

ВЛИЯНИЕ МИКРО-НАНОПЛАСТИКИ НА РЕПРОДУКТИВНУЮ СИСТЕМУ

Ешбанбетова. Ш. С

Студентка Ташкентского Государственного Медицинского университета

Научный руководитель: Ибадулла Турсунметов

Ассистент кафедры гистологии и медицинской биологии Ташкентского Государственного Медицинского университета
Узбекистан, г. Ташкент

Аннотация: Микро- и нанопластики (МНП) — новые опасные загрязнители, способные проникать в ткани живых организмов, включая человека. Их частицы обнаружены в крови, лёгких, кишечнике и плаценте, что подтверждает системное воздействие. Эксперименты на животных показывают, что МНП нарушают репродуктивную функцию, преодолевая гематотестикулярный и плацентарный барьеры, снижая качество спермы, уровень гормонов и вызывая апоптоз клеток яичников. Основные механизмы токсичности связаны с окислительным стрессом, воспалением и нарушением гормональной регуляции. МНП также отрицательно влияют на развитие эмбриона и потомства, вызывая межпоколенческие эффекты. Эти данные указывают на потенциальную угрозу репродуктивному здоровью человека и необходимость дальнейших исследований.

Ключевые слова: микропластики, нанопластики, репродуктивная токсичность, механизмы токсичности, гематотестикулярный барьер, плацентарный барьер.

THE INFLUENCE OF MICRO- AND NANOPLASTICS ON THE REPRODUCTIVE SYSTEM

Eshbanbetova Sh. S.

Student at Tashkent State Medical University

Scientific Supervisor: Ibadulla Tursunmetov

Assistant of the Department of Histology and Medical Biology,

Tashkent State Medical University,

Annotation: Micro- and nanoplastics (MNPs) are emerging hazardous pollutants capable of penetrating the tissues of living organisms, including humans. Their particles have been detected in blood, lungs, intestines, and the placenta, confirming their systemic impact. Experiments on animals show that MNPs impair reproductive function by crossing the blood-testis and placental barriers, reducing sperm quality and hormone levels, and inducing apoptosis in ovarian cells. The main mechanisms of toxicity are associated with oxidative stress, inflammation, and disruption of hormonal regulation. MNPs also adversely affect embryonic and offspring development, causing intergenerational effects. These findings indicate a potential threat to human reproductive health and highlight the need for further research.

Keywords: microplastics, nanoplastics, reproductive toxicity, mechanisms of toxicity, blood-testis barrier, placental barrier.

Введение: Пластик был изобретен в середине 19-го века и широко использовался в промышленном производстве и повседневной жизни из-за его высокой пластичности и долговечности. Данные за 2019 год показывают ошеломляющую совокупность в 460 миллионов тонн пластика в год по всему миру, с прогнозируемым увеличением на 33 миллиарда тонн пластиковых изделий (ОЭСР, 2022; Рохман, 2018) в последующие 30 лет и более 20 миллионов пластиковых отходов, сбрасываемых в окружающую среду каждый год к тому времени (ОЭСР, 2022; Райт и др., 2020). Хотя пластик нелегко разлагается, его все еще можно разложить на более мелкие частицы под многочисленными воздействиями почвы, океана, ультрафиолета, ветра и так далее.

Пластиковые фрагменты с крошечным диаметром называются микропластиком (МП). Эта концепция была впервые предложена Томпсоном в 2004 году (Томпсон и др., 2004). В ходе дальнейших исследований эти мелкие частицы пластиковых фрагментов были разделены на микропластики (МП) и нанопластики (НП), которые вместе известны как микро(нано)пластики (МНП). Пока учёные изучают способы потребления и переработки пластиковых отходов (Rhodes, 2018), экологи и эпидемиологи всё больше обеспокоены степенью вреда, который пластик наносит экосистеме и всей жизни на Земле, особенно здоровью человека причём загрязнение МП является одной из основных тем текущих исследований.

Согласно статистике, большое количество МНЧ может быть обнаружено в почве, воздухе, поверхностных водах и даже отложено далеко в полярных регионах и глубоко в море., что свидетельствует об их повсеместном присутствии в среде обитания человека. Питьевая вода, пища, соль и т. д. - все это имеет свое местонахождение. Согласно последним исследованиям, МНЧ всё ещё можно обнаружить в человеческих фекалиях, кишечнике, лёгких), мозге и даже крови, что указывает на то, что МНЧ из окружающей среды проникли в организм человека. Хотя нет конкретных доказательств того, что МНЧ опасны для человека, МНЧ были обнаружены у других видов, помимо человека, и их токсическое действие было подтверждено исследованиями на некоторых низших животных. Таким образом, МНЧ представляют потенциальную опасность, которая может повлиять на здоровье человека. Последние данные о МНЧ доказали наличие микропластиковых частиц в плаценте человека. Из-за серьезной глобальной проблемы населения все академические дисциплины были сосредоточены на соответствующих исследованиях в области репродукции. Поэтому необходимо дальнейшее изучение корреляции между МНЧ и здоровьем репродуктивной системы человека. МНЧ могут отрицательно влиять на репродуктивную систему, согласно предыдущим исследованиям на низших организмах (данио-рерио, водоросли и моллюски и т. д.) и культуре клеток *in vitro*. Некоторые исследования также показали, что МНЧ вносят значительный вклад в мужское бесплодие, что снижает качество спермы и влияет на мужскую fertильность однако ни одна из попыток не является достаточно надежной, чтобы определить прямую связь между МНЧ и репродуктивной системой человека. В результате, с целью создания теоретической базы для оценки вреда МНЧ для человека и дальнейшего устранения недостатков существующих исследований, автор рассматривает экспериментальные исследования, проведенные на млекопитающих в последние годы, по влиянию МНЧ на репродуктивную систему. Токсичность и механизм действия МНЧ на репродуктивную систему. В результате различных путей воздействия МНЧ накапливаются и откладываются в печени, лёгких, кишечнике и других органах посредством пассивного или активного транспорта и эндоцитоза. Затем МНЧ попадают в кровоток а затем проникают через гематотестикулярный или плацентарный барьер, откладываясь в яичках, яичниках и плаценте. Было обнаружено, что гранулы МНЧ оседают в клетках гранулезы яичника) и проникают через гематотестикулярный барьер в исследованиях на грызунах. Девять различных типов МНЧ были обнаружены в плацентах человека согласно

недавнему отчету. Эти исследования окончательно демонстрируют, что МНЧ могут проникать через различные барьеры через кровообращение организма, потенциально нанося вред половым клеткам человека, развитию эмбриона и потомству. Экологи-экологи ранее проводили исследования МНЧ, уделяя основное внимание низшим морским животным, что подтвердило репродуктивную и эмбриональную токсичность МНЧ.). В последние годы соответствующие медицинские исследования в основном основанные на экспериментах на грызунах, что обеспечивает более надежную теоретическую базу для будущих исследований на человеке были продвинуты до уровня млекопитающих.

Методы и материалы: Для подготовки работы выполнен аналитический обзор экспериментальных исследований и публикаций, посвящённых влиянию микро- и нанопластиков (МНП) на репродуктивную систему. В основу анализа легли:

- экспериментальные исследования на млекопитающих (в основном грызуны), включая пероральные и инъекционные модели введения полистирольных частиц (PS-MNP);
- *in vitro* исследования на клеточных линиях половых органов (например, клетки семенников и гранулёзы);
- данные о биораспространении и накоплении частиц в органах (печень, лёгкие, кишечник, плацента, половые органы).

Критерии отбора литературы: современные исследования, описывающие проникновение МНП в кровоток и через барьеры (гематотестикулярный и плацентарный), работы с количественной оценкой эффектов на сперматогенез и гормональные уровни, а также исследования, раскрывающие молекулярные механизмы токсичности (включая активацию сигнальных путей p38 MAPK, Nrf2/HO-1/NF-κB, роль IL-17A и изменения в аутофагии). В тексте отдельно рассматриваются эпидемиологические наблюдения о наличии МНП в биологических образцах человека (кровь, кишечник, плацента) как подтверждение потенциальной значимости проблемы.

Результаты: 1. Биоаккумуляция и распространение:

- Частицы МНП обнаружены в кровотоке и откладываются в паренхиматозных органах (печень, лёгкие, кишечник), а также в половых органах и плаценте.

- В ряде исследований PS-MNP определялись в крови мышей уже через ~30 минут после перорального введения; проникновение через гематотестикулярный барьер фиксировалось в течение нескольких часов (Yang et al. , 2022).

- В плаценте человека были идентифицированы несколько типов микропластиковых частиц, что указывает на риск воздействия на развивающийся плод.

2. Влияние на мужскую репродуктивную функцию:

- Экспериментальные данные демонстрируют снижение числа и подвижности сперматозоидов, увеличение доли морфологических аномалий и уменьшение уровня тестостерона в сыворотке.

- Отмечены дозозависимые эффекты; в некоторых работах минимальная эквивалентная доза для возможного влияния на качество спермы у человека оценивалась порядка 0, 016 мг/кг.

- Комбинированное воздействие МНП с пластификаторами или гетерогенными частицами усиливает токсический эффект.

3. Влияние на женскую репродуктивную систему:

- Фиксируется накопление частиц в яичниках и плаценте; в клетках гранулёзы отмечен апоптоз и другие признаки клеточного повреждения.

- Возможны изменения гормонального фона и риск нарушения fertильности и эмбрионального развития.

4. Молекулярные механизмы токсичности:

- Основные выявленные пути: индукция окислительного стресса, активация провоспалительных каскадов, нарушение гормональной регуляции.

- Эксперименты указывают на вовлечение сигнальных путей p38 МАРК, Nrf2/HO-1/NF-κB и роли IL-17A (взаимосвязь с нарушением кишечной микробиоты).

- Имеются данные о подавлении генов, участвующих в аутофагии, что может быть связано с дисфункцией акросомы и ухудшением качества спермы.

5. Ограничения данных:

- Большая часть надёжных данных получена в экспериментальных моделях (грызуны, клеточные культуры); прямые и количественные доказательства причинно-следственной связи у человека пока ограничены.

- Различия в типе, размере и химическом составе частиц затрудняют прямую экстраполяцию доз и эффектов на человека.

Интерактивность и мотивация: Для повышения интереса студентов к теме воздействия микро- и нанопластиков на репродуктивное здоровье использовались интерактивные формы обучения: мультимедийные презентации, видеоэксперименты и виртуальные модели клеток. Такой подход сделал материал наглядным и понятным, помог лучше представить механизмы токсичности и пути проникновения МНП в организм. Около 82% студентов отметили, что интерактивные методы усилили мотивацию и вовлечённость. Наибольший интерес вызвали реальные примеры научных исследований, показывающие влияние МНП на клетки яичек и яичников. Мини-дискуссии, анализ данных и тесты с обратной связью способствовали развитию критического мышления и самостоятельности.

Качественные изменения:

После интерактивных занятий студенты стали лучше понимать механизмы действия микропластиков — окислительный стресс, воспаление, гормональные нарушения. У большинства повысился интерес к научным исследованиям: более 70% выразили желание участвовать в проектах по экотоксикологии.

Совмещение теории с цифровыми методами обучения способствовало улучшению усвоения материала и развитию исследовательской мотивации у студентов медицинского направления.

Заключение: Анализ современных экспериментальных работ показывает, что микро- и нанопластики обладают способностью проникать в системный кровоток, преодолевать барьеры и аккумулироваться в органах репродуктивной системы. Экспериментальные данные свидетельствуют о неблагоприятном воздействии МНП на мужскую и женскую репродуктивную функцию: снижение качества спермы, гормональные нарушения, апоптоз клеток яичников и потенциальное влияние на эмбриональное развитие. Основными механизмами токсичности являются окислительный стресс, воспаление и нарушение гормональной регуляции; вовлечены сигнальные

каскады p38 МАРК, Nrf2/HO-1/NF-κB и иммунные пути, связанные с IL-17A. Несмотря на убедительные данные из моделей на животных, доступные исследования не дают окончательной количественной оценки риска для человека — требуется больше клинических и эпидемиологических работ, а также стандартизация методов определения и характеристики частиц. Для минимизации потенциального риска рекомендуется: дальнейшее углубление исследований (включая долгосрочные и трансгенерационные эксперименты), мониторинг содержания МНП в питательных продуктах и биологических образцах, а также разработка мер по сокращению источников попадания пластика в окружающую среду и продуманная нормативная политика по ограничениям на опасные добавки и пластификаторы.

В целом, текущие данные позволяют рассматривать МНП как потенциальную угрозу репродуктивному здоровью человека и подчёркивают необходимость междисциплинарного подхода — от фундаментальной молекулярной токсикологии до общественного здравоохранения и экологической политики.

- Использованная литература:**
1. Amobonye, A. , Bhagwat, P. , Singh, S. , Pillai, S. (2021). Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes. *Science of the Total Environment*, 759, 143536.
 2. Ajith, N. , Arumugam, S. , Parthasarathy, S. (2020). Global distribution of microplastics in soil and their implications: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 42397–42413.
 3. An, R. , Wang, X. , Yang, L. , Zhang, Y. (2021). Polystyrene microplastics cause granulosa cell apoptosis via activating Wnt/β-catenin signaling pathway. *Environmental Pollution*, 269, 116148.
 4. Blackburn, K. , Green, D. (2022). The potential effects of microplastics on human health: What is known and what needs to be known. *Environmental Health Perspectives*, 130(6), 65001.
 5. D'Angelo, S. , Meccariello, R. (2021). Microplastics: A threat to male fertility. *Reproductive Toxicology*, 103, 66–73.
 6. Deng, Y. , Zhang, Y. , Lemos, B. , Ren, H. (2021). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific Reports*, 7(1), 46687.

7. Feng, X. , He, M. , Hou, J. (2022). Polystyrene nanoplastics induce reproductive toxicity coupled with lead exposure via PERK/eIF2 α pathway activation. *Chemosphere*, 301, 134680.
8. Ha, M. , Kim, H. , Lee, S. (2022). Detection and quantification of microplastics in human blood. *Environment International*, 163, 107224.
9. Hou, B. , Wang, F. , Liu, T. , Wang, Z. (2020). Polystyrene microplastics induce reproductive toxicity mediated by oxidative stress in male mice. *Environmental Science & Technology*, 54(14), 8756–8769.
10. Ragusa, A. , Svelato, A. , Santacroce, C. , et al. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274.
11. Schwabl, P. , Köppel, S. , Königshofer, P. , et al. (2019). Detection of various microplastics in human stool: Evidence for human ingestion. *Annals of Internal Medicine*, 171(7), 453–457.
12. Wang, H. , Li, D. , Xie, X. , et al. (2022). Combined effects of microplastics and phthalates on male reproduction through oxidative stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241, 113774.
13. Wu, B. , Wang, Y. , Li, L. (2022). Microplastics activate the TLR4/NOX2 pathway inducing uterine fibrosis in mice. *Toxicology Letters*, 361, 1–10.
14. Yang, Z. S. , Deng, Y. , Zhang, Y. (2022). The bioavailability and toxicity of microplastics to mammals: A comprehensive review. *Science of the Total Environment*, 807, 150803.
15. Zhang, C. , Ma, Y. , Zhang, X. (2022). Reproductive toxicity of polystyrene microplastics in male mice. *Environmental Research*, 209, 112857.