

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА: ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ПУТЕЙ ЭКСПОЗИЦИИ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19275150>

Матмусаева Саидахон Маъмур кизи
Matmusayeva Saidaxon Ma'mur qizi
Saidakhonmatmusaeva@gmail.com

Тухтабоев Усмонжон Баходиржонович
Tuxtaboyev Usmonjon Bahodirjonovich
Usmonhonpc@gmail.com

Нигматиллаев Илёсжон Рустамович
Nigmatillaev Ilyosjon Rustamovich
nigmatillayevilyosrustamovich@gmail.com

Хасанова Севинч Лазиз кизи
Hasanova Sevinch Laziz qizi
sevinchkhasan@gmail.com

Узбекистан, Ташкент, Ташкентский международный университет Кимё

Аннотация

В статье рассматриваются пути попадания частиц микропластика в организм через пищевые цепи (морепродукты, растения), питьевую воду и дыхательные пути, воздействие микропластика и нанопластика на сердечно-сосудистую, нервную, дыхательную и эндокринную системы, а также обсуждаются возможные методы профилактики. В последние десятилетия проблема загрязнения окружающей среды микропластиком приобрела глобальный характер. Частицы микропластика широко распространены в водных, почвенных и воздушных экосистемах, а также обнаруживаются в пищевых продуктах, питьевой воде и организме различных животных, в том числе человека, что обуславливает их негативное влияние на различные системы организма. Особую роль в развитии заболеваний играет способность микропластика и нанопластика накапливаться в тканях и клетках, проникать через биологические барьеры и взаимодействовать с клеточными структурами.

Ключевые слова

микропластик; нанопластик; здоровье человека; сердечно-сосудистая система; нервная система; дыхательная система; репродукция; профилактика; биологические барьеры; оксидативный стресс

Введение

Микропластик (МП) – это фрагменты пластика размером 5 мм. Пластиковые отходы, попадающие в окружающую среду, включают первичный микропластик и вторичный микропластик, образующийся в результате фрагментации более крупных пластиков в результате физических, химических и биологических процессов [1.23]. В последние годы особое внимание уделяется микрочастицам пластика, которые всё чаще обнаруживаются в пищевых продуктах: Растения, употребляемые в пищу человеком, также подвергаются загрязнению микропластиком. Морепродукты являются наиболее часто исследуемым видом пищи на наличие микропластика, поскольку они поглощают микропластик путем фильтрации морской воды (в тканях двустворчатых моллюсков, креветок, кальмаров и крабов был обнаружен широкий спектр микропластика по плотности, типу, форме и размеру) [9]. Целью данного исследования является анализ возможного влияния микрочастиц пластика на различные системы органов человека. Результаты работы могут способствовать лучшему пониманию потенциальных рисков для здоровья.

Основная часть

Микропластик (МП) - это частицы синтетических полимеров размер которых не превышает 5мм. По классификации бывают 2 видов

Первичный микро- и нанопластик(МНП): производятся намеренно в малых количествах. Используются в качестве добавок к косметическим продуктам и продуктов личной гигиены для улучшения очищающих свойств [36] Вторичный микропластик: образуется в результате деструкции более крупных пластиковых предметов под воздействием физических химических и биологических факторов. [24]. Проблема загрязнения микропластиком заключается в его долговечности: вместо разложения он распадается на более мелкие фрагменты.

Классификация по размерам:

Мегапластик: более 100мм

Макропластик: 20-100мм

Мезопластик: 5-20мм

Микропластик: менее 5мм [31]

Синтетическая одежда содержит волокна полиамида, полиэфира, и полиолефина которые вымываются при стирке.[6] Так же было обнаружено что микропластик может проникать в организм человека из чайных

пакетиков. Не смотря на то что многие чайные пакетики изготавливаются из натуральных волокон, многие из них зачастую содержат полимерные компоненты. При термическом воздействии происходит попадание микрочастиц в напиток что делает продукт непреднамеренным источником попадания микропластика в организм. Такие же результаты были получены при исследовании различных марок сахара где были зафиксированы критические уровни содержания микропластика. [5] Ключевым фактором перорального попадания микропластика в организм является вода. Употребление воды из пластиковых бутылок может привести к тому что за год в организм попадает до 90 тысяч микроскопических частиц. [16] В настоящее время механизм попадания микропластика в наш организм до конца изучен. Предполагалось, что воздействие микропластика на человека может происходить через пищевую цепь или через вдыхание воздуха. Доказательствами в поддержку этого предположения являются подтвержденные данные о наличии микропластика в морепродуктах, меде, сахаре, морской соли, водопроводной воде и даже пиве. [12]

Потребление морепродуктов является одним из основных путей перорального воздействия микропластика на человека. Поскольку многие виды мелкой рыбы и двустворчатых моллюсков (таких как мидии и устрицы) употребляются в пищу, микропластик переходит непосредственно к потребителю. Исследования показывают, что частицы размером менее 130 мкм способны преодолевать эпителиальный барьер кишечника человека посредством парацеллюлярного транспорта, попадая в системный кровоток и потенциально накапливаясь в печени и других органах.

Особое внимание исследователей сосредоточено на атмосферных выпадениях микропластика в города которые могут составлять от 13 до 68 тысяч микропластиков в год. [32,19]

Влияние микропластика на сердечно-сосудистую систему человека

Микропластик может циркулировать в организме человека и накапливаться в органах с интенсивным кровоснабжением таких как сердце и почки. [13]

Экспериментальные данные на животных моделях показывают что при длительном пероральном воздействии микропластик обнаруживается в клетках сердца, вызывает окислительный стресс и приводит к апоптозу и пироптозу. [17] Так же повреждается эндотелий сосудов: микропластик нарушает работу митохондрий и стимулирует выброс цитокинов что ведет к дисфункции сосудов и ускоряет развитие атеросклеротических бляшек. [25]

Исследования на клеточных модели пупочной вены человека (HUVEC) показали что нанопластик обладает высокой цитотоксичностью. Его присутствие снижает жизнеспособность клеток при чрезвычайно высоких концентрациях микропластика (1000 мкг/ мл) и нарушает экспрессию генов ответственных за нормальное функционирование сосудов. [11]

Эти выводы подтверждаются экспериментами на трехмерном сердечном органоиде полученном из стволовых клеток человека. Под воздействием микропластика усиливается накопление коллагена (признак фиброза) , нарастает окислительный стресс и меняется экспрессия специфических сердечных маркеров таких как коннексин 43(CX43) и легкие цепи миозина (MYL2). [25]

До недавнего времени науке не хватало прямых доказательств того как именно микропластик влияет на развитие сердечно сосудистых патологий у людей. Однако в 2024 году были опубликованы результаты исследования проведенного под руководством Р. Марфеллы. В этом эксперименте участвовали 304 пациента с бессимптомным поражением сонной артерии которым требовалось хирургическое удаление атеросклеротических бляшек. Ученые на протяжении 33 месяцев отслеживали состояние 257 человек, завершивших исследование и зафиксировали у них инфаркт миокарда, инсульт и летальный исход. Результаты анализов подтвердили присутствие полимеров в сосудах : полиэтилен 58,4% а поливинилхлорид у 12%. Так же инородные частицы были обнаружены внутри макрофагов или были рассеяны в тканях. [15]

Присутствие пластика в организме не проходит бесследно. Микропластик провоцирует воспалительную реакцию в бляшках что подтверждается ростом уровня биомаркеров (фактор некроза опухоли альфа или интерлейкины). [Ошибка! Источник ссылки не найден.] Так же пациенты в чьей крови был обнаружен микропластик зафиксировано снижение коллагена. Это делает бляшки менее стабильными и повышается риск их разрыва.

Влияние микропластика на нервную систему человека

Микропластик и нанопластик также способны аккумулироваться в мозге. Недавние патологоанатомические исследования выявили присутствие микропластика в тканях головного мозга человека, полученных при аутопсии. Доминирующим полимером был полиэтилен (74 %) . Концентрация МНП в образцах мозга здоровых умерших была в 7–30 раз выше, чем концентрация в печени или почках, а в образцах мозга пациентов с деменцией наблюдалось еще большее присутствие МНП. [18] В исследованиях на грызунах же было

выявлено что накопление микропластика в головном мозге сопровождается когнитивными нарушениями, в частности ухудшением памяти. При этом основная доля частиц микропластика задерживается в микроглиальных клетках, инициируя воспалительные процессы. На эпигенетическом уровне исследования на мышах показали значительное снижение генов и белков, ответственных за синаптическую пластичность и память, при воздействии на испытуемых частиц полистирола. Нанопластик полистирола вызывал снижение жизнеспособности нейронов у мышей, а также развитие астроглиоза и апоптоза [8] В другом исследовании было показано, что 28-дневное пероральное воздействие микропластика полистирола приводило к снижению количества телец Ниссля и нарушению клеточной архитектуры нейронов. [22] В исследовании *in vitro* было выявлено что клетки головного мозга человека T98G при воздействии (24 ч) микропластика полистирола (10 мкм, 0,05–10 мг/л) демонстрируют повышенное образование активных форм кислорода что может увеличивать вероятность возникновения рака мозга, при том воздействие микропластика полиэтилена (3–16 мкм, 0,05–10 мг/л) не привело к увеличению образования активных форм кислорода [21] Таким образом частицы микропластика и нанопластика могут вызывать множество различных заболеваний и патологий в нервной системе.

Влияние микропластика на репродуктивную систему человека

Влияние микропластика на семенники

Частицы микропластика и нанопластика способны нарушать гематотестикулярный барьер, критически важный для нормального развития спермы, усиливая проникновение токсичных веществ в ткани яичек. [30] В исследовании, опубликованном в *Toxics*, микропластик был обнаружен в 75 % исследуемых образцов человеческой спермы. У мужчин, у которых были выявлены полиэтилентерефталатные (PET) микропластики, наблюдалось снижение прогрессивной подвижности сперматозоидов, что свидетельствует о потенциальном отрицательном влиянии на фертильность.

Длительное воздействие полистироловых микропластиков сопровождалось снижением содержания тестостерона в крови и нарушением гормональной регуляции через LHR/cAMP/PKA/StAR пути. [35] Данные на животных моделях свидетельствуют о том, что даже без явных метаболических нарушений у самца, воздействие микропластика может влиять на здоровье потомства через изменение регуляции генетической экспрессии в сперме [29]

Влияние микропластика на яичники

Пероральное воздействие микропластика приводит к его накоплению в тканях матки и яичниках [27]. Исследования показали накопление МП в яичниках и гранулезных клетках крыс, что приводит к замедлению роста фолликулов, снижению уровня антимюллерова гормона [АМГ] [2] и эстрадиола и вызывает нерегулярный эстральный цикл и аномальный фолликулогенез [37]. Гранулезные клетки являются основными соматическими клетками яичника, отвечающими за нормальное развитие и созревание яичников, и играют значительную роль в фолликулогенезе [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Кроме того, ПС-МП также вызывают фиброз яичника посредством активации сигнального пути Wnt/ β -катенин и апоптоза гранулезных клеток вследствие окислительного стресса, снижая нормальную овариальную резервную способность у крыс [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Сигнальный путь Wnt/ β -катенин необходим для поддержания тканевого гомеостаза и регулирования эмбрионального созревания, пролиферации клеток и апоптоза [Ошибка! Источник ссылки не найден.] Микропластик, как транспортная среда для своих составных эндокринных разрушителей [Ошибка! Источник ссылки не найден.] вызывает различные эндокринные расстройства, такие как бесплодие, преждевременное половое созревание, гормональные опухоли, ряд метаболических проблем, нарушение стероидогенеза гранулезных клеток и синдром поликистозных яичников [СПКЯ] [Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Дыхательная система: основной путь проникновения микропластика в организм

Микропластик встречается повсеместно, однако именно дыхательная система является критическим и прямым путем его воздействия на человека. В отличие от попадания через пищеварительный тракт, где частицы могут быть частично отфильтрованы, вдыхаемый микропластик способен обходить защитные барьеры и оседать глубоко в тканях легких.

1. Оседание и взаимодействие с клетками

Биологическое воздействие микропластика во многом зависит от его размера. Частицы категории PM₁₀ (менее 10 микрометров) достаточно малы, чтобы достичь бронхоиол, а еще более мелкие частицы (PM_{2.5} и нанопластик) могут проникать в альвеолы — крошечные воздушные мешочки, где происходит газообмен.

Механические повреждения: Физическое присутствие этих стойких, неразлагаемых синтетических волокон может вызывать прямые механические травмы клеточных органелл.

Клеточные процессы: Доказано, что микропластик может запускать ферроптоз (зависимую от железа гибель клеток) и эпителиально-мезенхимальный переход (ЭМП). В ходе этого процесса клетки легких теряют свою структуру и функции, что часто предшествует развитию фиброза и рака [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

2. Последствия для здоровья и прогрессирование заболеваний

Исследования показывают, что микропластик не просто пассивно накапливается в легких. Он выступает в роли «экологического модификатора», который усугубляет существующие болезни и провоцирует новые:

Хроническое воспаление: Постоянное вдыхание частиц приводит к выработке активных форм кислорода (АФК), вызывая окислительный стресс, который повреждает ДНК и белки.

Обострение хронических заболеваний: Люди с астмой или ХОБЛ (хронической обструктивной болезнью легких) наиболее уязвимы. У таких пациентов микропластик может усиливать воспаление, что ведет к частым приступам и быстрому ухудшению функций легких.

Канцерогенез: Длительное накопление частиц и хроническое воспаление связаны с повышенным риском рака легких. Кроме того, частицы пластика могут служить «транспортом» для тяжелых металлов (таких как свинец или кадмий) и других токсинов, доставляя их вглубь тканей.

3. Связь с курением: путь ускоренного воздействия

Важным открытием недавних исследований стала роль курения как прямого и концентрированного источника вдыхания микропластика.

Высокая концентрация: Анализ бронхоальвеолярной жидкости показал, что у курильщиков концентрация микропластика в легких значительно выше – в среднем 25,86 частиц на грамм, что намного превышает показатели некурящих людей.

Прямая доставка: Сигаретные фильтры, часто изготавливаемые из ацетата целлюлозы, разрушаются во время использования. Моделирование процесса курения показало, что сигаретный дым может содержать примерно 9,99 частиц микропластика на литр.

Типы полимеров: У курильщиков обнаружен повышенный уровень полиуретана и силикона, которые, вероятно, попадают в организм из материалов самого фильтра и конструкции сигареты.

Ключевая статистика: По оценкам ученых, человек вдыхает от 3 200 до 68 000 частиц микропластика ежедневно. Главными факторами риска являются плохо проветриваемые помещения и сигаретный дым. [\[Ошибка! Источник ссылки не найден.\]](#)

Профилактика

Профилактика: снижение воздействия микропластика и рисков для здоровья

Чтобы уменьшить потенциальные неблагоприятные эффекты микропластика — такие как оксидативный стресс, нейротоксичность и репродуктивная токсичность, — необходимо внедрять профилактические стратегии как на индивидуальном, так и на экологическом уровнях.

Профилактика через питание и предотвращение проглатывания

Поскольку проглатывание является основным путём поступления микропластика (как показано в графическом абстракте), рекомендуются следующие меры:

Сокращение использования одноразового пластика: избегайте употребления пищи и напитков, хранящихся в одноразовой пластиковой таре. Нагрев ускоряет высвобождение микропластика, поэтому никогда не разогревайте пищу в пластиковых контейнерах в микроволновой печи.

Фильтрация питьевой воды: используйте высококачественные системы фильтрации воды (например, обратный осмос или специальные угольные фильтры), сертифицированные для удаления частиц микро- и наноуровня.

Осознанное потребление морепродуктов: поскольку микропластик накапливается в пищеварительных трактах морских организмов, сокращение потребления мелкой рыбы целиком или моллюсков (у которых употребляется пищеварительный тракт) может снизить прямое поступление микропластика.

Отказ от бутилированной воды в пластике: исследования показывают, что бутилированная вода содержит значительно более высокие концентрации микропластика по сравнению с водопроводной водой из-за процесса розлива и трения пластиковой крышки.

2. Профилактика через дыхательные пути и в быту

Микропластик часто обнаруживается в «городской пыли» и в воздухе помещений в виде волокон и аэрозолей.

Улучшение качества воздуха в помещении: используйте HEPA-фильтры (высокоэффективные фильтры тонкой очистки) в пылесосах и очистителях воздуха для улавливания пластиковых волокон из синтетического текстиля и ковров.

Выбор натуральных тканей: отдавайте предпочтение одежде и предметам интерьера из натуральных волокон (хлопок, шерсть, шёлк, лён), а не из синтетических полимеров (полиэстер, нейлон, акрил), которые выделяют микроволокна в воздух и воду.

Регулярная уборка: частая влажная уборка и протирание пыли предотвращают накопление пыли, содержащей микропластик, в жилом пространстве.

3. Средства личной гигиены и отказ от «микробисера»

Проверка состава: хотя во многих странах (например, в Южной Корее, США и Франции) микробисер в смываемых продуктах запрещён, он всё ещё может присутствовать в некоторых косметических средствах, моющих средствах и красках. Избегайте продуктов, содержащих полиэтилен (PE), полипропилен (PP) или полиэтилентерефталат (PET).

Гигиена без пластика: переходите на альтернативы без пластика для таких товаров, как чайные пакетики (часто содержащие пластиковую сетку), влажные салфетки и скрабы.

4. Системная защита (биологическая поддержка)

Хотя специфического «антидота» против микропластика не существует, поддержка естественных защитных механизмов организма может помочь справиться с упомянутым в статье оксидативным стрессом:

Диета, богатая антиоксидантами: употребление продуктов с высоким содержанием антиоксидантов (витамины С и Е, полифенолы) может помочь организму противодействовать окислительным повреждениям и воспалению, вызванным накоплением пластиковых частиц.

Поддержка органов детоксикации: поддержание здоровья печени и почек за счёт достаточного питьевого режима и сбалансированного питания способствует естественной способности организма перерабатывать и выводить чужеродные вещества.

5. Экологическая профилактика (долгосрочные меры)

Как подчёркивается в статье, ключевой профилактической мерой являются регулирование и управление отходами:

Поддержка циркулярной экономики: следуя «Европейской стратегии по пластику», следует отдавать приоритет переработке и поддерживать политики, запрещающие первичный микропластик в промышленных и потребительских товарах.

Правильная утилизация отходов: предотвращение попадания крупных пластиковых изделий в окружающую среду останавливает процессы

«фрагментации и микронизации», которые приводят к образованию вторичного микропластика. [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Следует также подчеркнуть высокую значимость разъяснения важности утилизации мусора среди молодого поколения, а также проведения просветительских мероприятий в дошкольных и школьных образовательных учреждениях, включая организацию собраний и образовательных программ, направленных на формирование осознанного отношения к сокращению использования пластика с целью предотвращения негативных долгосрочных последствий в будущем.

Заключение

Анализ современных экспериментальных и клинических исследований свидетельствует о том, что микропластик являются потенциально значимыми факторами риска для здоровья человека. Их широкое распространение в окружающей среде обуславливает множественные пути поступления в организм, включая пищеварительный тракт и дыхательные пути, что способствует системному воздействию.

Обзор литературы показывает, что микропластик способен накапливаться в различных органах и тканях, включая сердечно-сосудистую, нервную, эндокринную и репродуктивную системы, вызывая окислительный стресс, воспаление и нарушения клеточного гомеостаза. Особую обеспокоенность вызывает способность частиц преодолевать биологические барьеры, что может приводить к когнитивным, гормональным и репродуктивным нарушениям.

Несмотря на наличие убедительных экспериментальных данных, клинические доказательства долгосрочного воздействия микропластика на человека остаются ограниченными. Это подчёркивает необходимость дальнейших многоцентровых и длительных исследований, а также разработки стандартизированных методов оценки содержания микропластика в биологических средах.

БИБЛИОГРАФИЯ:

1. Akhmedov, K., Abdurakhmanova, N., & Buranova, S. (2023). Features of the clinical course of rheumatoid spine against the background of the influence of xenobiotics. *American Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 12, 142-147.

2. An R, Xifeng W, Yang L, Zhang J, Wang N, Xu F, et al. Микропластик полистирола вызывает апоптоз и фиброз гранулезных клеток яичников у крыс посредством окислительного стресса. *Toxicology* (2021) 449:152665. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2020.152665>
3. Axmedov, I. A., Xalmetova, F. I., & Zaripov, S. I. (2024). Rematoid artrit kasalligi bo'lgan bemorlarda yurak qon-tomir tizimidagi buzulishlarni erta aniqlashda yurak ritmi buzilishlarining o'rni.
4. Buranova, S. (2021). Method of treatment aimed at the dynamics of cartilage oligomer matrix protein (COMP) in patients with osteoarthritis.
5. Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C. E., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental science & technology*, 53(21), 12300–12310. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
6. I.E. Napper, R.C. Thompson Plastic debris in the marine environment: history and future challenges *Glob. Chall.*, 4 (6) (2020), Article 1900081, 19562, [10.1007/s11356-021-13184-2](https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2)
7. J.C. Prata, J.P. da Costa, I. Lopes, A.C. Duarte, T. Rocha-Santos, Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects, *Sci. Total Environ.* 702 (2020) 134455, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
8. Jung, B. K., Han, S. W., Park, S. H., Bae, J. S., Choi, J., & Ryu, K. Y. (2020). Neurotoxic potential of polystyrene nanoplastics in primary cells originating from mouse brain. *Neurotoxicology*, 81, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.10.008>
9. Kannan K and Vimalkumar K (2021) A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as obesogens. *Front. Endocrinol.* 12:724989. doi: 10.3389/fendo.2021.724989
10. Xalmetova, F. I., Akhmedov, K. S., Buranova, S. N., Rakhimova, M. B., Rakhimov, S. S., & Abdurakhimova, L. A. (2023). Immunological Features of Reactive Arthritis of Various Etiologies. *Journal of Coastal Life Medicine*, 11, 1322–1325.
11. Lu YY, Cao MY, Tian MP, Huang QY. Internalization and cytotoxicity of polystyrene microplastics in human umbilical vein endothelial cells. *J Appl Toxicol.* 2023;43:262-71. <https://doi.org/10.1002/jat.4378>.
12. Mamedov M. N., Savchuk E. A. Relationship between microplastics and cardiovascular risk factors. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2024;23(6):4069. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4069> EDN NPTJZH

13. Mamedov M. N., Savchuk E. A. Relationship between microplastics and cardiovascular risk factors. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2024;23(6):4069. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4069> EDN NPTJZH
14. Mamedov M. N., Savchuk E. A. Relationship between microplastics and cardiovascular risk factors. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2024;23(6):4069. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4069> EDN NPTJZH
15. Marfella R, Prattichizzo F, Sardu C, et al. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N Engl J Med*. 2024;390:900-10. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822>
16. Mason, S. A., et al. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*, 6, 407 <https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2018.00407>
17. Nemmar A, Hoylaerts M, Hoet P, et al. Size effect of intra-tracheally instilled particles on pulmonary inflammation and vascular thrombosis. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2003;186(1):38-45. [https://doi.org/10.1016/S0041-008X\(02\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S0041-008X(02)00024-8).
18. Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F., Gullapalli, R. R., Howard, T., Bleske, B., Scott, J., Gonzalez-Estrella, J., Gross, J. M., Spilde, M., Adolphi, N. L., Gallego, D. F., Jarrell, H. S., Dvorscak, G., Zuluaga-Ruiz, M. E., West, A. B., ... Campen, M. J. (2025). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature medicine*, 31(4), 1114–1119. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>
19. Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234, 115–126.
20. Rakhimova, M. B., Akhmedov, K. S., & Turaev, Y. A. (2021). Endothelial dysfunction as a link in the pathogenesis of ankylosing spondylitis against the background of a new coronavirus infection. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(3), 2493-2498.
21. Schirinzi, G. F., Pérez-Pomeda, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M., & Barceló, D. (2017). Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environmental research*, 159, 579–587. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.043>
22. Suman, A., Mahapatra, A., Gupta, P., Ray, S. S., & Singh, R. K. (2024). Polystyrene microplastics induced disturbances in neuronal arborization and dendritic spine density in mice prefrontal cortex. *Chemosphere*, 351, 141165. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141165>

23. W.R. Waldman, M.C. Rillig, Microplastic research should embrace the complexity of secondary particles, *Environ. Sci. Technol.* 54 (2020) 7751–7753, <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02194>

24. W.R. Waldman, M.C. Rillig, Microplastic research should embrace the complexity of secondary particles, *Environ. Sci. Technol.* 54 (2020) 7751–7753, <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02194>

25. Zhou Y, Wu Q, Li Y, et al. Low-dose of polystyrene microplastics induce cardiotoxicity in mice and human-originated cardiac organoids. *Environ Int.* 2023;179:108171. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108171>.

26. Zhu X, Wang C, Duan X, et al. Micro- and nanoplastics: A new cardiovascular risk factor? *Environ Int.* 2023;171:107662. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107662>.

27. Абдурахимов, А. Г., & Халметова, Ф. И. (2023). Нестероидные противовоспалительные препараты у пациентов с деформирующим остеоартрозом и артериальной гипертензией: анализ влияния целекоксиба и мелоксикама на антигипертензивные средства. Оптимизация лечения. *Атеросклероз*, 19(3), 186-187.

28. Ван С., Ван С., Чен В., Ван М., Чжао Дж., Сюй З., Ван Р., Ми С., Чжэн З., Чжан Х. Воздействие высоких доз полистироловых нанопластиков вызывает апоптоз трофобластных клеток и приводит к выкидышу. Часть. Токсикодинамика волокон. 2024;21:13. <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00574-w>

29. Влияние микропластика на потомство (эпигенетические изменения спермы) Park, J., Lee, H., Kim, S., Choi, Y., & Kim, J. (2025). Paternal microplastic exposure alters sperm small non-coding RNAs and impairs metabolic health of offspring. *Journal of the Endocrine Society*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvaf214>

30. Нарушение кровь-семенникового барьера Jin, H., Ma, T., Sha, X., Liu, Z., & Zhou, Y. (2022). Nanoplastics disrupt the blood–testis barrier and impair spermatogenesis in mice. *Journal of Hazardous Materials*, 426, 127815. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127815>

31. Пупыкина Виктория Викторовна, & Захарова Ирина Николаевна (2024). Осторожно - микропластик: влияние на организм человека и окружающую среду. *Педиатрия. Consilium Medicum*, (3), 229-235. <https://doi.org/10.26442/26586630.2024.3.202959>

32. Пупыкина Виктория Викторовна, & Захарова Ирина Николаевна (2024). Осторожно - микропластик: влияние на организм человека и

окружающую среду. Педиатрия. Consilium Medicum, (3), 229-235.
<https://doi.org/10.26442/26586630.2024.3.202959>

33. Рахимова, М. Б., Ахмедов, Х. С., & Халметова, Ф. И. (2025). ОЦЕНКА ЭНДОТЕЛИАЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ У БОЛЬНЫХ РЕВМАТОИДНЫМ АРТРИТОМ.

34. Рахимова, М., Ахмедов, К., Буранова, С., и Турсунова, Л. (2022). Оценка сердечно-сосудистых событий у пациентов с анкилозирующим спондилитом после COVID-19.

35. Снижение уровня тестостерона (LHR/cAMP/РКА/StAR путь) Zhang, J., Wang, L., Kannan, K., Li, J., Chen, Y., & Liu, X. (2022). Polystyrene microplastics disrupt testosterone synthesis via the LHR/cAMP/РКА/StAR signaling pathway in mice. *Particle and Fibre Toxicology*, 19, 25. <https://doi.org/10.1186/s12989-022-00453-2>

36. Суворова Анастасия Александровна (2021). МИКРОПЛАСТИК В ОКЕАНЕ: ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ И АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ. Экология гидросферы, (1 (6)),1-7.
[https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1\(6\)-1-7](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1(6)-1-7)

37. Хаддади А., Кессаби К., Бугаммура С., Бен Рхума М., Млука Р., Банни М. и др. Воздействие микропластика приводит к нарушению функции яичников и изменению экспрессии белков цитоскелета у крыс. *Environ Sci pollut Res* (2022) 29:1–13. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18218-3>

38. Шовкатова, М. Н., & Рахимова, М. Б. (2025). ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЦИФРОВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ И ДИНАМИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОГО РИСКА У БОЛЬНЫХ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ И РЕВМАТОИДНЫМ АРТРИТОМ. *FARS International Journal of Education, Social Science & Humanities.*, 13(12), 7-14.