

© Винничук Ю. Д.

УДК 796.015.57.04:616.155.1-007.1

Винничук Ю. Д.

МАРКЕРЫ АДАПТАЦИИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ К СРЕДНЕГОРНОЙ ГИПОКСИИ

Национальный университет физического воспитания и спорта Украины (г. Киев)

vinnichukju@gmail.com

Работа выполнялась в соответствии с НИР «Здоровьесберегающая технология повышения эффективности тренировочной и соревновательной деятельности квалифицированных спортсменов», № государственной регистраций 0114U001532.

Вступление. Сегодня не вызывает сомнений позитивное влияние гипоксии, в том числе, в условиях горной подготовки, на функциональные возможности организма спортсменов высокой квалификации и повышение результативности их соревновательной деятельности. Интерес исследователей к проблеме акклиматизации к условиям среднегорья связан со значительным уменьшением парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, что позитивно влияет на работоспособность, переносимость нагрузок, деятельность функциональных систем организма спортсмена. Не менее важными опосредованными эргогенными факторами являются снижение атмосферного давления и плотности воздуха, второстепенными – силы гравитации, уменьшение влажности воздуха, повышенная солнечная радиация, пониженная температура и др. Адаптация к такой среде представляет собой сложную интегральную реакцию, в которую вовлекаются, в первую очередь кардиореспираторная и кровяная системы, внешнее дыхание и газообмен [5, 26].

При изучении механизмов адаптации к гипоксии в последние годы пристальное внимание уделяется специфическому белковому фактору, индуцированного гипоксией – HIF-1 (Hypoxia inducible factor), который регулирует важные энергетические и метаболические процессы и состоит из α - и β -субъединиц. При гипоксии происходит образование транскрипционного активного комплекса и экспрессия HIF-1-зависимых генов-мишеней, к числу которых относятся контролирующие синтез эритропоэтина (EPO), фактора роста эндотелия сосудов (VEGF), ферментов гликолиза, церулоплазмينا, NO-синтазы и многих других белков, обеспечивающих метаболическую адаптацию при снижении доступности кислорода [8, 22, 23]. В организме спортсмена HIF1 α является первичным транскрипционным фактором ответа на гипоксию, активируя гликолиз и ангиогенез [16].

Тренировки в условиях высотной гипоксии сопровождаются усилением активности HIF-1 α , увеличением уровня мРНК миоглобина, VEGF, гликолитических ферментов; отмечается также повышение плотности капилляров и митохондрий. Показано положительное влияние высоты на максимальное потребление кислорода (VO_{2max}) и мышечную массу тела [24]. При этом критически важной для скелетных мышц и

кровеносных сосудов в условиях гипоксии (острой или длительной) является HIF-1 α -зависимая активация экспрессии гена VEGF – главного ангиогенного фактора, отвечающего за рост новых кровеносных сосудов [9]. Однако, работы по изучению содержания VEGF и HIF-1 α у спортсменов при тренировках в условиях горной гипоксии малочисленны и носят в основном констатирующий характер относительно увеличения их концентрации по сравнению с исходным уровнем [17, 18, 21].

Не менее важным показателем, который отражает насыщение организма кислородом, является EPO – ключевой регулятор эритропоэза [12]. В условиях нормоксии физические нагрузки максимальной и субмаксимальной мощности практически не влияют на уровень EPO, однако, гипобарическая гипоксия приводит к увеличению его содержания уже через 1-2 часа при пребывании на высоте 1500-3000 м [20]. Хотя прямое влияние HIF-1 α на уровень EPO показано во многих исследованиях, но механизмы, которые приводят к увеличению количества клеток красной крови при физических нагрузках и тренировках в горах, окончательно не изучены [10, 15, 25].

Цель работы заключалась в формировании алгоритма использования маркеров индивидуальной адаптации квалифицированных спортсменов к тренировкам в условиях среднегорья.

Объект и методы исследования. В исследованиях участвовали представители циклического вида спорта с аэробным обеспечением мышечной деятельности (члены мужской сборной команды Украины по лыжным гонкам, $n=12$, средний возраст $25,3 \pm 6,9$ лет) на специально-подготовительном этапе подготовительного периода. Забор крови для исследований осуществляли утром натощак из локтевой вены в количестве 7 мл до начала и непосредственно по окончании тренировок в среднегорье продолжительностью 17 дней (высота над уровнем моря 2050 м; база Бельмекен, Болгария). На момент обследований спортсмены были здоровы и не предъявляли жалоб. Содержание HIF-1 α , VEGF, EPO, а также кортизола и тестостерона в сыворотке определяли иммуноферментным методом с использованием соответствующих тест-систем («Abcam», Великобритания; «Sigma», США, «ВекторБест», Россия). Измерение концентрации указанных факторов проводили на фотометре «Sunrise» (Tecan, Австрия). Также рассчитывали индекс анаболизма (ИА) как соотношение тестостерон/кортизол $\times 100\%$. Для сравнения изучали содержание перечисленных показателей в сыворотке

Таблица 1
Влияние тренировок в условиях среднегорья на показатели гематологического гомеостаза индекс анаболизма спортсменов

Исследуемые показатели	Этапы обследования		Референтные значения
	до начала	по окончании	
Эритроциты, $10^{12} \times \text{л}^{-1}$	4,8 ± 0,2	5,2 ± 0,3*	3,86-5,03
Гемоглобин, г·л ⁻¹	142 (142; 153)	154 (147; 164)	124,8-167,13
Гематокрит, %	39,1 ± 2,6	43,2 ± 2,2	38-50
Средний объем эритроцитов, фл	80,2 ± 1,7	76,8 ± 1,5*	79-88
Абсолютная концентрация гемоглобина в эритроците, пг	26,0 ± 1,42	29,7 ± 0,83*	24-32
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г·дл ⁻¹	34,9 ± 1,1	36,8 ± 3,5	30-38
Анизоцитоз, %	14,4 ± 0,42	15,1 ± 0,21	до 14
Тестостерон, нмоль·л ⁻¹	21,43 ± 2,77	26,1 ± 6,38	муж. 4,5-35,4
Кортизол, нмоль·л ⁻¹	568,5 (422; 848)	874,91 (421; 1160)	утро 109-690
Индекс анаболизма, %	4,41 ± 1,26	3,63 ± 1,49	3-8

Примечание: * – достоверно в сравнении с данными у спортсменов до начала тренировок в среднегорье ($p < 0,05$).

Таблица 2
Динамика содержания HIF-1 α , VEGF и EPO у спортсменов под влиянием тренировок в условиях среднегорья

Исследуемые показатели	Доноры	Этапы обследования	
		до начала	по окончании
HIF-1 α , нг·мл ⁻¹	0,45 ± 0,31	0,85 ± 0,25*	1,09 ± 0,27
VEGF, пг·мл ⁻¹	38,8 ± 10,6	90,0 ± 3,46*	97,75 ± 3,11**
EPO, ММЕ·мл ⁻¹	19,20 ± 2,3	22,0 (11,1; 49,85)	55,94 (19,04; 96,32)

Примечание: * – $p < 0,05$ в сравнении с данными у доноров; ** – $p < 0,05$ в сравнении с данными у спортсменов по окончании тренировок.

крови практически здоровых мужчин ($n = 10$, средний возраст $25,4 \pm 3,5$ лет), не занимающихся спортом.

Проводили также оценку показателей гематологического гомеостаза (эритроциты, гемоглобин, гематокрит, средний объем эритроцитов, абсолютная и средняя концентрация гемоглобина в эритроците, анизоцитоз) на автоматическом гематологическом анализаторе «ERMA PCE-210» (ERMA Inc., Япония) с применением аутентичных расходных материалов.

Для статистической обработки данных использовали пакет прикладных программ STATISTICA. Полученные данные анализировали на соответствие закону нормального распределения Шапиро-Уилка. Достоверность изменений показателей определяли с помощью критерия Фишера [2].

Результаты исследований и их обсуждение.

На первом этапе исследований определяли стандартные гематологические параметры, а также

индекс анаболизма, отражающего степень адаптации организма к физическим нагрузкам (табл. 1).

У спортсменов после тренировок в условиях среднегорья наблюдается рост числа эритроцитов, значительное увеличение концентрации гемоглобина, что согласуется с данными литературы [20]. Хотя достоверных отличий содержания гемоглобина, ввиду выраженных индивидуальных колебаний этого показателя, установить не удалось, у 25 % лыжников по окончании тренировок уровень гемоглобина превышал $160 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, чего не наблюдалось ни у одного спортсмена до начала тренировок. Также отмечено достоверное снижение среднего объема эритроцитов, что компенсировалось повышением абсолютной концентрации гемоглобина в эритроците ($p < 0,05$) и опосредованно обусловило улучшение кислородтранспортной функции крови [19].

При изучении ИА была отмечена тенденция к его снижению. Это может указывать на то, что учебно-тренировочные сборы в условиях среднегорья, характеризующиеся высокой стрессорностью, ухудшают соотношение катаболических и анаболических процессов в организме, поскольку, согласно данным литературы, снижение ИА менее 3 % является одним из признаков перетренированности [7].

Многочисленные работы по определению уровня HIF-1 α проведены авторами с помощью соответствующих тест-систем с использованием лизатов различных клеток (лейкоцитов, клеток ткани легких, почек, печени, мышц), в большей части – в эксперименте. Нами же были проведены исследования указанного фактора непосредственно в сыворотке крови. Подобные изучения проводилось и другими авторами, с использованием тех же тест-систем, с в нашей работе, но у больных с различными патологиями [3, 4, 14], а также у коренных жителей высокогорья [11] для уточнения изменений в течение того или иного патологического или физиологического процесса.

Проведенные нами исследования показали, что до начала среднегорной подготовки содержание изученных показателей в сыворотке крови спортсменов характеризуется значительными индивидуальными колебаниями, а концентрации VEGF и HIF-1 α у спортсменов достоверно выше ($p < 0,05$) чем у практически здоровых (доноры) лиц (табл. 2).

Под влиянием тренировок в среднегорье у лыжников возрастает содержание всех исследованных показателей; достоверным повышением характеризуется VEGF ($p < 0,05$). Выраженные в различной степени изменения концентрации исследуемых показателей спортсменов, которые тренировались в среднегорье, являются адаптативным ответом на снижение содержания кислорода в окружающей среде и, одновременно, теоретической основой для использования

Таблица 3
Значения VEGF и гемоглобина (Hb) у спортсменов
после тренировок в среднегорье в зависимости от со-
держания HIF-1 α

Исследуемые показатели	Группы спортсменов и этапы обследования			
	I группа (n=4)		II группа (n=8)	
	до начала	по оконча- нии	до начала	по окончании
HIF-1 α , нг \times мл ⁻¹	1,14 \pm 0,08	1,26 \pm 0,06 #	0,68 \pm 0,12 *	1,03 \pm 0,31
VEGF, пг \times мл ⁻¹	88,0 \pm 3,46	95,75 \pm 2,5 #	91,0 \pm 3,21 *	98,71 \pm 2,25 **
Гемоглобин, г \times л ⁻¹	143,25 (129; 150)	150,25 (140; 156)	130,0 (121; 151)	153,71 (131; 165)
Индекс анаболизма, %	4,37 \pm 1,17	3,86 \pm 2,11 #	3,09 \pm 0,92 *	2,79 \pm 0,52

Примечание: # – достоверно в сравнении с данными той же группы до начала тренировок (p<0,05); * – достоверно в сравнении с данными I группы до начала тренировок (p<0,05); ** – достоверно в сравнении с данными I группы по окончании тренировок (p<0,05).

такой методологии увеличения физической работоспособности через активизацию процессов ангиогенеза и эритропоэза без интенсификации тренировочных нагрузок и использования дополнительных фармакологических средств.

Повышение концентрации VEGF свидетельствует об улучшении кровообращения путем увеличения плотности капилляров тканей организма [13], в том числе и в мышечных волокнах, и может рассматриваться как адаптивный механизм при длительном воздействии гипоксии. Разрастание сосудистой сетки создает дополнительные резервы для снабжения органов кислородом и энергетическими ресурсами, что очень важно для видов спорта с преимущественно аэробным обеспечением мышечной деятельности. В то же время увеличение емкости сосудистого русла снижает его общее сопротивление, приводит к замедлению кровообращения в отдельных сосудах на фоне одновременного увеличения кровоснабжения работающих мышц [21].

Учитывая полученный большой диапазон колебаний данных при оценке уровня указанных факторов, чувствительных к недостатку кислорода, спортсмены по показателям концентрации HIF-1 α в сыворотке крови были разделены на две группы; I из которых составили спортсмены с исходным уровнем указанного фактора выше 1,0 нг \times мл⁻¹, II группу – с содержанием фактора от 0,51 до 0,81 нг \times мл⁻¹. До начала тренировок показатели HIF-1 α , VEGF и ИА достоверно отличались у спортсменов первой и второй групп (p<0,05). Достоверных отличий содержания гемоглобина не было установлено (табл. 3).

После тренировок в среднегорье у спортсменов II группы отмечался более высокий уровень VEGF по сравнению с результатами в I группе (p<0,05). Хотя достоверных отличий концентрации гемоглобина

установить не удалось, однако можно отметить, что по окончании тренировок у 3 из 8 спортсменов II группы (37,5%) содержание указанного показателя превышает 160 г \times л⁻¹, чего не наблюдалось у лыжников I группы. При этом ИА спортсменов II группы после тренировок был ниже 3%, в отличие от спортсменов I группы, что расценивается нами как один из признаков перетренированности.

Высокие концентрации ЕРО после тренировок в условиях среднегорья были отмечены у спортсменов обеих групп: 58,57 мМЕ \times мл⁻¹ (от 19,04 до 96,32 мМЕ \times мл⁻¹) и 68,25 мМЕ \times мл⁻¹ (от 36,22 до 90,50 мМЕ \times мл⁻¹). Однако при анализе прироста указанного показателя было отмечено, что он значительно у представителей II группы: у 4 из 8 спортсменов прирост уровня ЕРО был выше

60 мМЕ \times мл⁻¹, чего не наблюдалось ни у одного лыжника I группы. Ассоциации с другими показателями гематологического гомеостаза у спортсменов обеих групп не выявлено.

Объяснить механизмы, опосредующие такую динамику показателей в обеих группах спортсменов, достаточно сложно, что безусловно, требует дальнейших исследований. Однако известно, что уровень HIF-1 α в организме является генетически детерминированным [1]. Также существуют данные о различной устойчивости к гипоксии добровольцев-доноров, которые изначально отличаются по состоянию параметров красной крови, функциональной активности иммунной системы и выраженности реакции на гипоксические тренировки [6]. Вероятнее всего, квалифицированные спортсмены также имеют разную устойчивость к гипоксии окружающей среды и физическим нагрузкам в таких условиях, а соответственно, и различные адаптационные механизмы.

Выводы. Использование предложенного алгоритма определения комплекса современных показателей позволяет охарактеризовать функциональное состояние организма спортсмена, определить индивидуальные особенности его реакции на гипоксию гор, и, следовательно, оценить необходимые сроки тренировок в условиях среднегорья при использовании подобной технологии стимуляции физической работоспособности спортсменов.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в углублении изучений повышения индивидуальной оценки характеристик, указывающей на перспективные реакции со стороны процессов ангиогенеза и эритропоэза в динамике тренировок в среднегорье, а также по их окончании для решения вопроса о сроке подведения спортсмена к пику спортивной формы.

Литература

1. Ахметов И. И. Молекулярно-генетические маркеры предрасположенности к различным видам спорта / И. И. Ахметов // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2010. – Т. 7, №65. – С. 3–6.
2. Ланг Т. Как описывать статистику в медицине: руководство для авторов, редакторов и рецензентов / Т. Ланг, М. Сесик. – М.: Практическая медицина, 2011. – 480 с.

- Левина А. А. Регуляция гомеостаза кислорода. Фактор, индуцированный гипоксией (HIF) и его значение в гомеостазе кислорода / А. А. Левина, Ю. И. Мамукова, А. Б. Макешова [и др.] // Педиатрия – 2009. – Т. 87, № 4. – С. 92–97.
- Макешова А. Б. Динамическое определение β -эндорфина у гематологических больных / А. Б. Макешова, Ю. И. Мамукова, А. А. Левина [и др.] // Терапевтический архив – 2012. – № 7. – С. 22–25.
- Платонов В. Н. Периодизация спортивной подготовки. Общая теория и ее практическое применение / В. Н. Платонов – К. : Олимп. лит-ра, 2013. – 624 с.
- Серебровська Т. В. Вміст гемопоетичних стовбурових клітин у крові та особливості імунного статусу людей з різною стійкістю до гіпоксії / Т. В. Серебровська, І. С. Нікольський, Л. І. Тарануха [та ін.] // Фізіол. журн. – 2012. – Т. 58, № 3. – С. 9–17.
- Таймазов В. А. Синдром перетренованності у спортсменів: ендогенна інтоксикація і фактори вродженого імунітету / В. А. Таймазов, І. А. Афанасьєва // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2011. – Вып. 12, № 82. – С. 24–30.
- Airley R. Hypoxic regulation of glucose transport, anaerobic metabolism and angiogenesis in cancer: novel pathways and targets for anticancer therapeutics / R. Airley, A. Mobasher / Chemotherapy. – 2007. – Vol. 53. – P. 233–256.
- Breen E. Skeletal muscle capillarization during hypoxia: VEGF and its activation / E. Breen, K. Tang, M. Olfert [et al.] // High Alt. Med. Biol. – 2008. – Vol. 9, № 2. – P. 158–166.
- Chapman R. F. Individual variation in response to altitude training / R. F. Chapman, J. Stray-Gundersen, B. Levine // Appl. Physiol. – 1998. – Vol. 85. – P. 1448–1456.
- Guan W. Serum levels and significance of HIF-1 α and HIF-2 α in healthy Tibetan and Han residents at different altitudes / W. Guan, X. Li, Y. Yang [et al.] // Zhonghua Yi Xue Za Zhi. – 2013. – Vol. 93, № 38. – P. 3057–3059.
- Jelkmann W. Erythropoietin / W. Jelkmann // J. Endocrinol. Invest. – 2003. – Vol. 26, № 9. – P. 832–837.
- Jia Z. Z. Correlations between serum hypoxia inducible factor-1 α , vascular endothelial growth factor and computed tomography perfusion imaging at pre-and post-TACE in patients with primary hepatic carcinoma / Z. Z. Jia, Y. Q. Huang, Y. L. Feng, G. M. Jiang // Zhonghua Yi Xue Za Zhi. – 2013. – Vol. 93, № 19. – P. 1472–1475.
- Liang J. Serum tumor markers, hypoxia-inducible factor-1 α HIF-1 α and vascular endothelial growth factor, in patients with non-small cell lung cancer before and after intervention / J. Liang, Y. Qian, D. Xu [et al.] // Asian Pac. J. cancer Prev. – 2013. – Vol. 14, № 6. – P. 3851–3854.
- Mairbdurl H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells / H. Mairbdurl // Front. Physiol. – 2013. – Vol. 12, № 4. – P. 332–326.
- Mason S. The role of HIF-1 in hypoxic response in the skeletal muscle / S. Mason, R. Johnson // Adv. Exp. Med. Biol. – 2007. – Vol. 618. – P. 229–244.
- Ogata T. Effects of genetic variations in HIF-1 α on physiological response to hypoxia / T. Ogata, K. Tokizawa, S. Kajikawa, I. Muraoka // Sports Science Research. – 2011. – Vol. 8. – P. 296–305.
- Pialoux V. Oxidative stress and HIF-1 alpha modulate hypoxic ventilatory responses after hypoxic training on athletes / V. Pialoux, J. Brugniaux, N. Fellmann [et al.] // Respir. Physiol. Neurobiol. – 2009. – Vol. 167, № 2. – P. 217–220.
- Robach P. The role of haemoglobin mass on VO(2)max following normobaric 'live high-train low' in endurance-trained athletes / P. Robach, C. Siebenmann, R. A. Jacobs [et al.] // Br. J. Sports Med. – 2012. – Vol. 46, N 11. – P. 822–827.
- Sawka M. N. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness / M. N. Sawka, V. A. Convertino, E. R. Eichner [et al.] // J. Med. Sci. Sports Exerc. – 2000. – Vol. 32, № 2. – P. 332–348.
- Schuler B. HIF-1 and the adaptation of man to high altitude / B. Schuler, C. Lundby, M. Gassmann // Schweizerische Zeitschrift für "Sportmedizin und Sporttraumatologie". – 2005. – Vol. 53, № 2. – P. 82–87.
- Semenza G. L. Transcriptional regulation of genes encoding glycolytic enzymes by hypoxia-inducible factor 1 / G. L. Semenza, P. H. Roth, H. M. Fang [et al.] // J. Biol. Chem. – 1994. – Vol. 38. – P. 23757 – 23763.
- Semenza G. L. Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine / G. L. Semenza // Cell. – 2012. – Vol. 148, № 3. – P. 399–408.
- Vogt M. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions / M. Vogt, A. Puntschart, J. Geiser [et al.] // J. Appl. Physiol. (1985). – 2001. – Vol. 91, № 1. – P. 173–182.
- Voss S. Variability of serum markers of erythropoiesis during 6 days of racing in highly trained cyclists / S. Voss, M. Alsayrafi, P. Bourdon [et al.] // Int. J. Sports Med. – 2014. – Vol. 35, № 2. – P. 89–94.
- Wilber R. L. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes / R. L. Wilber // Med. Sci. Sport Exerc. – 2007. – Vol. 39, № 9. – P. 16110–1624.

УДК 796.015.57.04:616.155.1-007.1

МАРКЕРИ АДАПТАЦІЇ КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ ДО СЕРЕДНЬОГІРНОЇ ГІПОКСІЇ

Винничук Ю. Д.

Резюме. У статті вивчено вплив тренувань в умовах середньогір'я на вміст у сироватці крові індукованого гіпоксією фактора HIF-1 α , фактора росту ендотелію судин (VEGF) і еритропоєтину (EPO) у спортсменів, що спеціалізуються в лижних гонках. Показано, що після тренувань у спортсменів з початковою концентрацією HIF-1 α , нижчою за 1,0 нг \times мл $^{-1}$, спостерігається більш високий рівень VEGF, більш значний приріст концентрації EPO в порівнянні зі спортсменами, у яких вихідний рівень HIF-1 α був вищий за 1,0 нг \times мл $^{-1}$. Розглянута можливість використання зазначених показників як маркерів індивідуальної адаптації до тренувань в умовах гіпоксії гір.

Ключові слова: тренування в умовах середньогір'я, HIF-1 α , ангиогенез, еритропоєз, адаптація.

УДК 796.015.57.04:616.155.1-007.1

МАРКЕРЫ АДАПТАЦИИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ К СРЕДНЕГОРНОЙ ГИПОКСИИ

Винничук Ю. Д.

Резюме. В статье изучено влияние тренировок в условиях среднегорья на содержание в сыворотке крови индуцированного гипоксией фактора HIF-1 α , фактора роста эндотелия сосудов (VEGF) и эритропоэтина (EPO)

у спортсменов, специализирующихся в лыжных гонках. Показано, что после тренировок у спортсменов с начальной концентрацией HIF-1 α , ниже 1,0 нг \times мл⁻¹, наблюдается более высокий уровень VEGF, более значительный прирост концентрации EPO по сравнению с спортсменами, у которых исходный уровень HIF-1 α был выше 1,0 нг \times мл⁻¹. Рассмотрена возможность использования указанных показателей в качестве маркеров индивидуальной адаптации к тренировкам в условиях гипоксии гор.

Ключевые слова: тренировки в условиях среднегорья, HIF-1 α , ангиогенез, эритропоэз, адаптация.

UDC 796.015.57.04:616.155.1-007.1

Markers of Adaptation of Skilled Athletes to Altitude Hypoxia

Vinnichuk Yu. D.

Abstract. *Introduction.* Today it is known a positive affect altitude hypoxia on the functionality and improve the competitive activity of the skilled athletes. Systems approaches to adaptation in altitude training, which is to analyze the adaptive mechanisms of compensatory resources, raising the resistance to the stressors action at various levels, as well as the search for new criteria for evaluating and predicting physical performance – some of the current issues of medical and biological aspects of elite sport. The influence of hypoxia on the organism leads to the activation of several cellular mechanisms that compensate for a limited availability of cellular oxygen. Hypoxia-inducible factor-1 α (HIF-1 α) is an oxygen-regulated transcriptional activator, controls a number of gene that are implicated in various cellular functions including glycolysis, cell proliferation and differentiation. Also one of the cellular mechanisms is to increase the expression of a subset of hypoxia-inducible genes is the vascular endothelial growth factor (VEGF). VEGF expression is critically important for skeletal muscle angiogenesis. With the increased expression of HIF-1 α associated synthesis of erythropoietin (EPO) – a key regulator of erythropoiesis. Although altitude training appears to be effective for improved performance, there is an individual difference in the extent of adaptation to hypoxia.

The *aim* of the present work was to form the algorithm of markers individual adaptation to altitude training of skilled athletes.

Materials and methods. We observed 12 skilled skiers, members of all-Ukraine team, before and 17 days after altitude training. Quantitative content of serum level of HIF-1 α , VEGF, EPO, cortisol and testosterone examined by ELISA using sets of reagents firm "VectorBest" (Russia). The contents of oxygen-sensitive factors and hormones were measured with the photometer "Sunrise" (Tecan, Austria). We also calculated the ratio of the contents of testosterone to cortisol (index of anabolism). Hematology homeostasis was assessed on automatic hematology analyzer "ERMA PCE-210".

Results. The findings showed an increased the number of erythrocytes, a significant increase of hemoglobin concentration after altitude training. Also significantly reduced of mean cell volume and increased of mean cell hemoglobin which indirectly indicates improvement of blood oxygen-transport properties. The index of anabolism is showing a tendency to decrease. Also has been shown that after altitude training level of VEGF in skiers was increased ($p < 0,05$). The serum levels of HIF-1 α and EPO had tendency to increase. It should be noted that in healthy donors who are not actively involved in sports, levels of HIF-1 α and EPO were lower ($p < 0,05$) than those of athletes.

Considering the significant variation in the individual dates, skiers were divided into two groups in the initial level (before altitude training) of HIF-1 α . The first group includes athletes who HIF-1 α levels was less than 1,0 нг \times мл⁻¹ (from 0,51 нг \times мл⁻¹ to 0,81 нг \times мл⁻¹), the second group includes athletes who HIF-1 α levels was higher than 10 нг \times мл⁻¹. Before the start of training serum levels of HIF-1 α , VEGF and index of anabolism were significantly different in athletes first and second groups ($p < 0,05$). After altitude training in athletes who had initial level of HIF-1 α less than 1,0 нг \times мл⁻¹ observed higher VEGF levels ($98,71 \pm 2,25$ pg \times мл⁻¹), a significant increase of EPO concentration (more than 60,0 mU \times мл⁻¹) compared with the athletes whose have initial level of higher than 1,0 нг \times мл⁻¹ ($95,75 \pm 2,5$ pg \times мл⁻¹ and less than 20,0 mU \times мл⁻¹ respectively).

Conclusion. Definition of such a modern markers allows us to characterize the functional state of an athlete, to determine the individual response to altitude hypoxia and the necessary terms of training for the formation of the physical workability stimulation technology.

Keywords: altitude training, HIF-1 α , angiogenesis, erythropoiesis, adaptation.

Рецензент – к. біол. н. Гуніна Л. М.

Стаття надійшла 31. 03. 2015 р.