



К вопросу взаимосвязи содержания ртути в волосах и заболеваниями сердечно-сосудистой системы (на примере Вологодской области)

М.А. Гусева¹, Е.С. Иванова¹, В.Т. Комов^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»,
пр. Луначарского, д. 5, г. Череповец, 162600, Российская Федерация

² ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук»,
Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, 152742, Российская Федерация

Резюме

Введение. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) внесла ртуть в список химических веществ, представляющих наибольшую угрозу для здоровья людей. Известно, что основным источником поступления ртути в организм человека является потребление рыбы. Ранее установлено, что пресноводная рыба из водоемов Вологодской области может представлять собой значимый источник поступления ртути в организм местного населения.

Цель исследования: выявление взаимосвязи между уровнем ртути в волосах жителей Вологодской области и заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 849 человек (мужчины $n = 274$; женщины $n = 575$) в возрасте от 18 до 94 лет. Сбор волос с затылочной части головы проводился на территории города Череповец (Вологодская область: 59° 07' N 37° 54' E) в соответствии с рекомендациями ВОЗ. Измерение проводилось на ртутном анализаторе RA-915M с приставкой PYRO-915 + (диапазон измерений 0,002–200 мг/кг) без предварительной пробоподготовки, методом атомной абсорбции с зеемановской коррекцией неселективного поглощения. Точность измерения была проверена с использованием сертифицированных эталонных материалов волос NIMD-01 (концентрация ртути составляет $0,794 \pm 0,050$ мг/г).

Результаты. Среднее содержание ртути в волосах жителей Вологодской области всей выборки ($0,572 \pm 0,686$ мг/кг) в 3,5 раза ниже установленных ВОЗ безопасных значений уровня ртути (2,2 мг/кг) и в 1,5 – АООС США (1 мг/кг). Количество ртути в волосах участников исследования с сердечно-сосудистыми заболеваниями – $0,646 \pm 0,727$ мг/кг, у людей без этих заболеваний – $0,459 \pm 0,589$ мг/кг. Максимальные уровни ртути отмечены у мужчин при инфаркте миокарда ($> 0,73$ мг/кг), а у женщин при инсульте и остром коронарном синдроме ($> 0,687$ мг/кг).

Заключение. Установлено содержание ртути в волосах людей с диагностированными сердечно-сосудистыми заболеваниями (инфаркт миокарда, острый коронарный синдром, острое нарушение мозгового кровообращения, нестабильная стенокардия и др.) и без них. Накопление ртути в организме может быть одним из факторов риска развития сосудистых и сердечных заболеваний.

Ключевые слова: ртуть, волосы, сердечно-сосудистая система, инсульт, сердечный приступ, острый коронарный синдром.

Для цитирования: Гусева М.А., Иванова Е.С., Комов В.Т. К вопросу взаимосвязи содержания ртути в волосах и заболеваниями сердечно-сосудистой системы (на примере Вологодской области) // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 5. С. 52–59. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-52-59>

On the Relationship between Hair Mercury Concentrations and Cardiovascular Diseases (based on the example of the Vologda Region)

Marina A. Guseva,¹ Elena S. Ivanova,¹ Viktor T. Komov^{1,2}

¹ Cherepovets State University, 5 Lunacharsky Avenue, Cherepovets, 162600, Russian Federation

² I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Borok, Yaroslavl Region, 152742, Russian Federation

Summary

Introduction: Mercury is considered by the World Health Organization as one of the top ten chemicals of major public health concern. Fish consumption is known to be the main source of exposure to mercury. It has been previously established that freshwater fish of the water bodies of the Vologda Region can be a significant source of mercury exposure in the local population.

Objective: To establish the relationship between hair mercury concentrations in residents of the Vologda Region and diseases of the cardiovascular system.

Materials and methods: The study involved 849 participants (274 men and 575 women) aged 18 to 94 years living in the city of Cherepovets (Vologda Region: 59° 07' N 37° 54' E). Occipital hair was sampled in accordance with WHO recommendations and then tested using the RA-915M mercury analyzer with a PYRO-915+ pyrolysis attachment (measurement range: 0.002–200 mg/kg) without preliminary sample preparation, by atomic absorption with Zeeman correction of non-selective absorption. The measurement accuracy was verified using the NIMD-01 certified reference material with the mercury concentration of 0.794 ± 0.050 µg/g.

Results: The mean hair mercury concentration in the study subjects from the Vologda Region was 0.572 ± 0.686 mg/kg, which is 3.5 and 1.5 times lower than safe mercury levels of 2.2 and 1 mg/kg established by WHO and US EPA, respectively. Mean hair mercury levels in the study participants with/without cardiovascular diseases were 0.646 ± 0.727 mg/kg and 0.459 ± 0.589 mg/kg, respectively. The highest mercury levels were observed in male subjects with myocardial infarction (> 0.73 mg/kg) and in females with stroke and acute coronary syndrome (> 0.687 mg/kg).

Conclusions: Mercury in the hair of people with diagnosed cardiovascular diseases (myocardial infarction, acute coronary syndrome, cerebrovascular accident, unstable angina, etc.) and without them has been found. The accumulation of mercury in the body can be one of the risk factors for the development of vascular and heart diseases.

Keywords: mercury, hair, cardiovascular system, stroke, heart attack, acute coronary syndrome.

For citation: Guseva MA, Ivanova ES, Komov VT. On the relationship between hair mercury concentrations and cardiovascular diseases (based on the example of the Vologda Region). *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(5):52–59. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-52-59>

Введение. Ртуть (Hg) является глобальным загрязнителем. Ежегодно в атмосферу поступает 3–7 тонн металла, половина из которого приходится на ее антропогенные источники [1]. Свойства ртути определяют ее всеохватывающее нахождение в среде. Ртуть имеет высокую степень увеличения концентрации при прохождении по пищевой цепи.

Негативное влияние ртути на здоровье населения зарегистрировано в разных странах [2]. Металлическая ртуть и практически все ее соединения токсичны для людей, но наибольшую опасность представляет метилированная ртуть [2, 3].

Известно, что главным источником поступления ртути в организм человека является потребление рыбы и других морепродуктов [4, 5]. Население Северо-Запада России ежегодно использует в пищу около 21,5 кг рыбы на человека¹. Расчеты по использованию рыбы в пищу населением основываются на отчетах рыбодобывающих компаний и розничных сетей торговли, при этом любительское рыболовство в России остается традиционно популярным. Вместе с тем отмечено превышение нормативных уровней количества ртути в мышцах рыб из малых лесных и болотных озер, располагающихся отдаленно от промышленности области [6, 7].

В Вологодской области зарегистрированы наивысшие уровни Hg в донных отложениях водоемов, мышцах рыб и хищных наземных млекопитающих [8, 9]. Отмечено, что рыба из местных водоемов Вологодской области может представлять собой более значимый источник металла в организме населения по сравнению с морской рыбой [10, 11].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) включила ртуть и ее соединения в список химических веществ, представляющих наибольшую угрозу для общественного здравоохранения [2]. Ртуть оказывает токсическое воздействие на нервную, пищеварительную, репродуктивную и иммунную системы [12]. Ртуть приводит к повышению окислительного стресса и воспаления, снижению окислительной защиты, тромбозу, дисфункции гладкой мускулатуры сосудов, эндотелиальной дисфункции. Риск высокого кровяного давления и сердечно-сосудистых заболеваний возрастает вместе с увеличением содержания ртути в волосах [13–15]. Установлено, что уровни ртути в волосах более 2,0 мг/кг увеличивают в 2 раза риск развития ишемической болезни сердца и инфаркта миокарда [16, 17].

Целью данного исследования было выявление связи между уровнем ртути в волосах и заболеваниями сердечно-сосудистой системы населения Вологодской области.

Материал и методы. Сбор волос с головы осуществлялся в городе Череповец (Вологодская область: 59° 07' N 37° 54' E).

В исследовании приняли участие 849 человек (мужчины $n = 274$; женщины $n = 575$) в возрасте от 18 до 94 лет.

Медицинским персоналом заполнялась информация на каждого участника исследования. Анкета включала данные о возрасте, поле, месте жительства,

особенностях рациона питания, диагностированных заболеваниях и клинических показателях крови.

Программа исследования была одобрена Комиссией по биоэтике Череповецкого государственного университета (ЧГУ) и согласована с Департаментом здравоохранения Вологодской области. Все участники исследования заполнили информированное письменное согласие на участие в исследовании в соответствии с кодексом этики Всемирной медицинской ассоциации (Хельсинкской декларации) на проведение экспериментов с участием человека и публикацию полученных результатов. Права участников на неприкосновенность частной жизни имели первостепенное значение [18].

На основе полученных данных всех исследованных поделили на группы по заболеванию: без ССЗ (мужчины, $n = 82$; женщины, $n = 266$) и с сердечно-сосудистыми заболеваниями (мужчины, $n = 192$; женщины, $n = 309$). Участники исследования с сердечно-сосудистыми заболеваниями имели диагнозы: острый инфаркт миокарда, ИМ (МБК-10: I21); острый коронарный синдром, ОКС (МБК-10: I20); острое нарушение мозгового кровообращения, ОНМК (МБК-10: I60–I69); нестабильная стенокардия, НСК (МБК-10: I20.0); гипертензивная болезнь сердца, ГБ (МБК-10: I11), атриовентрикулярная блокада, АВ-блокада (МБК-10: I44.30), тромбоз/эмболия легочных артерий, ТЭЛА (МБК-10: I26), нарушение сердечного ритма (МБК-10: I49.9).

У участников исследования пробы волос собирали с затылочной части головы в соответствии с рекомендациями ВОЗ [1].

Анализ образцов на концентрацию общей ртути в волосах проводили в Региональном центре коллективного пользования ЧГУ. Измерение проводилось на ртутном анализаторе RA-915M с приставкой PYRO-915 + (ООО «Люмекс», Санкт-Петербург, Россия; диапазон измерений 0,002–200 мг/кг) без предварительной пробоподготовки, методом атомной абсорбции с зеемановской коррекцией неселективного поглощения. Точность измерения была проверена с использованием сертифицированных эталонных материалов волос NIMD-01 (Ministry of the Environment, Japan) (концентрация ртути составляет $0,794 \pm 0,050$ мкг/г).

Результаты исследования представлены в виде средних арифметических значений (Mean), стандартной ошибки среднего (SE), межквартильного размаха (Q1–Q3), 95 % доверительного интервала (95 % CI). Использовали тест Шапиро – Уилка, Колмогорова – Смирнова. При ненормальном распределении значений в выборке использовали непараметрические статистические методы – U-критерий Манна – Уитни, Крускала – Уоллиса с уровнем значимости (p) менее 0,05. Для установления корреляционных зависимостей использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена при $p < 0,05$. Взаимосвязь между уровнями ртути и наличием ССЗ была определена путем анализа модели множественной логистической регрессии по квартилям ртути. Результаты представлены в виде отношения шансов (OR) и 95 % доверительного

¹ По данным РОССТАТ (2017) «Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах в 2017 году». Приложение. Потребление продуктов питания по субъектам РФ.

интервала (ДИ). Регрессионный анализ был скорректирован с учетом возраста, пола, места жительства, количества употребленной рыбы.

Результаты. Среднее значение содержания ртути в волосах участников исследования составляет $0,572 \pm 0,686$ мг/кг. Статистически значимых разли-

чий между количеством металла в волосах мужчин ($0,615 \pm 0,731$ мг/кг) и женщин ($0,552 \pm 0,662$ мг/кг) не установлено. Не отмечено различий между уровнями ртути у людей разного возраста, проживающих в городе Череповце и на удаленных от промышленности территориях (см. табл. 1, 2).

Таблица 1. Содержание ртути в волосах мужчин

Table 1. Hair mercury concentrations in male subjects

Возрастные группы / Age groups		n		мг Hg/kg (95 % ДИ) / mg Hg/kg (95 % CI)	
ССЗ(-) / CVD(-)	ССЗ(+) / CVD(+)	ССЗ(-) / CVD(-)	ССЗ(+) / CVD(+)	ССЗ (-) / CVD(-)	ССЗ (+) / CVD(+)
Все / All					
35	66	501	348	0,484* (0,575–0,668)	0,633* (0,681–0,771)
Мужчины / Men					
18–22	40–57	54	22	0,149* ^a (0,081–0,217)	0,781* ^{abc} (0,524–1,037)
23–34	58–63	46	26	0,222* ^a (0,128–0,317)	0,996* ^b (0,705–1,287)
35–43	64–69	45	13	0,954 ^b (0,443–1,443)	0,566 ^c (0,4–0,733)
44–66	≥ 70	46	19	0,61 ^b (0,331–0,888)	0,446 ^c (0,338–0,554)
Итого / Total:		192	82	0,413* (0,294–0,532)	0,701* (0,589–0,812)
Район проживания (Мужчины) / Area of residence (Men)					
г. Череповец / Cherepovets		155	66	0,461* ^a (0,318–0,604)	0,603* ^a (0,498–0,709)
Череповецкий р-н / Cherepovets district		22	6	0,155* ^a (0,078–0,389)	0,992* ^a (0,566–1,419)
Районы области / Regional districts		15	9	0,217* ^a (0,031–0,404)	1,278* ^a (0,594–1,962)

Примечание: Н-тест (a, b, c) – значения содержания ртути в волосах людей статистически значимо различаются между сравниваемыми возрастными группами / районами проживания при $p \leq 0,05$ (Kruskal – Wallis test); * – разница значений между людьми с ССЗ (-) и ССЗ (+) достоверна ($p < 0,05$).

Notes: *^{a, b, c} hair mercury concentrations in the groups compared by age and area of residence were statistically different at $p \leq 0.05$ (Kruskal–Wallis H test); * statistically different between the subjects with/without cardiovascular diseases (CVD) ($p < 0.05$).

Таблица 2. Содержание ртути в волосах женщин

Table 2. Hair mercury concentrations in female subjects

Возрастные группы / Age groups		n		мг Hg/kg (95 % ДИ) / mg Hg/kg (95 % CI)	
ССЗ(-) / CVD(-)	ССЗ(+) / CVD(+)	ССЗ(-) / CVD(-)	ССЗ(+) / CVD(+)	ССЗ (-) / CVD(-)	ССЗ (+) / CVD(+)
Все / All					
35	66	501	348	0,484* (0,575–0,668)	0,633* (0,681–0,771)
Женщины / Women					
18–22	40–58	82	67	0,324* ^a (0,229–0,42)	0,601* ^a (0,46–0,742)
23–34	59–67	74	72	0,35* ^a (0,253–0,447)	0,728* ^a (0,53–0,925)
35–44	68–79	87	61	0,667 ^b (0,437–0,897)	0,548 ^{ab} (0,422–0,674)
45–74	≥ 80	66	66	0,712* ^b (0,547–0,877)	0,483* ^b (0,335–0,631)
Итого / Total:		309	266	0,506* (0,429–0,583)	0,591* (0,515–0,667)
Район проживания (Женщины) / Area of residence (Women)					
г. Череповец / Cherepovets		250	233	0,522 ^a (0,438–0,606)	0,573 ^a (0,491–0,655)
Череповецкий р-н / Cherepovets district		31	7	0,522 ^a (–0,427–1,471)	0,705 ^a (0,354–1,056)
Районы области / Regional districts		28	26	0,363* ^a (0,212–0,515)	0,627* ^a (0,428–0,827)

Примечание: Н-тест (^{a, b}) – значения содержания ртути в волосах людей статистически значимо различаются между сравниваемыми возрастными группами / районами проживания при $p \leq 0,05$ (Kruskal – Wallis test); * – разница значений между людьми с ССЗ (-) и ССЗ (+) достоверна ($p < 0,05$).

Notes: *^{a, b} hair mercury concentrations in the groups compared by age and area of residence were statistically different at $p \leq 0.05$ (Kruskal–Wallis H test); * statistically different between the subjects with/without cardiovascular diseases (CVD) ($p < 0.05$).

Установлено, что содержание ртути в волосах людей связано с количеством рыбы в рационе их питания (коэффициент корреляции $RS = 0,336$, $p \leq 0,000$). У мужчин и женщин, в рационе которых рыба составляет меньше 1000 г в месяц, количество металла в волосах в 2–3 раза ниже, чем у участников исследования, употребляющих более 2000 г в месяц (см. рис. 1).

Средний возраст участников исследования с сердечно-сосудистыми заболеваниями (мужчины – 64; женщины – 68) был значительно выше, чем в группе условно здоровых участников исследования (мужчины – 34; женщин – 35).

Установлено, что содержание ртути в волосах участников исследования с ССЗ ($0,646 \pm 0,727$ мг/кг) достоверно выше, в среднем в 1,5 раза, чем у ус-

ловно здоровых ($0,459 \pm 0,589$ мг/кг) (см. рис. 2). Такие различия отмечены в группе как мужчин, так и женщин.

Статистически значимых различий между содержанием ртути в волосах мужчин и женщин с разными сердечно-сосудистыми заболеваниями не установлено (см. табл. 3). Более высокие средние значения содержания ртути в волосах отмечены у мужчин с инфарктом миокарда и нестабильной стенокардией – более 0,73 мг/кг. Ниже эти значения у исследуемых с ОНМК и ОКС – 0,589 и 0,621 мг/кг соответственно. Среднее значение количества металла в волосах мужчин с заболеваниями: гипертоническая болезнь, атриовентрикулярная блокада, тромбоэмболия легочных артерий, нарушение сердечного ритма составляет 0,691 мг/кг.

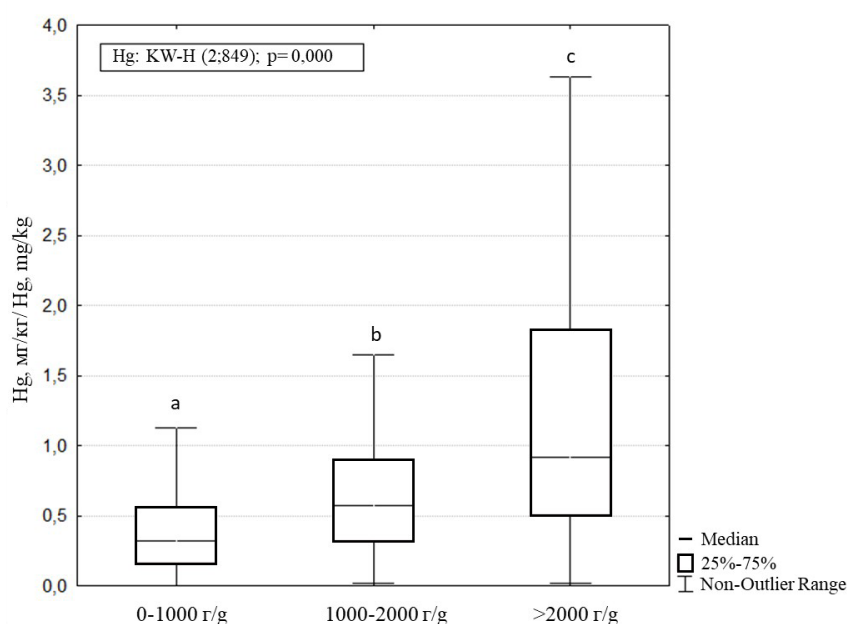


Рис. 1. Содержание ртути (мг/кг) в волосах людей, использующих разное количество рыбы (г) в рационе питания
Fig. 1. Hair mercury concentrations (mg/kg) in the subjects with different dietary intake of fish (g)

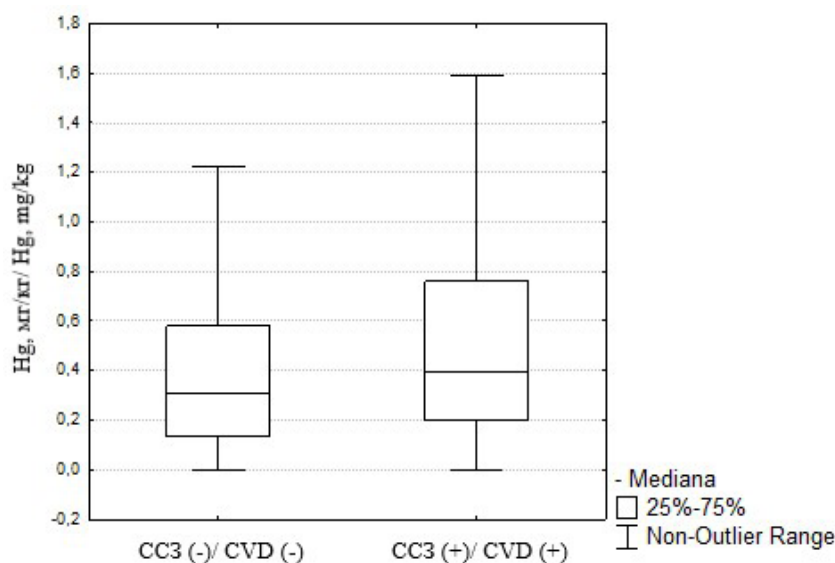


Рис. 2. Содержание ртути в волосах участников исследования
Fig. 2. Hair mercury concentrations in the study participants

Таблица 3. Содержание ртути в волосах участников исследования с разными сердечно-сосудистыми заболеваниями**Table 3. Hair mercury concentrations in the study participants with different cardiovascular diseases**

Заболевание / Disease	n	Среднее / Mean	Медиана / Median	Минимум / Min	Максимум / Max	Q25	Q75	SD	SE
Мужчины / Men									
Все / All	274	0,615	0,387	0,001	4,549	0,173	0,764	0,731	0,044
Здоровые / Healthy	82	0,413 ^a	0,236	0,001	3,263	0,053	0,559	0,54	0,06
ИМ / MI	95	0,729 ^b	0,446	0,001	4,549	0,217	0,828	0,87	0,089
ОКС / ACS	32	0,62 ^{ab}	0,344	0,001	3,02	0,184	0,871	0,669	0,118
ОНМК / CVA	11	0,589 ^{ab}	0,6	0,027	1,157	0,392	0,832	0,323	0,097
НСКА / UA	13	0,82 ^{ab}	0,473	0,122	3,01	0,198	0,822	1,002	0,278
ГБ, АВ-блокада, ТЭЛА, нарушение сердечного ритма / HHD, AV block, PE, cardiac arrhythmia	41	0,691 ^{ab}	0,407	0,004	2,425	0,196	0,941	0,689	0,108
Женщины / Women									
Все / All	575	0,552	0,359	0,001	6,04	0,186	0,646	0,662	0,028
Здоровые / Healthy	266	0,506 ^a	0,324	0,001	6,04	0,181	0,598	0,639	0,039
ИМ / MI	103	0,479 ^{ab}	0,363	0,001	2,661	0,155	0,555	0,485	0,048
ОКС / ACS	35	0,706 ^{ab}	0,352	0,039	4,206	0,202	0,675	0,953	0,161
ОНМК / CVA	9	0,687 ^{ab}	0,401	0,035	2,008	0,189	0,822	0,657	0,219
НСКА / UA	18	0,622 ^{ab}	0,317	0,07	3,812	0,171	0,488	0,942	0,222
ГБ, АВ-блокада, ТЭЛА, нарушение сердечного ритма / HHD, AV block, PE, cardiac arrhythmia	143	0,633 ^b	0,478	0,002	4,845	0,235	0,786	0,684	0,056

Примечание: Kruskal – Wallis test (^{a, b}) – Hg в волосах людей статистически значимо различаются при $p \leq 0,05$.

Notes: a, b hair mercury concentrations were statistically different at $p \leq 0.05$ (Kruskal–Wallis H test).

Abbreviations: MI, myocardial infarction; ACS, acute coronary syndrome; CVA, cerebrovascular accident; UA, unstable angina; HHD, hypertensive heart disease; AV block, atrioventricular block; PE, pulmonary embolism.

У женщин с ИМ количество ртути (в среднем составляет – 0,479 мг/кг) в волосах в 1,5 раза статистически значимо ниже, чем у мужчин с данным заболеванием. Количество ртути в волосах у женщин с другими рассматриваемыми заболеваниями (в среднем 0,622–0,706 мг/кг) сопоставимы с концентрациями ртути в волосах мужчин (см. табл. 3).

Множественный логистический регрессионный анализ риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы в соответствии с квартилями уровня ртути (концентрация ртути в волосах выше установленного безопасного норматива – 1 мг/кг) не показал существенной взаимосвязи. Однако шансы встретить людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями в 4,602 раза выше в самом высоком квартиле ртути (см. табл. 4).

Обсуждение. Экспертный комитет ФАО/ВОЗ предложил безопасное значение уровня ртути в

волосах – 2,2 мг/кг [2]. USEPA отмечает рекомендуемый уровень ртути в волосах < 1 мг/кг [19]. Для женщин репродуктивного возраста рекомендованное количество ртути в волосах < 0,58 мг/кг [20].

Множественный логистический регрессионный анализ не показал статистически значимого увеличения риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы для квартилей ртути в волосах после корректировки на возраст, пол, место жительства, количество употребленной рыбы в месяц. Однако начиная со второго квартиля ртути (> 1,2 мг/кг) уровень ССЗ был выше по сравнению с группой с самым низким квартилем содержания ртути. Полученные данные согласуются с пороговым уровнем содержания металла в волосах, установленным USEPA, – < 1 ммг/кг [19]. В ранее проведенных исследованиях установлена связь между накоплением ртути в организме людей

Таблица 4. Соотношение шансов риска сердечно-сосудистых заболеваний среди квартилей ртути в волосах
Table 4. Odds ratios of cardiovascular disease risk for hair mercury quartiles

	Квартиль Hg / Hg quartiles			
	Q ₁ (n = 33)	Q ₂ (n = 30)	Q ₃ (n = 30)	Q ₄ (n = 30)
n (%)	30 (26,1 %)	29 (25,2 %)	28 (24,3 %)	28 (24,3 %)
ОШ / Odds ratio	1	1,803	3,974	4,602
95 % ДИ / CI		0,303–10,721	0,653–24,183	0,703–30,144

Примечание: анализ был скорректирован с учетом возраста, пола, места жительства, количества употребленной рыбы. Квартили ртути: Q₁ – 1,001–1,199, Q₂ – 1,2–1,592, Q₃ – 1,593–2,2, Q₄ – 2,21–6,04 мг/кг.

Notes: The results were adjusted for age, sex, area of residence, and the dietary intake of fish. Mercury quartiles: Q₁ – 1.001–1.199, Q₂ – 1.2–1.592, Q₃ – 1.593–2.2, and Q₄ – 2.21–6.04 mg/kg.

и нарушением работы сердечно-сосудистой системы [21]. Исследования, проведенные в Вологодской области, показали аналогичные результаты: количество ртути в волосах $> 0,54$ мг/кг увеличивает риск развития кардиометаболического синдрома [10]. Ртуть является лишь одним из многочисленных факторов, которые стимулируют развитие ССЗ, и проявляется на статистически значимом уровне даже в умеренной зоне накопления ртути в волосах.

Содержание ртути в волосах участников представленного исследования варьирует в пределах от 0,001 до 6,041 мг/кг. Доля участников с концентрацией металла 2,2 мг/кг составляет 4 %; 1 мг/г – 14 %; $> 0,54$ мг/кг – 33 %.

В группе людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями доля участников исследования с превышением нормативных значений количества ртути в волосах в 1,5 раза выше, чем в группе условно здоровых.

В настоящем исследовании взаимосвязь между количеством ртути в волосах людей и возрастом не установлена. Аналогичные результаты были получены в Чешской Республике [22]. Исследования показывают, что хроническое воздействие, даже при низких концентрациях ртути, может вызвать ССЗ. Воздействие ртути может влиять на вариабельность сердечного ритма, особенно раннее воздействие у детей [19].

В ходе настоящего исследования установлено, что содержание ртути в волосах зависит от питания – количества употребленной рыбы. Концентрация ртути в волосах людей зависит от объема рыбы в их рационе [2]. Рыболовство является одним из направлений деятельности населения Вологодской области. В водоемах Вологодской области неоднократно были отмечены превышающие нормативные уровни значения количества ртути в мышцах рыб [6]. Употребление в пищу местной рыбы может быть связано с риском накопления металла в организме населения и негативных последствий для здоровья. Также содержание ртути в волосах зависит от места жительства, образа жизни [10, 11, 22].

В городе Череповце расположены предприятия химической промышленности и металлургии. Отмечено, что концентрации ртути у жителей города Череповца (0,52 мг/кг) в 2–3 раза ниже, чем содержание ртути в волосах жителей соседних населенных пунктов (расположенных в 100–350 км от промышленных территорий): г. Бабаево (0,95 мг/кг), Вытегорский (1,08 мг/кг) и Кирилловский (1,21 мг/кг) районы [11]. У жителей Московской области количество ртути в волосах составляет 0,25 мг/кг [23]; у жителей из региона, подверженного промышленному загрязнению, – 5,31 мг/кг [24]; в Европе – 0,11–0,24 мг/кг [22,25]. Максимальные значения ртути в мире отмечены у жителей государств с мелкомасштабной добычей золота (Индонезия, Мьянма, Кения), где источниками загрязнения окружающей среды ртутью (Таиланд) являются промышленные предприятия, и у населения островных государств Тихого океана, богатого рыбой (Соломоновы острова, Маршалловы острова, Кирибати и т. д.) [26].

Установлено, что содержание ртути в волосах участников исследования с ССЗ достоверно выше, чем у условно здоровых. ВОЗ отмечает, что уровень ртути в организме является причиной развития сердечных и сосудистых расстройств [2]. Механизм влияния ртути на сердечно-сосудистую систему связан с повышенным окислительным стрессом, снижением окислительной защиты, дисфункцией эндотелия и тромбозом [27]. Хроническое воздействие ртути влияет на вариабельность сердечного ритма, парасимпатическую активность сердца и толщину интимы сонных артерий [28]. Воздействие ртути связано с повышенным риском гипертонии [29].

В настоящем исследовании не установлено статистических различий между показателями содержания ртути в волосах людей с разными типами нарушения работы сердечно-сосудистой системы. При этом медианные значения количества ртути в организме мужчин и женщин с острым нарушением мозгового кровообращения выше, чем с ишемической болезнью сердца (ИМ, ОКС, НСК).

Кроме того, отмечено, что количество ртути в волосах у мужчин и женщин с одинаковыми диагностированными заболеваниями сердечно-сосудистой системы статистически значимо не различаются, за исключением ИМ. У мужчин с ИМ количество ртути в волосах статистически выше, чем у женщин.

Заключение. Таким образом, среднее содержание ртути в волосах жителей Вологодской области в 3,5 раза ниже установленных ВОЗ безопасных значений и в 1,5 раза ниже рекомендуемых USEPA.

Установлено, что количество ртути в волосах участников исследования с сердечно-сосудистыми заболеваниями статистически значимо выше, в среднем в 1,5 раза, чем у людей без этих заболеваний. Статистически значимых различий между количеством металла в волосах людей с разными сердечно-сосудистыми заболеваниями не установлено, при этом максимальные уровни ртути отмечены у мужчин при ИМ, а у женщин при инсульте и ОКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. UNEP Global Mercury Assessment. Geneva, Switzerland; 2008. Accessed February 1, 2022. <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/MercuryToolkit/tabid/4566/language/en-US/Default.aspx>
2. World Health Organization. Mercury and Health: Key Facts. March 31, 2017. Accessed February 1, 2022. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2019). Resource document. Toxic Substances Portal – Mercury. Accessed June 2, 2020. <https://www.atsdr.cdc.gov/SPL/#2019spl>
4. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA J.* 2012;10(12):2985. doi: 10.2903/j.efsa.2012.2985
5. U.S. Environmental Protection Agency. Mercury Study Report to Congress. Volume IV: An Assessment of Exposure to Mercury in the United States. U.S. EPA-452/R-97-006. December 2019. Accessed June 2, 2020. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/volume4.pdf>

6. Komov VT, Gremyachikh VA. Variations in mercury concentrations in the muscles of fish in biotopes within the water body and in different water bodies of Russia. *Limnology and Freshwater Biology*. 2022;(3):1280-1282. doi: 10.31951/2658-3518-2022-A-3-1280
7. Ivanova E, Eltsova L, Komov V, et al. Assessment of the consumptive safety of mercury in fish from the surface waters of the Vologda region in northwestern Russia. *Environ Geochem Health*. 2023;45(3):863-879. doi: 10.1007/s10653-022-01254-4
8. Komov VT, Ivanova ES, Gremyachikh VA, Poddubnaya NY. Mercury content in organs and tissues of indigenous (*Vulpes vulpes* L.) and invasive (*Nyctereutes procyonoides* Gray.) species of Canids from areas near Cherepovets (North-Western industrial region, Russia). *Bull Environ Contam Toxicol*. 2016;97(4):480-485. doi: 10.1007/s00128-016-1891-7
9. Udodenko YG, Komov VT, Zakonnov VV. Long-term dynamics of total mercury in surficial bottom sediments of the Volga River's reservoir in central Russia. *Environ Monit Assess*. 2018;190(4):198. doi: 10.1007/s10661-018-6575-9
10. Ivanova ES, Shuvalova OP, Eltsova LS, Komov VT, Kornilova AI. Cardiometabolic risk factors and mercury content in hair of women from a territory distant from mercury-rich geochemical zones (Cherepovets city, Northwest Russia). *Environ Geochem Health*. 2021;43(11):4589-4599. doi: 10.1007/s10653-021-00939-6
11. Rumiantseva O, Ivanova E, Komov V. High variability of mercury content in the hair of Russia Northwest population: The role of the environment and social factors. *Int Arch Occup Environ Health*. 2022;95(5):1027-1042. doi: 10.1007/s00420-021-01812-w
12. Dórea JG. Neurotoxic effects of combined exposures to aluminum and mercury in early life (infancy). *Environ Res*. 2020;188:109734. doi: 10.1016/j.envres.2020.109734
13. Houston MC. Role of mercury toxicity in hypertension, cardiovascular disease, and stroke. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2011;13(8):621-627. doi: 10.1111/j.1751-7176.2011.00489.x
14. Basta PC, Viana PVS, Vasconcellos ACS, et al. Mercury exposure in Mundurucu indigenous communities from Brazilian Amazon: Methodological background and an overview of the principal results. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(17):9222. doi: 10.3390/ijerph18179222
15. Farzan SF, Howe CG, Chen Y, et al. Prenatal and postnatal mercury exposure and blood pressure in childhood. *Environ Int*. 2021;146:106201. doi: 10.1016/j.envint.2020.106201
16. Salonen JT, Seppänen K, Nyyssönen K, et al. Intake of mercury from fish, lipid peroxidation, and the risk of myocardial infarction and coronary, cardiovascular, and any death in eastern Finnish men. *Circulation*. 1995;91(3):645-655. doi: 10.1161/01.cir.91.3.645
17. Hu XF, Lowe M, Chan HM. Mercury exposure, cardiovascular disease, and mortality: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Environ Res*. 2021;193:110538. doi: 10.1016/j.envres.2020.110538
18. Williams JR. *Medical Ethics Manual*. 3rd ed. Ferney-Voltaire France: World Medical Association; 2015. Accessed May 31, 2023. https://www.wma.net/wp-content/uploads/2016/11/Ethics_manual_3rd_Nov2015_en.pdf
19. National Research Council (US) Committee on the Toxicological Effects of Methylmercury. *Toxicological Effects of Methylmercury*. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000. doi: 10.17226/9899
20. Bellanger M, Pichery C, Aerts D, et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention. *Environ Health*. 2013;12:3. doi: 10.1186/1476-069X-12-3
21. Roman HA, Walsh TL, Coull BA, et al. Evaluation of the cardiovascular effects of methylmercury exposures: current evidence supports development of a dose-response function for regulatory benefits analysis. *Environ Health Perspect*. 2011;119(5):607-614. doi: 10.1289/ehp.1003012
22. Kruzikova K, Kensova R, Blahova J, Harustiakova D, Svobodova Z. Using human hair as an indicator for exposure to mercury. *Neuro Endocrinol Lett*. 2009;30(Suppl 1):177-181.
23. Егоров А.И., Ильченко И.Н., Ляпунов С.М. и др. Применение стандартизированной методологии биомониторинга человека для оценки пренатальной экспозиции к ртути // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 5. С. 10–18.
23. Egorov AI, Ilchenko IN, Lyapunov SM, et al. Application of a standardized human biomonitoring methodology to assess prenatal exposure to mercury. *Gigiena i Sanitariya*. 2014;93(5):10-18. (In Russ.)
24. Горбачев А.Л. Некоторые эколого-медицинские проблемы Севера // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2020. № 4. С. 105–113. doi: 10.34078/1814-0998-2020-4-105-113
24. Gorbachyov AL. Some ecological and medical problems of the north. *Vestnik Severo-Vostochnogo Nauchnogo Tsentra DVO RAN*. 2020;(4):105-113. (In Russ.) doi: 10.34078/1814-0998-2020-4-105-113
25. Lindow SW, Knight R, Batty J, Haswell SJ. Maternal and neonatal hair mercury concentrations: the effect of dental amalgam. *BJOG*. 2003;110(3):287-291.
26. Bell L, Evers D, Johnson S, et al. Mercury in women of child-bearing age in 25 countries. Global report. Göteborg: IPEN and Biodiversity Research Institute; 2017. Accessed May 31, 2023. https://ipen.org/sites/default/files/documents/updateNov14_mercury-women-report-v1_6.pdf
27. Genchi G, Sinicropi MS, Carocci A, Lauria G, Catalano A. Mercury exposure and heart diseases. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(1):74. doi: 10.3390/ijerph14010074
28. Choi AL, Weihe P, Budtz-Jørgensen E, et al. Methylmercury exposure and adverse cardiovascular effects in Faroese whaling men. *Environ Health Perspect*. 2009;117(3):367-372. doi: 10.1289/ehp.11608
29. Hu XF, Singh K, Chan HM. Mercury exposure, blood pressure, and hypertension: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Environ Health Perspect*. 2018;126(7):076002. doi: 10.1289/EHP2863

Сведения об авторах:

✉ Гусева Марина Андреевна – аспирант кафедры биологии ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»; e-mail: xoma8241@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0341-6290>.

Иванова Елена Сергеевна – к.б.н., ведущий научный сотрудник кафедры биологии ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»; e-mail: stepinaelena@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6976-1452>.

Комов Виктор Трофимович – д.б.н., профессор ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук»; ведущий научный сотрудник кафедры биологии ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»; e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9124-7428>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Гусева М.А., Иванова Е.С., Комов В.Т.; сбор данных: Гусева М.А.; анализ и интерпретация результатов: Гусева М.А., Иванова Е.С., Комов В.Т.; литературный обзор, подготовка

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-52-59>
Original Research Article

рукописи: Гусева М.А., Иванова Е.С. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: программа исследования была обсуждена и одобрена Комиссией по биоэтике Череповецкого государственного университета и Территориальным управлением здравоохранения Вологодской области (№ 2–1 / 55, 18.01.2019). Все участники были ознакомлены и заполнили добровольное информированное письменное согласие на участие в исследовании, в соответствии с кодексом этики Всемирной медицинской ассоциации (Хельсинкской декларации) на проведение экспериментов с участием человека и публикацию полученных результатов.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: соавтор статьи Комов В.Т. является членом редакционного совета научно-практического журнала «Здоровье населения и среда обитания», остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья получена: 02.04.23 / Принята к публикации: 16.05.23 / Опубликовано: 31.05.23

Author information:

✉ Marina A. **Guseva**, Postgraduate student, Department of Biology, Cherepovets State University; e-mail: xoma8241@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0341-6290>.

Elena S. **Ivanova**, Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Department of Biology, Cherepovets State University; e-mail: stepinaelena@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6976-1452>.

Viktor T. **Komov**, Dr. Sci. (Biol.), Professor, I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences; Leading Researcher, Department of Biology, Cherepovets State University; e-mail: vkomov@ibiw.yaroslavl.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9124-7428>.

Author contributions: study conception and design: *Guseva M.A., Ivanova E.S., Komov V.T.*; data collection: *Guseva M.A.*; analysis and interpretation of results: *Guseva M.A., Ivanova E.S., Komov V.T.*; literature review, draft manuscript preparation: *Guseva M.A., Ivanova E.S.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Bioethics Committee of the Cherepovets State University and the Vologda Region Health Department (Protocol 2-1/55 of January 18, 2019). Written informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The coauthor of the article Viktor T. Komov is the Member of the Editorial Council of the journal Public Health and Life Environment; the first author declares that there is no conflict of interest.

Received: April 2, 2023 / Accepted: May 16, 2023 / Published: May 31, 2023