

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ВЗАИМОСВЯЗИ ОБМЕНА ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У СТУДЕНТОВ-ИНОСТРАНЦЕВ

А.А. Киричук

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. Целью исследования явилось изучение взаимосвязи обмена эссенциальных микроэлементов с функциональным состоянием сердечно-сосудистой системы (ССС) у первокурсников иностранцев в сравнении с первокурсниками из России (контрольная группа). Исследование ССС проводилось аппаратно-программным комплексом (АПК) «АнгиоСкан-01». Уровни эссенциальных элементов в анализируемых биосубстратах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Установлено, что у иностранных студентов достоверно выше значения индексов напряжения Баевского и жесткости сосудистой стенки (SI) по сравнению с первокурсниками из России. В то же время величина индекса отражения (RI – маркер тонуса периферических сосудов) и интегральный показатель, указывающий на эластичность аорты (dTrp) у студентов-иностранцев были достоверно ниже таковых у первокурсников из России. Анализ содержания эссенциальных элементов в волосах первокурсников показал достоверное снижение Co, Cr, Cu, Fe, I, Mg, Mn и V у студентов-иностранцев относительно контрольной группы. Концентрации Co и Mn в моче студентов-иностранцев характеризовались достоверно меньшими значениями по сравнению с первокурсниками из России, тогда как экскреция как Cu, так и Zn с мочой превышала показатели контрольной группы. Корреляционный анализ выявил обратную корреляцию между индексом напряжения Баевского и содержанием Fe в волосах. Уровни Mg и Mn в волосах также имели отрицательную корреляцию с SI. Концентрации Cu, Se и Zn в моче положительно коррелировали с SI и имели отрицательную взаимосвязь с dTrp. Напротив, уровень V в моче был соответственно отрицательно и положительно связан с данными показателями. Таким образом, результаты исследования выявили достоверную взаимосвязь между уровнями эссенциальных микроэлементов в волосах и функциональной активностью ССС у студентов-иностранцев.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: иностранные студенты, индекс напряжения Баевского, эссенциальные микроэлементы, активность сердечно-сосудистой системы, ангиоскан, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.

ВВЕДЕНИЕ

Обучение в высшей школе сопровождается интенсивными психоэмоциональными нагрузками, особенно в период экзаменационных сессий (Куряев, 2013). Студенты-иностранцы в значительно большей степени подвержены психоэмоциональному стрессу вследствие воздействия не только академической, но и нетипичной социокультурной среды. Помимо этого, изменение климата и типа питания также может оказывать значительное влияние на адаптационные реакции

организма студентов-иностранцев (Иванова, Раэриндзатуву, 2017). В частности, было показано (Киричук и др., 2019), что среди студентов-иностранцев, обучающихся на первом курсе РУДН преобладают неблагоприятные адаптационные реакции (стресс и реакция переактивации). Психологический стресс является одним из ведущих факторов развития сердечно-сосудистых заболеваний (Huang et al., 2013). Ряд исследований продемонстрировал изменение функционального состояния сердечно-сосудистой

* Адрес для переписки:

Киричук Анатолий Александрович
E-mail: a.kirichuk@mail.ru

системы у студентов из дальнего зарубежья при обучении в российских вузах (Глебов, Сошников, 2015; Севрюкова и др., 2018).

Эссенциальные микроэлементы играют существенную роль в поддержании оптимальной активности функциональных систем организма (Skalnaya, Skalny, 2018). В частности, продемонстрировано кардио- и ангиопротективное действие магния, цинка и селена. Дефицит эссенциальных микроэлементов прямо связан с увеличением риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (Ekrnyong, 2017). По данным Скального А.В. с соавт. (2018) химические элементы вовлечены в функционирование стресс-лимитирующих систем. Детков В.Ю. с соавт. (2013) показали, что достаточная обеспеченность организма кобальтом напрямую связана с уровнем функциональных резервов организма.

Дефициты эссенциальных микроэлементов отмечаются у более 2 млрд человек в мире, характеризуясь при этом выраженной географической зависимостью (Bailey et al., 2015). Данное обстоятельство согласуется с ранее выявленными дисбалансами элементного статуса у студентов-иностранцев (Агаджанян, Северин, 2006; Киричук, 2020), что может отражать географические особенности обеспеченности химическими элементами. Следует отметить, что интенсивный психоэмоциональный стресс способен оказывать значимое влияние на обмен эссенциальных элементов, таких как цинк (Tao et al., 2013) и железо (Zhao et al., 2008), проявляясь в их дисбалансе. В то же время данные о потенциальной взаимосвязи между элементным статусом и функциональным состоянием сердечно-сосудистой системы (ССС) в литературе не представлены.

Ц е л ь и с л е д о в а н и я – изучение взаимосвязи между особенностями обмена эссенциальных микроэлементов и функциональным состоянием ССС у первокурсников иностранцев в сравнении с первокурсниками из России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 124 студента-первокурсника (36% юноши и 64% девушки), обучающихся в Российском университете дружбы народов (РУДН), в возрасте от 18 до 25 лет ($20,7 \pm 1,8$ лет). Группа контроля – 37 студентов, граждане Российской Федерации (РФ). Группа сравнения – 87 студентов-иностранцев, прибывших преимущественно из стран Ближнего

и Среднего Востока, а также Центральной и Юго-Восточной Азии (Иностранцы). Критериями исключения из группы являлись наличие хронических и острых соматических заболеваний, курение, наличие металлических имплантов, приверженность специфическим диетам, таким как сыроедение или вегетарианство (приверженность национальной кухне не являлась критерием исключения). Настоящее исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (1964) на добровольной основе после получения информированного согласия на участие в исследовании.

Исследование функционального состояния ССС студентов проводили с помощью АПК «Ангио Скан-01» (Ангио Скан Электроникс, Россия). Индекс качества проведения анализа для обеих групп, свидетельствующий об успешной регистрации пульсовых волн, составил более 65%. В ходе исследования в соответствии с рекомендациями производителя регистрировались следующие параметры: ЧП – частота пульса; SpO₂ – насыщение крови кислородом; AGI – возрастной индекс; VA – возраст сосудистой системы; индекс напряжения Баевского (маркер стресса); SI – индекс жесткости (маркер тонуса центральных сосудов); RI – индекс отражения (маркер тонуса периферических сосудов); ED – продолжительность систолы; Spa – центральное систолическое давление в проксимальном отделе аорты и брахиоцефальных сосудах; PD – длительности пульсовой волны; AIp, % – индекса аугментации; TdVMax – момент наибольшей скорости изменения кровенаполнения капилляров пальца; T1 и T2 – 1 и 2 пики пульсовой волны; dTpp – интегральный показатель, указывающий на эластичность аорты.

В процессе обследования производили забор образцов проксимальных частей волос (1–2 см) с затылочной области головы и сбор средней порции мочи в контейнер Vacuette[®], для последующего химического анализа. Для устранения механических загрязнений, волосы отмывали ацетоном с последующим трехкратным промыванием дистиллированной, деионизированной водой и высушивали на воздухе. Измельченные образцы волос подвергали микроволновому разложению в системе Berghof SpeedWave-4 DAP-40 (Berghof Products + Instruments GmbH, Германия) в присутствии азотной кислоты.

Перед анализом образцы мочи проходили пробоподготовку посредством разведения (рН = 2.0, 1:15 v/v) подкисленным дилуентом, содержащим 8% 1-бутанол, 0,8% Тритон Х-100, 0,02% гидроксид тетраметиламмония и 0,02% ЭДТА.

Уровни кобальта (Co), хрома (Cr), меди (Cu), железа (Fe), йода (I), магния (Mg), марганца (Mn), селена (Se), ванадия (V) и цинка (Zn) в анализируемых биосубстратах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на NexION 300D (Perkin Elmer Inc., США), оснащенном ESI SC-2 DX4 автодозатором (Elemental Scientific Inc., США). Калибровку ИСП-МС системы выполняли с использованием стандартных растворов микроэлементов, изготовленных на основе Universal Data Acquisition Standards Kit (Perkin Elmer Inc., США) путем разведения. Внутреннюю онлайн стандартизацию проводили с использованием растворов иттрия и родия (Pure Single Element Standard, Perkin Elmer Inc., США). Контроль качества анализа протяжении всего исследования осуществляли с использованием сертифици-

рованных референтных образцов мочи Clin Chek Urine Control (Recipe, Германия) и волос GBW09101 (Шанхайский институт ядерных исследований, Шанхай, КНР).

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием программного обеспечения Statistica 10.0 (Statsoft, США) для операционной системы Windows. В связи с отсутствием нормального распределения полученных данных, результаты представлены в виде медианы и границ 25–75 центильного интервала. Значимость групповых отличий оценивали с использованием непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни. Корреляционный анализ осуществляли с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (*r*). Результаты считали достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что студенты-иностранцы характеризуются достоверным превышением значений индекса напряжения Баевского по сравнению с первокурсниками из России на 67% (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики функционального состояния сердечно-сосудистой системы студентов-иностранцев в сравнении с обследуемыми из России

Параметр	РФ	Иностранцы	<i>p</i> -value
Индекс напряжения Баевского	45,5 (29,5–62,5)	76 (52–107)	< 0,001*
ЧП, уд/мин	79,5 (71–86)	81 (74–88)	0,464
VA, лет	36 (31–42)	34,5 (28–40)	0,413
AGI	–0,9 (–1–0,7)	–0,9 (–1,1–0,8)	0,300
SpO ₂ , %	96,6 (96,2–96,9)	96,3 (95,3–97,2)	0,194
Alp, %	–12,5 (–19,6–1,8)	–16,1 (–22,3–7,2)	0,158
SI, м/с	8,7 (7,8–10)	9,5 (8,2–11,3)	0,036*
RI, %	29 (24,3–35,1)	24,1 (18,2–32,3)	0,040*
ED, мс	276 (254–290)	266,5 (258–280)	0,159
% ED,%	37 (33–39)	36 (34–39)	0,903
PD, мс	755,5 (694–848)	743,5 (678–809)	0,476
T1, мс	115,5 (110–124)	118 (109–124)	0,837
T2, мс	215 (200–226)	204,5 (195–217)	0,053
dTpp, мс	97,5 (87–105)	87,5 (78–101)	0,031*
Spa, мм рт. ст.	129 (125–132)	127 (124–131)	0,253
TdVMax, мс	37 (34–41)	37 (34–40)	0,957

Примечание: данные представлены в виде медианы и границ 25–75 центильного интервала; * – достоверность отличий при $p < 0,05$.

Анализ функционального состояния ССС позволил выявить достоверное увеличение индекса жесткости на 9% по сравнению со значениями в группе контроля. В то же время величина индекса отражения у студентов-иностранцев была ниже, чем у первокурсников из России на 17%. При анализе структуры пульсовой волны установлено достоверное изменение времени второго пика, что сопровождалось снижением величины dTpp на 10% у иностранных студентов по сравнению с показателями группы из России. Достоверных различий в сатурации крови кислородом выявлено не было, что свидетельствует об адекватной оксигенации крови в легких и достаточной транспортной функции ССС.

Анализ содержания эссенциальных элементов в волосах первокурсников продемонстрировал значимые различия элементного статуса (табл. 2). В частности, содержание Co, Cr, I, Mg, Mn и V в волосах студентов-иностранцев было достоверно ниже такового у первокурсников из России более чем в 4,5; 2,5; 3,5; 3, 4 и 3 раза, соответственно.

Уровни Cu и Fe в волосах иностранных студентов были ниже соответствующих контрольных значений на 27 и 45%, причем данные различия также достигали статистической значимости. Значимых различий в содержании селена и цинка в волосах студентов из дальнего зарубежья выявлено не было.

Таблица 2. Содержание эссенциальных химических элементов в волосах (мкг/г) студентов из РФ и дальнего зарубежья, обучающихся на первом курсе РУДН

Параметр	РФ	Иностранцы	p-value
Co	0,019 (0,011–0,048)	0,004 (0,003–0,007)	< 0,001*
Cr	0,219 (0,134–0,627)	0,086 (0,055–0,17)	< 0,001*
Cu	11,593 (9,851–15,077)	8,457 (7,9–9,833)	< 0,001*
Fe	20,338 (15,25–32,581)	11,129 (7,456–16,89)	< 0,001*
I	0,373 (0,161–0,657)	0,101 (0,071–0,282)	< 0,001*
Mg	140,924 (63,979–197,443)	45,02 (31,711–68,355)	< 0,001*
Mn	0,856 (0,209–1,179)	0,205 (0,155–0,376)	< 0,001*
Se	0,446 (0,352–0,466)	0,449 (0,398–0,527)	0,104
V	0,026 (0,016–0,088)	0,008 (0,006–0,022)	< 0,001*
Zn	209,567 (169,869–246,815)	192,073 (167,952–259,53)	0,949

Примечание: см. табл. 1.

Таблица 3. Концентрация химических элементов в моче (нг/мл) студентов-первокурсников РУДН

Параметр	РФ	Иностранцы	p-value
Co	1,100 (0,728–1,66)	0,653 (0,494–0,924)	0,005*
Cr	1,424 (0,802–1,922)	1,012 (0,736–1,73)	0,310
Cu	13,166 (6,54–16,233)	15,469 (12,776–22,218)	0,044*
Fe	26,537 (19,137–36,661)	25,546 (16,774–40,487)	0,841
I	100,147 (50,377–155,969)	99,392 (71,681–152,541)	0,483
Mn	1,021 (0,603–1,241)	0,695 (0,505–1,048)	0,038*
Se	27,97 (14,932–47,119)	33,831 (25,049–49,926)	0,249
V	0,087 (0,052–0,22)	0,074 (0,049–0,117)	0,174*
Zn	321,285 (196,083–836,323)	663,773 (389,188–968,95)	0,017

Примечание: см. табл. 1.

Уровни химических элементов в моче обследуемых студентов являлись более стабильным (табл. 3). Выявлено, что концентрации Со и Мп в моче студентов-иностранцев были на 60 и 32% меньше, чем у первокурсников из России. Интенсивность экскреции Cu и Zn с мочой у студентов из дальнего зарубежья достоверно превышала значения контрольной группы на 17 и 107% соответственно. Достоверных групповых различий в уровнях Cr, Fe, I, Mg, Se и V в моче студентов выявлено не было.

Данные наблюдения в целом согласуются с результатами анализа волос. В частности, превышение концентрации металлов в моче на фоне

снижения их содержания в волосах может отражать повышенную экскрецию элементов, приводящую к формированию дефицита. При этом снижение уровня химических элементов в моче на фоне низкого уровня в волосах может свидетельствовать либо об истощении запасов элементов с последующим компенсаторным ограничением их выведения, либо о недостаточном поступлении их с пищей.

Корреляционный анализ выявил взаимосвязь между уровнями химических элементов в индикаторных биосубстратах студентов и показателями функционального состояния ССС. Данные приведены в табл. 4.

Таблица 4. Корреляционный анализ взаимосвязи между уровнями эссенциальных химических элементов в волосах и моче и показателями сердечно-сосудистой вариабельности

Показатель	Cu	Fe	Mg	Mn	Se	V	Zn
Волосы							
Индекс напряжения Баевского	-0,073	-0,215*	-0,137	-0,069	-0,060	-0,007	0,103
aSI, м/с	-0,014	-0,150	-0,213*	-0,287*	-0,106	-0,151	-0,079
RI, %	0,059	-0,015	0,061	0,097	0,088	0,164	0,079
dTpp, мс	0,044	0,140	0,127	0,173	0,103	0,096	0,010
Моча							
Индекс напряжения Баевского	0,106	-0,070	-0,176	-0,015	0,014	-0,064	-0,046
aSI, м/с	0,364*	-0,188	-0,158	0,080	0,280*	-0,209*	0,317*
RI, %	-0,118	0,037	-0,041	0,036	-0,081	0,109	-0,097
dTpp, мс	-0,364*	0,160	0,100	-0,081	-0,283*	0,224*	-0,347*

П р и м е ч а н и е : данные представлены в виде коэффициента корреляции (r); * – достоверность корреляции при $p < 0,05$.

Следует отметить обратную корреляцию между величиной индекса напряжения Баевского и содержанием Fe в волосах. Уровни Mg и Мп в волосах также имели отрицательную корреляцию с SI. Взаимосвязь между уровнем металлов в моче и показателями, определяемыми приборным комплексом «АнгиоСкан-01», характеризовалась иными паттернами. В частности, концентрация Cu, Se и Zn в моче напрямую коррелировала с показателями индекса жесткости сосудов, будучи обратно взаимосвязанной с величиной показателя dTpp. Напротив, уровень V в моче

был соответственно отрицательно и положительно связан с данными показателями.

Результаты проведенного исследования продемонстрировали достоверно более высокий уровень индекса напряжения Баевского у студентов-иностранцев, а также изменения реактивности ССС в первую очередь за счет изменения сосудистого тонуса. Достоверные отличия отмечались и в случае элементного статуса, характеризующегося снижением уровня большинства эссенциальных химических элементов в волосах. При этом изменения концентрации элементов в

моче свидетельствуют о том, что наиболее выраженные изменения отмечаются в концентрациях кобальта, меди, марганца и цинка. Паттерны элементного статуса также были достоверно ассоциированы с показателями функционирования ССС, предположительно за счет регуляции сосудистого тонуса.

Достоверно большая интенсивность индекса напряжения по Баевскому у студентов-иностранцев согласуется как с результатами ранее проведенных исследований (Киричук и др., 2019), так и с данными ряда других авторов (Шагина, Смахина, 2016; Руженкова, 2018). Выявленный факт может быть обусловлен не только наличием иной социокультурной среды, но и воздействием иных климатогеографических параметров (Mahmud et al., 2010; Громакова и др., 2011). В свою очередь, обнаруженные различия сосудистой реакции, проявляющихся у мигрантов, могут являться следствием стресса за счет смены географического места пребывания и этнических особенностей (Markert et al., 2011; Hill et al., 2015). В частности, отчетливо продемонстрировано влияние стрессовой реакции на состояние тонуса сосудов (Ginty et al., 2017).

Анализ биосубстратов методом ИСП-МС позволил установить соответствие содержания химических элементов в волосах студентов из России соответствующим референтным значениям (Skalny et al., 2017), что позволяет судить о полученных значениях как о варианте нормы. В то же время статистически значимая тенденция к снижению уровня эссенциальных элементов в организме студентов-иностранцев является следствием региональных особенностей элементного статуса. Учитывая тот факт, что группа студентов-иностранцев была представлена преимущественно выходцами из Центральной и Юго-Восточной Азии, Ближнего и Среднего Востока, характеризующихся высокими уровнями дефицитов железа, меди, цинка, йода и других микронутриентов (Akhtar et al., 2013; Wang et al., 2017; Hwalla et al., 2017). Относительное снижение обеспеченности организма кобальтом может являться следствием недостатка витамина В₁₂, который также широко распространен в данных регионах (Yajnik et al., 2017). В отличие от других элементов, данные о географических различиях в обеспеченности организма марганцем отсутствуют и предположительно могут быть обусловлены вариабельностью

содержания металла в различных продуктах питания (Martins et al., 2020).

Результаты корреляционного анализа позволили выявить достоверно обратную связь между уровнем железа в организме и выраженностью индекса напряжения Баевского. Данное наблюдение согласуется с результатами экспериментальных исследований, продемонстрировавших стимулирующее влияние психологического стресса на ИЛ-6-ассоциированную продукцию гепсидина и, как следствие, формирование дефицита железа (Zhao et al., 2008).

Результаты исследования также продемонстрировали тесную взаимосвязь ряда эссенциальных элементов с активностью сердечно-сосудистой системы, что согласуется с их физиологической значимостью (Skalnaya, Skalny, 2018). Так, достоверная корреляция с величинами SI и dTpp, характеризующими эластичность крупных сосудов, указывает на роль эссенциальных элементов в регуляции сосудистого тонуса. Показано, что дополнительное введение в организм магния сопровождается снижением жесткости артериальной стенки (Schutten et al., 2018). Несмотря на то, что ранее проведенные исследования не выявили достоверной взаимосвязи между уровнем марганца и жесткостью сосудов (Subrahmanyam et al., 2016), предполагается, что в пределах физиологических концентраций марганец может обладать кардио- и васкулопротективным эффектом (Subrahmanyam et al., 2016; Li, Yang, 2018).

Уровни меди, селена и цинка в моче были напрямую связаны с жесткостью артерий. Учитывая снижение уровней данных элементов в волосах, справедливо предположить, что в данном случае можно вести речь о взаимосвязи между интенсивностью потери данных элементов и сосудистой реактивностью. Так, обмен меди и цинка тесно связан с регуляцией артериального давления, в том числе и за счет влияния на РААС (Carpenter et al., 2013). Также продемонстрировано, что цинк предотвращает кальцификацию сосудов, связанную с активацией воспалительных реакций в сосудистой стенке (Voelkl et al., 2018). Это может способствовать снижению жесткости артериальной стенки. Результаты проведенных исследований продемонстрировали достоверное влияние селена на показатели жесткости сосудов и другие параметры функционирования сердечно-сосудистой системы (Swart et al., 2019).

ВЫВОДЫ

У студентов-иностранцев, обучающихся на первом курсе РУДН, определяется достоверная взаимосвязь между показателями элементного статуса и параметрами активности ССС. Отмечен достоверно более высокий индекс напряжения Баевского, отражающий степень стрессовой реакции. Выявленные ассоциации позволяют предположить, что фармако-нутрицевтическая коррекция обмена эссенциальных элементов может являться одним из инструментов повышения функциональных резервов ССС студентов-иностранцев, снижая риски развития хронических заболеваний и повышая эффективность обучения в высшей школе. В то же время необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение характера и механизмов взаимосвязи между обменом эссенциальных микроэлементов и функцией ССС.

ЛИТЕРАТУРА

Агаджанян Н.А., Северин А.Е. Микроэлементный состав волос и состояние кардиореспираторной системы у студентов из Юго-Восточной Азии при адаптации к условиям средней полосы России. Вестник Оренбургского государственного университета. 2006; 12(2).

Глебов В.В., Сошников Е.А. Динамика адаптации сердечно-сосудистой системы китайских студентов в условиях столичного мегаполиса. Вестник психофизиологии. 2015; 1:101–104.

Громакова В.Г., Елизарова Л.Ю., Севостьянова М.В. Исследование состояния вегетативных процессов адаптации студентов-иностранцев к началу обучения в вузе. Социальная политика и социология. 2011; 1:190–197.

Детков В.Ю., Скальный А.В., Карганов М.Ю., Черепов А.Б., Медведева Ю.С., Глазов М.Ю., Исанкина Л.Н. Дефицит кобальта у детей с низким уровнем функциональных резервов. Технологии живых систем. 2013; 10(7):22–28.

Иванова А.Д., Раэриндзатуву Ж.С. Проблемы психолого-педагогической адаптации иностранных студентов в России. Научное обозрение. Педагогические науки. 2017; 4:57–61.

Киричук А.А. Особенности элементного состава волос студентов, прибывших на учебу в московский мегаполис из различных регионов мира. Микроэлементы в медицине. 2020; 21(1):14–21.

Киричук А.А., Радыш И.В., Чижов А.Я. Активность, дисбаланс и адаптационные реакции функциональных систем организма иностранных студентов российского университета дружбы народов в условиях мегаполиса. Экология человека. 2019; 1.

Куряев И.А. Стресс и стрессоустойчивость студентов. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013; 5.

Руженкова В.В. Медико-психологические и клинические характеристики адаптации к учебному стрессу ино-

странных студентов. Социальная и клиническая психиатрия. 2018; 28(4):31–38.

Севрюкова Г.А., Настинова Г.Э., Товмасын Л.А., Севрюкова П.Л. Функциональное состояние системной гемодинамики российских и иностранных студентов на фоне ортостатической пробы. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2018; 18(4).

Скальный А., Зайцева И., Тиньков А. Микроэлементы и спорт. Персонализированная коррекция элементного статуса спортсменов. М: Спорт. 2018.

Шагина И.Р., Смахтина Т.А. Влияние факторов стресса на адаптацию иностранных студентов в системе образования российского вуза (на примере Астраханского государственного медицинского университета). Современные тенденции развития клинической психологии. 2016; 110–114.

Akhtar S., Ismail T., Atukorala S., Arlappa N. Micronutrient deficiencies in South Asia—current status and strategies. Trends in food science technology. 2013; 31(1):55–62.

Bailey R.L., West (Jr.) K.P., Black R.E. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. Annals of Nutrition and Metabolism. 2015; 66(Suppl. 2):22–33.

Carpenter W.E., Lam D., Toney G.M., Weintraub N.L., Qin Z. Zinc, copper, and blood pressure: Human population studies. Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research. 2013; 19(1).

Ekpenyong C.E. Essential trace element and mineral deficiencies and cardiovascular diseases: facts and controversies. International Journal of Nutrition and Food Sciences. 2017; 6(2):53.

Ginty A.T., Kraynak T.E., Fisher J.P., Gianaros P.J. Cardiovascular and autonomic reactivity to psychological stress: neurophysiological substrates and links to cardiovascular disease. Autonomic Neuroscience. 2017; 207:2–9.

Hill L.K., Hu D.D., Koenig J., Sollers III J.J., Kapuku G., Wang X., Thayer J.F. Ethnic differences in resting heart rate variability: a systematic review and meta-analysis. Psychosomatic medicine. 2015; 77(1):16.

Huang C.J., Webb H.E., Zourdos M.C., Acevedo E.O. Cardiovascular reactivity, stress, and physical activity. Frontiers in physiology. 2013; 4: 314.

Hwalla N., Al Dhaheri A.S., Radwan H., Alfawaz H.A., Fouda M.A., Al Daghari N.M., Blumberg J.B. The prevalence of micronutrient deficiencies and inadequacies in the Middle East and approaches to interventions. Nutrients. 2017; 9(3):229.

Li L., Yang X. The essential element manganese, oxidative stress, and metabolic diseases: links and interactions. Oxidative medicine and cellular longevity. 2018.

Mahmud Z., Amat S., Rahman S., Ishak N.M. Challenges for international students in Malaysia: Culture, climate and care. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2010; 7:289–293.

Markert M.S., Della-Morte D., Cabral D., Roberts (Jr.) E.L., Gardener H., Dong C., Rundek T. Ethnic differences in carotid artery diameter and stiffness: the Northern Manhattan Study. Atherosclerosis. 2011; 219(2):827–832.

Martins A.C., Krum B.N., Queirós L., Tinkov A.A., Skalny A.V., Bowman A.B., Aschner M. Manganese in the Diet: Bioaccessibility, Adequate Intake, and Neurotoxicological Effects. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020.

Schutten J.C., Joosten M.M., de Borst M.H., Bakker S.J. Magnesium and blood pressure: a physiology-based approach. *Advances in chronic kidney disease*. 2018; 25(3):244–250.

Skalnaya M.G., Skalny A.V. Essential trace elements in human health: a physician's view. Publishing House of Tomsk State University. Tomsk. 2018. 224 p.

Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Lobanova Y.N., Skalnaya O.A. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environmental monitoring and assessment*. 2015; 187(11): 677.

Subrahmanyam G., Pathapati R.M., Ramalingam K., Indira S.A., Kantha K., Soren B. Arterial stiffness and trace elements in apparently healthy population—a cross-sectional study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*. 2016; 10(9):LC12.

Swart R., Schutte A.E., Van Rooyen J.M., Mels C.M. Selenium and large artery structure and function: a 10-year prospective study. *European journal of nutrition*. 2019; 58(8):3313–3323.

Tao L., Zheng Y., Shen Z., Li Y., Tian X., Dou X., Shen H. Psychological stress-induced lower serum zinc and zinc redistribution in rats. *Biological trace element research*. 2013; 155(1):65–71.

Voelkl J., Tuffaha R., Luong T.T., Zickler D., Masyout J., Feger M., Pilz S. Zinc inhibits phosphate-induced vascular calcification through TNFAIP3-mediated suppression of NF- κ B. *Journal of the American Society of Nephrology*. 2018; 29(6):1636–1648.

Wang H., Wang D., Ouyang Y., Huang F., Ding G., Zhang B. Do Chinese children get enough micronutrients? *Nutrients*. 2017; 9(4):397.

Yajnik C., Deshmukh U., Katre P., Limaye T. Vitamin B₁₂. CRC Press. 2017;131–150.

Zhao M., Chen J., Wang W., Wang L., Ma L., Shen H., Li M. Psychological stress induces hypoferrremia through the IL-6–hepcidin axis in rats. *Biochemical and biophysical research communications*, 2008; 373(1):90–93.

THE RELATIONSHIP OF THE EXCHANGE OF ESSENTIAL TRACE ELEMENTS AND THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN INTERNATIONAL STUDENTS

A.A. Kirichuk

Peoples' Friendship University of Russia, Miklukho-Maklai Street, 6, Moscow, 117198, Russia

ABSTRACT. The aim of the study was to study the relationship between the level of essential trace elements and the functional state of the cardiovascular system (CVS) in freshmen from foreign countries compared with freshmen from Russia (control group). The CVS study was conducted by the AngioScan-01 hardware-software complex (AIC). The level of essential elements in the analyzed biosubstrates was determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). It was found that foreign students have significantly higher values of the stress index (IS) and vascular wall stiffness (SI) compared to freshmen from Russia. At the same time, the value of the reflection index (RI is a marker of peripheral vascular tone) and the integral indicator indicating aortic elasticity (dTpp) in foreign students were significantly lower than those of freshmen from Russia. Analysis of hair trace element content revealed significantly lower hair Co, Cr, Cu, Fe, I, Mg, Mn, and V levels in international students as compared to controls. Urinary trace element levels were more stable. Particularly, Co and Mn levels were found to be lower, whereas Cu and Zn concentration was higher than those in students from Russia. Correlation analysis revealed inverse association between stress index and hair Fe content. Mg and Mn levels in hair were also inversely associated with stiffness index. Urinary Cu, Se, and Zn concentration directly correlated with arterial stiffness, being inversely associated with dTpp values. Oppositely, urinary V levels were inversely and directly correlated with these parameters, respectively. Therefore, the results of analysis demonstrated the potential relationship between patterns of trace element status and cardiovascular reactivity in international students.

KEYWORDS: international students, Baevsky stress index, essential trace elements, activity of the cardiovascular system, angioscans, inductively-coupled mass-spectrometry.

REFERENCES

Agadzhanjan N.A., Severin A.E. Mikrojelementnyj sostav volos i sostojanie kardiorespiratornoj sistemy u studentov iz Jugovostochnoj Azii pri adaptacii k uslovijam srednej polosy Rossii. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2006; 12(2) (In Russian).

- Glebov V.V., Soshnikov E.A. Dinamika adaptacii serdechno-sosudistoj sistemy kitajskih studentov v uslovijah stolichnogo megapolisa. *Vestnik psihofiziologii*. 2015; 1:101–104 (In Russian).
- Gromakova V.G., Elizarova L.Ju., Sevost'janova M.V. Issledovanie sostojanija vegetativnyh processov adaptacii studentov-inostrancev k nachalu obucheniya v vuze. *Social'naja politika i sociologija*. 2011; 1:190–197 (In Russian).
- Detkov V.Ju., Skalny A.V., Karganov M.Ju., Cherepov A.B., Medvedeva Ju.S., Glazov M.Ju., Isankina L.N. Deficit kobal'ta u detej s nizkim urovnem funkcional'nyh rezervov. *Tehnologii zhivyh sistem*. 2013; 10(7):22–28 (In Russian).
- Ivanova A.D., Rajerindzatuva Zh.S. Problemy psihologo-pedagogicheskoj adaptacii inostrannyh studentov v Rossii. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki*. 2017; 4:57–61 (In Russian).
- Kirichuk A.A. Osobennosti jelementnogo sostava volos studentov, pribyvshih na uchebu v moskovskij megapolis iz razlichnyh regionov mira. *Mikrojelementy v medicine*. 2020; 21(1):14–21 (In Russian).
- Kirichuk A.A., Radysh I.V., Chizhov A.Ja. Aktivnost', disbalans i adaptacionnye reakcii funkcional'nyh sistem organizma inostrannyh studentov rossijskogo universiteta družby narodov v uslovijah megapolisa. *Jekologija cheloveka*. 2019; 1 (In Russian).
- Kurjasev I.A. Stress i stressoustojchivost' studentov. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2013; 5 (In Russian).
- Ruzhenkova V.V. Mediko-psihologicheskie i klinicheskie karakteristiki adaptacii k uchebnomu stressu inostrannyh studentov. *Social'naja i klinicheskaja psihiatrija*. 2018; 28(4):31–38 (In Russian).
- Sevrjukova G.A., Nastinova G.Je., Tovmasjan L.A., Sevrjukova P.L. Funkcional'noe sostojanie sistemnoj gemodinamiki rossijskih i inostrannyh studentov na fone ortostaticheskoj proby. *Izvestija Saratovskogo universiteta. Novaja serija. Serija Himija. Biologija. Jekologija*. 2018; 18(4) (In Russian).
- Skalny A., Zajceva I., Tinkov A. Mikrojelementy i sport. *Personalizirovannaja korrekcija jelementnogo statusa sportsmenov. M: Sport*. 2018 (In Russian).
- Shagina I.R., Smahtina T.A. Vlijanie faktorov stressa na adaptaciju inostrannyh studentov v sisteme obrazovanija rossijskogo vuza (na primere Astrahanskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta). *Sovremennye tendencii razvitija klinicheskogo psihologii*. 2016; 110–114 (In Russian).
- Akhtar S., Ismail T., Atukorala S., Arlappa N. Micronutrient deficiencies in South Asia—current status and strategies. *Trends in food science technology*. 2013; 31(1):55–62.
- Bailey R.L., West (Jr.) K.P., Black R.E. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2015; 66(Suppl. 2):22–33.
- Carpenter W.E., Lam D., Toney G.M., Weintraub N.L., Qin Z. Zinc, copper, and blood pressure: Human population studies. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*. 2013; 19(1).
- Ekpenyong C.E. Essential trace element and mineral deficiencies and cardiovascular diseases: facts and controversies. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. 2017; 6(2):53.
- Ginty A.T., Kraynak T.E., Fisher J.P., Gianaros P.J. Cardiovascular and autonomic reactivity to psychological stress: neurophysiological substrates and links to cardiovascular disease. *Autonomic Neuroscience*. 2017; 207:2–9.
- Hill L.K., Hu D.D., Koenig J., Sollers III J.J., Kapuku G., Wang X., Thayer J.F. Ethnic differences in resting heart rate variability: a systematic review and meta-analysis. *Psychosomatic medicine*. 2015; 77(1):16.
- Huang C.J., Webb H.E., Zourdos M.C., Acevedo E.O. Cardiovascular reactivity, stress, and physical activity. *Frontiers in physiology*. 2013; 4: 314.
- Hwalla N., Al Dhaheri A.S., Radwan H., Alfawaz H.A., Fouda M.A., Al Daghri N.M., Blumberg J.B. The prevalence of micronutrient deficiencies and inadequacies in the Middle East and approaches to interventions. *Nutrients*. 2017; 9(3):229.
- Li L., Yang X. The essential element manganese, oxidative stress, and metabolic diseases: links and interactions. *Oxidative medicine and cellular longevity*. 2018.
- Mahmud Z., Amat S., Rahman S., Ishak N.M. Challenges for international students in Malaysia: Culture, climate and care. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2010; 7:289–293.
- Markert M.S., Della-Morte D., Cabral D., Roberts (Jr.) E.L., Gardener H., Dong C., Rundek T. Ethnic differences in carotid artery diameter and stiffness: the Northern Manhattan Study. *Atherosclerosis*. 2011; 219(2):827–832.
- Martins A.C., Krum B.N., Queirós L., Tinkov A.A., Skalny A.V., Bowman A.B., Aschner M. Manganese in the Diet: Bioaccessibility, Adequate Intake, and Neurotoxicological Effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020.
- Schutten J.C., Joosten M.M., de Borst M.H., Bakker S.J. Magnesium and blood pressure: a physiology-based approach. *Advances in chronic kidney disease*. 2018; 25(3):244–250.
- Skalnaya M.G., Skalny A.V. Essential trace elements in human health: a physician's view. *Publishing House of Tomsk State University. Tomsk*. 2018. 224 p.

Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Lobanova Y.N., Skalnaya O.A. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environmental monitoring and assessment*. 2015; 187(11): 677.

Subrahmanyam G., Pathapati R.M., Ramalingam K., Indira S.A., Kantha K., Soren B. Arterial stiffness and trace elements in apparently healthy population-a cross-sectional study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*. 2016; 10(9):LC12.

Swart R., Schutte A.E., Van Rooyen J.M., Mels C.M. Selenium and large artery structure and function: a 10-year prospective study. *European journal of nutrition*. 2019; 58(8):3313–3323.

Tao L., Zheng Y., Shen Z., Li Y., Tian X., Dou X., Shen H. Psychological stress-induced lower serum zinc and zinc redistribution in rats. *Biological trace element research*. 2013; 155(1):65–71.

Voelkl J., Tuffaha R., Luong T.T., Zickler D., Masyout J., Feger M., Pilz S. Zinc inhibits phosphate-induced vascular calcification through TNFAIP3-mediated suppression of NF- κ B. *Journal of the American Society of Nephrology*. 2018; 29(6):1636–1648.

Wang H., Wang D., Ouyang Y., Huang F., Ding G., Zhang B. Do Chinese children get enough micronutrients? *Nutrients*. 2017; 9(4):397.

Yajnik C., Deshmukh U., Katre P., Limaye T. *Vitamin B₁₂*. CRC Press. 2017;131–150.

Zhao M., Chen J., Wang W., Wang L., Ma L., Shen H., Li M. Psychological stress induces hypoferremia through the IL-6–hepcidin axis in rats. *Biochemical and biophysical research communications*, 2008; 373(1):90–93.