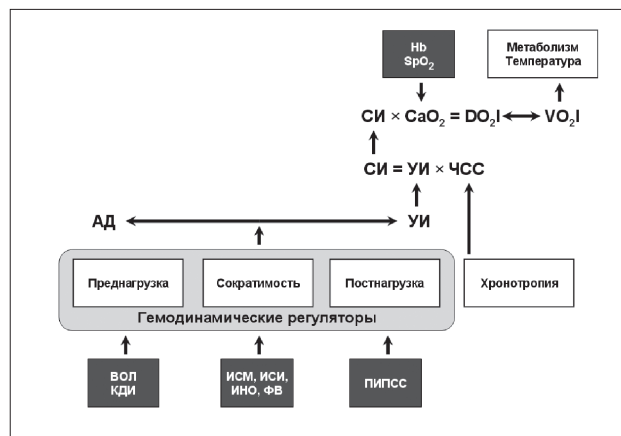


Рис. 1. Схема функционирования ССС и характеризующих её показателей

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С помощью аппаратно-программного комплекса «Симона 111», в состав которого входит импедансный компьютерный кардиограф, мы провели более 900 медицинских обследований спортсменов (юноши, молодежь и взрослые из сборных команд РФ и г. Москвы) из 21-го вида спорта: лыжное двоеборье, лыжные гонки, горные лыжи, шорт-трек, фристайл, сноуборд, скелетон, бобслей, сани, керлинг, хоккей женский, прыжки на лыжах с трамплина, теннис, футбол, волейбол, плавание, триатлон, велоспорт-трек, тяжелая атлетика, борьба греко-римская, академическая гребля.

В настоящей публикации мы приводим в качестве примера результаты оценки ФСО у 8-ми активно тренирующихся и выступающих в соревнованиях мастеров спорта по лыжным гонкам. Женщин 4 человека, мужчин 4 человека, возраст 19–24 года. Первое обследование проводили в утренние часы (10.30 – 12.00 ч.), до тренировки, за 2–3 дня до соревнований (начало марта 2010 г.), т.е. примерно за месяц до окончания лыжного соревновательного сезона. Второе обследование проводили в то же самое время суток перед началом летнего тренировочного сбора (после отпуска) в июне 2010 г.

Обследование одного спортсмена занимало не более 10 минут и проводилось в горизонтальном положении на спине в спокойном расслабленном состоянии. Результаты обследования изучались ретроспективно, поскольку «Симона 111» сохраняет все данные мониторинга более 30 лет. В каждом из обследований выбирался 4–5-минутный интервал, за который «Симона 111» выдавала среднее взвешенное значение всех показателей.

Оценка ФСО проводилась по 3-м новым интегральным показателям, в состав которых входят ранее известные функциональные показатели ССС:

ВОЛ – волемический статус, преднагрузка левого желудочка, объем циркулирующей крови. Норма $0 \pm 20\%$. При гиповолемии $< -20\%$. При гиперволемии $> 20\%$.

ИСИ – индекс состояния инотропии ($1/\text{сек}^2$). Норма зависит от пола и возраста. Характеризует максимальное ускорение крови при выбросе из левого желудочка в аорту. Увеличивается при улучшении и снижается при ухудшении сократимости миокарда.

ИСМ – индекс сократимости миокарда ($10^3 \cdot 1/\text{сек}$). Норма зависит от пола и возраста. Характеризует среднюю скорость выброса крови из левого желудочка в аорту. Увеличивается при улучшении и снижается при ухудшении сократимости миокарда.

ИНО – инотропия – сократимость левого желудочка. Норма $0 \pm 20\%$. При гипоинотропии $< -20\%$. При гиперинотропии $> 20\%$. Увеличивается при улучшении и снижается при ухудшении сократимости миокарда.

ФВ – фракция выброса левого желудочка. Норма $60 \pm 3\%$.

ПИПСС – пульсовой индекс периферического сосудистого сопротивления ($10^{-3} \cdot \text{дин} \cdot \text{сек} / \text{см}^5 / \text{м}^2$). Характеризует постнагрузку (периферическое сосудистое сопротивление).

УИРЛЖ – ударный индекс работы левого желудочка ($\text{г} \cdot \text{м} / \text{уд} / \text{м}^2$). Норма зависит от пола, возраста и температуры тела. Отражает суммарный баланс волемического статуса и сократимости левого желудочка. Коррелирует с работоспособностью.

КДИ – конечный диастолический индекс левого желудочка ($\text{мл} / \text{м}^2$). Норма зависит от пола и возраста. При нормоволемии низкий КДИ отражает сниженную диастолическую функцию левого желудочка. При улучшении этой функции КДИ увеличивается.

Адср – среднее артериальное давление (мм рт.ст.). Норма связана с возрастом. Отражает давление крови внутри капилляров – гемодинамически значимое давление крови.

УИ – ударный индекс ($\text{мл} / \text{удар} / \text{м}^2$). Норма зависит от пола, возраста и температуры тела. Определяет вместе с Адср гемодинамический статус индивидуума.

СИ – сердечный индекс ($\text{л} / \text{мин} / \text{м}^2$). Норма зависит от пола, возраста и температуры тела. Отражает объем перфузионного кровотока крови. Коррелирует с работоспособностью.

ЧСС – частота сердечных сокращений (1/мин).

DO₂I – индекс доставки кислорода ($\text{мл} / \text{мин} / \text{м}^2$). Прямо пропорционально зависит от содержания кислорода в артериальной крови (CaO_2) и перфузионного кровотока (СИ). Коррелирует с работоспособностью.

ИБ – интегральный баланс. Норма $0 \pm 100\%$. Представляет собой сумму %-ных отклонений от нормы всех вышеуказанных показателей. Чем больше отклонение

в отрицательную сторону, тем меньше адаптационные возможности ССС к физическим нагрузкам. У пациентов в критических состояниях может снижаться до минус 700%. Чем больше отклонение в положительную сторону, тем больше адаптационный резерв (АР) ССС. У спортсменов высокого уровня в спокойном состоянии на пике спортивной формы может достигать 300–700%, а сразу же после соревнований или изнурительных тренировок может опускаться до минус 400%, но в течение нескольких часов или суток снова возвращается на прежний уровень. По ИБ можно судить об эффективности восстановительных мероприятий и физиологической стоимости нагрузки.

КР – кардиальный резерв. Норма 5 ± 1 у.е. Отражает соотношение продолжительности фаз сердечного цикла (время диастолы, PEP, VET). У больных в критических состояниях снижается до единицы. У хорошо тренированных спортсменов в спокойном состоянии может достигать десяти, а при максимальных физических нагрузках может снижаться до единицы. КР при физических нагрузках расходуется (уменьшается) для поддержания высокого ИБ. После соревнований или тренировок КР всегда ниже, чем у отдохнувшего спортсмена. Т.е. КР, как и ИБ, отражает физиологическую стоимость нагрузки. При увеличении КР увеличивается и АР.

АР – адаптационный резерв. Норма 500 ± 100 у.е. Отражает суммарный баланс ИБ и КР. У спортсменов высокого уровня в спокойном состоянии на пике спортивной формы может достигать 1500 у.е. Сразу же после соревнований или изнурительных тренировок АР может снижаться до 200 у.е., но в течение нескольких часов или суток снова возвращается на прежний уровень. У больных, находящихся в критическом состоянии, может снижаться до 50 у.е.

Вышеуказанные показатели характеризуют 3 традиционные группы функциональных показателей ССС:

1. Центральная гемодинамика.

– Гемодинамические регуляторы: преднагрузка (ВОЛ), сократимость миокарда (ИСИ, ИСМ, ИНО, ФВ), постнагрузка (ПИПСС).

– Работа левого желудочка (УИРЛЖ).

– Диастолическая функция: конечный диастолический индекс левого желудочка (КДИ).

Интегральные показатели ФСО лыжников

		Женщины							
Показатель*	Норма**	1		2		3		4	
		Март	Июнь	Март	Июнь	Март	Июнь	Март	Июнь
ИБ	0 ± 100	281	259	406	32	334	318	389	270
КР	5 ± 1	9,41	9,16	6,60	5,82	6,91	6,50	6,57	6,23
АР	500 ± 100	1205	1153	928	774	922	857	913	791
		Мужчины							
Показатель*	Норма**	5		6		7		8	
		Март	Июнь	Март	Июнь	Март	Июнь	Март	Июнь
ИБ	0 ± 100	355	236	432	347	451	375	387	286
КР	5 ± 1	8,41	7,62	7,28	6,92	6,56	6,22	6,33	6,16
АР	500 ± 100	1140	942	1043	932	952	855	878	792

* – расшифровку аббревиатур смотрите в тексте

** – единицы измерений смотрите в тексте

– Гемодинамический статус: АД среднее (АДср), ударный индекс (УИ).

2. Периферическая гемодинамика.

– Перфузионный кровоток: сердечный индекс (СИ) и его регулятор – частота сердечных сокращений (ЧСС).

– Транспорт кислорода: индекс доставки кислорода (DO_2I).

3. **Интегральные показатели ССС:** интегральный баланс (ИБ), кардиальный резерв (КР) и адаптационный резерв (АР).

РЕЗУЛЬТАТЫ

У всех 8-ми лыжников интегральные показатели (ИБ, КР, АР) за месяц до окончания соревновательного сезона (март) оказались значительно превышающими норму и отражали высокий уровень ФСО. При повторном обследовании, т.е. после отпуска (июнь), эти показатели заметно уменьшились, оставаясь на высоком уровне, соответствующем уровню спортивной квалификации.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и представлена технология безнагрузочной оценки (диагностики) функционального состояния организма (ФСО) спортсменов.

2. Диагностика ФСО спортсмена – это интегральная оценка состояния здоровья, отражающая уровень функционального резерва, который может быть израсходован на адаптацию (спортивную деятельность).

3. Первостепенным фактором, обеспечивающим высокое ФСО спортсмена, является функциональное состояние сердечно-сосудистой системы (ССС).

4. Интегральные показатели ССС: интегральный баланс, кардиальный резерв и адаптационный резерв, – объективно отражают состояние ФСО спортсмена.

5. Аппаратно-программный комплекс «Система интегрального мониторинга «Симона 111» измеряет интегральные показатели ССС, по которым можно безнагрузочно объективно оценивать ФСО спортсменов.

Литература:

1. Адо А.Д. Патологическая физиология. – 2000. 607 с.
2. Антонов А.А., Буров Н.Е. Системный аппаратный мониторинг // Вестник интенсивной терапии. – 2010. - №3. – С. 8-12.
3. Воробьев К.П. Клинико-физиологический анализ категорий функционального состояния организма в интенсивной терапии. Вестник интенсивной терапии. – 2001. - №2. - С. 3-8.
4. Вейбл Э.Р. Будущее физиологии // Физиология человека. - 1998. - Т.24. - №4. - С. 5.
5. Гедымин М.Ю., Соколов Д.К., Кандрор И.С. Об интегральной оценке функционального состояния организма // Физиология человека. - 1988. - №6. - С. 95-97.
6. Горизонтов П.Д., Т.Н. Протасова. Роль АКГТ и кортикостероидов в патологии. М.: Медицина. - 1968. - 335 с.
7. Желтиков А.А. Некоторые критерии оценки функционального состояния организма // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2001. - №3. - С. 56-57.
8. Зайчик А.Ш., Чурилов Л.П. Основы общей патологии. СПб:ЭЛБИ. – 1999. - С. 12.
9. Крутько В.Н. Подходы к «Общей теории здоровья» // Физиология человека. - 1994. - №6. - С. 34-42.
10. Кулешов В.И., Чернов В.И. Влияние дозированной гипероксии на функциональное состояние организма // Гипербарическая физиология и медицина. - 1996. - № 4. - С. 31-32.
11. Маркс К. «Капитал. Критика политической экономии». - 1867. - Глава: «Рабочий день».
12. Никулина Г.А. Исследование статистических показателей сердечного ритма, как метод оценки функционального состояния организма при экстремальных воздействиях. Дисс... канд. мед. наук. – М. - 1974. – 147 с.
13. Судаков К.В. О путях развития физиологии в 21 веке: размышления и прогноз. // Вестник российской академии медицинских наук. - 1998. - №9. - С. 54-56.
14. Шифрин А.Г., Шифрин Г.А. Научные основы интегративной медицины. Руководство. Запорожье: Дикое поле. - 1999. – 200 с.
15. Энциклопедический словарь медицинских терминов. М.- Сов. энцикл. - 1984. - Т.3. - С. 231.
16. Andrew G.M., Guzman C.A., Becklake M.R. Effect of athletic training on exercise cardiac output // J. Appl. Physiol. - 1966; 21. P 603-608.
17. Astrand P.O., Rodahl K. Textbook of Work Physiology // NY: McGraw-Hill. 2nd ed. - 1977. - 681 pp.
18. Basset L.R.Jr. and Howley E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance // Med. Sci. Sports Exerc. - 2000; 32. - P 70-84.
19. Bevegard S., Holmgren A., Jonsson B. Circulatory studies in well trained athletes at rest and during heavy exercise, with special reference to stroke volume and the influence of body position // Acta Physiol. Scand. - 1963; 57. - P 26-50.
20. Blomqvist G., Saltin B. Cardiovascular adaptations to physical training // Ann. Rev. Physiol. - 1983; 4J. - P 169-189.
21. Chapman C.B., Fisher J.N., Sproule B.J. Behavior of stroke volume at rest and during exercise in human beings // J. Clin. Investigation. - 1960; 30. - P 1208-1213.
22. Clausen J. P. Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man // Physiol. Rev. - 1977; 57. - P 779-815.
23. Ekblom B. Effect of physical training on oxygen transport system in man // Acta Physiol. Scand. - 1969; (Suppl.) 328. - P 5-45.
24. Ekelund L. G., Holmgren A. Central hemodynamics during exercise // Circ. Rex. -1967; 20-21 (Suppl. I). - P -133-143.
25. Ferguson S., Gledhill N., Jamnik V.K., et al. Cardiac performance in endurance-trained and moderately active young women // Med. Sci. Sports Exerc. – 2001; 33. – P 1114–1119.
26. Gledhill N., Cox D., Jamnik R. Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function // Med. Sci. Sports Exerc. – 1994; 26. – P 1116-1121.
27. Grimby G., Nilsson N.J., Saltin B. Cardiac output during submaximal and maximal exercise in active middle-aged athletes // J. Appl. Physiol. - 1966; 21. – P 1150–1156.
28. Hudlická O. Growth of capillaries in skeletal and cardiac muscle // Circ. Res. -1982; 50. – P 451-461.
29. Ingjer F., Brodal P. Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained women // Eur. J. Appl. Physiol. – 1978; 38. – P 291-299.
30. Krip B., Gledhill N., Jamnik V., et al. Effect of alterations in blood volume on cardiac function during maximal exercise // Med. Sci. Sports Exerc. - 1997; 29. – P 1469–1476.
31. Leyk D., Essfeld D., Hoffmann U., et al. Postural effect on cardiac output, oxygen uptake and lactate during cycle exercise of varying intensity // Eur. J. Appl. Physiol. – 1994; 68. – P 30-35.
32. Milnor W.R. Hemodynamics // Williams Wilkins. - 1982. – P 136, 155.
33. Myrhae R., Hudlická O. Capillary growth in chronically stimulated adult skeletal muscle as studied by intravital microscopy and histological methods in rabbits and rats // Microvasc. Res. – 1978; 16. - P 73-90.
34. Oakley D. The athlete's heart // Heart. – 2001; 86. – P 722-726.
35. Pelliccia A. Determinants of morphologic cardiac adaptation in elite athletes: the role of athletic training and constitutional factors // Int. J. Sports Med. – 1996; 17 (Suppl. 3). – S. 157-163.
36. Proctor D.N., Beck K.C., Shen P.H., et al. Influence of age and gender on cardiac output VO_2 relationships during submaximal cycle ergometry // J. Appl. Physiol. - 1998; 84. – P 599–605.
37. Rowell L.B. Human circulation regulation during physical stress // New York: Oxford University Press. – 1986. – 432 pp.
38. Rowland T., Unnithan V., Fernhall B., et al. Left ventricular response to dynamic exercise in young cyclists // Med. Sci. Sports Exerc. – 2002; 34. – P 637-642.
39. Rusko H. Training for cross country skiing // In Rusko H. (Ed.), Handbook of sports medicine and science. Cross country skiing. Oxford, Blackwell Science Ltd. – 2003. – P 62-100.
40. Shephard R.J. The athlete's heart: is big beautiful? // Br. J. Sports Med. – 1996; 30. – P 5-10.
41. Tummavuori M. Long-term effects of physical training on cardiac function and structure in adolescent cross-country skiers. A 6.5-year longitudinal echocardiographic study. Jyväskylä, University of Jyväskylä. – 2004. - 151 p.
42. Vanfraechem J.H.P. Stroke volume and systolic time interval adjustments during bicycle ergometer // J. Appl. Physiol. - 1979; 46. – P 588–592.
43. Vella C.A., Robergs R.A. A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects // Br. J. Sports Med. - 2005; 39. – P 190–195.
44. Warburton D.E.R., Gledhill N., Jamnik V.K., et al. Induced hypervolemia, cardiac function, VO_{2max} , and performance of elite cyclists // Med. Sci. Sports Exerc. - 1999; 31. – P 800–808.
45. Warburton D.E.R., Haykowsky M.J., Quinney H.A., et al. Myocardial response to incremental exercise in endurance-trained athletes: influence of heart rate, contractility and the Frank-Starling effect // Exp. Physiol. - 2002; 87. – P 613–622.
46. Wilmore J.H. and Costill D.L. Physiology of Sport and Exercise: 3rd Edition. Champaign, IL: Human Kinetics. – 2005.