

УДК 612.821

## СРАВНЕНИЕ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЛИПИДНОГО ПРОФИЛЯ СЫВОРОТКИ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОДЪЕМЕ НА ВЫСОТУ СРЕДНЕГОРЬЯ

© 2011 г. Р. С. Минвалеев

Санкт-Петербургский государственный университет

Поступила в редакцию 03.03.2010 г.

Рассматриваются антиатерогенные изменения липидного профиля сыворотки крови в различных условиях: 1) горноклиматическое лечение на курортах кавказского среднегорья, 2) периодическая гипобарическая терапия, 3) треккинг в среднегорье с регулярными холодовыми испытаниями на фоне выполнения специальных упражнений для повышения холодоустойчивости (тибетская йога туммо). Применением экспоненциальной модели выполнено сравнение скоростей изменения общего холестерина, холестерина в составе липопротеидов высокой (ЛПВП), низкой (ЛПНП) и очень низкой плотностей, а также триглицеридов в сыворотке крови. Применением нового вычислительного алгоритма доказано, что наибольшая скорость антиатерогенных изменений липидного профиля крови (снижение общего холестерина и ЛПНП, повышение ЛПВП) характерна для сочетания высотной гипоксии, умеренных физических нагрузок и выполнения специальных упражнений для повышения холодоустойчивости (тибетская йога туммо).

*Ключевые слова:* липидный профиль, индекс атерогенности, высотная гипоксия, холодоустойчивость.

Развиты результаты наших работ [1, 2], в которых мы исследовали липопротеидный профиль сыворотки крови при подъеме на высоту в сочетании с регулярным выполнением специальных упражнений для повышения холодоустойчивости организма человека, историческим аналогом которых является тибетская йога туммо [3].

Согласно содержанию ряда работ [4–16], подъем человека в горы может изменять липидный профиль крови. Интерес исследователей вызывают антиатерогенные изменения липидного профиля (снижение общего холестерина (ХС) и увеличение антиатерогенных липопротеидов высокой плотности (ЛПВП)) при проживании в среднегорье [4, 5], что позволяет использовать горный климат и высотную гипоксию, в том числе для устранения дислипидопротеидемий, в профилактике и санаторно-курортном лечении атеросклеротических изменений артериальных сосудов [7, 12–16]. Однако антиатерогенные влияния горного климата и высотной гипоксии на липидный профиль сыворотки крови не подтверждаются в контрольных исследованиях. Австрийские исследователи не обнаружили у 22 мужчин с метаболическим синдромом антиатерогенных изменений липидного профиля после 3 недель пребывания на высоте 1500–2500 м в австрийских Альпах [9]. Более того, накапливаются противоположные данные об увеличении риска атеросклероза сердечно-сосудистой системы при

проживании на высоте в связи с увеличением уровня холестерина в крови. Так в работе [10] зафиксировано, что акклиматизация к высоте 3105 м повысила содержание общего холестерина в среднем с 177 до 190 мг/дл ( $p < 0.002$ ) и привела к существенному возрастанию риска атеросклеротической патологии. В недавнем многоцентровом исследовании, проведенном в Швейцарии и опубликованном в 2008 году, на большом числе испытуемых ( $n = 19272$ ), также не обнаружено значимых изменений содержания холестерина в сыворотке крови при проживании на высоте [11].

Сформулируем противоречие. С одной стороны, подъем и пребывание на высоте применяются как горноклиматическое лечение атеросклероза и немедикаментозная профилактика атерогенных дислипидопротеидемий [1–4, 7–9, 12–18]. С другой стороны, антиатерогенные влияния умеренной высотной гипоксии на липидный состав крови не подтверждаются контрольными исследованиями на достаточно больших выборках [6, 10, 11].

По нашему мнению, данное противоречие отражает разную степень гипоксического воздействия на организм человека. Сочетание высотной (пониженное барометрическое давление) и рабочей (дозированная физическая нагрузка) гипоксии характеризует условия, при которых в ряде исследований были найдены антиатерогенные изменения липидного профиля испытуемых (снижение общего холестерина и повышение

**Таблица 1.** Содержание общего холестерина в крови в процессе лечения ( $X \pm m$ )

Возрастная группа	Частота благоприятного эффекта (число больных)	Уровень общего холестерина в крови, ммоль/л	
		в начале курса	в конце курса
1	2	3	4
41–50 лет	17 из 18	$7.77 \pm 0.163$	$6.68 \pm 0.173$
51–60 лет	21 из 28	$7.69 \pm 0.158$	$6.63 \pm 0.224$
Старше 60	13 из 19	$7.64 \pm 0.198$	$6.93 \pm 0.186$

**Таблица 2.** Содержание липидов в сыворотке крови больных, перенесших крупноочаговый инфаркт миокарда, до и после пребывания в условиях среднегорья в течение 30 дней ( $X \pm m$ )

Показатель	До лечения	Сразу после лечения
Общий холестерин (ХС), мг/дл	$241 \pm 5.05$	$228 \pm 6.51$
Холестерин ЛПВП, мг/дл	$37.5 \pm 0.95$	$42.9 \pm 1.01^*$
Триглицериды (ТГ), мг/дл	$215.3 \pm 10.3$	$170.8 \pm 11.2^*$
Холестерин ЛПНП, мг/дл	$161.0 \pm 6.78$	$155.9 \pm 6.51$
Холестерин ЛПОНП, мг/дл	$44.4 \pm 2.03$	$35.0 \pm 2.51^*$
Индекс атерогенности (ИА), отн. ед.	$5.42 \pm 0.43$	$4.32 \pm 0.54$

ЛПВП). Речь идет о различных вариантах спортивного или санаторного режима пребывания в среднегорье и высокогорье [1–4, 7–9, 12–18]. Наоборот, пассивное проживание или подъем на высоту без сопутствующих физических нагрузок могут привести и приводят к противоположным изменениям липидного профиля сыворотки крови здоровых и больных людей [5, 6, 10, 11].

Предполагая, что условиями, определяющими антиатерогенные изменения липидного профиля (снижение общего холестерина и липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) и повышение ЛПВП) при горноклиматическом лечении дислипидопротеидемий, являются сочетание высотной и рабочей гипоксии на фоне регулярных холодовых воздействий (горноклиматическое лечение), мы поставили перед собой задачу сравнения скоростей изменения липидного профиля при различных вариантах изолированного и сочетанного гипоксического и климатического воздействий.

## МЕТОДИКА

Сравнению были подвергнуты результаты измерений липидного профиля, в которых зарегистрировано изменение содержания холестерина липидных фракций при пребывании в горах на ограниченном интервале времени (не больше 30 дней). Выбор отечественных работ обусловлен тем, что горноклиматическая коррекция атерогенных дислипидопротеидемий в кардиологии

достаточно широко применялась именно в отечественных санаториях, расположенных на курортах среднегорья [12–16].

Из содержания работы [15] мы извлекли численные данные об изменении общего холестерина в процессе лечения на Пятигорском курорте (табл. 1).

*Замечание.* В целях удобства для последующего аналитического сравнения скоростей изменения содержания липидов численные данные по первым двум возрастным группам были объединены в одну выборку, для которой суммированы точечные оценки начальных и центральных моментов обеих возрастных групп (согласно содержанию свойств суммы математических ожиданий и дисперсий, а также в силу независимости разбиений по возрастам, такие действия правомерны ([19], с. 81, 91). Вновь вычисленные средневзвешенные (с учетом общего количества обследованных в каждой из двух групп – столбец 2 в табл. 1) значения уровней общего холестерина по объединенной выборке далее были представлены в мг/дл: до лечения ( $X \pm m$ ) –  $297 \pm 11.6$  мг/дл, после лечения –  $260 \pm 13.1$  мг/дл.

Из содержания работы [14] мы извлекли численные данные об изменении липидного профиля, которые представлены в табл. 2.

*Замечание.* Несмотря на то, что по ряду показателей изменения недостоверны (достоверные различия с учетом указанного числа испытуемых ( $n = 225$ ) помечены знаком\* [14]), в дальнейшем для решения задачи сравнения скоростей изменения липидов будут использованы только средние арифметические найденных характеристик ( $X$ ).

Из содержания работы [16] мы извлекли численные данные об изменении липидного профиля под воздействием 22-дневной адаптации к периодической барокамерной гипоксии (табл. 3).

*Замечание.* В целях удобства для последующего аналитического сравнения скоростей изменения содержания липидов во второй строке у каждого показателя приведены их численные значения в мг/дл (коэффициент пересчета численных значений содержания липидов из ммоль/л в мг/дл для холестерина и его фракций в составе липопротеидов принят равным 38.6, для триглицеридов – 88.55).

Наши собственные исследования были проведены в среднегорье Гималаев весной 2008 года и были посвящены влиянию на липопротеидный профиль сыворотки крови комплексного воздействия условий, близких к горноклиматическому лечению, применяемому на курортах бывшего СССР [12–14]: сочетание высотной гипоксии с регулярной физической нагрузкой (треккинг), к которым мы добавили выполнение упражнений адаптированной тибетской йоги туммо [3].

Всего обследовано 16 здоровых человек (8 мужчин и 8 женщин) в возрасте от 19 до 50 лет,

**Таблица 3.** Влияние адаптации к периодической барокамерной гипоксии (АПБГ) на уровень липидов крови больных ишемической болезнью сердца ( $X \pm m$ )

Показатель	До АПБГ(1) $n = 46$	После АПБГ(2) $n = 46$	$P_{1-2}$
ХС, ммоль/л	$5.29 \pm 0.14$	$4.96 \pm 0.10$	<0.002
ХС, мг/дл	$204.2 \pm 5.4$	$191.6 \pm 3.86$	
ЛПВП, ммоль/л	$1.28 \pm 0.05$	$1.36 \pm 0.04$	<0.02
ЛПВП, мг/дл	$49.4 \pm 1.93$	$52.5 \pm 1.54$	
ЛПОНП, ммоль/л	$0.30 \pm 0.018$	$0.26 \pm 0.016$	<0.01
ЛПОНП, мг/дл	$11.58 \pm 0.7$	$10 \pm 0.6$	
ЛПНП, ммоль/л	$3.70 \pm 0.14$	$3.33 \pm 0.11$	<0.0004
ЛПНП, мг/дл	$142.8 \pm 5.4$	$128.5 \pm 4.25$	
ТГ, ммоль/л	$1.49 \pm 0.09$	$1.29 \pm 0.08$	<0.007
ТГ, мг/дл	$131.9 \pm 7.97$	$114.2 \pm 7.1$	
ИА, отн. ед.	$3.56 \pm 0.27$	$2.83 \pm 0.17$	<0.0001

Примечание. Расшифровку аббревиатур см. в тексте.

которые с 27.04 по 08.05.2009 находились в среднегорье (2000–3000 м, долина Куллу, Гималаи) и ежедневно выполняли умеренные физические нагрузки (треккинг в среднегорье), а также подвергались холодовым испытаниям на фоне выполнения упражнений для повышения теплопродукции на основе тибетской йоги туммо. Заборы проб крови осуществляли утром натощак из локтевой вены в 1-й и 10-й дни пребывания в условиях среднегорья (Гималаи) на высоте 1500 м в лаборатории селения Патликуль (штат Химачал Прадеш, Индия), и на 5-й день – на высоте 3000 м в ущелье Дунди (там же). В лаборатории селения Патликуль проводилось центрифугирование и отбор плазмы для последующего определения липидного профиля на полуавтоматическом биохимическом анализаторе Erba Chem-5 Plus v.2 закрытого типа фотометрическим методом.

Для доказательства достоверности найденных изменений липидного профиля мы применили непараметрический парный критерий Вилкоксона для связанных выборок, поскольку законы

распределения изучаемых случайных величин априори неизвестны [20]. Тогда при уровне значимости  $\alpha = 0.05$  (вероятность ошибки первого рода) доказана достоверность следующих изменений липидного профиля между 1-м и 10-м днем пребывания в среднегорье на фоне регулярных физических нагрузок: 1) снижение уровня общего холестерина; 2) возрастание уровня холестерина в составе липопротеидов высокой плотности; 3) снижение уровня холестерина в составе липопротеидов низкой плотности; 4) неизменность уровня холестерина в составе липопротеидов очень низкой плотности; 5) неизменность уровня триглицеридов (ТГ); 6) снижение индекса атерогенности (ИА).

Однако в целях единообразия представления статистических оценок для последующего сравнения скоростей изменения липидного профиля мы вынуждены и в нашем случае использовать точечные оценки выборочного среднего арифметического и среднеквадратического отклонения, считая априори, что найденные нами численные значения могут быть описаны параметрами нормального (гауссовского) распределения ( $X \pm s(m)$ ). Хотя для нашей выборки ( $n = 16$ ) найти адекватный закон распределения случайной величины не представляется возможным [20, 21].

*Замечание.* В табл. 1, 2, 3 и 4 численные значения липидного профиля крови представлены в виде ( $X \pm s(m)$ ), где  $X$  – среднее арифметическое,  $s$  – выборочное среднеквадратическое отклонение,  $m = \frac{s}{\sqrt{n}}$  – стандартная ошибка среднего. Однако для решения задачи сравнения скоростей

изменения липидов нам потребуются только численные значения средних арифметических  $X$ , поэтому выборочное среднеквадратическое отклонение  $s$  и стандартная ошибка среднего  $m$  в дальнейшем использоваться не будут.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Математическая модель изменения липидов сыворотки крови.** В работах [1, 2, 17] описаны антиа-

**Таблица 4.** Изменения липидного профиля на 1, 5 и 10 дни пребывания в среднегорье Гималаев практически здоровых людей ( $n = 16$ ) в условиях умеренной физической нагрузки и холодовых испытаний (тибетская йога туммо)

Показатель	Содержание в крови		
	на 1 день	на 5 день	на 10 день
Общий холестерин (ХС), мг/дл	$192.1 \pm 27.7(6.9)$	$177.4 \pm 20.3(7.17)$	$173.6 \pm 18.7(4.7)$
Холестерин ЛПВП, мг/дл	$34.2 \pm 5.6(1.4)$	$38.25 \pm 3.2(1.15)$	$40.8 \pm 5.0(1.45)$
Холестерин ЛПНП, мг/дл	$132.4 \pm 32.4(8.1)$	$120.1 \pm 12.9(4.55)$	$114.4 \pm 14.3(3.6)$
Холестерин ЛПОНП, мг/дл	$20.6 \pm 7.7(1.9)$	$19 \pm 7.6(2.7)$	$18.4 \pm 5.4(1.35)$
Триглицериды (ТГ), мг/дл	$101.1 \pm 40.2(10)$	$96.25 \pm 37.2(13.2)$	$92.4 \pm 26.9(6.7)$
Индекс атерогенности (ИА), отн. ед.	$4.7 \pm 1.1(0.26)$	$3.65 \pm 0.41(0.14)$	$3.37 \pm 0.62(0.15)$

терогенные изменения липопротеидов сыворотки крови здоровых людей при подъеме на высоты до 4000 м. Там же доказано, что процесс изменения количества липидов крови на ограниченном временном интервале (от нескольких часов до нескольких недель) вполне адекватно может быть описан известным экспоненциальным выражением, исходя из упрощенной однокомпарментной модели изменения содержания липидов в крови с кинетикой 1-го порядка [22–24]:

$$X(t) = Ce^{kt}, \quad (1)$$

где  $X$  – количество липидов,  $t$  – время,  $k$  и  $C$  – коэффициенты, численные значения которых могут быть вычислены методом наименьших квадратов (далее – МНК). Найденная модель рассматривалась как довод в пользу правомерности результатов, анонсированных К.С. Тринчером о термогенных функциях легких, субстратом которых выступают липиды [2, 17]. Согласно К.С. Тринчеру [18], гипоксемический сигнал, донесенный кровью к легким, вызывает химическую теплопродукцию в легких, независимо от того, какова была причина, вызвавшая гипоксемические сдвиги в крови.

**Сравнение скоростей изменения липидов сыворотки крови.** Применив МНК, можно найти коэффициенты  $k$  и  $C$  для экспоненциальной модели (1), которая будет описывать изменения липидов в крови на ограниченном временном интервале (до 30 дней).

Тогда численные данные об усредненном снижении уровня общего холестерина, представленные в табл. 1, 2, 3 и 4, будут достаточно адекватно, с учетом указанных временных интервалов (от 10 до 30 дней), аппроксимированы аналитическими выражениями:

$$X_1^{chol}(t) = 297.1e^{-0.004t}, \quad (2)$$

$$X_2^{chol}(t) = 241.1e^{-0.002t}, \quad (3)$$

$$X_3^{chol}(t) = 204.2e^{-0.003t}, \quad (4)$$

$$X_4^{chol}(t) = 190.8e^{-0.01t}, \quad (5)$$

где  $X_{1,2,3,4}^{chol}$  – содержание общего холестерина в крови (нижний индекс показывает номер таблицы, из которой извлечены численные данные об уровне холестерина),  $t$  – время.

С целью сравнения скоростей изменения, запишем выражения для первых производных по времени:

$$\frac{dX_1^{chol}}{dt} = (297.1e^{-0.004t})' = -1.32e^{-0.004t},$$

$$\frac{dX_2^{chol}}{dt} = (241.1e^{-0.002t})' = -0.43e^{-0.002t},$$

$$\frac{dX_3^{chol}}{dt} = (204.2e^{-0.003t})' = -0.6e^{-0.003t},$$

$$\frac{dX_4^{chol}}{dt} = (190.8e^{-0.01t})' = -2.2e^{-0.01t}.$$

Поскольку сравнение необходимо выполнить на равном временном интервале, то выберем максимальную продолжительность горноклиматического воздействия в рассматриваемой выборке исследований, равную 30 дням. Тогда, вычислив определенные интегралы для первых производных от найденных аппроксимирующих функций (2–5) с пределами интегрирования от 0 до 29, и возведя результаты вычислений в квадрат, мы решим задачу сравнения скоростей изменения аппроксимирующих экспонент в пространстве  $L_2$  (в квадрате интегрируемых функций) [25]. Выполнив интегрирование и проведя вычисления, находим:

$$\int_0^{29} (-1.32e^{-0.004t}) dt = -35.8,$$

$$(-35.8)^2 \approx 1285 \text{ для } X_1^{chol},$$

$$\int_0^{29} (-0.43e^{-0.002t}) dt = -12.1, \quad (-12.1)^2 \approx 146 \text{ для } X_2^{chol}, \quad (6)$$

$$\int_0^{29} (-0.6e^{-0.003t}) dt = -16.6, \quad (-16.6)^2 \approx 275 \text{ для } X_3^{chol},$$

$$\int_0^{29} (-2.2e^{-0.01t}) dt = -53.9, \quad (-53.9)^2 \approx 2902 \text{ для } X_4^{chol}.$$

Содержание выражений (6) является доказательством того, что сочетание высотной гипоксии, умеренной физической нагрузки и регулярных холодовых воздействий (тибетская йога туммо для повышения холодоустойчивости –  $X_4^{chol}$ ) дает наибольшую скорость снижения уровня общего холестерина, которая значительно превосходит снижение общего холестерина на фоне только высотной гипоксии ( $X_2^{chol}$ ) и адаптации к гипобарической гипоксии ( $X_3^{chol}$ ). Сочетание высотной гипоксии и умеренной физической нагрузки на фоне санаторно-курортного лечения ( $X_1^{chol}$ ) уже значительно повышает скорость снижения общего холестерина, что выявило далее свое максимальное значение при дополнительном выполнении испытуемыми специальных упражнений на повышение холодоустойчивости (тибетская йога туммо) –  $X_4^{chol}$ .

**Таблица 5.** Сводная таблица экспоненциальных моделей вида  $Ce^{kt}$  для изменений общего холестерина, холестерина ЛПВП и ЛПНП (столбцы 2, 4, 6) и вычисленные с их помощью численные значения квадратов определенных интегралов от их первых производных по времени с пределами интегрирования от 0 до 29 (суток)  $\left(\int_0^{29} Cke^{kt} dt\right)^2$  (столбцы 3, 5, 7)

№№ таблицы	Общий холестерин		Холестерин ЛПВП		Холестерин ЛПНП	
	2	3	4	5	6	7
1	$297.1e^{-0.004t}$	1285				
2	$241.1e^{-0.002t}$	146	$37.5e^{0.0045t}$	27.1	$161e^{-0.001t}$	24.3
2	$204.2e^{-0.003t}$	275	$49.4e^{0.003t}$	17	$142.8e^{-0.005t}$	344
4	$190.8e^{-0.01t}$	<b>2902</b>	$34.3e^{0.02t}$	<b>702</b>	$131.8e^{-0.016t}$	<b>2480</b>

Аналогичная последовательность вычислительных операций была применена для сравнения скоростей возрастания ЛПВП и ЛПНП для численных данных, представленных в таблицах 2–4. Тогда аппроксимирующие экспоненциальные выражения, найденные применением МНК для численных значений липидного профиля, сведенных в таблицах 1–4, а также вычисленные с их использованием численные значения квадратов определенных интегралов от их первых производных, сведены в табл. 5.

*Замечание.* Мы проводили оценку скоростей изменения только антиатерогенных (ЛПВП) и проатерогенных (общий холестерин и ЛПНП) фракций липидного состава сыворотки крови. Изменения липопротеидов очень низкой плотности (ЛПОНП) и триглицеридов в наших исследованиях оказались незначимыми, поэтому по этим фракциям липидного профиля сравнений не проводили.

Содержание табл. 5 является доказательством того, что сочетание высокой гипоксии, умеренной физической нагрузки и регулярных холодовых воздействий (тибетская йога туммо для повышения холодоустойчивости – строка 4) дает наибольшие скорости снижения общего холестерина, повышения уровня липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) и снижения уровня липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), которые значительно превосходят изменения липидного профиля на фоне только высотной гипоксии (строка 2) и адаптации к гипобарической гипоксии (строка 3).

Известно, что атерогенные сдвиги липидного профиля крови и липидные пятна на внутренней стенке артерий возникают задолго до клинических симптомов ишемии (начиная с 10-летнего возраста), что делает профилактику дислипидопротеидемий неотъемлемой частью эффективно-го лечения и реабилитации атеросклероза [26].

Немедикаментозное устранение приобретенных дислипидопротеидемий как одного из главных факторов риска атеросклеротических изменений интимы артерий у здоровых людей составляет задачу дальнейших исследований найденных нами методик сочетанной гипокситерапии с целью повышения эффективности горноклиматического лечения кардиологических больных в рамках восстановительной медицины.

### ВЫВОДЫ

1. Найдено новое применение известного вычислительного алгоритма, которое позволяет сравнить скорости изменения во времени липидных фракций крови у здоровых и больных людей в различных условиях.

2. Применением нового вычислительного алгоритма доказано, что наибольшая скорость антиатерогенных изменений липидного профиля крови (снижение общего холестерина и ЛПНП, повышение ЛПВП) характерна для сочетания высотной гипоксии, умеренных физических нагрузок и выполнения специальных упражнений для повышения холодоустойчивости (тибетская йога туммо).

*Благодарности.* Автор выражает глубокую благодарность директору киностудии исторического фильма “Фараон” И.В. Архиповой, организатору и вдохновителю международных научно-исследовательских экспедиций в Гималаи в рамках ее авторского проекта “В поисках утраченных знаний” (с), направленного на поддержку отечественной науки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минвалеев Р.С., Иванов А.И. К теории управления организмом человека: Сообщение 6: Тибетская йога Туммо // VIII Междунар. конф. “Современные технологии восстановительной медицины”, 10–15 мая 2005. Сочи, 2005. С. 413.

2. Минвалеев Р.С., Иванов А.И. К теории управления организмом человека. Сообщение 7: Управляемое снижение атерогенных липидов в условиях высокогорья // X Междунар. конф. "Профессиональное долголетие и качество жизни", 24–26 сентября 2007. М., 2007. С. 131.
3. Минвалеев Р.С. Физика и физиология тибетской йоги туммо // Химия и жизнь: XXI век. 2008. № 12. С. 28.
4. de Mendoza S., Nucete H., Ineichen E. et al. Lipids and lipoproteins in subjects at 1.000 and 3.500 meter altitudes // Arch. Environ. Health. 1979. V. 34. № 5. P. 308.
5. Férezou J., Richalet J.P., Coste T., Rathat C. Changes in plasma lipids and lipoprotein cholesterol during a high altitude mountaineering expedition (4800 m) // Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 1988. V. 57. № 6. P. 740.
6. Young P.M., Rose M.S., Sutton J.R. et al. Operation Everest II: plasma lipid and hormonal responses during a simulated ascent of Mt. Everest // J. Appl. Physiol. 1989. V. 66. № 3. P. 1430.
7. Férezou J., Richalet J.P., Sérougne C., et al. Reduction of postprandial lipemia after acute exposure to high altitude hypoxia // Int. J. Sports. Med. 1993. V. 14. № 2. P. 78.
8. Domínguez Coello S., Cabrera De León A., Bosa Ojeda F. et al. High density lipoprotein cholesterol increases with living altitude // Int. J. Epidemiol. 2000. V. 29. № 1. P. 65.
9. Schobersberger W., Schmid P., Lechleitner M. et al. Austrian Moderate Altitude Study 2000 (AMAS 2000). The effects of moderate altitude (1.700 m) on cardiovascular and metabolic variables in patients with metabolic syndrome // Eur. J. Appl. Physiol. 2003. V. 88. № 6. P. 506.
10. Temte J.L. Elevation of serum cholesterol at high altitude and its relationship to hematocrit // Wilderness Environ. Med. 1996. V. 7. № 3. P. 216.
11. Rühli F.J., Henneberg M., Schär D.J. et al. Determinants of inter-individual cholesterol level variation in an unbiased young male sample // Swiss Med. Wkly. 2008. № 138. P. 286.
12. Топурия Д.И. Влияние комплексного санаторно-курортного лечения в Кисловодске на липидный обмен у больных хронической ишемической болезнью сердца с постинфарктным кардиосклерозом // Вопросы курортологии. 1975. № 3. С. 247.
13. Дудукало Д.П., Рыжук В.В., Ликов А.Ф., Школенко Р.Л. Опыт профилактики ишемической болезни сердца по некоторым факторам риска на пятигорском курорте // Терапевтический архив. 1987. № 7. С. 89.
14. Миррахимов М.М., Айтбаев К.А., Мураталиев Т.М., Ким И.М. Исследование возможности коррекции атерогенных дислипидопротеидемий горноклиматическим лечением // Кардиология. 1991. № 3. С. 8.
15. Алешин И.А., Тиньков А.Н., Коц Я.И., Твердохлиб В.П. Опыт лечения больных сердечно-сосудистыми заболеваниями методом адаптации к периодической барокамерной гипоксии // Терапевтический архив. 1997. № 1. С. 54.
16. Тиньков А.Н., Алешин И.А., Коц Я.И. и др. Динамика липидного спектра сыворотки крови у больных ишемической болезнью сердца под воздействием адаптации к периодической барокамерной гипоксии // Кардиология. 1999. № 1. С. 31.
17. Иванов А.И., Савельев Е.В. Математическая модель термогенной функции легких в условиях низких температур. Термодинамический подход // Спортивная медицина (Украина). 2008. № 1. С. 170.
18. Тринчер К.С. Теплообразовательная функция и щелочность реакции легочной ткани. М.: Издательство АН СССР, 1960.
19. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2001. С. 479.
20. Орлов А.И. Прикладная статистика. Учебник. М.: Экзамен, 2006. С. 671.
21. Платонов А.Е. Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы. М.: Издательство РАМН, 2000. С. 52.
22. Eaton R.P., Berman M., Steinberg D. Kinetic studies of plasma free fatty acid and triglyceride metabolism in man // J. Clin. Invest. 1969. V. 48. № 8. P. 1560.
23. Shames D.M., Frank A., Steinberg D., Berman M. Transport of plasma free fatty acids and triglycerides in man: a theoretical analysis // J. Clin. Invest. 1970. V. 49. № 12. P. 2298.
24. Atmeh R.F. Metabolism of apolipoproteins A-I and A-II in human high-density lipoprotein: a mathematical approach for analysis of their specific activity decay curves // Biochem. Med. Metab. Biol. 1987. V. 38. № 3. P. 317.
25. Натансон И.П. Теория функций вещественной переменной. М.: Наука, 1974. 480 с.
26. Виноградов А.В., Климов А.Н., Клиорин А.И. и др. Превентивная кардиология: Руководство / Под ред. Косяцкого Г.И. М.: Медицина, 1987. 512 с.

## A Comparison of Rate Human Lipid Profile Changes at Moderate Altitude

R. S. Minvaleev

The paper studies antiatherogenic changes of serum lipid profile in various conditions, namely: 1) the mountain and climatic treatment on Caucasian resorts, 2) periodic hypobaric therapy, 3) trekking in mountains with regular cold tests (the Tibetan yoga gTum-mo). We made the comparison of rate of change of serum total cholesterol, high (HDL), low (LDL) and very low density (VLDL) lipoproteins, and also triglycerides by use of exponential model of changes of lipid profile. By application of new computing algorithm it was proved that the maximal rate of antiatherogenic changes of serum lipid profile (decrease in the total cholesterol and in LDL, increase in HDL) is characteristic for a combination of three conditions: 1) moderate altitude hypoxia, 2) moderate physical activities and 3) special exercises for increase of cold tolerance (the Tibetan yoga gTum-mo).

**Keywords:** lipid profile, atherogenic index, altitude hypoxia, cold tolerance.