

УДК 796.01:612

МОНИТОРИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ГЕМОГЛОБИНОВОЙ МАССЫ

И.И. Ахметов

ФГБОУ ВПО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», Казань, Россия
Для связи с автором: e-mail: genoterra@mail.ru

Аннотация:

Гемоглобиновая масса – это генетически детерминированный признак, рост которого (на 4–8%) наблюдается после проведения гипоксической тренировки на высоте от 2100–2500 м и более над уровнем моря. Рост гемоглобиновой массы положительно коррелирует с повышением аэробных возможностей спортсмена. Таким образом, данный признак в отличие от классических гематологических показателей может применяться для оценки эффективности гипоксической тренировки. Цель обзора – представить данные о влиянии гипоксической тренировки на гемоглобиновую массу, а также описать технологии определения гемоглобиновой массы.

Ключевые слова: гемоглобин, гемоглобиновая масса, физическая работоспособность, гипоксия, угарный газ.

EFFECTIVENESS MONITORING OF HYPOXIC TRAINING USING ANALYSIS OF HEMOGLOBIN MASS

I.I. Ahmetov

Volga region state academy of physical culture, sport and tourism, Kazan, Russia

Abstract:

Hemoglobin mass is a genetically determined trait whose growth (by 4–8%) is observed after hypoxic training at an altitude of 2100–2500 meters or more above sea level. The growth of hemoglobin mass is positively correlated with an increase in aerobic capacity of an athlete. Thus, hemoglobin mass in contrast to the classical hematological parameters can be used to assess the effectiveness of hypoxic training. The aim of the study was to provide data on the influence of hypoxic training on hemoglobin mass, and to describe technology of hemoglobin mass determination.

Key words: hemoglobin, hemoglobin mass, physical performance, hypoxia, carbon monoxide.

ВВЕДЕНИЕ

Условия гипоксии активно применяются представителями различных видов спорта для повышения работоспособности и выхода на пик спортивной формы перед основными соревнованиями [1]. Для этого с различной долей успеха используются: а) естественные условия гор (например, среднегорье: 1300–2500 м над уровнем моря); б) искусственные спортивные базы в горах; в) специальное оборудование, применяемое в городских условиях (барокамеры, климатические камеры, гипоксикаторы).

В настоящее время не вызывает сомнения положительное влияние высотной гипоксии на функциональные возможности спортсменов и на повышение результативности соревновательной деятельности спортсменов высо-

кой квалификации [2]. Правильно проведенная гипоксическая тренировка способствует повышению у спортсменов аэробной и анаэробной производительности и в конечном итоге – спортивной результативности.

Условия гипоксии стимулируют выделение почками эритропоэтина, увеличивающего образование эритроцитов и, как следствие, гемоглобина. Вначале объем плазмы уменьшается, что также способствует повышению концентрации гемоглобина, но затем постепенно возвращается к обычному уровню. В крови резко возрастает содержание эритроцитов и гемоглобина, количество которого обуславливает кислородную емкость организма. Все это обуславливает хорошо известный факт интенсивного развития физической работоспособности у спортсменов

под влиянием тренировки в условиях дефицита кислорода во вдыхаемом воздухе, какими бы средствами этот дефицит не создавался (среднегорье, барокамера, газовые смеси и др.). Однако эффективность гипоксической тренировки в значительной степени зависит от индивидуальных особенностей человека, параметров самой гипоксии (ее остроты, степени и длительности) и от соотношения параметров гипоксии и физических нагрузок, выполняемых в этих условиях [3].

Поскольку уровень гемоглобина (г/л) не всегда объективно отражает степень воздействия гипоксической тренировки на физическую работоспособность спортсмена (уровень гемоглобина может не меняться) и чаще всего не коррелирует с аэробными возможностями человека, с недавнего времени начали использовать дополнительный показатель крови – общую (г) или относительную (г/кг) гемоглобиновую массу, которая может вырасти за один цикл гипоксической тренировки на 4–8%. Оптимизированный метод определения гемоглобиновой массы путем ингаляции фиксированной порции угарного газа (СО) может быть с успехом применен в рутинной практике спортивного врача, как для мониторинга эффективности гипоксической тренировки, так и для косвенного определения фактов применения гемотрансфузии у спортсменов [4].

Цель настоящего обзора – представить данные о влиянии гипоксической тренировки на гемоглобиновую массу, а также описать технологии определения гемоглобиновой массы.

ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ МАССЫ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ВИДОВ СПОРТА

Многочисленными исследованиями было установлено, что гемоглобиновая масса зависит от таких факторов, как высота проживания над уровнем моря, вид спорта (виды спорта на выносливость, скоростно-силовые виды, игровые виды и др.), которым занимается индивид, а также возраст. Так, в работе Vcning и соавт. (2001) были представлены результаты сравнения физиологических и гематологических показателей в группах бегунов на длин-

ные дистанции, проживающих в среднегорье (Богота, Колумбия, высота 2600 м над уровнем моря), а также нетренированных лиц, резидентов Боготы и Берлина. Относительная гемоглобиновая масса (выраженная в граммах на 1 кг веса) была значимо выше в группах жителей Боготы (легкоатлеты-стайеры – $14,7 \pm 0,5$ г/кг, $P < 0,001$; нетренированные – $13,2 \pm 0,4$ г/кг, $P < 0,01$) по сравнению с жителями Берлина, проживающими на уровне моря ($11,7 \pm 0,2$ г/кг). Кроме того, во всех группах гемоглобиновая масса положительно коррелировала с уровнем максимального потребления кислорода (МПК).

В свою очередь, Steiner и Wehrlin (2011) [6] изучали различия в гемоглобиновой массе среди спортсменов-стайеров (триатлонисты и лыжники; все мужчины) трех возрастных групп (до 16 лет, от 17 до 21 года, 28 лет) и, соответственно, разной спортивной квалификации. Кроме того, спортсменов сравнивали с контрольными группами того же возраста (физически активные подростки, юноши и мужчины). Относительная гемоглобиновая масса была выше у спортсменов в двух старших возрастных группах по сравнению с контрольной группой, а также значительно выше (на 15%) у более квалифицированных (и старших по возрасту) спортсменов, чем у юных спортсменов. Та же закономерность была обнаружена и для таких показателей, как объем крови, объем эритроцитов, объем плазмы крови и максимальное потребление кислорода. Поскольку различия в гемоглобиновой массе между спортсменами-юниорами (до 21 года) и элитными стайерами статистически не отличались, авторы предположили, что рост гемоглобиновой массы лимитирован, в основном наблюдается в юном возрасте, а значит, генетически детерминирован. Это предположение подтверждается результатами крупного исследования с участием 775 близнецов, где было установлено, что уровень гемоглобина на 37% зависит от генетических факторов [7].

В недавней работе немецкие ученые [8] сравнили относительную гемоглобиновую массу спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта с преимущественным проявле-

нием выносливости (29 юниоров: каноэисты, пловцы и бегуны на длинные дистанции), и спортсменов, занимающихся ациклическими видами спорта (30 юниоров: баскетболисты, теннисисты, тяжелоатлеты). Ожидаемо, у спортсменов циклических видов спорта гемоглобиновая масса была значимо выше по сравнению со спортсменами ациклических видов спорта ($11,2 \pm 1,6$ г/кг против $9,7 \pm 1,3$ г/кг; $P < 0.001$).

Аналогичное сравнение по гематологическим показателям между немецкими представителями разных видов спорта было проведено в более ранней работе Heinicke и соавт. (2001) [9]. Бегуны на средние и длинные дистанции превосходили по гемоглобиновой массе нетренированных лиц, физкультурников, горнолыжников, пловцов, триатлонистов, велосипедистов-шоссейников (юниоров), но уступали профессиональным велосипедистам. Кроме того, гемоглобиновая масса положительно коррелировала с МПК у всех стайеров.

Изучение гематологических и физиологических показателей у 34 высококвалифицированных спортсменов, занимающихся хоккеем на траве, показало, что гемоглобиновая масса (мужчины – $12,5 \pm 0,9$ г/кг; женщины – $10,6 \pm 1,1$ г/кг) положительно коррелирует с уровнем МПК (мужчины – $55,8 \pm 4,0$ г/кг; женщины – $46,6 \pm 2,9$ г/кг), как у мужчин ($r = 0.57$; $P < 0.05$), так и у женщин ($r = 0.56$; $P < 0.05$) [10]. При этом концентрация гемоглобина не была взаимосвязана с уровнем МПК. Такое определение гемоглобиновой массы может быть использовано в качестве маркера аэробных возможностей у спортсменов, занимающихся как видами спорта на выносливость, так и игровыми видами спорта.

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ МАССЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ

Хорошо известно, что тренировка в условиях среднегорья стимулирует эритропоэз, что приводит к повышению синтеза гемоглобина и увеличению аэробных возможностей. Heinicke и соавторы (2005) [11], исследуя

влияние среднегорья (2050 м над уровнем моря) на показатели крови 10 элитных биатлонистов, показали, что тренировка в естественных гипоксических условиях в течение 3 недель значимо повышает гемоглобиновую массу (с $14,0$ до $15,3$ г/кг (прирост $9,3\%$) и объем эритроцитов у спортсменов, однако после спуска на более низкий уровень (800 м) данные показатели возвращаются к исходным значениям.

Это наблюдение подтвердилось в исследовании Wehrlin и соавт. (2006) [13], в котором приняли участие 2 группы испытуемых: 1) группа из 10 высококвалифицированных швейцарских спортсменов (5 мужчин и 5 женщин), занимающихся спортивным ориентированием, проживала на высоте 2500 м (18 часов в день), тренировалась на высоте 1800 (низкая и средняя интенсивность нагрузок) и 1000 м (высокоинтенсивные нагрузки) над уровнем моря в течение 24 дней; 2) группа сравнения из 7 высококвалифицированных швейцарских лыжников (3 мужчин и 4 женщины) проживала и тренировалась на высоте 500-1600 м над уровнем моря. У всех испытуемых изучали объем эритроцитов и гемоглобиновую массу до и после тренировочного цикла. Значимое увеличение гемоглобиновой массы было отмечено только в экспериментальной группе (с 805 ± 209 до 848 ± 225 г; $P < 0.01$; увеличение на $5,3\%$), проживавшей и тренировавшейся на больших высотах, чем группа контроля. Объем эритроцитов также увеличился только в экспериментальной группе (с 2353 ± 611 до 2470 ± 653 мк; $P < 0.01$; увеличение на $5,0\%$). Кроме того, в экспериментальной группе значимо увеличились следующие показатели: эритропоэтин сыворотки, ретикулоциты, трансферрин, гематокрит. Эти изменения сопровождались значимым увеличением максимального потребления кислорода и улучшением времени преодоления дистанции 5000 м.

Pottgiesser и соавт. (2009) [12] опубликовали результаты исследования влияния гипоксической тренировки и проживания в условиях среднегорья (1816 м) в течение 3 недель на гемоглобиновую массу у 7 элитных немецких велосипедистов-шоссейников (категория

U23). Изменения были незначительными (с 927 ± 109 до 951 ± 113 г). То же самое касалось и других показателей крови (концентрация гемоглобина, гематокрит, объем эритроцитов, объем плазмы крови, объем крови). Авторы предположили, что для изменения показателей крови у спортсменов необходимы пребывание и тренировки на высоте более 2100-2500 м над уровнем моря, что ранее уже было показано [11, 14].

Установлено, что прирост гемоглобиновой массы индивидуален; он возможен как у юных спортсменов, так и у спортсменов высокого класса. Так, в исследовании Wehrlin и Marti (2006) [14] было показано, что гемоглобиновая масса прирастает на 7,6% и 3,9% у 2 элитных бегунов на длинные дистанции (бег на 5000 м и марафонский бег, соответственно) при тренировке на высоте 1800 м и проживании в это время на уровне 2456 м над уровнем моря в течение 26 дней. После завершения такой тренировки спортсменам удалось улучшить свои соревновательные результаты (через 27-29 дней).

В недавнем двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании Siebenmann и соавт. (2012) [15] изучали влияние нормобарической гипоксии по принципу «живи высоко (3000 м) – тренируйся низко (<1200 м)» в течение 8 недель на гемоглобиновую массу 16 велосипедистов-шоссейников. Экспериментальная группа ($n = 10$) 16 часов в день пребывала в искусственных условиях гипоксии (3000 м), в то время как группа плацебо ($n = 6$) жила в нормальных условиях. Значимых различий в приросте МПК между группами обнаружено не было, как и значительной прибавки гемоглобиновой массы. Эта публикация вызвала горячие споры в среде физиологов. В частности, высказывалось мнение, что на результаты могли повлиять неправильно подобранные параметры тренировки, а также погрешности в измерении гемоглобиновой массы [16, 17]. Тем не менее авторы связали свои результаты с тем, что у многих спортсменов исходная гемоглобиновая масса была высокая и, возможно, достигла своих максимальных значений, ограниченных генетическим потенциалом. Это на самом деле

так, поскольку Robach и Lundby (2012) [18], проанализировав расхождения в результатах нескольких работ по изучению влияния гипоксической тренировки на гемоглобиновую массу, пришли к выводу, что чем больше была исходная гемоглобиновая масса у спортсменов, тем меньше она росла в результате гипоксической тренировки.

Интересные результаты по влиянию длительного пребывания (на протяжении всей жизни) в условиях среднегорья на гемоглобиновую массу велосипедистов-шоссейников и лиц, не занимающихся спортом, были продемонстрированы в работе Schmidt и соавт. (2002) [19]. В исследовании приняли участие 48 человек: 12 лиц контрольной группы (немцы), проживающих на уровне моря (K-0 м), 12 немецких велосипедистов-шоссейников, проживающих на уровне моря (C-0 м), 12 лиц контрольной группы (колумбийцы), проживающих на высоте 2600 м над уровнем моря (K-2600 м), и 12 колумбийских велосипедистов-шоссейников, проживающих на высоте 2600 м над уровнем моря (C-2600 м). Исследование показало, что длительное пребывание на высоте 2600 м над уровнем моря значительно повышает гемоглобиновую массу как у спортсменов-стайеров, так и у лиц, не занимающихся спортом.

В недавнем исследовании на протяжении 2-летнего периода с участием 45 элитных немецких пловцов Wachsmuth и соавт. (2013) [20] показали, что у пловцов рост гемоглобиновой массы возможен только в естественных гипоксических условиях (среднегорье, 2320 м) на протяжении 3-4 недель тренировок. При этом было установлено, что пол не играет роли в выраженности таких изменений. Кроме того, было обнаружено, что соревновательные результаты незначительно (-0,4%) падают сразу же после тренировки в условиях среднегорья, но повышаются (+0,8%) на 3-5-й неделе после этого периода; при этом в течение всего сезона гемоглобиновая масса положительно коррелирует с соревновательными результатами. Также было установлено, что тренировка больше повышает гемоглобиновую массу на высоте 2320 м над уровнем моря (мужчины: с $1077,4 \pm 134$ до $1149,9 \pm$

141,8 г, $P < 0.0005$; женщины: с $700,8 \pm 84,6$ до $762 \pm 86,4$ г, $P = 0.0005$), чем на высоте 1360 м над уровнем моря (мужчины: с $1055 \pm 107,1$ до $1186,6 \pm 116,3$ г, $P = 0.03$; женщины: с $691 \pm 68,5$ до $707,2 \pm 77$ г, $P = 0.012$), что согласуется с предыдущими работами.

Garvican и соавт. (2010) установили, что коэффициент вариации гемоглобиновой массы составляет от 2 до 4,4% на протяжении одного тренировочного сезона (10 месяцев) у 10 велосипедистов-шоссейников (женщины). Следует отметить, что ранее Eastwood и соавт. (2008) [22] было показано, что гемоглобиновая масса – это достаточно устойчивый показатель при отсутствии тренировочного процесса (на уровне моря). Чтобы доказать это, они измеряли у 6 физически активных мужчин гемоглобиновую массу на протяжении 114 дней (1 раз в 1-6 дней). Это свидетельствует о том, что измерение гемоглобиновой массы целесообразно для оценки тренировочного эффекта в спортивной практике.

В другой работе той же группы авторов [23] сравнивали группу подростков (11-15 лет), которые тренировались в течение 1 года на велосипеде с контрольной группой. До начала эксперимента была обнаружена положительная корреляция между относительной гемоглобиновой массой и относительным МПК ($r = 0.82$, $P < 0.0001$). Гемоглобиновая масса значимо увеличилась в экспериментальной группе только в абсолютных значениях. Авторами был сделан вывод, что анализ гемоглобиновой массы можно использовать как предиктор развития МПК среди подростков.

ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕМОГЛОБИНОВОЙ МАССЫ

Оптимизированный метод определения гемоглобиновой массы путем ингаляции фиксированной порции угарного газа (СО) имеет погрешность в 1,1% – 2,2% и может быть с успехом применен в рутинной практике, как для мониторинга эффективности гипоксической тренировки, так и для косвенного определения фактов применения гемотрансфузии у спортсменов.

Описание методики определения гемоглобиновой массы
 Необходимое оборудование: спирометр, гемоксиметр (например, OSM-3 радиометр), СО-тестер. Общая схема определения гемоглобиновой массы представлена на рисунке 1. После того как испытуемый пробудет в течение 20 минут в положении полулежа, из локтевой вены через катетер 20G забирают 2,0 мл крови для немедленного определения карбоксигемоглобина (% НbСО). Следует отметить, что в работе Hutler и соавторов (2000) [24] было показано, что вместо венозной крови можно брать и капиллярную. Тем не менее венозная кровь многими специалистами считается наиболее предпочтительным биоматериалом. Затем испытуемый должен в течение 4 мин вдохнуть 100% O_2 для полной очистки дыхательных путей от азота перед ингаляцией фиксированной порции угарного газа (СО) (рис. 2). После этого в систему подают 99 мл СО (99,997% чистоты), которым испытуемый дышит в течение 10 мин. Сразу после окончания 10-й минуты, перед отсоединением системы от дыхательных путей испытуемого, у него повторно берут кровь на анализ. Средний процент НbСО среди испытуемых составляет 1,6% до ингаляции СО и достигает 8,2% после ингаляции СО. При этом карбоксигемоглобин и [Hb] анализируют три раза на автоматизированных системах (например, радиометр AVL700; Копенгаген, Дания).

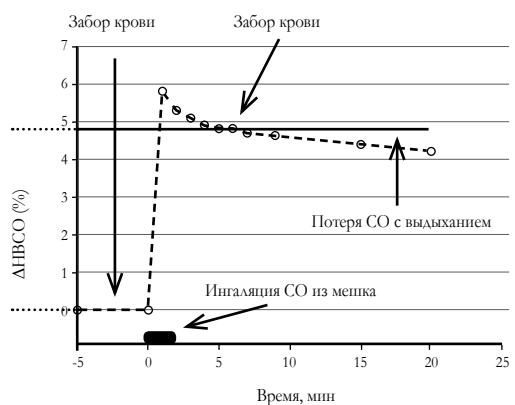


Рис. 1. Схема определения гемоглобиновой массы (по Schmidt W.)

Ниже приводится формула определения гемоглобиновой массы на основании полученных данных [25]:

Гемоглобиновая масса (г) = $K_{\text{баро}} * V_{\text{CO}} (\text{мл}) * 100 * 1,39 (\text{мл г}^{-1}) * \Delta\% \text{HbCO}^{-1}$, где $K_{\text{баро}}$ – барометрическое давление окружающей среды (mmHg) $\times 760^{-1} (\text{mmHg}) \times [1 + (0.003661 \times \text{температура окружающей среды, } ^\circ\text{K})]$, V_{CO} – объем угарного газа (мл), связанного с гемоглобином (Hb) на 7-й минуте. $\Delta\% \text{HbCO}^{-1}$ – разница между исходным % HbCO и максимальным % HbCO. 1,39 (мл г⁻¹) – число Хюфнера (1,39 мл CO связывается с 1 г гемоглобина). Программное обеспечение SpiCo позволяет проводить данные расчеты автоматически.



Рис. 2. Ингаляция фиксированной порции угарного газа из CO-мешка

Особенности теста:

1. Методика занимает в целом 15 мин.
2. Методика очень специфична и надежна (техническая погрешность < 2.0%).
3. Точность теста не зависит от диффузии CO от гемоглобина до миоглобина.
4. На точность теста не влияет использование других видов OSM3 анализаторов.
5. Кровь можно хранить при температуре -70 °C в течение 6 месяцев с сохранением точности последующего измерения.

Влияние угарного газа на организм человека:

1. Дозировка CO во время теста 50-100 мл. Максимальный эффект в плане образования COHb = 5%.
2. Физиологическое образование CO – до 30 мл в день.
3. Эффект от вдыхания CO на организм в зависимости от дозировки:

- COHb < 5% – нет эффекта;
- COHb > 5% – в редких случаях возникает головная боль;
- COHb > 10% – головная боль, головокружение, слабость;
- COHb > 20% – снижение когнитивных способностей;
- COHb > 30% – потеря сознания;
- COHb > 40% – коллапс, падение артериального давления;
- COHb > 60% – мышечные судороги, кома, угнетение дыхания, смерть.

Влияние угарного газа на физическую работоспособность:

1. Вдыхание CO в тесте временно снижает МПК на 3-4%.
2. Период полувыведения COHb – около 2 часов.
3. Уровень COHb достигает исходных значений через 8-10 часов после теста.
4. Через день после теста спортсмены, как правило, показывают хорошие соревновательные результаты, что связано с физиологическими эффектами CO в малых концентрациях.
5. Тест можно применить за 12 часов до соревнования и в любое время после его завершения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышесказанного можно сделать следующие краткие выводы. Гемоглобиновая масса – это генетически детерминированный признак, устойчивый при отсутствии тренировочного процесса. Рост гемоглобиновой массы лимитирован и в основном наблюдается в юном возрасте. Гемоглобиновая масса повышается в основном после пребывания (тренировки и проживания) на высоте 2100-2500 м и более над уровнем моря (в условиях низкогогорья изменения в гемоглобиновой массе незначительны). Гемоглобиновая масса может увеличиваться значительно лишь у тех спортсменов, у которых исходные значения гемоглобиновой массы невысокие. Рост гемоглобиновой массы положительно коррелирует с повышением аэробных возможностей человека, а значит, этот признак (в отличие от классических гематологических показателей) может применяться для оценки эффективности гипоксической тренировки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wilber RL (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Med Sci Sports Exerc* 39(9):1610-1624.
2. Saunders PU, Pyne DB, Gore CJ (2009). Endurance training at altitude. *High Alt Med Biol* 10(2):135-148.
3. Vogt M, Hoppeler H (2010). Is hypoxia training good for muscles and exercise performance? *Prog Cardiovasc Dis* 52(6):525-533.
4. Pottgiesser T, Echtele T, Sottas PE, Umhau M, Schumacher YO (2012). Hemoglobin mass and biological passport for the detection of autologous blood doping. *Med Sci Sports Exerc* 44(5):835-843.
5. Böning D, Rojas J, Serrato M, Ulloa C, Coy L, Mora M et al. (2001). Hemoglobin mass and peak oxygen uptake in untrained and trained residents of moderate altitude. *Int J Sports Med* 22(8):572-578.
6. Steiner T, Wehrli JP (2011). Does hemoglobin mass increase from age 16 to 21 and 28 in elite endurance athletes? *Med Sci Sports Exerc* ;43(9):1735-1743.
7. Garner C, Tatu T, Reittie JE, Littlewood T, Darley J, Cervino S et al. (2000). Genetic influences on F cells and other hematologic variables: a twin heritability study. *Blood* 95(1):342-346.
8. Ulrich G, Bärtsch P, Friedmann-Bette B (2011). Total haemoglobin mass and red blood cell profile in endurance-trained and non-endurance-trained adolescent athletes. *Eur J Appl Physiol* 111(11):2855-2864.
9. Heinicke K, Wolfarth B, Winchenbach P, Biermann B, Schmid A, Huber G et al. (2001). Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *Int J Sports Med* 22(7):504-512.
10. Hinrichs T, Franke J, Voss S, Bloch W, Schänzer W, Platen P (2010). Total hemoglobin mass, iron status, and endurance capacity in elite field hockey players. *J Strength Cond Res* 24(3):629-638.
11. Heinicke K, Heinicke I, Schmidt W, Wolfarth B (2005). A three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *Int J Sports Med* 26(5):350-355.
12. Pottgiesser T, Ahlgrim C, Ruthardt S, Dickhuth HH, Schumacher YO (2009). Hemoglobin mass after 21 days of conventional altitude training at 1816 m. *J Sci Med Sport* 12(6):673-675.
13. Wehrli JP, Zuest P, Hallén J, Marti B (2006). Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol* 100(6):1938-1945.
14. Wehrli JP, Marti B (2006). Live high-train low associated with increased haemoglobin mass as preparation for the 2003 World Championships in two native European world class runners. *Br J Sports Med* 40(2):e3.
15. Siebenmann C, Robach P, Jacobs RA, Rasmussen P, Nordsborg N, Diaz V et al. (2012). «Live high-train low» using normobaric hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled study. *J Appl Physiol* 112(1):106-117.
16. Schmitt L, Millet GP (2012). Ineffective normobaric LHTL: room confinement or inappropriate training intensity? *J Appl Physiol* 112(3):527.
17. Garvican LA, Saunders PU, Pyne DB, Martin DT, Robertson EY, Gore CJ (2012). Hemoglobin mass response to simulated hypoxia «blinded» by noisy measurement? *J Appl Physiol* 112(10):1797-1798.
18. Robach P, Lundby C (2012). Is live high-train low altitude training relevant for elite athletes with already high total hemoglobin mass? *Scand J Med Sci Sports* 22(3):303-305.
19. Schmidt W, Heinicke K, Rojas J, Manuel Gomez J, Serrato M, Mora M et al. (2002). Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Med Sci Sports Exerc* 34(12):1934-1940.
20. Wachsmuth NB, Völzke C, Prommer N, Schmidt-Trucksäss A, Frese F, Spahl O et al. (2013). The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers. *Eur J Appl Physiol* 113(5):1199-1211.
21. Garvican LA, Martin DT, McDonald W, Gore CJ (2010). Seasonal variation of haemoglobin mass in internationally competitive female road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 109(2):221-231.
22. Eastwood A, Hopkins WG, Bourdon PC, Withers RT, Gore CJ (2008). Stability of hemoglobin mass over 100 days in active men. *J Appl Physiol* 104(4):982-985.
23. Eastwood A, Bourdon PC, Withers RT, Gore CJ (2009). Longitudinal changes in haemoglobin mass and VO₂(max) in adolescents. *Eur J Appl Physiol* 105(5):715-721.
24. Hütler M, Beneke R, Böning D (2000). Determination of circulating hemoglobin mass and related quantities by using capillary blood. *Med Sci Sports Exerc* 32(5):1024-1027.
25. Schmidt W, Prommer N (2005). The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *Eur J Appl Physiol* 95(5-6):486-495.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Ахметов Ильдус Ильясович – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией технологий подготовки спортивного резерва ФГБОУ ВПО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма».