

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РТУТИ НА ЗДОРОВЬЕ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

С.Ф. Фомина, Н.В. Степанова\*

Казанский федеральный университет, Россия

**РЕЗЮМЕ.** Общий уровень Hg в человеческих волосах является основным биомаркером, характеризующим воздействие метилртути (MeHg) и, в основном, связан с потреблением рыбы. Проведен анализ содержания ртути в волосах 180 детей 3–7 лет г. Казани. Изучено диетическое поступление ртути с пищевым рационом с применением анкетно-опросного и хронометражно-весового методов. Содержание ртути определяли в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва) методом масс-спектрометрии (ИСП-МС) с индуктивно связанной аргонной плазмой на приборе ELAN-9000 (PerkinElmer, США). Установлено, что концентрация ртути в волосах выше у 23% детей, часто употребляющих рыбу (среднее геометрическое (GM) 0,40 мкг/г), по сравнению теми, кто употреблял рыбу реже (0,19 мкг/г) или совсем редко (0,07 мкг/г). Показатели GM и 95-го перцентиля (95P) у всех детей значительно ниже предельных значений, рекомендованных USEPA (1,0 мкг/г волос) и JECFA/WHO (1,9 мкг/г волос) для наиболее уязвимой группы населения. Величина экспозиции MeHg у детей на уровне 95P (0,33 мкг/кг массы тела в неделю) не превысила допустимого недельного приема – 1,3 мкг/кг массы тела. Результаты исследования показали четкую взаимосвязь между потреблением рыбы и уровнем ртути в волосах детей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** биологический мониторинг, питание, ртуть, волосы, дети.

### ВВЕДЕНИЕ

Потребность в качественных данных биомониторинга человека (БМЧ) растет во многих сферах деятельности, относящихся к защите охраны окружающей среды, здоровья населения и его чувствительных групп (Рахманин, Михайлова, 2014; Ильченко, 2015; Stepanova et al., 2017). Здоровье младенцев и детей особенно подвержено негативному воздействию загрязнителей окружающей среды, таких как, ртуть, метилртуть, вследствие повышенных уровней экспозиции и скорости поглощения этих веществ, а также низкой способности к детоксикации (Tian et al., 2011; Ruggieri et al., 2017; Фомина, Степанова, 2017). Развитие исследований БМЧ по оценке экспозиции к ртути способствует получению качественных и сопоставимых данных о характере и степени воздействия Hg в разных странах Европейского региона (UNEP, 2013; WHO, 2015; Esteban et al., 2015; Schwedler et al., 2017). Человек, в основном, подвергается воздействию органической ртути при употреблении рыбы и морепродуктов, а

экспозиция к неорганической или элементарной ртути происходит путем вдыхания во время профессиональной деятельности или выделения паров ртути из зубной амальгамы (Brodzka, Trzcinka-Ochocka, 2009; Grabeklis et al., 2011; Karagas et al., 2012; Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2012; Ильченко, 2015; Kusanagi et al., 2018). Общий уровень ртути в волосах человека является основным биомаркером, характеризующим экспозицию к метилртути. Данный биомаркер подходит для отражения экспозиции на ранних этапах жизни и прогнозирования долговременного воздействия на здоровье, проявляющегося в отклонениях со стороны нервно-психического развития. (Schoeman et al., 2009; Скальный и др., 2017). В связи с этим значимость исследований БМЧ для оценки воздействия ртути на детское население существенно возрастает.

Цель исследования – оценить взаимосвязь между диетическим поступлением ртути с рационом питания и содержанием Hg в волосах детей 3–7 лет г. Казани.

\* Адрес для переписки:

Степанова Наталья Владимировна  
E-mail: stepmed@mail.ru

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение фактического питания детей проводилось в двух основных направлениях: 1) индивидуальное и семейное питание (анкетно-опросный метод); 2) оценка питания в коллективах, где ребенок получает полный или частичный рацион (хронометражно-весовой метод). Оценка питания детей была дополнена результатами анкетированного опроса родителей, включающего прием пищи и частоту потребления рыбы и морских продуктов в выходные дни и вечером дома. Родители или законный представитель ребенка дали письменное согласие на участие в соответствии с декретом Министерства здравоохранения Российской Федерации № 1177h от 20.12.2012. Исследование было одобрено комитетом биоэтики Института фундаментальной медицины и биологии КФУ.

Оценка экспозиции ртути, поступающей с продуктами питания, проведена за период 2011–2014 гг. на основании медианы (Me) и 95-го перцентиля (95P), по результатам исследований, выполненных аккредитованной лабораторией ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан». Волосы у 180 детей отбирали с затылочной части головы ножницами из нержавеющей стали, которые предварительно промывали в воде Milli-Q. Образцы были герметично упакованы в бумажные мешки, помечены идентификационными номерами и отправлены на лабораторный анализ.

Содержание ртути определяли методом масс-спектрометрии (ИСП-МС) с индуктивно связанной аргоновой плазмой на приборе ELAN-9000 (PerkinElmer, США) в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва). Обработку результатов выполняли статистическими методами с применением программ «Статистика 6.0» и «Excel 2010» на ПК.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

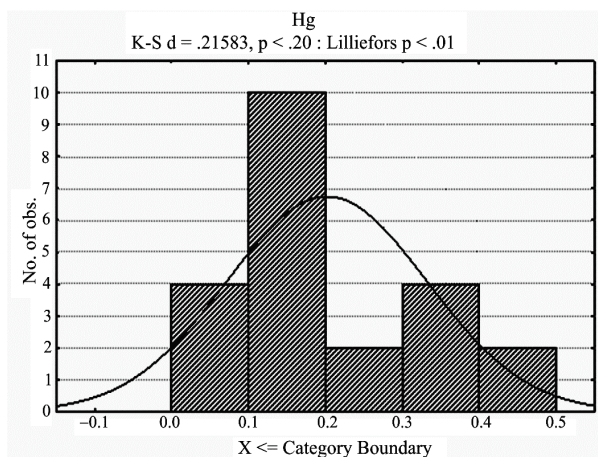
Анализ питания детей в дошкольных учреждениях (ДОУ) показал, что частота потребления рыбы составляла 1–2 раза в неделю. В питании детей, которое осуществляется централизованно по единому меню АО «Департамент продовольствия и социального питания г. Казани», в основном, присутствует морская нежирная рыба (треска, минтай, горбуша). С учетом питания детей дома вечером и в выходные дни были выделены три группы детей: 1-я – дети, потребляющие рыбу только в ДОУ (1–2 раза в неделю), 2-я – дополнительно к ДОУ потребляющие рыбу дома, что составило 4 и более раз в неделю, 3-я – потребление рыбы 3 раза в неделю. По данным опроса, почти 97% родителей (матерей) сообщили о низком потреблении детей моллюсков и морепродуктов – «почти никогда». Предпочтение пресноводной рыбе дома отдавали только 33% матерей, остальные преимущественно использовали морскую рыбу; 68% родителей сообщили, что дети едят рыбу дома не более 1 раза в неделю регулярно; 21% родителей отметили, что употребление рыбы дома детьми составляет не чаще 1 раза в месяц.

Результаты анализа пищевого рациона детей показали, что на долю поступления ртути с рыбой и морепродуктами на уровне медианы (Me) и 95P приходится 28,79 и 19,80% соответственно. Основной вклад вносят мясо и мясопродукты, яйцо (36,86 и 28,84% соответственно), зерновые, крупяные и хлебобулочные изделия (18,45 и 42,74%) (Фомина, Степанова, 2017). Величина экспозиции MeHg у детей на уровне медианы и 95P с учетом перерасчета (почти 90% общего количества ртути, присутствует в мясе рыбы и морепродуктах в виде MeHg) не превысила рекомендаций USEPA и JECFA Объединенного комитета экспертов FAO/WHO (табл. 1).

Таблица 1. Результаты оценки экспозиции ртути с пищевыми продуктами, мг/кг/нед.

Контаминант	TWI, мкг/кг/нед.	Экспозиция		%	
		Me	95P	Me	95P
Hg <sup>a</sup>	4,0	0,00016	0,00093	61,54	73,81
MeHg <sup>b</sup>	1,3	0,00010	0,00033	38,46	26,19
Сумма	–	0,00026	0,00126	100	100

Примечание: <sup>a</sup> – экспозиционная доза по Hg рассчитана для групп продуктов без учета рыбы и нерыбных объектов промысла; <sup>b</sup> – экспозиционная доза по MeHg рассчитана для рыбы и нерыбных объектов промысла; TWI (Tolerable Weekly Intake) – допустимое еженедельное потребление.



Распределение значений содержания ртути в волосах детей ( $K-S d = 0,21583, p < 0,01$ )

Анализ содержания ртути в волосах детей показал, что распределение ее значений в выборке оказалось отличным от нормального (рисунок).

График распределения выборки ртути имеет ассиметричный вид со сдвигом в правую сторону. Результаты центильной оценки значений позволили провести сравнение наших данных с показателями различных исследований (табл. 2).

Геометрический средний уровень (GM) ртути в волосах у детей г. Казани (0,159 мкг/г) не имеет достоверных различий от данных исследования 17EU стран DEMOSOPNES 2010–2012

(0,15 мкг/г). Результаты GM содержания ртути в волосах детей Германии (DEMOSOPNES) показали в три раза меньший уровень (0,055 мкг/г). Основные различия определялись на уровне максимальных значений, 90P и 95P, что указывает на относительно большой размах значений в исследуемой популяции. Анализ данных исследований последних лет показал, что существует большое различие в воздействии ртути на европейское население, и эта разница, скорее всего, связана с диетическими привычками, в частности, с потреблением рыбы и других продуктов из морской среды на местном уровне. Результаты исследования показали, что частота и потребление морской рыбы способствуют повышению уровня ртути у детей г. Казани. Содержание ртути в волосах 1-й группы (23%) детей (GM 0,40 мкг/г) с потреблением рыбы 4 и более раз в неделю было в 2 раза выше, по сравнению со 2-й группой (54,5%), употреблявших рыбу реже (2–3 раза в неделю – 0,19 мкг/г) и в 5 раз больше, чем в 3-й группе (не более 1–2 раз в неделю – 0,07 мкг/г). Показатели GM и 95P у всех детей значительно ниже предельных значений, рекомендованных USEPA (1,0 мкг/г волос) и JECFA/WHO (1,9 мкг/г волос) для наиболее уязвимых групп населения. Это означает, что вся изученная популяция детей г. Казани, независимо от частоты потребления и вида рыбы, не подвержена риску нейротоксичности от воздействия ртути.

Таблица 2. Содержание ртути в волосах детей по данным различных исследований, мкг/г

Группы	Возраст	N	GM	min	25P	50P	75P	90P	95P	max	AM	Источники
г. Казань	3–7	180	0,159	0,024	0,108	0,167	0,213	0,278	0,313	0,478	0,202	–
1-я группа	3–7	41	0,4	0,351	0,353	0,398	0,376	0,426	0,479	0,434	0,403	–
2-я группа	3–7	82	0,19	0,157	0,1615	0,174	0,175	0,287	0,310	0,227	0,195	–
3-я группа	3–7	57	0,07	0,024	0,029	0,099	0,101	0,108	0,116	0,117	0,078	–
Германия, DEMOSOPNES	6–11	120	0,055	0,007	0,028	0,054	0,109	0,179	0,248	1,13	0,094	Schwedler, 2017
17EU стран, DEMOSOPNES 2010–2012	6–11	120	0,15	–	–	–	–	0,80	120	0,15	–	Esteban, 2015

Примечание: N – размер выборки; GM – среднее геометрическое; min – минимальное значение; 25P, 50P, 75P, 90P, 95P – процентиля; max – максимальное значение; AM – среднее арифметическое.

**ВЫВОДЫ**

1. Основными продуктами поступления ртути с пищевым рационом являются мясо и мясопродукты, яйцо, крупы и хлебобулочные изделия. На долю этих продуктов приходится 61,5% (Me) – 73,8% (95P) от общего ежедневного потребления диетической ртути. С рыбой и морепродуктами поступает, соответственно 38,5% (Me) и 26,2% (95P) от суммарной экспозиционной дозы. Величина экспозиции MeHg у детей на уровне 95P (0,33 мкг/кг массы тела в неделю) не превысила допустимого недельного приема (TWI) 1,3 мкг/кг массы тела.
2. Результаты исследования подтвердили четкую взаимосвязь между потреблением рыбы и морских продуктов и уровнями ртути в волосах детей. Различия между группами по содержанию ртути в волосах на уровне 95P составили от 1,5 до 4,1 раза, в зависимости от частоты употребления рыбы с рационом питания. Результаты согласуются с полученными данными исследований 17EU стран DEMOCOPES 2010–2012.
3. Рыба, особенно морская, являются важным компонентом здорового питания, источником полноценного белка и омега-3 жирных кислот. Полученные данные являются ценной информацией для органов здравоохранения при разработке рекомендаций по включению рыбы в питание детского населения.

**БЛАГОДАРНОСТИ**

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности 19.9777.2017/8.9.

**ЛИТЕРАТУРА**

Ильченко И.Н. Обзор исследований по оценке воздействия ртути на население в постсоветских странах с использованием данных биомониторинга человека. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2015. № 59(1). С. 48–53.

Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Окружающая среда и здоровье: приоритеты профилактической медицины. Гигиена и санитария, 2014. Т. 93. № 5. С. 5–10.

Скальный А.В., Астраханцева Е.Ю., Скальная М.Г., Мазалецкая А.Л., Тиньков А.А. Социальноэкономические эффекты влияния токсичных металлов на психо-интеллектуальное здоровье детей и подростков Микроэлементы в медицине. 2017. № 18(3). С. 3–12.

Фомина С. Ф., Степанова Н. В. Неканцерогенный риск для здоровья детского населения г. Казани, обусловленный контаминацией пищевых продуктов и сырья. *Анализ риска здоровью*. 2017. № 4. С. 42–48.

Brodzka R., Trzcinka–Ochocka M. Mercury in hair – an indicator of environmental exposure. *Polish. Med. Pr.* 2009, 4:1–12.

Esteban B.K., Schindler J.A. Jiménez-Guerrero H.M. Koch J. Angerer T.C., Rivas M. Rosado et al. Mercury analysis in hair: Comparability and quality assessment within the transnational COPHES/ DEMOCOPHES project. *Environ. Res.* 2015, 141:23–29.

Grabeklis A.R., Skalny A.V., Nechiporenko S.P., Lakarova E.V. Indicator ability of biosubstances in monitoring of moderate occupational exposure to toxic metals. *J Trace Elem Med Biol.* 2011, 25(1):41–44.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Scientific opinion on the risk of for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA J.* 2012, 10:2985–3136.

Karagas M.R., Choi A.L., Oken E., Horvat M., Schoeny R., Kamai E., Cowell W., Grandjean P., Korrick S. Evidence on the human health effects of low-level methylmercury exposure. *Environ. Health Perspect.* 2012, 120:799–806.

Kusanagi, E., Takamura, H., Chen, S.J. et al. Children's hair mercury concentrations and seafood consumption in five regions of Japan. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2018, 74(2):259–272.

Ruggieri F., Majorani C., Domanico F., Alimonti A. Mercury in Children: Current State on Exposure through Human Biomonitoring Studies. *Int J Environ Res Public Health.* 2017, 14(5):519

Schoeman K, Bend J. R, Hill J, Nash K., Koren G. Defining a lowest observable adverse effect hair concentrations of mercury for neurodevelopmental effects of prenatal methylmercury exposure through maternal fish consumption: A systematic review. *Ther. Drug Monit.* 2009, 31: 670–682

Schwedler G, Seiwert M, Fiddicke U, Ibleb, S, Hölzer J. et al. Human biomonitoring pilot study DEMOCOPHES in Germany: Contribution to a harmonized European approach *Int J Hyg Environ Health.* 2017; 220(4): 686–696.

Stepanova N. V., Arkhipova N. S., Fomina S. F. Priority chemical pollutants of drinking water in the city of Kazan: approach based on risk assessment. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 2017, 107:012076

Tian W, Egeland GM, Sobol I, Chan HM Mercury hair concentrations and dietary exposure among Inuit preschool children in Nunavut, Canada. *Environ Int.* 2011, 37(1):42–48.

Valent F., Mariuz M., Bin M., Little D.A., Mazej D., Tognin V., Tratnik J., McAfee A.J., Mulhern M.S., Parpinel M., et al. Associations of Prenatal Mercury Exposure from Maternal Fish Consumption and Polyunsaturated Fatty Acids with Child Neurodevelopment: A Prospective Cohort Study in Italy. *J. Epidemiol.* 2013, 23:360–370.

WHO, Human Biomonitoring: Facts and Figures. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2015. 104 p.

## REGIONAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF MERCURY ON THE CHILD POPULATION HEALTH

*S.F. Fomina, N.V. Stepanova*

Kazan Federal University, K. Marx str., 76, Kazan, 420008, Russia

**ABSTRACT.** The total level of Hg in human hair is a major biomarker characterizing exposure to methylmercury (MeHg), which is mainly due to fish intake. Analysis of Hg intake with the diet and its content in the hair of children aged 3-6 years old from the city of Kazan was carried out. The study of child nutrition was carried out in two directions: individual and family nutrition (questionnaire method) and assessment of public catering (time-weight method). The Hg content was determined by means of inductively-coupled (argon) plasma mass-spectrometry (ICP-MS) on the ELAN-9000 instrument (PerkinElmer, USA). The Hg concentration in the hair was higher in 23% of children, whose parents reported about frequent fish intake (geometric mean (GM) - 0.40  $\mu\text{g/g}$ ) compared with those, who ate fish less frequently (0.19  $\mu\text{g/g}$ ) or very seldom (0.07  $\mu\text{g/g}$ ). The indices of geometric mean (GM) and the 95th percentile in all children were significantly below the limit values recommended by US-EPA (1  $\mu\text{g/g}$ ) and JECFA / WHO (1.9  $\mu\text{g/g}$  of hair) for the most vulnerable population group. The frequency of fish intake (sea and freshwater) made from 2-3 to 4 times and more a week. The value of MeHg exposure in children at the level of the 95th perc (0.33  $\mu\text{g/kg}$  of body weight a week) did not exceed an acceptable weekly intake (TWI) of 1.3  $\mu\text{g/kg}$  of body weight. Our study showed that the Hg content in the hair depended on the frequency of intake and the amount of fish entering with the diet of children from the city of Kazan.

**KEYWORDS:** human biomonitoring, dietary exposure, mercury, children, hair.

### REFERENCES

- Ichenko I.N. The review of studies concerning evaluation of effect of mercury on population in post-soviet countries using data of human biomonitoring. *Zdravookhraneniye Rossiyskoy Federatsii*. 2015, 59(1):48–53. [In Russ.].
- Rakhmanin Yu.A., Mikhaylova R.I. Environment and health: priorities of preventive medicine. *Hygiene and Sanitation*. 2014, 93(5):5–10 [in Russ.].
- Skalny A.V., Astrakhantseva E.Yu., Skalnaya M.G., Mazaletskaya A.L., Tinkov A.A. Socioeconomic effects of toxic metal exposure on psycho-intellectual health of children and adolescents. *Mikroelementy v meditsine*. 2017, 18(3):3–12 [In Russ.].
- Fomina S.F., Stepanova N.V. Non-carcinogenic risk for children population health in Kazan Caused by food products and food raw materials contamination. *Health Risk Analysis*. 2017, 4:42–48 [In Russ.].
- Brodzka R., Trzcinka–Ochocka M. Merkury in hair – an indicator of environmental exposure. *Polish. Med. Pr.* 2009, 4:1–12.
- Esteban B.K., Schindler J.A., Jiménez-Guerrero H.M., Koch J., Angerer T.C., Rivas M., Rosado et al. Mercury analysis in hair: Comparability and quality assessment within the transnational COPHES/ DEMOCOPHES project. *Environ. Res.* 2015, 141:23-29.
- Grabeklis A.R., Skalny A.V., Nechiporenko S.P., Lakarova E.V. Indicator ability of biosubstances in monitoring of moderate occupational exposure to toxic metals. *J Trace Elem Med Biol.* 2011, 25(1):41–44.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Scientific opinion on the risk of for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA J.* 2012, 10:2985–3136.
- Karagas M.R., Choi A.L., Oken E., Horvat M., Schoeny R., Kamai E., Cowell W., Grandjean P., Korrick S. Evidence on the human health effects of low-level methylmercury exposure. *Environ. Health Perspect.* 2012, 120:799–806.
- Kusanagi, E., Takamura, H., Chen, S.J. et al. Children's hair mercury concentrations and seafood consumption in five regions of Japan. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2018, 74(2):259–272.
- Ruggieri F., Majorani C., Domanico F., Alimonti A. Mercury in Children: Current State on Exposure through Human Biomonitoring Studies. *Int J Environ Res Public Health.* 2017, 14(5):519
- Schoeman K, Bend J. R, Hill J, Nash K., Koren G. Defining a lowest observable adverse effect hair concentrations of mercury for neurodevelopmental effects of prenatal methylmercury exposure through maternal fish consumption: A systematic review. *Ther. Drug Monit.* 2009, 31: 670–682
- Schwedler G, Seiwert M, Fiddicke U, Ißleb, S, Hölzer J. et al. Human biomonitoring pilot study DEMOCOPHES in Germany: Contribution to a harmonized European approach *Int J Hyg Environ Health.* 2017; 220(4): 686–696.
- Stepanova N. V., Arkhipova N. S., Fomina S. F. Priority chemical pollutants of drinking water in the city of Kazan: approach based on risk assessment. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 2017, 107:012076
- Tian W, Egeland GM, Sobol I, Chan HM Mercury hair concentrations and dietary exposure among Inuit preschool children in Nunavut, Canada. *Environ Int.* 2011, 37(1):42–48.
- Valent F., Mariuz M., Bin M., Little D.A., Mazej D., Tognin V., Tratnik J., McAfee A.J., Mulhern M.S., Parpinel M., et al. Associations of Prenatal Mercury Exposure from Maternal Fish Consumption and Polyunsaturated Fatty Acids with Child Neurodevelopment: A Prospective Cohort Study in Italy. *J. Epidemiol.* 2013, 23:360–370.
- WHO, Human Biomonitoring: Facts and Figures. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2015. 104 p.