

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЭГ И СОДЕРЖАНИЯ РЯДА МИКРО- И МАКРОЭЛЕМЕНТОВ (СВИНЕЦ, СТРОНЦИЙ, КАЛЬЦИЙ) В ОРГАНИЗМЕ ДЕТЕЙ 12–13 ЛЕТ, ПРОЖИВАЮЩИХ В ЭКОКРИЗИСНЫХ РЕГИОНАХ УКРАИНЫ

Поступила 19.06.10

У детей 12–13 лет, проживающих в регионах Украины с высокими уровнями индустриального загрязнения, обнаружено превышение верхней границы нормы содержания свинца и кальция в пробах биологически стабильных тканей (волос); концентрация стронция находилась в пределах референтных значений. Корреляционный анализ параметров частотных компонентов ЭЭГ и уровней упомянутых выше элементов выявил наличие достоверных или приближающихся к ним связей между нормированными значениями спектральной мощности ритмов текущей ЭЭГ, зарегистрированной в различных функциональных состояниях (глаза закрыты/открыты, решение арифметической задачи) и концентрациями указанных элементов. По числу корреляционных связей и их плотности наиболее значимым элементом (при их выявленных концентрациях) по отношению к паттерну ЭЭГ-активности испытуемых были кальций, затем стронций и, в последнюю очередь, свинец. Интенсивность корреляционных связей варьировала от слабой до умеренно сильной ($0.41 < r < 0.70$). Наиболее тесные связи наблюдались с уровнем кальция. Наибольшее количество корреляционных связей характеристик ЭЭГ с уровнями всех элементов обнаруживались в условиях когнитивной нагрузки (решения арифметической задачи). Частотными диапазонами ЭЭГ-активности, наиболее чувствительными к содержанию упомянутых элементов, оказались высокочастотные компоненты (бета1- и бета2-ритмы), особенно в условиях когнитивной нагрузки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети, ЭЭГ, свинец, стронций, кальций.

ВВЕДЕНИЕ

Ускоряющийся в последние годы рост частоты экологически обусловленных заболеваний свидетельствует о том, что приспособительные возможности человека уже мало соответствуют темпам антропогенной трансформации биосферы. На сегодняшний день в ряде регионов Украины сложилась крайне неблагоприятная экологическая ситуация, связанная с загрязнением окружающей среды и приводящая к существенному ухудшению здоровья как взрослого, так и детского населения [1]. По дан-

ным Института педиатрии, акушерства и гинекологии АМН Украины, среди 1000 детей школьного возраста в нашей стране в среднем 29 страдают заболеваниями нервной системы, у 28 в той или иной степени выражены психические расстройства [2]; около 39 % детей встречаются с определенными проблемами в когнитивной сфере [3]. Некоторые регионы Украины отличаются особо высоким уровнем заболеваний нервной системы. Так, у подростков, проживающих в одном из наиболее техногенно загрязненных регионов – Донецкой области, – регистрируют в среднем 1080.3 ± 2.4 случая расстройств нервной системы на 10 тысяч человек, причем в структуре подобных заболеваний 64.4 % занимает вегетососудистая дистония (ВСД) [4]. У младших школьников и подростков, проживающих в районах с высокой степенью загрязнения, чаще выявляются симптомы нервно-психических нару-

¹ Крымский государственный медицинский университет им. С. И. Георгиевского, Симферополь (АР Крым, Украина).

² Детский неврологический санаторий «Искра» МОЗ Украины, Евпатория (АР Крым, Украина).

Эл. почта: olga_zalata@mail.ru (О. А. Залата).

шений, хуже показатели когнитивных функций, повышены тревожность и раздражительность, интенсивнее проявления стрессированности [5–7].

В связи с этим внимание нейрофизиологов как в Украине, так и за рубежом все чаще привлекает проблема оценки тех факторов среды, которые в наибольшей степени могут оказывать негативное влияние на функциональное состояние нервной системы у детей [8, 9]. Учитывая то обстоятельство, что загрязнение вредными химическими веществами является ведущим фактором трансформации биосферы, ведущей к изменениям внутренней среды организма человека, именно влияние таких агентов на функциональное состояние организма вообще и нервной системы в частности становится актуальным предметом современных эколого-физиологических исследований.

Среди химических загрязнителей особое внимание привлекают тяжелые металлы, многие из которых (свинец, кадмий, ртуть) известны своим интенсивным нейротоксическим действием [10–12]. Другие же металлы, в ряде случаев являющиеся конкурентами по отношению к токсичным, напротив, в определенных количествах жизненно необходимы для нормального функционирования ЦНС [13, 14].

Ранее [15] мы обнаружили определенные зависимости между характеристиками суммарной электрической активности мозга (ЭЭГ) и уровнями свинца, стронция и кальция в организме практически здоровых городских детей – жителей Крыма. В связи с данным обстоятельством представляла интерес оценка содержания указанных элементов и их возможного нейротропного действия у детей, постоянно проживающих в регионах с более высоким уровнем техногенного загрязнения среды обитания. Это и явилось целью настоящего исследования. Мы определяли содержание свинца, стронция и кальция в образцах биологически стабильной ткани (волосы) 12–13-летних детей, проживающих в промышленно загрязненных регионах Украины, и регистрировали у них ЭЭГ в состоянии покоя и в условиях когнитивной пробы. После этого полученные данные были подвергнуты корреляционному анализу.

МЕТОДИКА

Были обследованы дети 12–13 лет ($n = 21$) с установленным диагнозом ВСД, прибывшие на санаторно-

курортное лечение в детский неврологический санаторий «Искра» (Евпатория) из регионов юго-восточной Украины (Запорожская, Днепропетровская и Донецкая области), которые характеризуются выраженным техногенным загрязнением окружающей среды.

Регистрация и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью компьютеризованного электроэнцефалографического комплекса («Тредекс», Украина). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от 16 локусов (Fp1/2, F3/4, F7/8, C3/4, T3/4, T5/6, P3/4 и O1/2) согласно международной системе «10–20». В качестве референтного электрода в каждом случае использовали все электроды, за исключением активного, объединенные вместе. Нейтральный электрод сравнения располагали между локусами Fz и Cz. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли соответственно 1.5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 с⁻¹.

Процедура исследования включала в себя отведение текущей ЭЭГ в состоянии двигательного покоя при закрытых и открытых глазах, а также в ходе решения арифметической задачи (обратный счет в уме) при закрытых глазах и определение спектральной композиции образцов ЭЭГ, зарегистрированных в этих состояниях отдельно. Длительность непрерывной записи каждого анализируемого фрагмента составляла 60 с.

С помощью специализированной программы на основе быстрого преобразования Фурье с применением сглаживания по методу Блекмена для полученных образцов ЭЭГ вычисляли спектральные мощности (СМ) следующих частотных диапазонов и поддиапазонов: дельта- (1.5–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–12 Гц), бета1- (12–20 Гц) и бета2- (20–30 Гц). Определяли как абсолютные, так и нормированные значения СМ указанных участков спектра, в последнем случае принимая суммарную мощность колебаний ЭЭГ за 100 %. Вычисление нормированных значений СМ дает возможность более адекватно оценить изменение баланса процессов возбуждения и торможения в мозгу при изменении его химического гомеостаза вследствие дисбаланса химических элементов. Для всех упомянутых выше состояний определяли также модальную частоту ведущего ритма ЭЭГ (FR).

Содержание химических элементов (свинец, стронций, кальций) в пробах волос измеряли с использованием рентгенофлуоресцентного метода в лаборатории промышленной токсикологии и гигиены труда Института медицины труда (Киев, Украи-

на). Известно, что содержание макро- и микроэлементов в волосах достаточно адекватно отражает элементный статус организма в целом, а композиция этих элементов в пробах данной биологически стабильной ткани может рассматриваться как интегральный показатель состояния минерального обмена не только в нервной системе, но и во всем организме [14, 17]. Тесная взаимосвязь содержания тяжелых металлов в окружающей среде и их накопления в волосах четко продемонстрирована [18]. Результаты сравнения распределения различных элементов в крови, моче, волосах и других биосубстратах показали, что концентрации свинца, стронция и кальция в волосах могут быть признаны наиболее объективным индикатором их содержания в организме [14].

Статистический анализ данных проводили с помощью программы “Statistica 6.0” (Stat-Soft, 2001). Проверку характера распределений содержания свинца, стронция и кальция в волосах выполняли согласно критериям Колмогорова – Смирнова и Лиллифорс. Поскольку распределения изучаемых элементов, как правило, не соответствовали нормальному закону, мы оценивали не среднюю концентрацию, а медиану и интерквартильный размах (25 и 75 %) содержания данных химических элементов в пробах.

Физиологическую значимость содержания свинца, стронция и кальция для функционирования ЦНС оценивали на основе результатов непараметрического корреляционного анализа, по Спирмену.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты биомониторингового исследования концентраций свинца, стронция и кальция в волосах детей обследованной группы показали, что со-

держание свинца и кальция у большинства из них превышало принятые предельные значения нормы, в то время как концентрация стронция находилась в среднем в соответствующих нормативных границах (см. таблицу).

В литературе описаны результаты ряда подобных нашему натурных исследований влияния техногенной нагрузки на урбанизированных территориях России, где наблюдается элементный дисбаланс в организме человека, в том числе дисбаланс уровней стронция и кальция у детей. Было обнаружено, что у детей и подростков – жителей Ленинградской области увеличение содержания токсичных микроэлементов (Sr, Ni, Cr) сопровождается дефицитом эссенциальных элементов (Ca, Cu, Zn, Fe). С этим связывают повышенную частоту развития диффузного нетоксического зоба и алопеции [19]. При анализе экологически обусловленных заболеваний, связанных с дисбалансом уровней эссенциальных (Cu, Zn) и токсичных (Sr, Ni, Cr, Pb, Cd) элементов, у детей, проживающих в Оренбургской области, наблюдались нарушения со стороны нервной, иммунной, эндокринной и костной систем [20].

Следует отметить, что в ранее выполненной работе [21] у 30 практически здоровых детей 12–13 лет, проживающих в Крыму, при нормальном содержании свинца и стронция был обнаружен значительный дефицит кальция (236.3 ± 0.6 мкг/г). Следует учитывать, что все эти элементы обладают некоторым нейротропным действием [15].

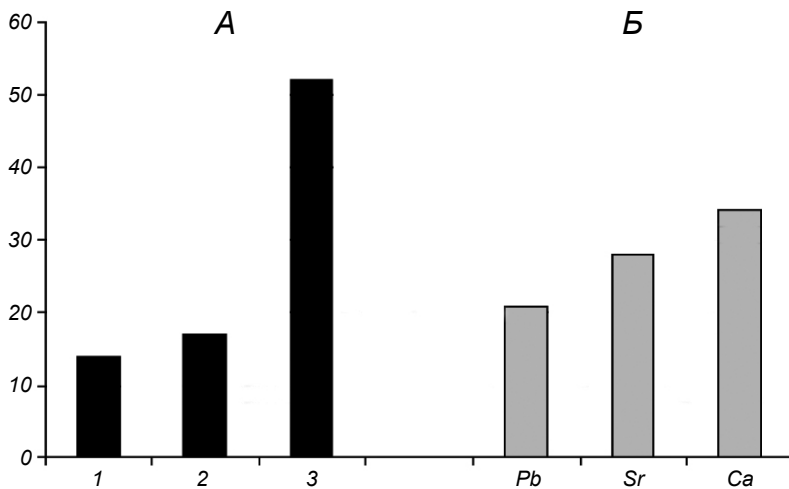
Тем более интересной представлялась оценка возможного влияния на функциональное состояние ЦНС данных факторов при их выявленном дисбалансе у детей обследованной в настоящей работе группы. Полученные результаты показали наличие достоверных или приближающихся к уровню достоверности корреляционных связей между нормированными значениями СМ практически всех

Содержание химических элементов в пробах волос детей 12–13 лет, проживающих в экоризисных регионах Украины (n = 21)

Вміст хімічних елементів у пробах волосся дітей 12–13 років, які мешкають в екокризових регіонах України (n = 21)

Химический элемент	Медиана распределения, мкг/г	Процентили 25 и 75%, мкг/г	Условная норма, мкг/г
Pb	5.24	4.75; 8.35	0–5.0
Sr	1.98	1.66; 2.52	0–3.0
Ca	790.11	713.28; 978.02	300.0–700.0

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значения, превышающие границы условной нормы.



Р и с. 1. Количество достоверных корреляционных связей между спектральной мощностью частотных компонентов ЭЭГ и содержанием химических элементов в пробах волос обследованных детей (А) и между уровнями трех исследованных химических элементов в пределах группы (Б).

На А – условия отведения ЭЭГ: 1 – глаза закрыты, 2 – глаза открыты, 3 – решение арифметической задачи.

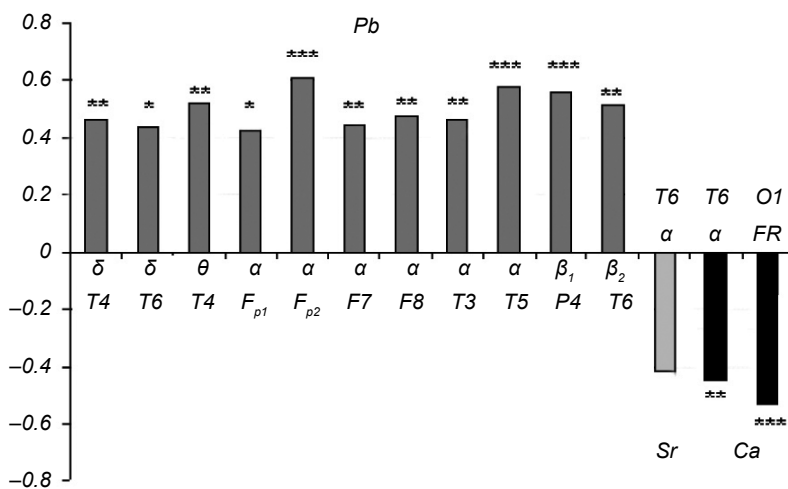
Р и с. 1. Кількість вірогідних кореляційних зв'язків між спектральною потужністю частотних компонентів ЕЕГ і вмістом хімічних елементів у пробах волосся обстежених дітей (А) та між рівнями трьох досліджених хімічних елементів у межах групи (Б).

ритмов ЭЭГ и содержанием свинца, стронция и кальция в пробах волос. При этом суммарная значимость как всех элементов, определяемых в разных пробах (рис. 1, А), так и отдельных элементов во всех пробах по отношению к параметрам частотных компонентов ЭЭГ демонстрировала существенную специфику (Б). Степень и характер подобных влияний различались в зависимости от функционального состояния испытуемого (покой либо когнитивная деятельность) и вида элемента.

Максимальное количество корреляционных связей между упомянутыми выше величинами обнаруживались во время решения арифметической задачи – 52 достоверных корреляции из всей сово-

купности возможных сравнений (рис. 4), в то время как в состоянии физиологического покоя при закрытых глазах были выявлены лишь 14 корреляций (рис. 2), а при открытых – 17 (рис. 3). Плотность корреляционных связей во время решения когнитивной (арифметической) задачи также была, как правило, выше. Очевидно, что когнитивная деятельность предъявляет повышенные требования к функционированию мозга в целом, что и позволяет обнаружить большую чувствительность мозга в данных условиях к присутствию указанных элементов в организме.

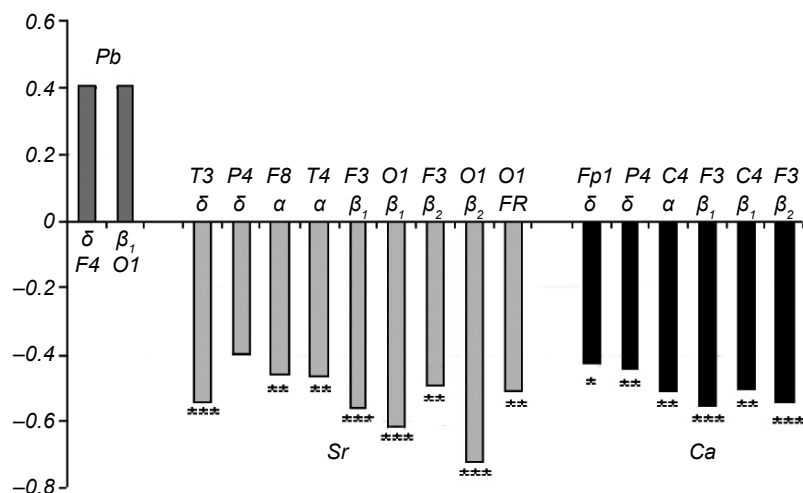
Результаты сравнения физиологической значимости трех упомянутых элементов по количеству



Р и с. 2. Среднегрупповые значения коэффициентов корреляции спектральной мощности ритмов текущей ЭЭГ с уровнями свинца, стронция и кальция в пробах волос детей в условиях регистрации в состоянии функционального покоя (глаза закрыты).

Под горизонтальной осью указаны обозначения частотных компонентов и локусы отведения. Положительные и отрицательные значения коэффициентов отложены вверх и вниз относительно этой оси соответственно. Одной, двумя и тремя звездочками указаны уровни достоверности значений этих коэффициентов с $P < 0.05$, $P < 0.01$ и $P < 0.001$ соответственно.

Р и с. 2. Середньогрупові значення коефіцієнтів кореляції спектральної потужності ритмів поточної ЕЕГ з рівнями свинцю, стронцію та кальцію в пробах волосся дітей в умовах реєстрації у стані функціонального спокою (очі заплюшені).



Р и с. 3. Среднегрупповые значения коэффициентов корреляции спектральной мощности ритмов текущей ЭЭГ с содержанием свинца, стронция и кальция в условиях ЭЭГ-активации (глаза открыты). Обозначения те же, что и на рис. 2.

Р и с. 3. Середньогрупові значення коефіцієнтів кореляції спектральної потужності ритмів поточної ЕЕГ із вмістом свинцю, стронцію та кальцію в умовах ЕЕГ-активації (очі розплющені).

и плотности корреляционных связей значений их концентраций с характеристиками частотных компонентов ЭЭГ во всех трех функциональных состояниях свидетельствовали о том, что наиболее значимым фактором, оказывающим влияние на параметры ЭЭГ-активности, был уровень кальция, затем – стронция и только потом – свинца (рис. 1, Б). Выраженность выявленных корреляционных связей варьировала от слабой до умеренно сильной ($0.41 < r < 0.70$), причем наиболее интенсивные связи наблюдались с концентрацией кальция. Уровень свинца оказался наиболее значимым фактором только в случае регистрации ЭЭГ-активности в состоянии физиологического покоя при закрытых глазах, в то время как уровни кальция и стронция в этом состоянии обнаруживали лишь единичные корреляционные связи (рис. 2).

Известно, что кальций наряду со стронцием относится к группе щелочноземельных металлов, а соотношение Ca/Sr является весьма важным параметром, влияющим на состояние организма [13]. В обследованной группе мы обнаружили прямую корреляционную связь между содержанием кальция и стронция ($r = 0.64$; $P = 0.001$). При этом следует учесть, что, хотя стронций входит в группу элементов, постоянно содержащихся в живых организмах, его физиологическая и биохимическая роль пока остается малопонятной [22].

Насколько можно судить по результатам корреляционного анализа, выполненного в настоящем исследовании, физиологическая роль стронция может быть достаточно значимой. Большинство однонаправленных корреляционных связей уровней стронция и кальция с параметрами частотных ком-

понентов ЭЭГ-активности обнаруживались в условиях измененного функционального состояния (рис. 3; 4), в то время как в состоянии покоя с закрытыми глазами, как уже указывалось выше, их количество было минимальным (рис. 2).

Конечные эффекты влияния того или иного элемента на системном уровне могут определяться как характером корреляционных связей, так и тем, какие из компонентов ЭЭГ изменяют свою мощность под влиянием сдвигов концентрации данного элемента. Нормированные значения СМ колебаний всех частотных диапазонов текущей ЭЭГ в состоянии функционального покоя («глаза закрыты» и «глаза открыты») обнаруживали прямые корреляционные связи с содержанием свинца (рис. 3; 4). В то же время при когнитивной нагрузке (решении арифметической задачи) наблюдались обратные корреляционные связи, главным образом у высокочастотных компонентов (рис. 5, А). Иными словами, у детей с более высоким содержанием свинца в организме выявлялись в среднем более высокоамплитудная ЭЭГ-активность в состоянии физиологического покоя и более низкая мощность высокочастотных составляющих этой активности при решении арифметической задачи.

Интересно отметить, что у детей с нормальным содержанием свинца и дефицитом кальция [15] наблюдалась противоположная картина. У них были зарегистрированы негативные корреляционные связи мощности высокочастотной части спектра ЭЭГ-активности с содержанием свинца в состоянии функционального покоя и прямые связи – во время решения арифметической задачи. Вероятно, это не может быть обусловлено только чисто хи-

мическими воздействиями двухвалентных элементов, какими являются свинец и кальций. Скорее всего, при различных количественных соотношениях данных элементов может наблюдаться их разное функциональное взаимодействие. Например, в условиях дефицита кальция (в пределах его низких нетоксических концентраций) свинец может играть роль функционального синергиста, хотя в литературе чаще отмечают антагонистические взаимоотношения данных макро- и микроэлементов [14, 17]. Естественно, мы не рассматриваем условий, когда уровень свинца становится очень высоким и начинают отчетливо проявляться его токсические свойства как тяжелого металла.

Как уже отмечалось выше, физиологическая значимость уровней и соотношения кальция/стронция проявлялась более отчетливо при функциональных пробах. Корреляционные связи характеристик ЭЭГ с содержаниями стронция и кальция в пробе с открыванием глаз были обнаружены почти для всех ритмических компонентов – дельта-, альфа-, бета1- и бета2-, причем главным образом в локусах левого полушария.

В условиях когнитивной нагрузки (решения арифметической задачи), как и в случае со свинцом, большинство значимых негативных корреляций – 16 для стронция и 26 для кальция (рис. 5, Б, В) – были в основном зарегистрированы у высокочастотных компонентов (бета1- и бета2-) ЭЭГ-активности практически во всех локусах отведения от правого и левого полушарий, хотя случаи корреляций отмечались и для колебаний дельта- и тета-диапазонов.

Регистрация ЭЭГ-активности в условиях когнитивной нагрузки (во время усложненного арифметического счета) в отличие от аналогичной регистрации в состоянии спокойного бодрствования позволяет оценить интегративные функции мозга ребенка в подобных условиях [23]. Известно, что бета-ритм ЭЭГ в общем является коррелятом активного состояния церебральных нейронных сетей [24]; его отчетливое усиление происходит, например, при решении математических задач или прослушивании художественных текстов [25]. Поскольку в условиях выполнения пробы «решение задачи» характер корреляционных связей свинца с СМ высокочастотной части ритмического диапазона ЭЭГ у обследованных детей был обратным, влияние данного микроэлемента на когнитивную деятельность испытуемых можно расценивать скорее как негативное. Уместно отметить, что содержа-

ние свинца в пробах волос у таких детей в среднем втрое превышало верхнюю границу условной нормы, т. е. в этом случае уже можно было ожидать некоторого проявления токсических свойств указанного элемента.

Такой характер влияния свинца на когнитивную сферу в целом хорошо согласуется с имеющимися в литературе данными [14, 26]. Одним из механизмов подобного влияния свинца на нервные клетки мозга, помимо широкоизвестных эффектов ионов свинца в отношении молекул протеинов, считается способность Pb^{2+} замещать в нейронах ионы кальция [5]. Очевидно, что адекватное функционирование систем кальциевой сигнализации абсолютно необходимо для осуществления жизненно важных процессов в клетках нервной системы, в частности для нормальной реализации пластических изменений в мембране нейронов и процессов синаптической передачи [27]. Имеются данные, свидетельствующие об антагонизме свинца (наряду с рядом других элементов – Co^{2+} , Cd^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mn^{2+}) и кальция в ходе транспорта последнего через мембраны [28]. Еще одним из вероятных механизмов влияния на нейроны коры головного мозга является мощное ингибирующее действие свинца на лизосомальные и цитоплазматические пептидазы, гораздо более интенсивное, чем подобные эффекты катионов стронция и кальция [29].

В целом складывается впечатление, что чем выше значения содержания свинца, стронция и кальция (в пределах концентраций, наблюдаемых в обследованной группе), тем в меньшей степени увеличиваются нормированные значения СМ высокочастотных (бета1- и бета2-) компонентов ЭЭГ-активности в ходе когнитивной деятельности (преимущественно во фронтальных локусах регистрации). При этом влияние свинца распространяется именно на данную часть спектра ЭЭГ-колебаний. Стронций же и кальций оказывают влияние также на низко- (дельта-, тета-) и среднечастотные (альфа-) составляющие ЭЭГ во время когнитивной деятельности, уменьшая суммарную мощность электрической церебральной активности в целом.

Таким образом, результаты проведенного корреляционного анализа свидетельствуют о том, что у детей 12–13 лет, проживающих в промышленно загрязненных регионах восточной Украины, содержание свинца и кальция в пробах волос повышено. Наблюдаются определенные влияния уровней изучаемых элементов на суммарную электрическую активность мозга, причем степень и направлен-

ность таких влияний в состоянии покоя (отведение ЭЭГ с закрытыми глазами) и функциональных нагрузок (глаза открыты, решение арифметической задачи) при относительно высоких концентрациях указанных элементов различно. Наиболее значимым фактором по отношению к массовой электрической церебральной активности является уровень кальция, затем стронция, и, в последнюю очередь (в пределах наблюдаемых концентраций), свинца. Наиболее чувствительной функциональной пробой, при которой обнаруживаются как наибольшее количество корреляционных связей с уровнями всех элементов, так и наиболее тесные подобные связи, является когнитивная нагрузка – решение арифметической задачи. Обращает на себя внимание факт уменьшения интенсивности процесса ЭЭГ-активации (снижения СМ высокочастотных спектральных компонентов) в условиях решения арифметической задачи у детей с наиболее высоким содержанием упомянутых элементов в организме. Последнее дает основание считать когнитивную пробу (решение задачи) наиболее информативным тестом для оценки возможной физиологической роли микро- и (возможно) макроэлементов в отношении электрической активности мозга.

Понятно, что поиск других функциональных проб при регистрации суммарной электрической активности мозга с целью выбора наиболее информативных методических подходов для выявления биомаркеров нейротоксического действия загрязнителей окружающей среды остается актуальным.

Авторы выражают благодарность заместителю главного врача по лечебной работе санатория «Искра» (Евпатория, Украина) Г. В. Бура за эффективную помощь в организации обследования детей.

О. О. Залата¹, О. В. Євстаф'єва¹, О. Г. Трибрат¹,
А. В. Слюсаренко²

КОРРЕЛЯЦІЙНІ ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЕГ І ВМІСТУ НИЗКИ МІКРО- ТА МАКРОЕЛЕМЕНТІВ
(СВИНЕЦЬ, СТРОНЦІЙ, КАЛЬЦІЙ) В ОРГАНІЗМІ ДІТЕЙ
12–13 РОКІВ, ЯКІ МЕШКАЮТЬ В ЕКОКРИЗОВИХ
РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

¹ Кримський державний медичний університет
ім. С. І. Георгієвського, Сімферополь (АР Крим, Україна).

² Дитячий неврологічний санаторій „Іскра” МОЗ України,
Євпаторія (АР Крим, Україна).

Резюме

У дітей 12–13 років, які мешкають у регіонах України з високими рівнями індустріального забруднення, виявлено перевищення верхньої межі норми вмісту свинцю та кальцію в пробах біологічно стабільних тканин (волосся); концентрація стронцію знаходилась у межах референтних значень. Кореляційний аналіз параметрів частотних компонентів ЕЕГ і рівнів вищезгаданих елементів виявив наявність вірогідних або наближених до них зв'язків між нормованими значеннями спектральної потужності ритмів поточної ЕЕГ, зареєстрованої в різних функціональних станах (очі заплющені/розплющені, розв'язання арифметичного завдання), та концентраціями вказаних елементів. За числом кореляційних зв'язків та їх щільності найбільш значущим елементом (при їх виявлених концентраціях) щодо патерну ЕЕГ-активності випробуваних були кальцій, потім стронцій та, в останню чергу, свинець. Інтенсивність кореляційних зв'язків варіювала від слабкої до помірно сильної (0.41 < r < 0.70). Найтісніші зв'язки спостерігалися з рівнем кальцію. Найбільша кількість кореляційних зв'язків характеристик ЕЕГ з рівнями всіх елементів спостерігалася в умовах когнітивного навантаження (розв'язання арифметичного завдання). Частотними діапазонами ЕЕГ-активності, найчутливішими до вмісту згаданих елементів, виявилися високочастотні компоненти (бета1- і бета2-ритми), особливо в умовах когнітивного навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А. М. Сердюк, О. І. Тимченко, *Здоров'я населення України: вплив навколишнього середовища на його формування*, Київ (2000).
2. Р. А. Моисеєнко, “Здоров'я дітей шкільного віку та первочередні заходи по його удосконаленню”, *Здоров'я жінки*, **11**, № 3, 55-59 (2002).
3. О. М. Лук'янова, Л. В. Квашніна, “Стан здоров'я здорових дітей молодшого шкільного віку та шляхи його корекції”, *Перинатологія та педіатрія*, № 1, 3-5 (2004).
4. В. І. Агарков, В. Ю. Николенко, Н. М. Северин і др., “Современные закономерности возникновения и распространения болезней среди подростков Донбасса”, *Здоров'я нації*, **11**, № 3, 25-31 (2009).
5. В. Л. Стародумов, “Дефіцит нутриєнтів як можливе умови розвитку інтоксикації, викликане впливом малих доз свинцю”, *Гігієна і санітарія*, № 3, 60-62 (2003).
6. З. Х. Мажитова, Л. П. Куанова, “Нейропсихологічні дослідження в оцінці функціональних відхилень, індукційованих токсикантами навколишнього середовища”, *Педіатрія*, № 1, 75-78 (1999).
7. А. В. Іванов, А. А. Королєв, О. Р. Шакулова, “Критерії дозозологічної діагностики пограничних нервно-психічних розладів у дітей молодшого шкільного віку”, *Гігієна і санітарія*, № 1, 68-70 (2001).
8. Ю. П. Гичев, *Загрязнение окружающей среды и здоровье человека*, СО РАМН, Новосибирск (2002).

9. В. А. Федосеев, О. И. Попов, “Характер поражения надсегментарных вегетативных структур у детей в экологически неблагоприятных условиях”, *Довідля та здоров'я*, № 1, 19-20 (2001).
10. D. O. Carpenter, “Effects of metals on the nervous system of humans and animals,” *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, **14**, No. 3, 123-130 (2001).
11. F. Grandjean, R. F. White, and K. Sullivan, “Impact of contrast sensitivity performance on visually presented neurobehavioral tests in mercury-exposed children,” *Neurotoxicol. Teratol.*, **23**, No. 5, 141-146 (1997).
12. T. L. Lidsky and J. S. Schneider, “Lead neurotoxicity in children basic mechanisms and clinical correlates,” *Brain*, **126**, No. 2, 5-19 (2003).
13. А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, М. А. Риш, Л. С. Строчкова, *Микроэлементы человека*, Медицина, Москва (1991).
14. А. В. Кудрин, О. А. Громова, *Микроэлементы в неврологии*, ГЭОТАР-Медиа, Москва (2006).
15. О. О. Залата, *Психофізіологічні особливості учнів різного віку у зв'язку із вмістом свинцю, стронцію та кальцію в організмі*, Дис. ... канд. мед. наук, Сімферополь (2009).
16. Л. Р. Зенков, *Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии)*, МЕДпресс-информ, Москва (2001).
17. А. В. Скальный, И. А. Рудаков, *Биоэлементы в медицине*, ОНИКС Мир, Москва (2004).
18. Б. А. Ревич, “Биомониторинг токсичных веществ в организме человека”, *Гигиена и санитария*, № 6, 26-30 (2004).
19. В. В. Утенина, Е. В. Плигина, В. В. Утенин и др., “Дисбаланс микроэлементов в организме детей с экологозависимой патологией”, *Гигиена и санитария*, № 5, 57-59 (2002).
20. В. М. Боев, “Среда обитания и экологически обусловленный дисбаланс микроэлементов у населения урбанизированных и сельских территорий”, *Гигиена и санитария*, № 5, 3-8 (2002).
21. О. А. Залата, “Анализ ЭЭГ-активности у школьников 12–13 лет в связи с содержанием кальция и стронция в организме по данным биомониторингового исследования”, *Пробл., достижения и перспективы развития мед.-биол. наук и практ. здравоохранения (тр. КГМУ им. С. И. Георгиевского)*, **143**, ч. I, 49-53 (2007).
22. В. В. Ковальский, *Геохимическая среда и жизнь*, Наука, Москва (1982).
23. Д. А. Фарбер, *Физиология подростка*, Педагогика, Москва (1988).
24. V. Porjesz, H. Begleiter, K. Wang, et al., “Linkage and linkage disequilibrium mapping of ERP and EEG phenotypes,” *Biol. Psychol.*, **61**, No. 2, 229-248 (2002).
25. Е. А. Жирмунская, А. И. Рыбников, С. М. Ложникова, “Функциональное значение некоторых феноменов электроэнцефалограммы человека”, *Физиология человека*, **8**, № 5, 746-756 (1982).
26. *Health Risks of Heavy Metals from Long-Range Transboundary Air Pollution: Effects of Low Exposure Levels*, WHO, Copenhagen (2007).
27. П. Г. Костюк, О. П. Костюк, О. О. Лук'янець, *Іони кальцію у функції мозку – від фізіології до патології*, Наук. думка, Київ (2005).
28. М. П. Чекунова, Н. А. Минкина, “Роль конкуренции металлов с ионами кальция в механизме токсического действия”, *Гигиена и санитария*, № 3, 67-69 (1989).
29. G. Falkous, J. B. Harris, and D. Mantle, “Effect of neurotoxic metal ions in vitro on proteolytic enzyme activities in human cerebral cortex,” *Clin. Chim. Acta.*, **238**, No. 2, 125-135 (1995).