

Читать
онлайн
Read
onlineКуприна Н.И.¹, Шилов В.В.^{1,2}, Петрова М.Д.¹, Ковшов А.А.^{1,2}

Ангиодистонический синдром при разных стадиях вибрационной болезни

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия;²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Проблема вибрационного воздействия остаётся актуальной в современной профпатологии. Современные эпидемиологические исследования показывают, что воздействие вибрации приводит к нарушению периферического кровообращения, спазму артериол и последующему развитию дистрофических изменений сосудистой стенки. В связи с этим цель нашего исследования — выявление особенностей динамики пульсационного индекса (PI) верхних конечностей при 1-й и 2-й стадиях вибрационной болезни (ВБ) от воздействия общей и локальной вибрации ультразвуковым методом.

Материалы и методы. Ультразвуковое сканирование артерий верхних конечностей проведено у 67 пациентов. На дистальном участке предплечья измеряли PI.

Результаты. Установлено, что при ВБ только от общей вибрации в отличие от сочетанного воздействия общей и локальной вибрации отмечается обратное соотношение общих темпов прогрессирования ангиодистонического синдрома, то есть более высокий темп роста наблюдается при 2-й стадии. Но при ВБ 1-й стадии от общей и локальной вибрации более выражены изменения по показателю PI, чем при ВБ 1-й стадии, от общей вибрации. На 2-й стадии ВБ при сохранении статистически значимых отличий разница в показателях заметно снижается.

Ограничения исследования. Основными недостатками ультразвукового сканирования являются продолжительность исследования и зависимость метода от оператора.

Заключение. При более высокой степени ВБ независимо от вида вибрации (общая и локальная или только общая) уменьшается разница изменений по показателю PI, более выраженная на 1-й стадии болезни. Стандартизация протокола ультразвукового исследования верхних конечностей впоследствии поможет оценить динамику и уровень начальных ангиодистонических поражений, диагностика которых может предотвратить необратимые последствия хронической ишемии у пациентов на ранних этапах развития.

Ключевые слова: ангиодистонический синдром; верхние конечности; вибрационная болезнь; локальная вибрация; индексы сопротивления

Соблюдение этических стандартов. Исследование проведено с соблюдением этических норм Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.), одобрено Локальным этическим комитетом ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора (протокол № 2022/50.2 от 28.12.2022 г.). Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

Для цитирования: Куприна Н.И., Шилов В.В., Петрова М.Д., Ковшов А.А. Ангиодистонический синдром при разных стадиях вибрационной болезни. Гигиена и санитария. 2025; 104(8): 1010–1014. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-1010-1014> <https://elibrary.ru/vnkhzf>

Для корреспонденции: Куприна Надежда Игоревна, e-mail: nadin20-sun@yandex.ru

Участие авторов: Куприна Н.И. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста, редактирование; Петрова М.Д. — обработка данных, написание текста; Шилов В.В. — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Ковшов А.А. — статистическая обработка, анализ и интерпретация результатов, редактирование.

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

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 25.04.2025 / Поступила после доработки: 14.07.2025 / Принята к печати: 22.07.2025 / Опубликовано: 25.09.2025

Nadezhda I. Kuprina¹, Victor V. Shilov^{1,2}, Milena D. Petrova¹, Aleksandr A. Kovshov^{1,2}

Angiodystonic syndrome in different stages of the effects of vibration

¹North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, 191015, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The problem of vibration exposure remains relevant in modern occupational pathology. Modern epidemiological studies show exposure to vibration to be associated with peripheral circulatory disorders, arteriole spasm and the subsequent development of dystrophic changes in the vascular wall. **The purpose of the study.** To identify the features of the trend in the pulsation index (PI) of the upper extremities in stages 1 and 2 of effects of vibration from exposure to whole-body and hand-arm vibration by ultrasound.

Materials and methods. Ultrasound scanning of the arteries of the upper extremities was performed in sixty seven patients. In contrast to effects of vibration, the inverse ratio of the total growth rate has been established to be observed from whole-body and hand-arm vibrations only from the whole-body vibration, that is, a higher growth rate occurs at stage 2 of effects of vibration was measured on the distal part of the forearm.

Results. However, at the same time, changes from whole-body and hand-arm vibration are more pronounced in effects of vibration stage 1.

Limitations. The main disadvantages of ultrasound are the long-term and operator-dependent method.

Conclusion. With an increase in the degree of effects of vibration, regardless of the effects of such harmful production factors as whole-body and hand-arm and only whole-body vibration, the difference in changes in the PI index decreases, which is significantly pronounced at the 1st stages of the disease. Standardization of the protocol of ultrasound examination of the upper extremities will subsequently help to assess the dynamics and level of initial angiodystonic lesions in patients whose diagnosis can prevent irreversible consequences of chronic ischemia at the early stages of development.

Keywords: angiodystonic syndrome; upper extremities; effects of vibration; hand-arm vibration; resistance indices

Compliance with ethical standards. The study was conducted in compliance with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association. The minutes of the meeting of the Local Ethics Committee of the Northwestern Scientific Center for Hygiene and Public Health No. 2022/50.2 dated 12/28/2022 were received. All participants gave informed voluntary written consent to participate in the study.

For citation: Kuprina N.I., Shilov V.V., Petrova M.D., Kovshov A.A. Angiodystonic syndrome in different stages of the effects of vibration. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(8): 1010–1014. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-8-1010-1014> <https://elibrary.ru/vnkhzf> (In Russ.)

For correspondence: Nadezda I. Kuprina, e-mail: nadin20-sun@yandex.ru

Contribution: Kuprina N.I. — the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text, editing; Petrova M.D. — processing of material, writing a text; Shilov V.V. — responsibility for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version; Kovshov A.A. — statistical processing, analysis and interpretation of results, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received: April 25, 2025 / Revised: July 14, 2025 / Accepted: July 22, 2025 / Published: September 25, 2025

Введение

Воздействие вибрации как вредного производственного фактора признано одной из причин развития ангиодистонического синдрома верхних конечностей — патологического состояния, характеризующегося нарушением тонуса сосудов под влиянием хронической механической нагрузки. В профессиональной среде наибольшую вибрационную нагрузку получают работники, занятые в строительстве, машиностроении, горнодобывающей отрасли, на лесозаготовках и в транспортной сфере, в частности при работе с ручными виброинструментами или в условиях общей вибрации от техники [1, 2]. Современные эпидемиологические исследования показывают, что воздействие вибрации обуславливает нарушение периферического кровообращения, спазм артериол и последующее развитие дистрофических изменений сосудистой стенки [3, 4].

Локальная вибрация, передающаяся на руки, вызывает изолированный сосудистый ответ в виде вазоспазма пальцев, известного как синдром вибрационных «белых пальцев» — частной формы вторичного синдрома Рейно [5, 6]. Патогенетически это состояние обусловлено активацией симпатической нервной системы и нарушением эндотелиальной регуляции сосудистого тонуса, что ведёт к снижению биодоступности оксида азота и усилению действия вазоконстрикторов (эндотелин-1, катехоламины) [7, 8]. В экспериментах на животных установлены выраженные изменения сосудистой стенки: вакуолизация эндотелия, митохондриальные повреждения, утолщение интимы и фрагментация эластических волокон при хроническом вибрационном воздействии [9, 10]. Влияние общей вибрации, действующей на всё тело, более системно. Оно сопровождается активацией кардиореспираторных центров, повышением общего периферического сосудистого сопротивления и нарушением гемодинамики как в верхних, так и в нижних конечностях [11–13].

Проблема вибрационного воздействия сохраняет актуальность в современной профпатологии. Несмотря на улучшение условий труда, доля пациентов с ангиодистоническими нарушениями, связанными с вибрацией, остаётся высокой. Доказано, что даже кратковременное воздействие вибрации (менее двух часов в день) может вызывать стойкое нарушение регуляции сосудистого тонуса у людей с высокой индивидуальной чувствительностью [14, 15]. Субклинические формы ангиоспазма, регистрируемые у работников без выраженных клинических жалоб, подтверждают необходимость ранней инструментальной диагностики.

Ключевую роль в выявлении сосудистых нарушений играет ультразвуковая диагностика, в частности цветное и энергетическое доплеровское картирование артерий верхних конечностей. УЗИ позволяет неинвазивно оценить структурные и функциональные изменения сосудов: сужение просвета, снижение линейной скорости кровотока, асимметрию пульсового заполнения, наличие реверсивного диастолического потока [16, 17]. К наиболее чувствительным критериям относятся индекс резистентности (RI) и индекс пульсации (пульсационный индекс, PI), отражающие степень сопротивления периферическому кровотоку [18]. Повышение RI до 0,85 и более и PI на фоне снижения

диастолической скорости указывает на выраженный вазоспастический компонент, типичный для вибрационных ангиопатий. Данные ультразвукового мониторинга показывают, что рост этих индексов коррелирует со стажем работы и интенсивностью вибрационного воздействия [19, 20]. Дополнительно применяют функциональные пробы с холодом и нитроглицерином, позволяющие оценить обратимость ангиоспазма и дифференцировать функциональные и органические компоненты [21].

Наряду с классической доплерографией внедряются новые подходы: ультразвуковая эластография, 3D-реконструкция сосудистой стенки, анализ вариабельности потока в цифровых артериях [22, 23]. Эти методы позволяют визуализировать начальные стадии эндотелиальной дисфункции до появления клинически значимых нарушений. Таким образом, ранняя диагностика ангиодистонии с помощью УЗИ и правильная интерпретация RI, PI и скорости кровотока могут служить основой профилактики профессиональных сосудистых болезней.

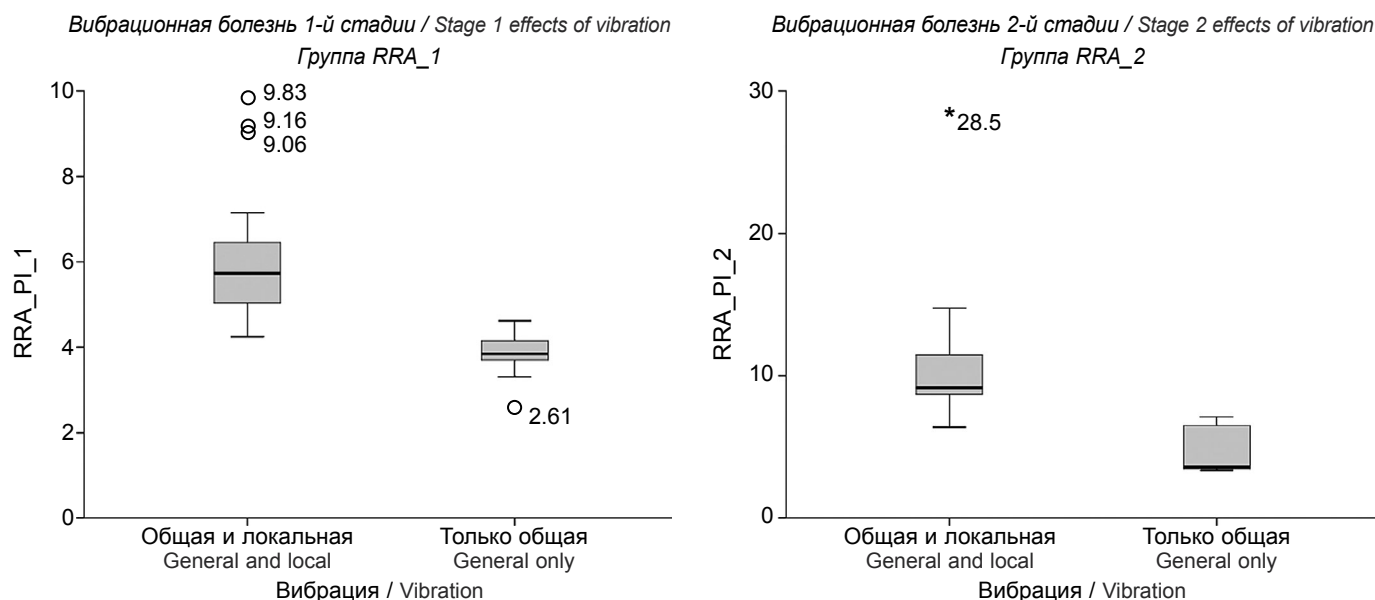
В связи с этим *цель* нашего исследования — выявление ультразвуковым методом особенностей динамики PI верхних конечностей при 1-й и 2-й стадиях вибрационной болезни (ВБ) от воздействия общей и локальной вибрации.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие пациенты ($n = 67$, мужчины), направленные на обследование в Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья (Санкт-Петербург, Россия) в период с 2022 по 2024 г. По результатам клинического обследования пациенты были распределены на группы в соответствии с диагнозом: группа пациентов с ВБ от локальной и общей вибрации 1-й стадии — 28 человек, группа пациентов с ВБ от локальной и общей вибрации 2-й стадии — 16 человек, группа пациентов с ВБ от общей вибрации 1-й стадии — 10 человек, группа пациентов с ВБ от общей вибрации 2-й стадии — 13 человек. Всем пациентам проводили ультразвуковое исследование скоростных показателей правой лучевой артерии.

Магистральные артерии верхних конечностей были исследованы с помощью линейного датчика 7,5 МГц ультразвукового аппарата Samsung Medison HS50-rus, глубина залегания сосудов от поверхности — до 1–1,5 см. Пациент находился в положении лёжа на спине с ротирующей рукой, отведённой под углом 45 градусов. Для предотвращения переохлаждения и соответственно недостоверных результатов оценки линейных параметров кровотока пациенту было предоставлено 30 мин для нивелирования реакции сосудов на перепад температур перед проведением ультразвукового исследования. УЗ-исследование проводили в поперечном и в продольном сечениях сосудов. В режиме PW на дистальном участке предплечья оценивали спектральные характеристики, измеряли пульсационный индекс (PI).

Для статистической обработки использовали программное обеспечение с открытым исходным кодом R версии 4.2.2 (The R Foundation, <http://www.R-project.org>) с пакетами *tidyverse*, *emmeans*, *ggplot2*, *gtsummary*, *rcartocolor*.



Сравнение PI правой лучевой артерии (RRA) при вибрационной болезни 1-й и 2-й стадий от общей и локальной вибрации и только от общей.
Comparison of PI of the right radial artery (RRA) in stage 1 and 2 effects of vibration from whole-body and hand-arm vibration and only from whole-body.

Для оценки соответствия полученных данных нормальному распределению применяли тест Шапиро — Уилка. Поскольку распределение во всех сравниваемых выборках отличалось от нормального, использовали непараметрические статистические критерии (Манна — Уитни, ро Спирмена), для описания центральной тенденции использовали медиану, 1-й и 3-й квартили (25-й и 75-й процентиля), применяли программный продукт IBM SPSS Statistics v.22.

Дополнительно рассчитывали общий темп роста пульсационного индекса (PI) при увеличении стажа работы, для расчётов использовали программный продукт MS Office Excel 2013. Определяли цепной темп роста PI (величину PI при определённом стаже работы делили на величину PI при меньшем стаже работы), вычисляли общий темп роста как произведение цепных темпов роста. С целью корректного сравнения общих темпов роста PI при ВБ (от общей и локальной вибрации) 1-й и 2-й стадий расчёты проводили для одинаковых диапазонов стажа работы (15–36 лет с шагом его изменения в 1–3 года, при наличии двух и более пациентов с одинаковым стажем работы вычисляли медианное значение PI).

Результаты

Критериями включения пациентов в исследование были клинические проявления ВБ, установленный диагноз ВБ от общей и локальной или только общей вибрации 1-й или 2-й стадии, а также данные санитарно-гигиенической характеристики, подтверждающие клинический диагноз. Обследуемые пациенты работали в виброопасных профессиях с воздействием общей и локальной вибрации (сборщик металлических судов, обрубщик, электрогазосварщик ручной сварки, проходчик, горнорабочий подземный, горнорабочий очистного забоя, горный мастер подземного участка) и в виброопасных профессиях с преимущественным воздействием общей вибрации (водитель погрузчика, машинист бульдозера, машинист экскаватора, машинист крана, машинист буровой установки, водитель, машинист горных выемочных работ, машинист мельниц, автогрейдерист, машинист электровоза и тепловоза).

При осмотре выявлены выраженные вегетативные симптомы, обусловленные вазомоторными нарушениями: цианотичность кожи кистей с проявлениями кружевного рисунка,

акрогипотермия. Объективные данные: положительная гемодинамическая проба Боголепова, снижение сухожильных рефлексов, побледнение пальцев при напряжённом натягивании.

При УЗ-исследовании артерий верхних конечностей не выявлены выраженные гемодинамически значимые стенозы, атеросклеротические бляшки, тромбозы, окклюзии и аневризмы по ходу артерий предплечья.

ВБ от общей и локальной вибрации: общий темп роста PI левой лучевой артерии (LRA) при 1-й стадии ВБ составил 1,43; общий темп роста PI LRA при 2-й стадии ВБ — 1,28; общий темп роста PI левой локтевой артерии (LUA) при 1-й стадии ВБ — 2,64; общий темп роста PI LUA при 2-й стадии ВБ — 2,39; общий темп роста PI правой лучевой артерии (RRA) при 1-й стадии ВБ — 2,04; общий темп роста PI RRA при 2-й стадии ВБ — 1,6; общий темп роста PI правой локтевой артерии (RUA) при 1-й стадии ВБ — 2,51; общий темп роста PI RUA при 2-й стадии ВБ — 2,34.

Наибольшие общие темпы роста PI при увеличении стажа работы определялись на левой лучевой артерии, при этом на всех артериях общий темп роста PI был выше при 1-й стадии ВБ от общей и локальной вибрации. Следует отметить, что различия в общем темпе роста PI на RUA при 1-й и 2-й стадиях ВБ могут быть незначимыми в силу отсутствия статистически значимой корреляции между стажем работы и величиной PI RUA при ВБ от общей и локальной вибрации 2-й стадии (ро Спирмена 0,376, $p = 0,168$).

Поскольку отсутствовали статистически значимые корреляции между стажем работы при ВБ 2-й стадии от общей вибрации и PI на большинстве сосудов, общий темп роста определяли только для PI RRA. Расчёты в силу ограниченного объёма выборки проводили для сопоставимых диапазонов стажа работы (25–35 лет для ВБ 1-й стадии и 22–32 года для ВБ 2-й стадии с шагом его изменения в 1–4 года, при наличии двух пациентов с одинаковым стажем работы вычисляли медианное значение PI): общий темп роста PIRRA при 1-й стадии ВБ — 1,6; общий темп роста PIRRA при 2-й стадии ВБ — 1,99.

Проведено сравнение при ВБ 1-й и 2-й стадий от общей и локальной вибрации и только от общей на четырёх вышеуказанных сосудах. Установлено, что статистически значимые отличия PI имеются лишь на RRA (см. рисунок). PI при ВБ 1-й стадии на RRA при воздействии общей

и локальной вибрации (5,63, межквартильный диапазон 4,96–6,63) значимо ($p < 0,001$) выше по сравнению с воздействием только общей вибрации (3,39, межквартильный диапазон 2,61–4,16). При 2-й стадии ВБ различия РІ были также статистически значимы ($p < 0,001$), при ВБ от общей и локальной вибрации медиана РІ составила 9,24, межквартильный диапазон — 8,62–11,61, при ВБ только от общей вибрации — соответственно 6,92 и 6,73–6,92 (75-й процентиль совпадает с медианой).

Обсуждение

Ультразвуковая доплерография артерий верхних конечностей — доступный, неинвазивный и информативный метод выявления ранних функциональных сосудистых нарушений при ВБ. Как показали полученные данные, на ранних стадиях ВБ особенно чувствительным параметром является индекс периферического сопротивления (РІ), который отражает ангиодистонические расстройства, обусловленные нарушением тонуса артериол и прекапилляров. В условиях воздействия вибрации изменяется нейрогуморальная регуляция сосудистого тонуса, повышается периферическое сопротивление, что и фиксируется на доплеровских спектрограммах в виде изменений амплитудных характеристик и формы кривых кровотока.

Наше исследование подтвердило, что при 1-й стадии ВБ, вызванной как общей, так и комбинированной вибрацией (общей + локальной), наблюдаются более выраженные изменения РІ, чем при воздействии только общей вибрации. Это может быть связано с различиями в патогенезе сосудистых нарушений: при комбинированном воздействии формируется более выраженный ангиоспазм, обусловленный дополнительным прямым влиянием локальной вибрации на периферические сосуды. На 2-й стадии ВБ, несмотря на сохранение статистически значимых различий в скоростных показателях кровотока, абсолютная разница между группами снижается, что может отражать переход от функциональных изменений сосудистой стенки к органическим (фиброз, утрата эластичности), хуже поддающимся компенсации.

Было установлено, что при ВБ только от общей вибрации (в отличие от ВБ от общей и локальной вибрации) отмечается обратное соотношение общих темпов роста, то есть более высокий темп роста соответствует 2-й стадии ВБ. Но при этом, как видно на рисунке, при ВБ 1-й стадии от общей и локальной вибрации более выражены изменения по показателю РІ, чем при ВБ 1-й стадии, от общей вибрации. На 2-й стадии ВБ при сохранении статистически значимых различий абсолютная разница в показателях заметно снижается. Выявленное обратное соотношение темпов роста РІ при ВБ от общей вибрации (то есть более выраженное увеличение показателя на 2-й стадии, чем на 1-й) может служить дополнительным дифференциально-диагностическим критерием. Эти особенности подчёркивают необходимость индивидуального подхода при интерпретации ультразвуковых данных, учитывающего как стадию болезни, так и характер воздействия вибрации.

Важно отметить, что в настоящее время отсутствует стандартизированный протокол ультразвукового исследования, специфичный для диагностики ВБ. Это существенно ограничивает возможности объективной оценки тяжести сосудистых нарушений и их динамики. Полученные нами данные подчёркивают целесообразность внедрения в клиническую практику структурированных протоколов с включением количественных показателей РІ и других индексов, что повысит диагностическую значимость метода и его прогностическую ценность.

Эти данные позволяют прогнозировать прогрессирование болезни и своевременно применить меры профилактики для предотвращения ухудшения здоровья работающих. Мы полагаем, что дальнейшие исследования в этом направлении позволят сформулировать точные количественные критерии ВБ и стандартизировать постановку диагноза.

Заключение

Таким образом, ультразвуковая доплерография сосудов верхних конечностей обладает высокой чувствительностью к ранним функциональным изменениям, характерным для ангиодистонического синдрома при ВБ 1-й и 2-й стадий. Наиболее значимым маркером сосудистой дисфункции оказался индекс периферического сопротивления (РІ), динамика которого отражает как степень выраженности сосудистых нарушений, так и тип вибрационного воздействия.

На 1-й стадии ВБ при комбинированной (общей и локальной) вибрации более выражены изменения РІ, что может служить признаком повышенного риска прогрессирования болезни. При 2-й стадии ВБ различия между группами сглаживаются, что, вероятно, связано с развитием необратимых изменений сосудистой стенки. Выявленные особенности позволяют рассматривать РІ как потенциальный критерий стратификации пациентов по степени риска для своевременного назначения профилактических и лечебных мероприятий.

Стандартизация протокола ультразвукового исследования с включением количественных показателей гемодинамики (РІ, РІ и др.) позволит повысить объективность диагностики, расширить возможности дифференциальной диагностики профессиональных сосудистых поражений верхних конечностей и обеспечить более точную экспертную оценку утраты трудоспособности. Кроме того, необходимо дальнейшее изучение проблемы в рамках проспективных исследований с включением большего числа пациентов и сравнением с другими методами функциональной диагностики (реовазография, капилляроскопия и др.).

С учётом высокой распространённости вибрационного синдрома среди рабочих промышленного сектора ранее выявление ангиодистонических изменений сосудов с помощью УЗ-методов должно стать приоритетным направлением диспансерного наблюдения и профессионального скрининга.

Литература

(п.п. 1–6, 8–11, 14–18, 20–23 см. References)

- Бабанов С.А., Бараева Р.А., Стрижаков Л.А., Моисеев С.В., Фомин В.В. Цитокиновая регуляция и эндотелиальная дисфункция при сочетании вибрационной болезни и артериальной гипертензии. *Терапевтический архив*. 2021; 93(6): 693–8. <https://doi.org/10.26442/00403660.2021.06.200880> <https://elibrary.ru/kzwgfk>
- Третьяков С.В. Состояние сердечно-сосудистой системы при действии вибрации (клинические и патогенетические аспекты). *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023; (9). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.38>
- Сухова А.В., Преображенская Е.А. Персонифицированная оценка риска артериальной гипертензии при воздействии шума и вибрации. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(11): 1304–11. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1304-1311> <https://elibrary.ru/ythegc>
- Мелентьев А.В., Ошкодеров О.А. Оценка диагностической значимости современных биомаркеров и гемодинамических изменений у работников виброопасных профессий. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2021; 65(4): 379–83. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-4-379-383> <https://elibrary.ru/dmqmqs>

References

- Krajnak K. Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole-body vibration. *J. Toxicol. Environ. Health B. Crit. Rev.* 2018; 21(5): 320–34. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1557576>
- AlShabi M., Araydah W., Elshatarat H., Othman M., Bani Younis M., Gadsden S. Effect of mechanical vibrations on human body. *World J. Mech.* 2016; 6(9): 273–304. <https://doi.org/10.4236/wjm.2016.69022>
- Gerhardsson L., Ahlstrand C., Ersson P., Gustafsson E. Vibration-induced injuries in workers exposed to transient and high-frequency vibrations. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2020; 15: 18. <https://doi.org/10.1186/s12995-020-00269-w>
- Tekavec E., Nilsson T., Dahlin L.B., Huynh E., Axmon A., Nordander C., et al. Serum biomarkers in patients with hand-arm vibration injury and in controls. *Sci. Rep.* 2024; 14(1): 2719. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52782-1>
- Vihlborg P., Makdoui K., Gavlovská H., Wikström S., Graff P. Arterial abnormalities in the hands of workers with vibration white fingers. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2021; 16(1): 30. <https://doi.org/10.1186/s12995-021-00323-1>
- Piňosová M., Andrejiova M. Application of data-mining methods in the assessment of excessive vibrations: decision trees, basket-market analysis. *Acta Mechanica Slovaca.* 2024; 28(3): 60–73. <https://doi.org/10.21496/ams.2025.002>
- Babanov S.A., Baraeva R.A., Strizhakov L.A., Moiseev S.V., Fomin V.V. The state of cytokine regulation and endothelial dysfunction in the combined course of vibration disease and arterial hypertension. *Terapevticheskii arkhiv.* 2021; 93(6): 693–8. <https://doi.org/10.26442/00403660.2021.06.200880> <https://elibrary.ru/kzwgfk> (in Russian)
- Nilsson T., Wahlström J., Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases – a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2017; 12(7): e0180795. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180795>
- Krajnak K., Waugh S. Systemic effects of segmental vibration in an animal model of hand-arm vibration syndrome. *J. Occup. Environ. Med.* 2018; 60(10): 886–95. <https://doi.org/10.1097/jom.0000000000001396>
- Wei N., Yan R., Lang L., Wei Y., Li J., Yang H., et al. Local vibration induced vascular pathological structural changes and abnormal levels of vascular damage indicators. *Microvasc. Res.* 2021; 136: 104163. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2021.104163>
- Alfieri G.R., Eaton A.C., Dourvetakis K., Rigueros M., Creamean T., Mayrovitz H.N. Impact of whole-body vibration therapy in elderly populations: a scoping review. *Cureus.* 2025; 17(2): e79296. <https://doi.org/10.7759/cureus.79296>
- Tretyakov S.V. The state of the cardiovascular system under the influence of vibration (clinical and pathogenetic aspects). *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal.* 2023; (9). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.38> (in Russian)
- Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A. Personalized assessment of the risk of hypertension when exposed to noise and vibration. *Gigiena i Sanitariia (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2024; 103(11): 1304–11. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1304-1311> <https://elibrary.ru/ythege> (in Russian)
- Silva E., Lisboa I.C., Costa N. How to determine hands' vibration perception thresholds – a systematic review. *Behav. Res. Methods.* 2024; 57(1): 27. <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02534-w>
- Gerhardsson L. A follow-up study of vibration-induced injuries in workers exposed to transient and high frequency vibrations. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2024; 19(1): 27. <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00425-6>
- Loomis K.J., Shin J., Roll S.C. Current and future utility of ultrasound imaging in upper extremity musculoskeletal rehabilitation: A scoping review. *J. Hand Ther.* 2024; 37(3): 331–47. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2023.09.014>
- Roll S.C., McLaughlin Gray J., Frank G., Wolkoff M. Exploring occupational therapists' perceptions of the usefulness of musculoskeletal sonography in upper-extremity rehabilitation. *Am. J. Occup. Ther.* 2015; 69(4): 6904350020p1-6. <https://doi.org/10.5014/ajot.2015.016436>
- Avrahami I., Kersh D., Liberzon A. Pulsatility index as a diagnostic parameter of reciprocating wall shear stress parameters in physiological pulsating waveforms. *PLoS One.* 2016; 11(11): e0166426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166426>
- Melentev A.V., Oshkoderov O.A. Assessment of the diagnostic significance of modern biomarkers and hemodynamic alterations in workers of vibration-hazardous occupations. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii.* 2021; 65(4): 379–83. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-4-379-383> <https://elibrary.ru/dmqmus> (in Russian)
- Wahl U., Kaden I., Köhler A., Hirsch T. Vascular trauma of the hand – a systematic review. *Vasa.* 2019; 48(3): 205–15. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000743>
- Tekavec E., Nilsson T., Dahlin L.B., Axmon A., Nordander C., Ridder J., et al. Biomarkers in patients with hand-arm vibration injury entailing Raynaud's phenomenon and cold sensitivity, compared to referents. *Proceedings.* 2023; 86(1): 27. <https://doi.org/10.3390/proceedings2023086027>
- Marcoccia A., Klein-Weigel P., Gschwandtner M., Wautrecht J.-C., Matuska J., Rother U., et al. Microcirculatory assessment of vascular diseases. *Vasa.* 2020; 49(3): 175–86. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000851>
- Golemati S., Cokkinos D.D. Recent advances in vascular ultrasound imaging technology and their clinical implications. *Ultrasonics.* 2022; 119: 106599. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2021.106599>

Сведения об авторах

Куприна Надежда Игоревна, врач-рентгенолог, врач ультразвуковой диагностики медицинского центра ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: nadin20-sun@yandex.ru

Шилов Виктор Васильевич, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. научного отделения профпатологии ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vshilov@inbox.ru

Петрова Милена Дмитриевна, мл. науч. сотр. отд. для комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: petrovai.md@yandex.ru

Ковшов Александр Александрович, канд. мед. наук, и.о. руководителя отд. гигиены, ст. науч. сотр. ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.kovshov@s-znc.ru

Information about the authors

Nadezhda I. Kuprina, radiologist, ultrasound diagnostics doctor, Radiology department, Medical Center Northwest Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1468-3186> E-mail: nadin20-sun@yandex.ru

Viktor V. Shilov, DSc (Medicine), professor, chief researcher, Scientific Department of Occupational Pathology, Northwest Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3256-2609> E-mail: vshilov@inbox.ru

Milena D. Petrova, junior researcher, Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, Northwest Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5506-6523> E-mail: petrovai.md@yandex.ru

Aleksandr A. Kovshov, PhD (Medicine), acting head, Hygiene Department, senior researcher, Northwest Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation, E-mail: a.kovshov@s-znc.ru