

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ БЕГУНОВ В ПЕРВЫЕ ДВА ДНЯ ДЕАККЛИМАТИЗАЦИИ ПОСЛЕ ДВАДЦАТИ ДНЕЙ ПРЕБЫВАНИЯ В ВЕРХНЕМ СРЕДНЕГОРЬЕ

А.П. Исаев, В.В. Эрлих

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Проблема транспорта и потребления кислорода и углекислого газа, кровотока внутренних органов, функциональных показателей легочной и сердечно-сосудистой системы при различных воздействиях представляет несомненный теоретический и прикладной интерес с точки зрения оптимизации подготовки спортсменов. Выявление фоновых данных, референтных границ, резервных возможностей кардиореспираторной системы, выполняющей кислородтранспортную и спектр других функций, представляет интерес в аспекте прогнозирования спортивных достижений. Горный климат оказывает большое влияние на адаптацию к гипоксии. Важное изучение климата и его последствий на деакклиматизацию на равнине и установление сроков подведения организма спортсменов к предстоящим соревнованиям является практической задачей, требующей разрешения. Обоснование прогрессивных технологий подготовки, ведущей к новым спортивным достижениям, требует получения новых фактов и их интерпретаций.

Ключевые слова: транспорт и потребление кислорода, выделение двуокиси углерода, кровотока внутренних органов, функциональные показатели легочной системы и системы кардиогемодинамики, объемный кровоток, системное давление, сосудистое сопротивление, регуляция, сосудорасширяющие факторы, системообразующие факторы.

Актуальность. Объемный кровоток в большинстве тканей контролируется в соответствии с их метаболическими потребностями. Сердечная деятельность, системное кровообращение, дыхание изучены современной наукой. Однако отдельные фрагменты регуляции состояний кардиореспираторной системы требуют получения дополнительных знаний. Это касается прежде всего функции дыхательных путей (трахея, бронхи и бронхиолы), органного кровотока, растяжимости сосудов и функции периферических сердец. Существует устоявшееся представление, что ткани организма сохраняются вместе за счет волокон соединительной ткани. Однако участки кожи удерживаются вместе благодаря интерстициальной жидкости, которая представляет собой частичный вакуум [1]. Если отрицательное давление в тканях исчезает, то в интерстициальных пространствах накапливается жидкость и развивается отек.

Организация, модель, метод исследования. Обследовались бегуны на средние дистанции (МС, КМС) в количестве 15 человек в возрасте 20–23 лет. Использовалась комплексная диагностирующая система «Analizator AMP» (Киев), позволяющая анализировать системные показатели гомеостаза. Исследование проводилось в центре оперативной оценки состояния человека с соблюдением всех условий физиологических исследований.

Результаты исследования и их обсуждение. Значения функциональных показателей дыхания, транспорта, потребления кислорода и выделения двуокиси углерода представлены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, значения функции внешнего дыхания (ФВД) значительно превосходили должные величины. Индекс Тиффно находился выше референтных границ, что позволяет говорить о повышении объема форсированного выдоха при маловариативных показателях ЖЕЛ в среднегорье и на равнине. Значения максимальной легочной вентиляции существенно не различались с данными, полученными в условиях места проживания. На легочную вентиляцию затрачивается 3–5 % общих энергозатрат тела, но во время больших тренировочных нагрузок (БТН) величина затрат возрастает в 50 раз.

Следовательно, дыхательный процесс является одним из ключевых, лимитирующих выполнение БТН. В регуляции ФВД принимают участие корково-подкорковые и местные факторы, включая мышечную систему бронхов, а также симпатические воздействия.

Уровень потребления O_2 несколько превышал верхние значения нормы, вероятно, в связи с перестрочными процессами, следующими за условиями гипоксии. Дыхательный коэффициент позволяет говорить о балансе углеводно-жировых компонентов энергообеспечения. Высокие значения транспорта O_2 , потребление кислорода на 100 г ткани головного мозга позволяют судить об адаптивно-компенсаторных сдвигах на равнине и последствии горного климата. Потребление O_2 на 1 кг массы тела, а также его абсолютная величина превосходили диапазон нормы.

Насыщение артериальной крови O_2 и потреб-

Таблица 1

Функциональные значения кардиогемодинамики спортсменов

Наименование значений	М	±m	Референтные границы
Жизненная ёмкость лёгких, см ³	3667,02	81,55	3500–4300
Легочная вентиляция, мин	8,43	0,32	4–12
Жизненный объём лёгких в фазе экспирации, см ³	1738,95	124,12	–
Максимальный воздушный поток, мин	126,97	4,87	74–116
Тест Тиффно, %	90,88	1,20	84–110
Рабочий уровень потребления кислорода, %	60,96	0,41	45–60
Время однократной нагрузки, мин	14,41	1,29	41185,00
Дыхательный коэффициент	0,89	0,01	0,8–1,2
Транспорт кислорода, мл/мин	1400,24	29,08	900–1200
Потребление O ₂ на 100 г ткани головного мозга, мл	3,96	0,26	2,8–3,4
Насыщение артериальной крови O ₂ , %	97,39	0,29	95–98
Потребление O ₂ на кг веса, мл/мин/кг	5,02	0,17	41064,00
Потребление O ₂ , мл/мин	299,52	19,87	200–250
Потребление O ₂ миокардом, мл/мин	9,07	0,02	41189,00
Индекс тканевой экстракции кислорода, мл	0,29	0,00	0,26–0,34
Выделение CO ₂ , мл/мин	327,71	11,96	119–300
Суммарное содержание CO ₂ в артериальной крови, %	37,85	1,15	32,5–46,6
Содержание CO ₂ в венозной крови, %	61,10	0,32	51–53
Скорость продукции CO ₂ , мл/мин	256,47	16,57	150–340
Индекс сосудистой проницаемости	3,61	0,07	4,165–4,335
Плотность плазмы, г/л	1052,81	0,30	1048–1055
Объём циркулирующей крови, мл/кг	71,67	0,35	68–70
Минутный объём кровообращения, л/мин	4,02	0,07	3,5–4,3
Скорость оксигинации, мл/с	252,39	2,44	260–280
Поверхность газообмена, м ²	3678,06	13,73	3500–4300
Дефицит циркулирующей крови, мл	159,19	14,87	0–250

ления O₂ миокардом оказались выше референтных границ, а индекс тканевой экстракции O₂ был в диапазоне нормы. В исследовании отмечался повышенный уровень выделения CO₂, а суммарное содержание двуокиси углерода в артериальной крови находилось в диапазоне нормы. При этом в венозной крови содержание CO₂ превосходило верхние значения референтных границ. Диффузия и парциальное давление газов находятся в пропорциональной зависимости от концентрации газов. Диффузионная емкость зависит от пропускной способности дыхательной мембраны. Существующие концепции физиологического шунта, мертвого пространства позволяют объяснить молекулярно-клеточные факторы кровообращения и дыхания [1].

Повышение выделения CO₂, его содержание в венозной крови зависит от скорости диффузии, которая превышает аналогичную O₂ в 20 раз. У бегунов наблюдался низкий индекс сосудистой проницаемости, а ОЦК был выше верхних показателей референтных границ. Скорость оксигинации находилась ниже уровня границ нормы. Увеличе-

ние интенсивности метаболизма тканей после возвращения с гор повышает PCO₂ в интерстициальной жидкости при всех уровнях кровотока.

По мнению авторов, снижение метаболизма до 1/4 от нормы вызывает падение PCO₂ до 41 мм рт. ст., что близко к его содержанию в артериальной крови (40 мм рт. ст.). В наших исследованиях суммарное содержание CO₂ в артериальной крови составило 37,85 ± 1,15 %.

В табл. 2 представлены функциональные показатели сердечно-сосудистой системы и кровотока внутренних органов бегунов.

Как следует из табл. 2, процессы распространения возбуждения в предсердиях, деполаризации в желудочках миокарда соответствовали референтным границам. Гетерометрический механизм регуляции соотносит сердечный выброс с притоком крови по венам малого круга, а гомеометрическая регуляция осуществлялась при сокращениях миокарда в ответ на изменение давления в аорте и легочных артериях. После возвращения с гор ширина третьего желудочка головного мозга превосходила значения референтных границ. Сосуды

Функциональные значения кардиогемодинамики спортсменов

Наименование значений	M	±m	Референтные границы
Сердечный выброс, мл	63,32	0,95	60–80
Интервал PQ, с	0,15	0,00	0,125–0,165
Интервал QT, с	0,38	0,00	0,355–0,4
Интервал QRS, с	0,11	0,00	0,065–0,1
Сокращение миокарда левого желудочка сердца, %	61,08	1,70	60–85
Артериальное давление систолическое, мм	119,24	4,85	–
Артериальное давление диастолическое, мм	73,17	0,62	–
Ширина третьего желудочка головного мозга, мм	5,32	0,14	4–6
Работа сердца, Дж	0,70	0,03	0,692–0,788
Сопротивление малого круга кровообращения, см/с	136,44	0,51	140–150
Центральное венозное давление, мм	102,36	7,85	70–150
Время кровообращения большого круга, с	29,56	0,40	16–23
Время кровообращения малого круга, с	4,74	0,16	4–5,5
Мозговой кровоток на 100 г ткани, мл/г	52,47	0,06	50–55
Кровоток на 1 г щитовидной железы, мл	4,20	0,04	3,7–4,3
Кровоток на 1 г мозговой ткани, мл	2,60	0,05	2,9–3,2
Давление спинно-мозговой жидкости, мл	109,07	2,39	90–145
Кровоток миокарда, %	4,66	0,03	4,32–5,02
Кровоток скелетных мышц, %	17,78	0,18	14,56–16,93
Кровоток головного мозга, %	14,85	0,25	12,82–14,9
Печёчно-портальный кровоток, %	24,01	0,16	20,28–29,86
Почечный кровоток, %	23,52	0,13	21,58–25,09
Кровоток кожи, %	6,78	0,01	7,9–9,19
Кровоток остальных органов, %	7,36	0,20	5,76–6,7
Кровоток миокарда, мл/мин	236,89	3,97	250–290
Кровоток скелетных мышц, мл/мин	878,32	11,89	930–1100
Кровоток головного мозга, мл/мин	744,80	8,23	750–800
Печёночный кровоток, мл/мин	1190,23	21,05	1690–1740
Почечный кровоток, мл/мин	1163,99	20,43	1430–1490
Кровоток кожи, мл/мин	339,81	5,51	500–535
Кровоток остальных органов, мл/мин	364,84	11,66	375–390

микроциркулярного русла в каждом органе и ткани реагировали на изменение метаболизма на равнине (потребление O₂ тканями, питательных веществ, накопление CO₂ и других метаболитов). После спуска с гор повысился кровоток остальных органов (%), снизился кровоток печени, кожи, остальных органов (мл/мин) по сравнению с референтными границами.

Сердечный выброс контролируется суммой всех местных тканевых кровотоков, а системное артериальное давление контролируется независимо от регуляции местного кровяного тканевого кровотока и минутного объема крови.

В большом круге кровообращения почти 2/3 общего периферического сопротивления приходится на мелкие артериолы. Значительно снизился в равнинных условиях кровоток скелетных мышц,

печеночный, почечный, кровоток кожи и остальных органов (ниже диапазона нормы). Кровоток зависит от растяжимости сосудов. Усиление или ослабление симпатической регуляции влияет на объем и давление крови как в артериальной, так и в венозной системе.

Существуют местная и гуморальная регуляции тканевого кровотока. Это реактивная гиперемия, активная гиперемия, метаболический и миогенный механизмы ауторегуляции кровотока при изменении артериального давления. Канальцево-клубочковая регуляция почечного кровотока, в головном мозге наряду с концентрацией O₂ в регуляции кровотока принимает участие концентрация CO₂ или ионов водорода.

Регуляция местного кровотока за 20 дней в верхнем среднегорье приобрела долговременный

характер и это сказалось через 2 дня после возвращения на равнину. В случае длительной повышенной активности органов усиленная доставка O₂ и питательных веществ тканям осуществляется за счет увеличения количества и размеров артериол и капилляров, которое происходит через несколько недель.

Эндотелиальные факторы играют ключевую роль для формирования новых кровеносных сосудов, особенно в условиях гипоксии. Их количество при необходимости может снизиться под влиянием гормональной активности. Необходимость резко увеличить кровоток возрастает под действием местных факторов, например дефицита O₂, влияния сосудорасширяющих нервов, свидетельствующих о целесообразности возрастания кровотока. Системообразующий анализ кровотока в различных органах позволяет говорить об оперативных механизмах, таких как нейрогенная и метаболическая вазодилатация, так и о долговременных механизмах, связанных с ростом многочисленных новых сосудов на протяжении мезоцикла. Гуморальная регуляция основана на поступлении в жидкие среды организма биологически активных веществ, таких как гормоны и ионы.

Полагают, что именно каналы играют специфическую роль в регуляции кровотока и выхода

жидкости из капиллярного русла, которое участвует в регуляции кровотока в сосудистой системе кожи, ЖКТ и слюнных желез [2]. Увеличение концентрации ионов кальция вызывает сужение, а ионов калия – расширение сосудов, ионы же магния вызывают еще большее расширение.

Кроме этого, ацетат и цитрат вызывают умеренное расширение сосудов. Увеличение концентрации углекислого газа вызывает расширение сосудов в большинстве изучаемых тканей, особенно в тканях головного мозга. От концентрации CO₂ зависит состояние сосудодвигательного центра головного мозга. Это не прямое влияние двуокиси углерода, опосредованное симпатической сосудорасширяющей нервной системой, приводит к повышенному сужению сосудов во всех сосудистых областях организма бегунов.

Литература

1. Гайтон, А.К. *Медицинская физиология* / А.К. Гайтон, Дж. Э. Холл. – М.: Логосфера, 2008. – 1256 с.
2. Adair, T.H. *Growth regulation of the vascular system: evidence for a metabolic hypothesis* / T.H. Adair, W.J. Gay, J.P. Montani // *Am J. Physiol.* – 1990. – Vol. 259. – P. 393.

Поступила в редакцию 14 декабря 2011 г.