



Крючкова Е.Н., Антошина Л.И., Сухова А.В., Преображенская Е.А.

Влияние факторов гальванического производства на иммунореактивность организма работающих

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия

Введение. Современное гальваническое производство лидирует по загрязнению воздуха рабочей зоны веществами, содержащими высокотоксичные соединения. Поэтому раннее выявление негативного воздействия вредных факторов на организм рабочих приобретает первостепенное значение. **Цель исследования** — оценить изменения в отдельных звеньях иммунной системы при продолжительном воздействии химических факторов производственной среды.

Материалы и методы. Обследованы 195 работников гальванического производства (основная группа) и 67 работников, не контактирующих с вредными факторами производственной среды (контрольная группа). Цитохимические и иммунологические исследования выполнены по стандартным и унифицированным методикам. Содержание никеля в моче определяли вольтамперометрическим методом.

Результаты. С увеличением производственного стажа у рабочих наблюдается снижение активности миелопероксидазы нейтрофилов МПн ($r = -0,89$) и повышение активности кислой фосфатазы нейтрофилов КФн, щелочной фосфатазы нейтрофилов ЩФн ($r = 0,88-0,91$). Отмечена дестабилизация клеточного звена иммунного ответа, характеризующаяся снижением иммунорегуляторного индекса в 2 раза, и активация гуморального звена с увеличением уровней иммуноглобулинов IgM, IgE и циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) в 1,4–1,8 раза относительно контроля. Установлен дисбаланс цитокиновой регуляции, где преобладают провоспалительные реакции с повышенной в 1,5–3,5 раза продукцией цитокинов (IL-1β, ФНО-α, IL-4). Установлена взаимосвязь между концентрацией никеля в моче и изменением показателей КФн ($r = 0,87$), МПн ($r = -0,84$), IgA ($r = -0,72$); IL-1β, IL-4, IgE ($r = 0,62-0,71$), подтверждающая приоритетное влияние соединений никеля на установленные изменения.

Заключение. Выявленные нарушения иммунореактивности организма у обследованных работников могут способствовать развитию аллергических, иммунодефицитных и аутоиммунных состояний, составляющих основу профессиональных и производственно обусловленных заболеваний. Предложенные биомаркеры рекомендуется использовать для ранней диагностики нарушений здоровья у рабочих гальванического производства, формирования «групп риска», оценки эффективности проведения своевременных профилактических и реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: гальваническое производство; никель; химический фактор; иммунная система; цитокины

Для цитирования: Крючкова Е.Н., Антошина Л.И., Сухова А.В., Преображенская Е.А. Влияние факторов гальванического производства на иммунореактивность организма работающих. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (9): 959–963. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-959-963>

Для корреспонденции: Крючкова Елена Николаевна, доктор биол. наук, ст. науч. сотр. ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи. E-mail: kdlfncg@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Крючкова Е.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Антошина Л.И. — сбор и обработка материала; Сухова А.В. — написание текста, редактирование; Преображенская Е.А. — концепция и дизайн исследования. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 15.06.2021 / Принята к печати 17.08.2021 / Опубликована 20.09.2021

Elena N. Kryuchkova, Larisa I. Antoshina, Anna V. Sukhova, Elena A. Preobrazhenskaya

Influence of factors of electroplating production on the immunoreactivity of the body of workers

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation

Introduction. Modern electroplating production is the leader in air pollution of the working area with substances containing highly toxic compounds. Therefore, early detection of the negative impact of harmful factors on the body of workers is of paramount importance.

The purpose of the study: to evaluate changes in individual parts of the immune system under prolonged exposure to chemical factors of the production environment.

Materials and methods. 195 employees of electroplating production (the leading group) and 67 employees who are not in contact with harmful factors of the production environment (the control group) were examined. Cytochemical and immunological studies were performed according to standard and unified methods. The nickel content in the urine was determined by the voltammetric method.

Results. With an increase in the work experience of workers, there is a decrease in the activity of myeloperoxidase of neutrophils MPn ($r = -0,89$) and an increase in the activity of acid phosphatase of neutrophils AcPn, alkaline phosphatase of neutrophils AIPn ($r = 0,88-0,91$). There was a destabilization of the cellular component of the immune response, characterized by a decrease in the immunoregulatory index by 2.0 times, and activation of the humoral component with an increase in the levels of IgM, IgE and circulating immune complexes by 1.4–1.8 times relative to the control. An imbalance of cytokine regulation was established, where proinflammatory responses with increased cytokine production by 1.5–3.5 times (IL-1β, TNF-α, IL-4) prevail. The relationship between the concentration of nickel in the urine and changes in the parameters of AcPn ($r = 0,87$), MPn ($r = -0,84$), IgA ($r = -0,72$); IL-1β, IL-4, IgE, ($r = 0,62-0,71$), confirming the priority effect of nickel compounds on the established changes.

Conclusion. The identified violations of the immunoreactivity of the workers' body can contribute to the development of immunodeficiency, allergic and autoimmune conditions that underlie occupational and industrial-related diseases. The proposed biomarkers are recommended to be used for early diagnosis of health disorders in workers of electroplating production, formation of "risk groups", evaluation of the effectiveness of timely preventive and rehabilitation measures.

Keywords: electroplating production; nickel; chemical factor; immune system; cytokines

For citation: Kryuchkova E.N., Antoshina L.I., Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A. Influence of factors of electroplating production on the immunoreactivity of the body of workers. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (9): 959–963. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-959-963> (In Russ.)

For correspondence: Elena N. Kryuchkova, MD, PhD, DSci., senior researcher of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation. E-mail: kdlfnec@yandex.ru

Information about authors:

Kryuchkova E.N., <https://orcid.org/0000-0002-4800-433X> Antoshina L.I., <https://orcid.org/0000-0002-0029-1405>
Preobrazhenskaya E.A., <https://orcid.org/0000-0003-1941-0491> Sukhova A.V., <https://orcid.org/0000-0002-1915-1138>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Contribution: Kryuchkova E.N. – concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing; Antoshina L.I. – collection and processing of material; Sukhova A.V. – writing, editing; Preobrazhenskaya E.A. – concept and design of the study. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Received: June 15, 2021 / Accepted: August 17, 2021 / Published: September 20, 2021

Введение

Приоритетным направлением профилактической медицины является изучение общих закономерностей и механизмов влияния факторов производственной среды на человека с целью снижения риска здоровью работающего населения [1].

Для повышения коррозионной стойкости, улучшения декоративного вида изделия, его износостойчивости активно используют гальванический метод обработки металлических поверхностей в различных отраслях промышленности (машиностроении, приборостроении, авиастроении) [2].

Современное гальваническое производство лидирует по загрязнению воздуха рабочих помещений. Производственные условия отличаются повышенной влажностью, значительной концентрацией вредных паров и газов, дисперсных туманов и брызг электролитов [3–5]. При нанесении защитных покрытий на различные поверхности (хромировании, никелировании) выделяется значительное количество токсических веществ: в воздушную среду цехов выбрасываются аэрозоли растворов электролитов, в состав которых входят неорганические кислоты (соляная, серная, азотная, фосфорная), едкие щёлочи, соединения хрома, никеля, кадмия и других металлов. Вредные производственные факторы являются не только основой формирования профессиональной патологии (заболевания органов дыхания, кожи, глаз), но и способны запускать патогенетические механизмы развития и прогрессирования общих заболеваний [6–9].

Воздействие неблагоприятных факторов различной природы приводит к изменению функционирования иммунной системы вследствие её высокой чувствительности, поэтому чрезвычайно важно определение уровня естественной иммунореактивности организма работающих на этапе, когда выявленные изменения ещё не привели к развитию серьёзной патологии и носят обратимый характер. Знание характера и степени сокращения резервов иммунорегуляции позволяет установить наличие патологических реакций в организме, обосновать оптимальные сроки и способы профилактики [10–12].

Цель исследования – оценить изменения в отдельных звеньях иммунной системы при продолжительном воздействии химических факторов производственной среды.

Материалы и методы

Обследованы 195 рабочих гальванического производства – травильщики, гальваники, заливщики компаунда, корректировщики ванн, шлифовщики, контролёры металлопокрытий, полировщики. Первую группу наблюдения составили 95 человек – стаж работы в неблагоприятных условиях менее десяти лет, во вторую группу (100 человек) вошли работники со стажем больше десяти лет. Контрольная группа сформирована из 67 работников, не контактирующих с вредными факторами производства. Средний возраст обследуемых составил $38,7 \pm 4,4$ года, стаж работы – $13,2 \pm 3,6$ года.

По данным ведомственной лаборатории изучаемого предприятия и специальной оценки условий труда, уровень запылённости в гальванических цехах составлял $5–5,9$ мг/м³ (ПДК – 4 мг/м³); наблюдались повышенные концентрации

паров серной кислоты – $1,4–1,9$ мг/м³ (ПДК – 1 мг/м³), соляной кислоты – $4,8–5,9$ мг/м³ (ПДК – 5 мг/м³); аэрозолей никеля – $0,01–0,020$ мг/м³ (ПДК – 0,005 мг/м³). Микроклимат характеризуется как нагревающий (на $5–10$ °C выше нормы), с повышенной влажностью (на 11% выше нормы). Общая оценка условий труда в соответствии с руководством* относится к категории вредных второй степени опасности и соответствует классу 3.2.

Предмет изучения – биологические жидкости (кровь, моча).

Никель в моче определяли методом инверсионной вольтамперометрии [13].

В нейтрофилах периферической крови цитохимическими методами определяли миелопероксидазу (МПн) по методу Грехема–Кноля, кислую (КФн) и щелочную (ЩФн) фосфатазы по Goldberg и Varka. Активность клеточных ферментов оценивали по количеству гранул, интенсивности их окрашивания и выражали в условных единицах (принцип Karlow).

Оценка иммунного статуса обследуемых работников осуществлена путём определения % содержания субпопуляционного состава лимфоцитов периферической крови (CD3⁺, CD4⁺, CD8⁺, CD16⁺, CD20⁺) иммунофлуоресцентным методом с использованием моноклональных антител; количественного содержания в сыворотке крови иммуноглобулинов (А, М, G) турбидиметрическим методом; циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) по ПЭГ-преципитации; иммуноглобулина Е и цитокинов (IL-1 β , IL-4, TNF- α) – методом (ИФА) твердофазного иммуноферментного анализа.

Полученные в ходе исследования результаты статистически обработаны с помощью пакета прикладных программ Statistica 8.0 в среде Windows. Рассчитаны средняя арифметическая (M), средняя ошибка (m); оценка достоверности различий исследуемых показателей проведена с использованием параметрических и непараметрических критериев Стьюдента и Манна–Уитни, использованы методы корреляционно-регрессионного анализа.

При выполнении работы этические нормы соблюдены. Исследования проводились с информированного согласия обследованных работников.

Результаты

Анализ мочевой экскреции никеля у обследованных работников основной группы подтвердил наличие высокого риска его вредного воздействия на организм работающих. Концентрация никеля в моче рабочих 1-й группы в среднем составила $0,303 \pm 0,04$ мкмоль/л, а у рабочих 2-й группы – $0,425 \pm 0,03$ мкмоль/л, что в 4–6 раз выше, чем у лиц контрольной группы ($0,071 \pm 0,01$ мкмоль/л) ($p < 0,001$). Небольшие уровни никеля необходимы для нормального функционирования организма, тогда как повышенные значения оказывают существенное повреждающее действие.

* Р 2.2.20 06-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Государственная система санитарно-гигиенического нормирования РФ. М.: МЗ России; 2005.

Таблица 1 / Table 1

Цитохимические показатели работников гальванического производства, $M \pm m$
Cytochemical indices in the examined workers of electroplating production, $M \pm m$

Показатель Index	1-я группа, стаж до 10 лет Group 1 work experience up to 10 years <i>n</i> = 95	2-я группа, стаж > 10 лет Group 2 work experience > 10 years <i>n</i> = 100	Контрольная группа Control group <i>n</i> = 67
Нейтрофилы, % Neutrophils, %	52.4 ± 2.0	51.1 ± 1.9*	56.9 ± 1.7
Кислая фосфатаза КФн, ед. Acid phosphatase AcPN, units	48.6 ± 1.9*	57.9 ± 2.2**	35.3 ± 2.0
Щелочная фосфатаза ЩФн, ед. Alkaline phosphatase AIPM, units	55.1 ± 2.4**	61.9 ± 2.1**	34.0 ± 1.7
Миелопероксидаза, МПн, ед. Myeloperoxidase MPN, units	1.49 ± 0.04***	1.24 ± 0.03***	2.10 ± 0.04

Примечание. Здесь и в табл. 2: различие достоверно с контрольной группой: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Note. Here and in Table 2: the difference is significant with the control group: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

При исследовании активности внутриклеточных ферментов (табл. 1) установлено, что по мере увеличения стажа работы в неблагоприятных условиях у рабочих достоверно снижается содержание миелопероксидазы нейтрофилов МПн ($r = -0,89$; $p < 0,001$). Низкие значения данного показателя встречались у 72,3% лиц со стажем до десяти лет и у 81,4% – со стажем более десяти лет. Выявленное снижение МПн отражает токсическое повреждение морфологии нейтрофилов на уровне субклеточных структур.

Вместе с тем отмечено повышение активности ЩФн и КФн нейтрофилов в обеих стажевых группах в 1,6–1,8 раз относительно контроля. Частота встречаемости лиц с повышенными значениями данных ферментов составляет 74,3–94,2%. По результатам корреляционного анализа определена тесная взаимосвязь между длительностью воздействия производственных факторов и увеличением активности кислой и щелочной фосфатаз в нейтрофилах ($r = 0,88-0,91$).

Установленные изменения в клетках периферической крови свидетельствуют о нарушении окислительно-восстановительных процессов, снижении антиоксидантных резервов вследствие истощения защитных механизмов и компенсаторного напряжения системы метаболизма.

В табл. 2 представлены изменения показателей клеточного, гуморального иммунитета и цитокинового профиля у обследованных работников в зависимости от стажа работы. Согласно полученным данным, большинство показателей изменяются уже при стаже менее десяти лет, и выраженность изменений нарастает с увеличением срока производственного контакта с неблагоприятными факторами.

При анализе показателей клеточного звена иммунитета выявлено статистически достоверное снижение относительного количества Т-лимфоцитов (CD3⁺), Т-хелперов (CD4⁺) клеток в 1,2–1,3 раза у рабочих 1-й и 2-й групп и одновременное увеличение количества

Таблица 2 / Table 2

Показатели иммунитета работников гальванического производства, $M \pm m$
Immunity indices in the examined electroplating production workers, $M \pm m$

Показатель Index	1-я группа, стаж до 10 лет Group 1 work experience up to 10 years <i>n</i> = 95	2-я группа, стаж > 10 лет Group 2 work experience > 10 years <i>n</i> = 100	Контрольная группа Control group <i>n</i> = 67
Т-лимфоциты (CD3 ⁺), % T-lymphocytes (CD3 ⁺), %	66.4 ± 2.0	63.6 ± 1.9*	70.4 ± 2.4
Т-хелперы (CD4 ⁺), % T-helpers (CD4 ⁺), %	44.3 ± 2.2*	39.5 ± 2.3*	52.3 ± 1.9
Т-супрессоры (CD8 ⁺), % T-suppressors (CD8 ⁺), %	25.6 ± 1.8*	31.4 ± 1.5*	21.1 ± 1.1
ИРИ (CD4 ⁺ /CD8 ⁺), % Immunoregulatory index, (CD4 ⁺ /CD8 ⁺), %	1.71 ± 0.3	1.26 ± 0.2*	2.48 ± 0.3
В-лимфоциты (CD20 ⁺), % B-lymphocytes (CD20 ⁺), %	17.4 ± 2.0	19.2 ± 2.3	14.2 ± 1.8
(CD16 ⁺), (NK-клетки), % (CD16 ⁺), (NK-cells), %	18.9 ± 1.4	14.1 ± 1.0	16.1 ± 1.4
IgA, г/л Immunoglobulin A, g/L	1.1 ± 0.2	0.8 ± 0.3*	2.4 ± 0.4
IgM, г/л Immunoglobulin M, g/L	2.2 ± 0.4	2.1 ± 0.4	1.2 ± 0.3
IgG, г/л Immunoglobulin G, g/l	13.9 ± 0.6*	7.1 ± 0.8	9.9 ± 1.2
IgE, Е/мл Immunoglobulin E, E/ml	119.3 ± 5.8*	149.7 ± 6.7*	82.5 ± 4.9
IL-1β, пг/мл Interleukin-1 beta, pg/ml	8.5 ± 0.6*	13.9 ± 0.7*	5.3 ± 0.6
IL-4 пг/мл Interleukin-4, pg/ml	3.7 ± 0.3	8.3 ± 0.6*	3.1 ± 0.4
TNF-α, пг/мл Tumor necrosis factor alpha, pg/ml	9.5 ± 0.6*	14.1 ± 1.7*	4.0 ± 0.7
ЦИК, у.ед. Circulating immune complexes, ed.	127.8 ± 9.8*	158.9 ± 11.3*	90.1 ± 7.1

T-супрессоров (CD8⁺) и В-лимфоцитов (CD20⁺) в 1,2–1,5 раза относительно контроля ($p < 0,05$). Следует особо отметить повышение количества натуральных киллеров (CD16⁺) в 1-й группе ($18,9 \pm 1,4\%$) и снижение их во 2-й группе ($14,1 \pm 1,0\%$) по сравнению с контрольной ($16,1 \pm 1,4\%$), что свидетельствует о напряжении защитной киллерной функции лимфоцитов у высокостажированных рабочих. Резко снижено значение показателя индекса иммунорегуляции (CD4⁺/CD8⁺) у высокостажированных рабочих ($1,26 \pm 0,2$) против контроля ($2,48 \pm 0,3$) ($p < 0,05$). Полученные данные указывают на формирование вторичной иммунологической недостаточности.

В гуморальном звене иммунной системы отмечено повышение в обеих группах уровня IgM в 1,8 раза, значительно снижен уровень IgA – в 2–3 раза, а также уровень IgG – в 1,4 раза во 2-й группе обследованных работников относительно группы контроля. Выявленные изменения указывают на снижение защитной роли антител этих классов в условиях длительного воздействия неблагоприятных факторов, в том числе соединений никеля на организм работающих.

Установлено существенное повышение уровней циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК), являющихся одним из факторов воспаления и тканевого повреждения, в обеих стажевых группах в 1,4–1,8 раза по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$).

Координация иммунных и воспалительных реакций реализуется с участием цитокинов, которые в одном случае выполняют защитные функции, а в другом – участвуют в патогенезе многих заболеваний [14, 15]. Цитокиновый профиль обследуемых рабочих характеризовался усилением продукции провоспалительных и противовоспалительных цитокинов. Отмечено повышение концентрации TNF- α в 2,4–3,5 раза, IL-1 β в 1,6–2,6 раза в обеих стажевых группах обследованных работников. Противовоспалительные цитокины, в нашем исследовании IL-4, принимают участие в ограничении воспалительного ответа, подавляя секрецию провоспалительных цитокинов, регулируя тем самым тяжесть повреждения тканей. Выявленное в ходе работы повышение содержания IL-4 в 1,2–2,7 раза у рабочих усиливает течение воспалительного процесса ($p < 0,05$). IL-4 играет ключевую роль в развитии аллергического воспаления, переклюкая В-лимфоциты на синтез IgE. Уровень данного иммуноглобулина достоверно повышался до $119,3 \pm 5,8$ Е/мл у обследованных рабочих 1-й группы и $149,7 \pm 6,7$ Е/мл 2-й группы относительно контрольной ($82,5 \pm 4,9$ Е/мл) ($p < 0,05$). Высокие значения IgE зарегистрированы в группе работников со стажем больше десяти лет у 37,6% лиц, что свидетельствует о выраженной сенсибилизации организма, вызываемой соединениями никеля.

Для оценки влияния никеля и его соединений на выявленные сдвиги в организме рабочих проведён корреляционный анализ. Отмечена сильная взаимосвязь между концентрацией никеля в моче и ферментами нейтрофилов ЩФн, КФн ($r = 0,74–0,87$), МПн ($r = -0,84$) ($p < 0,05$), а также иммунологическими показателями IgA ($r = -0,72$); IL-1 β , TNF- α , IL-4, IgE, ЦИК ($r = 0,62–0,71$; $p < 0,05$). Продолжительное и интенсивное воздействие неблагоприятных факторов рабочей среды, в том числе и аэрозолей никеля, может влиять на развитие вторичных иммунодефицитных, аллергических или аутоиммунных состояний, лежащих в основе любой патологии, в том числе и профессиональной.

Обсуждение

Недостаточно глубокая изученность вопросов ранней диагностики воздействия соединений никеля на здоровье работников гальванических цехов препятствуют своевременному установлению лиц, нуждающихся в лечении [16].

Повышенные количества никеля в организм человека поступают в основном в результате производственного контакта, оказывая токсическое, аллергенное, канцерогенное

воздействие. Основными органами-мишенями при никелировании являются лёгкие и кожа. Выделяемые в воздух рабочей зоны пары кислот, щелочей, повышенная запылённость и неблагоприятные условия микроклимата (высокая влажность и температура в цехах) усугубляют различные патологические изменения в организме работающих [17–19].

Согласно литературным данным [20, 21], длительное воздействие любого повреждающего фактора приводит к нарушению ферментных систем, участвующих в детоксикации и элиминации патогенного начала. Ферменты нейтрофильных лейкоцитов обладают высокой чувствительностью к экзогенным воздействиям, изменение их активности позволяет судить об интенсивности и направленности внутриклеточного обмена на различных этапах функциональных и структурных изменений. Между тем изменениям ферментного обмена в клетках крови при воздействии соединений никеля на организм работающих до настоящего времени не уделялось должного внимания. Выявленные цитохимические сдвиги в клетках: повышение активности ЩФн и КФн в 1,6–1,8 раза и выраженное угнетение МПн в 1,7 раза характеризуют нарушения внутриклеточного метаболизма и снижение резистентности клеток к цитотоксическому действию вредных химических веществ, в том числе аэрозолей никеля. Цитохимические изменения в клетках периферической крови предшествуют клиническим проявлениям воздействия профессиональных вредностей и могут служить маркером развития ранних нарушений в состоянии здоровья работающих.

Иммунологическая реактивность, то есть ответная реакция организма в условиях промышленного производства, является индикатором развития иммунопатологических состояний [22–25]. Оценка иммунологического статуса позволила установить существенные изменения в состоянии основных звеньев иммунной системы практически у всех обследованных работников гальванических цехов. Отмечена супрессия T-клеточного звена иммунитета, проявляющаяся в значительном снижении иммунорегуляторного индекса (ИРИ) в 1,5–2 раза у рабочих-гальваников по сравнению с контролем. Выявлен дисбаланс в гуморальном звене иммунитета: резко снижены показатели иммуноглобулинов IgG, IgA – в 1,4–3 раза, и повышены уровни иммуноглобулинов IgM, IgE и ЦИК-комплексов в 1,4–1,8 раза в группе работников со стажем больше десяти лет, что является неблагоприятным признаком в развитии аллергических и аутоиммунных заболеваний. Одновременно наблюдается усиление продукции про- и противовоспалительных цитокинов (IL-1 β , TNF- α , IL-4) в 1,5–3,5 раза, способствуя формированию синдрома системного воспалительного ответа. Полученные данные могут служить базовой основой в поддержании и усилении патологических процессов у рабочих гальванического производства.

Заключение

Таким образом, уже при стаже менее 10 лет у рабочих современного гальванического производства наблюдаются сокращение антиоксидантных резервов, сенсибилизация организма, снижение иммунологической реактивности. При увеличении стажа работы в неблагоприятных условиях отмечается усугубление выявленных изменений. Полученные данные характеризуют нарушение адаптационных процессов и снижение резистентности организма работающих к повреждающему фактору.

Предложенные информативно-диагностические показатели целесообразно включать в программу предварительных и периодических медицинских осмотров для определения индивидуального риска развития патологии, выявления ранних и особенно доклинических изменений состояния здоровья рабочих, контактирующих с соединениями никеля, что позволит выбрать наиболее целесообразное направление в проведении профилактических и оздоровительных мероприятий.

Литература

(п.п. 7, 9, 12, 17, 19 см. References)

1. Титова Е.Я., Голубь С.А. Современные проблемы охраны здоровья работников крупного промышленного предприятия, работающих в условиях профессиональных вредностей. *Анализ риска здоровью*. 2017; (4): 83–8. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.4.09>
2. Семушкина Е.А., Зеленко А.В., Сиянова О.К., Шербинская Е.С. Идентификация профессионального риска у работников термо-гальванического цеха машиностроительного предприятия. *Военная медицина*. 2017; (4): 58–60.
3. Филь Е.С., Теренъев И.А. Вопросы охраны труда работников гальванических цехов. *Молодой ученый*. 2016; (18–1): 32–5.
4. Лазаренков А.М. Исследование условий труда работающих в гальванических цехах. *Литье и металлургия*. 2019; (3): 160–2. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-160-162>
5. Поточкий Е.П., Фирсова В.М., Сахарова Е.А. Учет сочетанного действия комплекса вредных факторов и анализ влияния производственного фактора химической природы на уровень профессионального риска. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2018; 61(1): 35–9. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2018-1-35-39>
6. Гаршин В.И., Гераскова С.Е., Моргунова Т.В. Прогнозируемая оценка профессионального риска в гальваническом цехе. *News of Science and Education*. 2018; 3(5): 54–9.
8. Измеров Н.Ф. *Профессиональная патология: Национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2011.
10. Бодиевкова Г.М., Руквишников В.С. Нарушения иммунореактивности как маркер профессионального риска здоровью работающих в производстве винилхлорида. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(9): 840–3. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-840-843>
11. Крючкова Е.Е., Сааркопель Л.М., Яцына И.В. Особенности иммунного ответа при хроническом воздействии промышленных аэрозолей. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(11): 1058–61. <https://doi.org/10.1882/0016-9900-2016-95-11-1058-1061>
13. Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Антошина Л.И. *Клиническая лабораторная диагностика профессиональных заболеваний*. М.: Канцлер; 2013.
14. Рослая Н.А., Бушуева Т.В., Дулина Т.Р. Цитокиновый профиль у больных профессиональными заболеваниями органов дыхания на производстве тугоплавких металлов. *Медицина труда и промышленная экология*. 2008; (9): 47–9.
15. Серебренникова С.Н., Семинский И.Ж. Роль цитокинов в воспалительном процессе. *Сибирский медицинский журнал*. 2008; 81(6): 5–8.
16. Павловская Н.А., Кирьяков В.А., Савельев С.И. *Свинец, ртуть, никель: ранняя диагностика токсического действия на организм*. Липецк: Инфол; 2002.
18. Пичужкина Н.М., Чубирко М.И., Степкин Ю.М. Особенности заболеваемости и оценка риска здоровью рабочих гальванических цехов. *Медицина труда и промышленная экология*. 2010; (7): 7–11.
20. Савлуков А.И., Камилев Р.Ф., Самсонов В.М. Метаболические процессы в организме при воздействии химических загрязнителей. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2010; (7): 33–9.
21. Тимашева Г.В., Валева Э.Т., Бадамшина Г.Г., Гимранова Г.Г., Каримова Л.К. Оценка внутриклеточного метаболизма у работников химического производства. *Пермский медицинский журнал*. 2011; 28(6): 106–10.
22. Жукова А.Г., Уланова Е.В., Фоменко Д.В. Специфичность клеточного ответа на действие различных производственных токсикантов. *Медицина труда и промышленная экология*. 2011; (7): 23–6.
23. Петров Р.В., Хайтов Р.М., Черешнев Р.М. Физиология иммунной системы: клеточные и молекулярно-биологические механизмы. *Вестник Российского фонда фундаментальных исследований*. 2017; (S1): 96–119. <https://doi.org/10.22204/2410-4639-2017-094-02S-96-119>
24. Захаренков В.В., Казичкая А.С., Михайлова Н.Н., Романенко Д.В., Жданова Н.Н., Жукова А.Г. Влияние вредных производственных факторов на иммунный статус организма. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; (12): 19–23.
25. Старкова К.Г., Кривцов А.В., Бубнова О.А. Особенности иммунной регуляции у работников химического производства. *Российский иммунологический журнал*. 2015; 9(3): 214–6.

References

1. Titova E.Ya., Golub' S.A. Contemporary problems of health protection for workers employed at a large industrial enterprise and working under occupational hazards. *Analiz riska zdorov'yu*. 2017; (4): 83–8. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.4.09> (in Russian)
2. Semushkina E.A., Zelenko A.V., Sinyanova O.K., Shcherbinskaya E.S. Identification of occupational risk among employees of the thermo-electroplating shop of a machine-building enterprise. *Voennaya meditsina*. 2017; (4): 58–60. (in Russian)
3. Fil' E.S., Teren'tev I.A. Questions of labor protection of employees of electroplating shops. *Molodoy uchenyy*. 2016; (18–1): 32–5. (in Russian)
4. Lazarenkov A.M. A study of working conditions in electroplating shops. *Lit'e i metallurgiya*. 2019; (3): 160–2. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-160-162> (in Russian)
5. Pototskiy E.P., Firsova V.M., Sakharova E.A. Account of joint effect of the complex of harmful factors and analysis of the influence of production factor of chemical nature on the level of professional risk. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*. 2018; 61(1): 35–9. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2018-1-35-39> (in Russian)
6. Garshin V.I., Geras'kova S.E., Morgunova T.V. Predicted assessment of occupational risk in the electroplating shop. *News of Science and Education*. 2018; 3(5): 54–9. (in Russian)
7. Zhao J., Shi X., Castranova V., Ding M. Occupational toxicology of nickel and nickel compounds. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol*. 2009; 28(3): 177–208. <https://doi.org/10.1615/jenvironpatholtoxiconcol.v28.i3.10>
8. Izmerov N.F. *Occupational Pathology: A National Guide [Professional'naya patologiya: Natsional'noe rukovodstvo]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2011. (in Russian)
9. Braun J.M., Gennings C., Hauser R., Webster T.F. What Can Epidemiological Studies Tell Us about the Impact of Chemical Mixtures on Human Health? *Environ. Health. Perspect.* 2016; 124(1): A6–9. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510569>
10. Bodienkova G.M., Rukavishnikov V.S. Features of immune response in chronic exposure to industrial aerosols. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(9): 840–3. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-9-840-843> (in Russian)
11. Kryuchkova E.E., Saarkoppel' L.M., Yatsyna I.V. Features of the immune response in chronic exposure to industrial aerosols. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(11): 1058–61. <https://doi.org/10.1882/0016-9900-2016-95-11-1058-1061> (in Russian)
12. Stark J., Chan C., George A.J. Oscillations in the immune system. *Immunol. Rev.* 2007; 216: 213–31.
13. Kir'yakov V.A., Pavlovskaya N.A., Antoshina L.I. *Clinical Laboratory Diagnostics of Occupational Diseases [Klinicheskaya laboratornaya diagnostika professional'nykh zabolevaniy]*. Moscow: Kantsler; 2013. (in Russian)
14. Roslaya N.A., Bushueva T.V., Dulina T.R. Cytokine profile in individuals having occupational respiratory diseases and working in refractory metals production. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2008; (9): 47–9. (in Russian)
15. Serebrennikova S.N., Seminskiy I.Zh. The role of cytokines in the inflammatory process. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*. 2008; 81(6): 5–8. (in Russian)
16. Pavlovskaya N.A., Kir'yakov V.A., Savel'ev S.I. *Lead, Mercury, Nickel: Early Diagnosis of Toxic Effects on the Body [Svinets, rtut', nikel': rannaya diagnostika toksicheskogo deystviya na organizm]*. Lipetsk: Infol; 2002. (in Russian)
17. Das K.K., Reddy R.C., Bagoji I.B., Das S., Bagali S., Mullur L., et al. Primary rodent toxicity – an overview. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.* 2018; 30(2): 141–52. <https://doi.org/10.1515/jbpcp-2017-0171>
18. Pichuzhkina N.M., Chubirko M.I., Stepkin Yu.M. Features of morbidity and health risk assessment of electroplating shop workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2002; (7): 7–11. (in Russian)
19. Cameron K.S., Buchner V., Tchounwou P.B. Exploring the molecular mechanisms of nickel-induced genotoxicity and carcinogenicity: a literature review. *Rev. Environ. Health*. 2011; 26(2): 81–92. <https://doi.org/10.1515/reveh.2011.012>
20. Savlukov A.I., Kamilov R.F., Samsonov V.M. Metabolic processes in the body exposed to chemical pollutants. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*. 2010; (7): 33–9. (in Russian)
21. Timasheva G.V., Valeeva E.T., Badamshina G.G., Gimranova G.G., Karimova L.K. Assessment of intracellular metabolism in chemical production workers. *Permskiy meditsinskiy zhurnal*. 2011; 28(6): 106–10. (in Russian)
22. Zhukova A.G., Ulanova E.V., Fomenko D.V. Specificity of cellular response to various occupational toxicants. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2011; (7): 23–6. (in Russian)
23. Petrov R.V., Khaitov R.M., Chereshev R.M. Physiology of the immune system: cellular and molecular-biological mechanisms. *Vestnik Rossiyskogo fonda fundamental'nykh issledovaniy*. 2017; (S1): 96–119. <https://doi.org/10.22204/2410-4639-2017-094-02S-96-119> (in Russian)
24. Zakharenkov V.V., Kazitskaya A.S., Mikhaylova N.N., Romanenko D.V., Zhdanova N.N., Zhukova A.G. Influence of occupational hazards on human immune state. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; (12): 19–23. (in Russian)
25. Starkova K.G., Krivtsov A.V., Bubnova O.A. Features of immune regulation in chemical production workers. *Rossiyskiy immunologicheskiy zhurnal*. 2015; 9(3): 214–6. (in Russian)