

Осторожно – микропластик: влияние на организм человека и окружающую среду

В.В. Пупыкина[✉], И.Н. Захарова

ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Аннотация

В настоящее время повсеместное распространение пластика стало серьезной проблемой не только для окружающей среды, но и для здоровья человека. Микропластик, являясь искусственным полимером, созданным человеком, отличается высокой устойчивостью к внешним воздействиям. Его разложение в почве требует значительного времени. В современном мире пластик стал неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Из микропластика, в частности, сделаны пакетики для хранения грудного молока, детские полипропиленовые бутылочки. В статье приведены сведения о влиянии данного вещества на организм человека. Микропластик обнаружен в крови, сердце, легких, плаценте, меконии младенца, грудном молоке. Выдвинуты гипотезы, объясняющие вероятные механизмы, с помощью которых микропластик проникает в ткани человека. В научной литературе обсуждается возможная связь пластификаторов с расстройством аутистического спектра, синдромом дефицита внимания и гиперактивности у детей. Описана возможная связь микропластика и послеродовой депрессии. Есть работы, доказывающие взаимосвязь между микропластиком и воспалительными заболеваниями кишечника. Принятие решения об ограничении использования пластиковых продуктов в быту является важным шагом, который может сыграть ключевую роль в уменьшении загрязнения окружающей среды и защите здоровья будущих поколений.

Ключевые слова: окружающая среда, дети, микропластик, влияние на организм человека, плацента, грудное молоко, аутизм, воспалительные заболевания кишечника

Для цитирования: Пупыкина В.В., Захарова И.Н. Осторожно – микропластик: влияние на организм человека и окружающую среду. Педиатрия. Consilium Medicum. 2024;3:230–236. DOI: 10.26442/26586630.2024.3.202959

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2024 г.

REVIEW

Problematic issues of the impact of microplastics on the human body and the environment: A review

Viktoria V. Pupykina[✉], Irina N. Zakharova

Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Abstract

Currently, the widespread use of plastic has become a serious problem for the environment and human health. Microplastics, being an artificial polymer created by man, are highly resistant to external influences and their decomposition requires a significant amount of time. The article provides information on the distribution of microplastics and their impact on the environment and the human body, issues of detecting microplastics in the blood, heart, lungs, placenta and meconium, in breast milk, hypothetical mechanisms by which microplastics penetrate into human tissues and the metabolism of plasticizers in children with autism spectrum disorder and attention deficit hyperactivity disorder. In the modern world, plastic has become an integral part of our daily lives, the presence of microplastics in plastic bags for storing breast milk, in baby formula and polypropylene bottles has been demonstrated, the relationship between microplastics and postpartum depression, the relationship between fecal microplastics and the status of inflammatory bowel diseases has been described. Making the decision to limit the use of plastic products in your home is an important step that can play a key role in reducing environmental pollution and protecting the health of future generations.

Keywords: environment, children, microplastics, impact on the human body, placenta, breast milk, autism, inflammatory bowel diseases

For citation: Pupykina VV, Zakharova IN. Problematic issues of the impact of microplastics on the human body and the environment: A review. Pediatrics. Consilium Medicum. 2024;3:230–236. DOI: 10.26442/26586630.2024.3.202959

Введение

В настоящее время повсеместное распространение пластика стало серьезной проблемой для окружающей среды и здоровья человека. Согласно исследованиям Всемирного фонда дикой природы каждую неделю в организм человека поступает около 5 г пластика, что сравнимо с массой обычной пластиковой карты. Пластик, являясь искусственным полимером, созданным человеком, отличается высокой устойчивостью к внешним воздействиям, включая механические повреждения и химическое воздействие [1].

Несмотря на прочность и долговечность пластиковых изделий, со временем они все же подвергаются разрушению.

В процессе этого распада образуется микропластик (МП) – крошечные частицы, которые по-прежнему сохраняют свои синтетические свойства. К сожалению, в природе отсутствуют механизмы, способные полностью разложить эти комплексные молекулы пластика до элементарных составляющих, таких как вода и газы, что позволило бы им беспрепятственно возвращаться в естественный цикл обмена веществ в природе. Этот факт вызывает серьезную озабоченность, поскольку МП оказывается не только в окружающей среде, но и проникает в пищевую цепочку, в конечном итоге влияя на здоровье живых организмов [2].

Информация об авторах / Information about the authors

[✉]Пупыкина Виктория Викторовна – аспирант каф. педиатрии им. акад. Г.Н. Сперанского ФГБОУ ДПО РМАНПО. E-mail: vika-pupykina@mail.ru

Захарова Ирина Николаевна – д-р мед. наук, проф., зав. каф. педиатрии им. акад. Г.Н. Сперанского ФГБОУ ДПО РМАНПО, засл. врач России. E-mail: zakharova-rmapo@yandex.ru

[✉]Viktoria V. Pupykina – Graduate Student, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education. E-mail: vika-pupykina@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2181-8138

Irina N. Zakharova – D. Sci. (Med.), Prof., Russian Medical Academy of Continuous Professional Education. E-mail: zakharova-rmapo@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-4200-4598

Пластик благодаря своей прочности и химической инертности стал неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Этот материал, получаемый преимущественно из нефти, а также из таких источников, как уголь и природный газ, отличается долговечностью, что, с одной стороны, является преимуществом, но с другой – представляет определенную проблему для окружающей среды. Вопреки органическому происхождению сырья, продукция из пластика обладает высокой степенью устойчивости к естественным процессам разложения [3]. Исследования показывают, что разложение пластиковых изделий в природных условиях требует значительного времени. К примеру, пластиковая бутылка, оказавшаяся в океане, может сохраняться в его водах до 450 лет, в то время как полиэтиленовый пакет, превращаясь в МП, будет загрязнять окружающую среду на протяжении 20 лет [4].

С учетом того, что эпоха широкомасштабного производства пластиковых материалов началась в 1950-х годах, становится ясно, что с тех пор человечество произвело огромное количество пластика. Этот материал, будь то в форме крупных изделий или же мелких фрагментов, в настоящее время активно накапливается в природной среде, вызывая значительную обеспокоенность экологов и общественности. Важно отметить, что молекулы пластика, такие как полиэтилен (ПЭ), в их первоначальном состоянии являются относительно инертными и не представляют непосредственной опасности. Однако для того, чтобы придать пластиковым изделиям необходимые свойства, такие как огнестойкость, эластичность или повышенная прочность, производители вводят в состав различные добавки – пластификаторы, стабилизаторы и красители. К сожалению, многие из этих добавок обладают высокой токсичностью и могут представлять серьезную угрозу как для окружающей среды, так и для здоровья человека. Попадая в почву и водоемы, эти вещества могут накапливаться в организмах животных, рыб, а затем и человека, вызывая различные заболевания, и отрицательно влияя на экосистему в целом [5].

Следует отметить и другие аспекты, которые играют ключевую роль в усугублении этой проблемы, – это биоаккумуляция и биомagnификация. Биоаккумуляция – это процесс, в ходе которого концентрация вредных веществ в организмах, живущих в определенной среде, превышает уровень этих же веществ в окружающей их среде. Биомagnификация – процесс увеличения концентрации вредных веществ на каждом следующем уровне пищевой цепи. Динамика биоаккумуляции прослеживается уже с микроскопических организмов, таких как зоопланктон, которые могут быть загрязнены МП. Когда рыба потребляет эти микроорганизмы, уровень его содержания в рыбах оказывается выше, чем в зоопланктоне, из-за процесса биомagnификации. По мере продвижения вверх по пищевой цепи концентрация вредных веществ продолжает увеличиваться и в конечном итоге приводит к тому, что человек, стоящий на вершине этой пищевой цепи, подвергается воздействию самых высоких уровней загрязнения [6].

В 2018 г. группа исследователей из немецкого Института полярных и морских исследований сделала поразительное открытие, обнаружив МП в ледниках как Арктики, так и Антарктиды [7]. Через 2 года, в 2020 г., группа ученых из Университета Плимута обнаружила частицы МП в снегу на вершине Эвереста, на высоте 8440 м (рис. 1), хотя до этого момента многие предполагали, что такие высокие

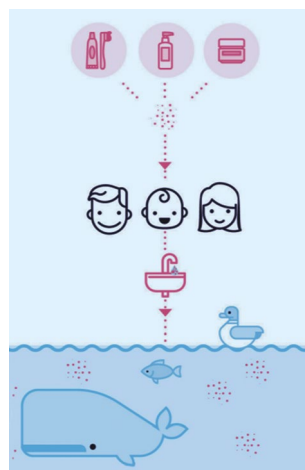
Рис. 1. Приблизительное место обнаружения МП на горе Эверест [8].

Fig. 1. Approximate location of microplastic discovery on Mount Everest [8].



Рис. 2. Поступление МП в сточные воды через косметические средства [10].

Fig. 2. The entry of microplastics into domestic wastewater through cosmetics [10].



и отдаленные в географическом отношении места останутся нетронутыми человеческим влиянием [8].

МП обнаруживается и внутри человеческого организма. Исследования показывают, что основным источником поступления этих частиц служит вода из пластиковых бутылок, которую мы потребляем каждый день, и это может привести к тому, что за год в организм человека попадет до 90 тыс. микроскопических частиц МП. Однако даже переход на питьевую воду из-под крана не избавляет от проблемы полностью, но может снизить количество попадающих в организм частиц до 40 тыс. в год [9].

Среди множества источников загрязнения окружающей среды значительной экологической проблемой являются не только отходы бытового и промышленного производства, но и косметические средства, продукты личной гигиены, в которые производители целенаправленно добавляют микроскопические частицы пластика. Эти компании, в том числе и ведущие мировые бренды, стремятся улучшить функциональные свойства своей продукции за счет введения в состав МП, который впоследствии становится частью бытовых сточных вод (рис. 2) [10].

Несмотря на серьезность проблемы, лишь незначительная доля этих частиц (всего 9%) подлежит вторичной переработке. С каждым годом производится до 400 млн тонн МП, что подчеркивает масштабы загрязнения и необходимость

активных действий для его сокращения. Экологические прогнозы указывают на тревожную тенденцию: если текущие темпы производства и накопления МП сохранятся, то к 2050 г. его общая масса может удвоиться [11].

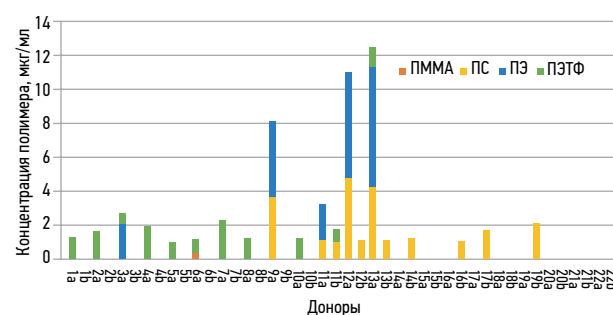
По результатам зарубежного исследования, проведенного на базе Копенгагенского университета, выявлено, что многоразовые пластиковые бутылки могут стать источником опасных химических соединений. Для этого химики использовали как абсолютно новые, так и ранее использованные бутылки, которые подготавливали к эксперименту различными способами: некоторые из них не подвергались мытью, другие мыли вручную, а третьи – в посудомоечной машине. Затем эти бутылки наполняли обычной водой из-под крана и оставляли на сутки. Спустя 24 ч проводили тщательное исследование химического состава воды с помощью методов газовой хроматографии и масс-спектрометрии. При этом обнаружено значительное количество различных химических соединений в составе воды, в частности найдено свыше 400 различных соединений. Особенно поразительным оказалось количество веществ, обнаруженных в воде из бутылок, вымытых в посудомоечной машине, – более 3500 различных веществ. Выявлено, что в процессе деградации пластика образуются вредные соединения, включая фотоинициаторы и диэтилтолуамид. Фотоинициаторы представляют собой особый класс молекул, способных при воздействии излучения запускать цепные реакции, порождающие реактивные частицы, такие как свободные радикалы, катионы и анионы. Особенно тревожным является тот факт, что токсичность приблизительно 70% этих соединений остается неизвестной, что ставит под угрозу безопасность и здоровье окружающей среды и человека [12].

Обнаружение МП в крови и органах человека

МП в крови. Исследование, проведенное в начале 2022 г. в Нидерландах, продемонстрировало наличие МП в крови человека. Из 22 анонимных доноров МП выявлен у 17, что свидетельствовало о его широком распространении. Основной составляющей обнаруженного МП оказался полиэтилентерефталат (ПЭТФ), который обнаружен у 50% исследуемых, у 36% присутствовал полистирол, у 23% – ПЭ и у 5% – полиметилметакрилат (ПММА); рис. 3. В ходе исследований выявлено, что микрочастицы способны перемещаться по кровотоку и достигать внутренних органов, а это в свою очередь может оказывать негативное влияние на здоровье человека, в том числе нарушать обмен гормонов, способствовать развитию заболеваний кишечника, включая онкологические и хронические воспалительные процессы [13].

МП в сердце. В последнее время значительно возрос интерес к изучению вопроса влияния МП на человеческий организм. В частности, в опубликованном пилотном исследовании Y. Yang и соавт., проведенном с использованием лазерной системы прямой инфракрасной (ИК) химической визуализации и сканирующей электронной микроскопии, проанализированы различные образцы тканей на присутствие МП у 15 пациентов, подвергшихся кардиохирургическим вмешательствам: 6 образцов из перикарда, 6 – из эпикардальных жировых тканей, 11 – из перикардальных жировых тканей, 3 – из миокарда, 5 – из ушка левого предсердия и 7 пар образцов венозной крови до и после операции. Девять типов МП обнаружено в пяти видах тканей, среди наиболее часто встречающихся – ПЭТФ, поливинилхлорид

Рис. 3. Концентрация полимеров в крови (адаптировано из [13]).
Fig. 3. The concentration of polymers in the blood (adapt. from [13]).



Примечание. ПС – полимеризованный стирол.

и ПММА, максимальный размер частиц которых составлял 469 мкм. В образцах крови до и после операции также выявлено 9 типов МП с максимальным диаметром частиц 184 мкм. Выявлено, что после хирургических вмешательств происходит увеличение количества различных частиц МП, которые могут вноситься непосредственно во время операций. Это исследование показывает, что инвазивные медицинские процедуры могут служить неожиданным источником для проникновения МП в кровотоки и в дальнейшем – к внутренним органам человека [14].

МП в легких. Изучение влияния МП на организм человека, выявило его способность воздействовать на клетки дыхательных путей. Это воздействие обусловлено рядом специфических характеристик частиц МП, таких как их размер, форма, а также поверхностные особенности, включая заряд и шероховатость. Эти факторы играют ключевую роль во взаимодействии МП с клетками. Особенно значимым является его влияние на клеточные мембраны дыхательных путей. МП не только адсорбируется на поверхности клеточных мембран, но и может проникать внутрь клетки, вызывая различные нарушения в ее работе, их повреждение, развитие окислительного стресса, что является пусковым механизмом для множества патологических процессов. Результаты недавнего исследования, проведенного с использованием ИК-Фурье спектроскопии, продемонстрировали наличие МП в 11 из 13 образцов легочной ткани. В общей сложности выявлено 39 типов МП. Все образцы, взятые у лиц мужского пола, содержали по крайней мере одну частицу МП, в двух из пяти образцов, взятых у женщин, не обнаружено МП. В образцах ткани идентифицировано в общей сложности 12 типов полимеров. Наиболее распространенными стали полипропилен – ПП (23%), ПЭТФ (18%) и смола (15%) [15].

Присутствие МП в легочной ткани изучалось также L. Amato-Lourenço и соавт., которые установили содержание МП в 13 из 20 образцов легочной ткани, полученных при вскрытии. В общей сложности обнаружены 33 полимерные частицы и 4 волокна. Размер всех полимерных частиц оказался меньше 5,5 мкм, а волокон – от 8,12 до 16,8 мкм. Наиболее распространенными полимерами стали ПП (35,1%) и ПЭ (24,3%) [16]. Путь поступления и накопления микропластика в дыхательных путях проиллюстрирован на рис. 4 [17].

МП в плаценте и меконии. Особого внимания заслуживают результаты исследования, проведенного зарубежными авторами, которые осуществили метаанализ 37 научных

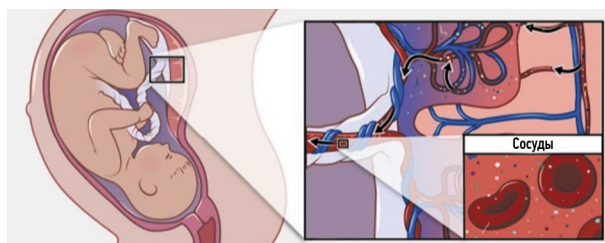
Рис. 4. МП в легких человека [17].

Fig. 4. Microplastics in human lungs [17].



Рис. 5. Транспорт МП в плаценту (адаптировано из [18]).

Fig. 5. Transport of microplastics into the placenta (adapt. from [18]).

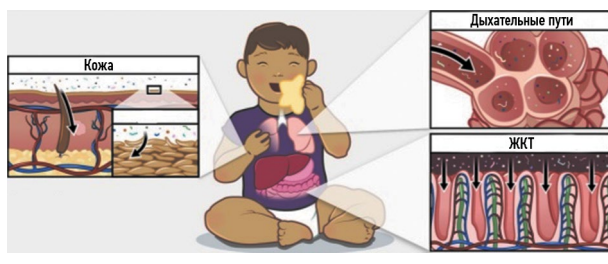


работ о влиянии МП на беременность и детей раннего возраста. В ходе этого исследования подтверждено, что МП можно обнаружить в плаценте (рис. 5) и организме детей (рис. 6), это поднимает вопросы о его потенциальном воздействии на здоровье и развитие ребенка. В настоящее время еще многое неизвестно о масштабах поглощения МП детьми, но есть свидетельства того, что этот процесс начинается еще в утробе. В период внутриутробного развития и на ранних этапах жизни человека иммунная система еще не достигла зрелости, что делает организм более уязвимым к внешним угрозам. Это особенно опасно, учитывая, что данный период является важным для развития мозга ребенка. Специалисты указывают на то, что МП является носителем не только пластиковых компонентов, но и токсичных веществ, включая фталаты и тяжелые металлы, которые могут негативно сказаться на здоровье детей. Эти частицы, оказавшись в окружающей среде, могут дополнительно абсорбировать вредные вещества, находящиеся в воздухе и выхлопных газах, тем самым усиливая свой вредный потенциал [18].

Растущее количество исследований подтверждает, что МП может найти путь проникновения в самые уязвимые и защищенные системы организма. Одно такое исследование, проведенное методом рамановской спектроскопии, ставило целью изучение присутствия МП в плаценте женщин с физиологической беременностью. Полученные результаты позволили выявить, что из шести анализируемых плацент четыре содержали микропластиковые частицы. Всего найдено 12 фрагментов МП размером от 5 до 10 мкм, которые имели как сферическую, так и неправильную форму. Эти частицы распределялись неодинаково: 5 найдены со стороны, обращенной к плоду, 4 – со стороны матери, и 3 – в хориоамниотических оболочках. При анализе некоторых образцов, содержащих пигменты, обнаружено, что три из них

Рис. 6. Дополнительные пути проникновения МП в организм ребенка (адаптировано из [18]).

Fig. 6. Additional ways microplastics can enter a child's body (adapt. from [18]).



состояли из окрашенного ПП, который является термопластичным полимером, в других образцах удалось определить лишь сам факт присутствия пигментов, без уточнения конкретного типа материала. Эти пигменты находят широкое применение в создании пластырей, детских пальчиковых красок, клеев, а также в формулах косметических средств и средств личной гигиены [19].

В ходе данного исследования также сформулированы гипотетические механизмы, с помощью которых МП проникают в ткани человека:

- 1) эндоцитоз М-клетками на уровне пейеровых бляшек: МП, попавший с пищей, в результате эндоцитоза М-клетками транспортируется через эпителий в субэпителиальный свод, где поглощается дендритными клетками, которые, в свою очередь транспортируют его по лимфатической системе, откуда он попадает в кровь;
- 2) парацеллюлярная диффузия – МП может проникать через просвет кишечника из неплотных соединений, собираться дендритными клетками и транспортироваться по лимфатической системе, а затем в системный кровоток;
- 3) верхние дыхательные пути – биение ресничек мерцательного эпителия способствует эвакуации МП, а наличие сурфактанта не позволяет наиболее мелким частицам проникать в кровь;
- 4) в нижних дыхательных путях слой слизи тоньше, что облегчает диффузию частиц, которые благодаря своей особой аэродинамической форме способны достигать этой части дыхательных путей. После проникновения в нижние дыхательные пути МП может распространяться в общий кровоток путем диффузии клеток [19].

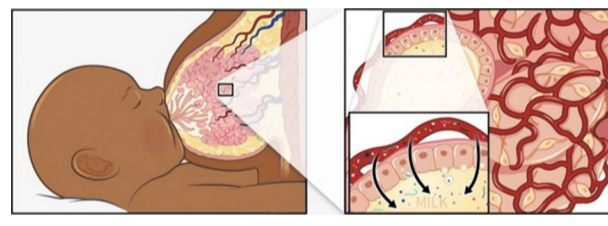
В рамках пилотного исследования, направленного на разработку методики выявления микропластиковых частиц размером более 50 мкм, исследованы ткани плаценты и образцы мекония, полученные в ходе двух операций кесарева сечения, выполненных из-за тазового предлежания плода. Для выявления МП в биологических образцах выбран комплексный подход. После проведения процедуры химического расщепления для избавления от нецелевых органических материалов, образцы подвергались детальному анализу с использованием ИК-микроспектроскопии с преобразованием Фурье. Этот метод позволил идентифицировать десять наиболее распространенных типов МП, присутствующих в исследуемых образцах. Эти частицы представляли собой МП, включая ПЭ, ПП, полистирол и полиуретан. Уникально то, что полиуретан выявлен не только в тканях, но и в воздухе операционной, указывая на возможное атмосферное загрязнение как один из потенциальных источников этих частиц [20].

МП в грудном молоке. В ходе пилотного исследования, проведенного в Италии, взяты и проанализированы методом рамановской спектроскопии образцы грудного молока у 34 здоровых молодых матерей, осуществляющих грудное вскармливание. По результатам исследования выявлено наличие МП у 26 кормящих женщин. Обнаруженные микрочастицы классифицированы в соответствии с их формой, цветом, размерами и химическим составом. Наиболее распространенные частицы МП состояли из ПЭ (38%), поливинилхлорида (21%) и ПП (17%). Размер данных частиц – от 2 до 12 мкм. В связи с этой проблемой особенно важно для беременных и кормящих женщин снизить взаимодействие с пластиковыми продуктами. Стоит избегать не только пищевых продуктов и напитков в пластиковой упаковке, но и продуктов косметической промышленности и даже зубных паст, упакованных в пластик. Дополнительно рекомендуется отдавать предпочтение натуральным тканям вместо синтетической одежды, чтобы снизить воздействие МП на организм. Эти меры предосторожности помогут не только защитить здоровье беременных и кормящих женщин, но и способствуют более экологичному и здоровому образу жизни [21].

Процесс поступления МП в организм ребенка через грудное молоко представлен на рис. 7 [18].

Рис. 7. Процесс поступления МП в организм ребенка через грудное молоко (адаптировано из [18]).

Fig. 7. The process of microplastics entering the child's body through breast milk (adapt. from [18]).



обнаружено от 14,6 тыс. до 4,55 млн частиц на душу населения в день в зависимости от региона. Показано, что полипропиленовые бутылочки для кормления детей выделяют до 16,2 млн частиц МП на литр и, что немаловажно, стерилизация и воздействие воды высокой температуры приводят к увеличению выделения МП [24].

Связь между поступлением МП в организм и некоторыми состояниями

Метаболизм пластификаторов у детей с расстройством аутистического спектра и синдромом дефицита внимания и гиперактивности. В области производства пластмасс неотъемлемую роль играют пластификаторы, которые задают материалам необходимые характеристики, такие как гибкость и мягкость. Среди разнообразия пластификаторов особое внимание уделяется двум ключевым соединениям – бисфенолу А и диэтилгексилфталату – из-за их широкого применения в индустрии. В исследовании, проведенном Т. Stein и соавт., приняли участие дети, разделенные на 3 группы:

1. Дети с расстройством аутистического спектра (РАС) – 66 человек.
2. Дети с синдромом дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) – 46 человек.
3. Контрольная группа (здоровые дети) – 37 человек.

У каждого ребенка взята проба мочи для дальнейшего анализа состава с помощью масс-спектрометрии. Проведена оценка работы двенадцати метаболических путей глюкуронизации и выявлено, что эффективность глюкуронизации бисфенола А оказалась значительно ниже у детей с РАС, чем в группе контроля (на 11%), а также у детей с СДВГ (на 17%). Для диэтилгексилфталата наблюдали схожие показатели, однако их нельзя назвать статистически значимыми. Несмотря на большие различия в метаболизме и симптоматике РАС и СДВГ, их может объединять общий механизм развития – токсическое действие пластификаторов. Действительно, ведь после попадания в организм человека данные вещества могут быть обработаны и выведены из организма благодаря процессу глюкуронизации, происходящему в печени, с последующим выведением с мочой. Однако стоит отметить, что этот процесс также ассоциируется с развитием неврологических заболеваний у детей, что поднимает вопросы о безопасности их использования [25].

МП и послеродовая депрессия. В рамках проспективного когортного исследования, проведенного в 5 городах США в период с 2006 по 2020 г., проанализированы данные от 2174 беременных женщин. Исследование включало в себя мониторинг уровней различных химических веществ

МП в пакетах для хранения грудного молока

В современном мире, где пластик стал неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, исследование, проведенное на базе Сианьского университета Цзяотун, продемонстрировало наличие МП в пластиковых пакетах для хранения грудного молока. Согласно полученным результатам обнаружено, что большая часть микропластиковых частиц, мигрирующих в грудное молоко, состоит из таких материалов, как ПЭ, нейлон-6 и ПЭТФ, суммарная масса которых варьировала между 0,22 и 0,47 мг. Анализ показал, что при среднем объеме употребления грудного молока младенцами, оцениваемом в диапазоне от 650 до 850 мл в день, общее количество МП, попадающего в организм ребенка, может составлять от 0,61 до 0,89 мг [22].

МП в детских смесях и полипропиленовых бутылочках для младенцев

Поскольку детские смеси часто составляют значительную часть рациона питания многих младенцев, Q. Zhang и соавт. исследовали загрязнение МП детских смесей в разных упаковках, а также количество поступающего в организм ребенка МП при кормлении смесью из бутылочек. Изучено 13 различных типов детских смесей с разной упаковкой, системами обработки и источниками смесей. Сухие смеси в мягких упаковках (7 ± 3 элемента МП/100 г) оказались более загрязнены МП, чем в жестяных банках (4 ± 3 элемента/100 г). Если внутренний слой жестяных упаковок был пластиковым или ламинированным алюминиевой фольгой, то такая упаковка выделяла от 8 ± 2 до 17 ± 1 элемента/100 г, и она могла быть основным источником МП в смесях. В то же время обнаружено, что воздействие МП из самой смеси не так значимо, поскольку при кормлении из пластиковых бутылочек загрязнение МП увеличивается в 6,8 раза [23].

В 2020 г. опубликованы данные исследования о потенциальном воздействии МП на младенцев при употреблении смесей, приготовленных в полипропиленовых бутылочках. В ходе обследования детей до 12 мес из 48 регионов

в образцах мочи участниц. Среди этих веществ – фенолы, такие как бисфенол и триклозан, а также метаболиты фталата, парабены и триклокарбан. Несмотря на то, что только небольшой процент (менее 15%) образцов взят в I триместре беременности, большинство участниц (59%, или 1273 женщины) прошли минимум два измерения уровня этих химических веществ в течение всего периода беременности. Интересно, что в процессе исследования обнаружено присутствие всех исследуемых химических веществ в организме участниц. Особенно выделялись парабены: метил- и пропилпарабены обнаружены у 100% участниц. Кроме того, более 99% участниц имели в своих образцах мочи несколько метаболитов фталата, подтверждая всеобщую встречаемость этих веществ в окружающей среде и бытовых продуктах. Исследование взаимосвязи между послеродовой депрессией и воздействием химических веществ в первые 3 мес после родов привело к неоднозначным результатам. В начале исследования ученые предполагали, что химические вещества, в частности фталаты, могут играть роль в развитии послеродовой депрессии. Однако применение линейной регрессии для анализа данных не выявило прямой статистически значимой связи между уровнем химических веществ и послеродовой депрессии. Тем не менее применение логарифмического преобразования данных привело к интересному открытию. Обнаружено, что каждое увеличение концентрации фталатов на 1 ед. коррелирует с повышением индекса послеродовой депрессии на 0,26 ед. Хотя эта связь и не достигла уровня статистической значимости, она указывает на возможное негативное влияние фталатов на эмоциональное состояние женщин после родов [26].

Взаимосвязь между фекальным МП и риском воспалительных заболеваний кишечника. В исследовании, направленном на изучение содержания МП в кале пациентов, страдающих воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК), доказано, что его присутствие в кале оказалось значительно выше, достигая 41,8 ед. на 1 г сухого вещества, в то время как у здоровых лиц этот показатель составил всего 28,0 ед. на 1 г сухого вещества. Интересно, что в ходе анализа фекальных образцов идентифицировано 15 различных типов МП. Среди них наиболее распространенными оказались ПЭТФ, который составлял от 22,3 до 34,0%, и полиамид, доля которого варьировала от 8,9 до 12,4%. Исследование указывает на наличие взаимосвязи между фекальным МП и риском развития ВЗК, что поднимает вопросы о том, как именно эта связь влияет на прогрессирование болезни. Открытие того, что уровень МП в кале коррелирует с предрасположенностью к ВЗК, предоставляет основу для гипотезы о том, что МП может играть роль не только в развитии, но и в усилении симптомов заболевания. Дальнейший анализ данных, полученных в результате анкетирования участников исследования, а также изучение состава МП, обнаруженного в кале, позволили сделать вывод о том, что пластиковая упаковка питьевой воды и продуктов питания, а также воздействие домашней пыли играют значительную роль в попадании МП в организм человека [27].

МП и ожирение. В рамках Корейского национального обследования состояния окружающей среды с 2015 по 2017 г. включен 2351 ребенок в возрасте от 3 до 17 лет. Из них 366 (15,6%) детей имели ожирение и 267 (11,3%) детей – избыток массы тела. В ходе анализа выявлено, что концентрации метаболитов фталата (моно [2-этил-5-гидрокси-гексил] фталат, моно [2-этил-5-оксогексил] фталат и моно

[2-этил-5-оксогексил] фталат) и моно-н-бутилфталата в моче у корейских детей оказались выше, чем у детей в западных странах. Результаты показали отсутствие значимой корреляции между большинством фталатов и избыточной массой тела за исключением одного конкретного типа – моно (2-этил-5-карбоксипентил) фталата. Дети, у которых в моче обнаруживались повышенные уровни этого соединения, демонстрировали значительно более высокий индекс массы тела по сравнению с их сверстниками [28].

МП в организме младенцев превышает значения у взрослых

По результатам исследования образцов кала младенцев и взрослых, проведенного в Нью-Йорке, выявлено, что содержание МП у детей до 1 года в 13,8 раза выше, чем у взрослых. В ходе данной работы проведена оценка уровней ПЭТФ и поликарбоната в образцах кала, собранных из подгузников 6 младенцев, а также в кале 10 взрослых жителей Нью-Йорка. Дополнительно, в исследовании рассмотрены и 3 пробы мекония. Исследования показали наличие МП в пробах кала детей с концентрацией в среднем 36 тыс. нг/г для ПЭТФ и 78 нг/г – для поликарбоната. Ежедневно у младенцев поступление в организм данных частиц составляло 860 нг/кг массы тела. Тогда как у взрослых эти цифры значительно меньше – всего 2,6 тыс. нг/г для ПЭТФ, а ежедневное поступление МП составляло 200 нг/кг массы тела. В образцах мекония также нашли следы ПЭТФ и поликарбоната, хоть и в меньшем объеме – 110 нг/г. Чаще всего МП поступает при использовании некачественных пластиковых бутылочек, специальных ковриков для детей, а также детских пластиковых игрушек [29].

Заключение

В современном мире одной из критических экологических проблем становится загрязнение окружающей среды МП, опасность которого для человеческого здоровья нельзя недооценивать. Особенно чувствительны к этому воздействию дети, которые более восприимчивы к любым негативным факторам, ведь многие предметы их повседневной жизни, включая игрушки, сделаны из пластика и могут содержать МП, а дети, как мы знаем, практически все «пробуют на вкус». Взрослые также подвергаются риску, особенно те, кто из-за профессии или образа жизни имеет повышенный контакт с пластиковыми изделиями. Проблема МП касается не только прямого воздействия на человеческий организм, но и более широкого влияния на экосистему в целом, что в конечном итоге отражается на здоровье всех нас. Меры по борьбе с этой проблемой должны быть коллективными, так как они затрагивают каждого. Принятие решения об ограничении использования пластиковых предметов в быту является важным шагом, который может сыграть ключевую роль в уменьшении загрязнения окружающей среды и защите здоровья будущих поколений.

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации:

разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Литература/References

1. Senathirajah K, Attwood S, Bhagwat G, et al. Estimation of the mass of microplastics ingested – A pivotal first step towards human health risk assessment. *J Hazard Mater.* 2021;404(Pt. B):124004. DOI:10.1016/j.jhazmat.2020.124004
2. Омельченко Е.В., Киселева А.П. Микропластик в нашей жизни. Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения. Материалы VI межрегиональной научно-практической конференции. Волгоград: Сфера, 2019;317-21 [Omelchenko EV, Kiseleva AP. Mikroplastik v nashei zhizni. Nauchnye osnovy sozdaniia i realizatsii sovremennykh tekhnologii zdoroviesberezeniia. Materialy VI mezhregional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Volgograd: Sfera, 2019;317-21 (in Russian)].
3. Ермачкова П.А., Кравченко А.Н., Залата О.А., Шибанов С.Э. Негативное влияние микропластика: системы-мишени организма человека. Мотивационные аспекты физической активности. Материалы V Всероссийской междисциплинарной конференции. Великий Новгород. 2021;23-8 [Ermachkova PA, Kravchenko AN, Zalata OA, Shibano SE. Negativnoe vlianiie mikroplastika: sistemy-misheni organizma cheloveka. Motivatsionnye aspekty fizicheskoi aktivnosti. Materialy V Vserossiiskoi mezhdistsiplinarnoi konferentsii. Velikii Novgorod. 2021;23-8 (in Russian)].
4. Our Oceans: A Plastic Soup. 2011. Available at: <https://news.climate.columbia.edu/2011/01/26/our-oceans-a-plastic-soup/> Accessed: 15.03.2024.
5. Gruber ES, Stadlbauer V, Pichler V, et al. To Waste or Not to Waste: Questioning Potential Health Risks of Micro- and Nanoplastics with a Focus on Their Ingestion and Potential Carcinogenicity. *Expo Health.* 2023;15(1):33-51. DOI:10.1007/s12403-022-00470-8
6. Difference Between Biomagnification and Bioaccumulation. 2023. Available at: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-biomagnification-and-bioaccumulation/> Accessed: 15.03.2024.
7. Peeken I, Primpke S, Beyer B, et al. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nat Commun.* 2018;9(1):1505. DOI:10.1038/s41467-018-03825-5
8. Napper IE, Bede FR, Clifford H, et al. Reaching new heights in plastic pollution – preliminary findings of microplastics on Mount Everest. *One Earth.* 2020;3(5):621-30. DOI:10.1016/j.oneear.2020.10.020
9. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, et al. Human Consumption of Microplastics. *Environ Sci Technol.* 2019;53(12):7068-74. DOI:10.1021/acs.est.9b01517
10. Plastic the hidden beautyngredient. 2022. Available at: <https://www.beatthemicrobead.org/wp-content/uploads/2022/06/Plastic-TheHiddenBeautyIngredients.pdf>. Accessed: 15.03.2024.
11. Stegmann P, Daioglou V, Londo M, et al. Plastic futures and their CO2 emissions. *Nature.* 2022;612(7939):272-6. DOI:10.1038/s41586-022-05422-5
12. Tisler S, Christensen JH. Non-target screening for the identification of migrating compounds from reusable plastic bottles into drinking water. *J Hazard Mater.* 2022;429:128331. DOI:10.1016/j.jhazmat.2022.128331
13. Leslie HA, van Velzen MJM, Brandsma SH, et al. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int.* 2022;163:107199. DOI:10.1016/j.envint.2022.107199
14. Yang Y, Xie E, Du Z, et al. Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Environ Sci Technol.* 2023;57(30):10911-8. DOI:10.1021/acs.est.2c07179
15. Jenner LC, Rotchell JM, Bennett RT, et al. Detection of microplastics in human lung tissue using µFTIR spectroscopy. *Sci Total Environ.* 2022;831:154907. DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.154907
16. Amato-Lourenço LF, Carvalho-Oliveira R, Júnior GR, et al. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *J Hazard Mater.* 2021;416:126124. DOI:10.1016/j.jhazmat.2021.126124
17. EcoReps Lunch & Learn Workshop: Health Impacts of Particulate Contaminants and Microplastics. Available at: <https://louisville.edu/sustainability/events/ecoreps-lunch-learn-workshop-health-impacts-of-particulate-contaminants-and-microplastics>. Accessed: 15.03.2024.
18. Sripada K, Wierzbicka A, Abass K, et al. A Children's Health Perspective on Nano- and Microplastics. *Environ Health Perspect.* 2022;130(1):15001. DOI:10.1289/EHP9086
19. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ Int.* 2021;146:106274. DOI:10.1016/j.envint.2020.106274
20. Braun T, Ehrlich L, Henrich W, et al. Detection of Microplastic in Human Placenta and Meconium in a Clinical Setting. *Pharmaceutics.* 2021;13(7):921. DOI:10.3390/pharmaceutics13070921
21. Ragusa A, Notarstefano V, Svelato A, et al. Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers (Basel).* 2022;14(13):2700. DOI:10.3390/polym14132700
22. Liu L, Zhang X, Jia P, et al. Release of microplastics from breastmilk storage bags and assessment of intake by infants: A preliminary study. *Environ Pollut.* 2023;323:121197. DOI:10.1016/j.envpol.2023.121197
23. Zhang Q, Liu L, Jiang Y, et al. Microplastics in infant milk powder. *Environ Pollut.* 2023;323:121225. DOI:10.1016/j.envpol.2023.121225
24. Li D, Shi Y, Yang L, et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nat Food.* 2020;1(11):746-54. DOI:10.1038/s43016-020-00171-y
25. Stein TP, Schluter MD, Steer RA, Ming X. Bisphenol-A and phthalate metabolism in children with neurodevelopmental disorders. *PLoS One.* 2023;18(9):e0289841. DOI:10.1371/journal.pone.0289841
26. Jacobson MH, Hamra GB, Monk C, et al. Prenatal Exposure to Nonpersistent Environmental Chemicals and Postpartum Depression. *JAMA Psychiatry.* 2024;81(1):67-76. DOI:10.1001/jamapsychiatry.2023.3542
27. Yan Z, Liu Y, Zhang T, et al. Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environ Sci Technol.* 2022;56(1):414-21. DOI:10.1021/acs.est.1c03924
28. Seo MY, Moon S, Kim SH, Park MJ. Associations of Phthalate Metabolites and Bisphenol A Levels with Obesity in Children: The Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) 2015 to 2017. *Endocrinol Metab (Seoul).* 2022;37(2):249-60. DOI:10.3803/EnM.2021.1235
29. Zhang J, Wang L, Trasande L, et al. Occurrence of Polyethylene Terephthalate and Polycarbonate Microplastics in Infant and Adult Feces. *Environment Sci Technol Lett.* 2021;8(11):989-94. DOI:10.1021/acs.estlett.1c00559

Статья поступила в редакцию /
The article received: 26.04.2024
Статья принята к печати /
The article approved for publication: 03.09.2024



OMNIDOCTOR.RU