

## НАНОТОКСИЧНОСТЬ (Nanotoxicity)

*«Все в мире есть яд, и лишь только доза делает вещество безопасным».*

*Парацельс*



Способность безвредных веществ при сильном измельчении становиться опасными для здоровья человечеством было открыто давно, задолго до появления нанотехнологий. Еще в древние времена люди, занятые выплавкой цинка, страдали от цинковой лихорадки, вызванной вдыханием аэрозолей окиси цинка. Также всем известно канцерогенное действие асбестовой пыли, вызывающей рак легких и брюшины. Но все-таки самый масштабный ущерб здоровью наносит вдыхание наночастиц углерода, образующихся

при неполном сгорании органического топлива в двигателях автомобилей, на электростанциях, а в особенно больших количествах попадающих в легкие человека в процессе курения. Дело в том, что защитные механизмы легких совершенно не способны переработать или удалить углеродную нанопыль, и она остается там навсегда, вызывая рефлекторное сужение бронхиол и альвеол и снижая тем самым количество кислорода в крови.

Поэтому в эпоху нанотехнологической революции ученые, создавая и используя новые **наноматериалы**, должны чувствовать ответственность перед обществом, учиться прогнозировать влияние наночастиц на здоровье людей и экологию всей планеты. Для того чтобы предотвратить нанесение ущерба, необходимо знать токсикологию **наночастиц**.

Характерная особенность веществ в наносостоянии – это способность «проходить» через защитные системы организма. Например, частицы мельче нескольких сотен нанометров легко проникают во внутрилегочное пространство, а нанометровые частицы свободно поступают из легких в кровотоки. Именно так попадает в организм человека вирус гриппа, являющийся сложной природной наночастицей.

Если проникновение наночастиц в легкие происходит, как правило, против нашего желания, то на кожу мы их наносим добровольно и с огромным удовольствием – наночастицы являются ключевой составляющей большинства всевозможных кремов, рекомендованных дерматологами и косметологами. Действительно, кремы для «омоложения» кожи содержат наноразмерные липосомы, а актуальные в период летних отпусков кремы «от загара» – высокоэффективные наночастицы оксидов титана  $\text{TiO}_2$  и цинка

ZnO, поглощающие УФ-часть солнечного спектра. Однако практически никто не задумывается о том, что наночастицы TiO<sub>2</sub> проникает внутрь кожи и обнаруживаются в эпидерме уже через 8 часов после нанесения крема. Не удивительно, что с момента начала массового применения таких кремов заболеваемость раком кожи, к примеру, в США увеличилась на 90%! В отличие от дыхательной системы и кожи поведение наночастиц в желудочно-кишечном тракте мало исследовано – известно лишь, что они быстро выводятся из организма.

Опираясь на накопленные к настоящему моменту знания о свойствах различных наночастиц, можно выделить три основные причины их вредного воздействия на здоровье человека.

Во-первых, токсичным может быть основное вещество наночастицы. Например, в водорастворимых наночастицах селенида кадмия, CdSe, именно Cd<sup>2+</sup>, ядовитость которого велика как в нано-, так и в макросостоянии, обладает токсическим действием. При этом цитотоксичность CdSe коррелирует с количеством кадмия, выделившегося из них при окислении, и может быть многократно снижена при покрытии оболочкой из ZnS или SiO<sub>2</sub>. В качестве другого примера можно привести ультрадисперсные частицы оксида бериллия, а также металлического бериллия и его соединений, вдыхание которых вызывает медленно развивающееся заболевание легких со смертельным исходом – бериллоз. В то время как компактный BeO исключительно инертный и безвредный для здоровья материал, высокореакционные наночастицы этого оксида, попадая в клетки легких, дают растворимый фосфатный комплекс Be<sup>2+</sup>, который ингибирует фосфатазу и вызывает гибель клеток.

Во-вторых, даже если попавшие в организм наночастицы сами по себе безвредны, некоторые из них могут выступать в роли катализаторов образования токсичных веществ. Так ведут себя рассмотренные выше наночастицы TiO<sub>2</sub> и ZnO, катализируя фотоокисление, вирусы, наночастицы оксидов железа и некоторых других металлов, вызывающие металлическую (в частности, цинковую) лихорадку.

И, наконец, специфическое воздействие вещества на организм может быть обусловлено непосредственно тем, что оно находится в наносостоянии. Например, химически инертный и безопасный

полимер фторопласт, широко используемый для изготовления посуды, будучи распыленным в воздухе в виде наночастиц диаметром 26 нм в ничтожной концентрации (60 мкг/м<sup>3</sup>), способен убить крысу за 30 минут, вызывая кровоизлияния в легких. В это сложно поверить, но фторопластовая нанопыль на порядок токсичнее, чем боевое отравляющее вещество VX! А вдыхание аэрозолей наночастиц диоксида кремния SiO<sub>2</sub> вызывает силикоз – хроническое разрушение легких, в то время как в макрокристаллическом состоянии он абсолютно безопасен – это самый обычный песок, которым покрыты пляжи и наполнены детские песочницы. По-видимому, специфика наночастиц состоит в большой роли поверхности, химия которой (оборванные связи, адсорбированные молекулы) радикально отличается от химии объемного материала – для одного и того же вещества мелкие наночастицы токсичнее крупных. Кроме того, проникнув в клетку, наночастицы способны прилипать к различным органеллам и деформировать ДНК, вызывая структурные разрушения и мутации.

Определенное значение в нанотоксичности имеет форма наночастиц. Анизотропные наночастицы (например, волокна асбеста) ассоциируются с увеличением риска фиброза и рака легких. Аэрозоль **углеродных нанотрубок** приводит к прорастанию волокон и утолщению соединительной ткани в легких мышей. А попадая в эпидермис, нанотрубки вызывают выделение клетками кожи цитокина, являющегося модулятором воспалительных процессов.

В заключение хотелось бы обратить внимание на приведенные в эпиграфе слова Парацельса. Даже такое полезнейшее вещество, как кислород, в больших дозах ядовито – через трое суток нахождения в атмосфере чистого кислорода человек погибает от отека легких. Для большинства же наночастиц токсичные дозы неизвестны, остается лишь надеяться, что в будущем они будут определены, а пока просто следует соблюдать элементарную осторожность при работе с такими объектами.

#### *Литература:*

1. Зарубежная наука и техника Вып. 38. Нанотехнологии и здоровье человека.
2. Oberdörster G., Oberdörster E., Oberdörster J. Environmental Health Perspectives. 2005. Vol. 113. P. 823.
3. Hoet P., Bruske-Holfeld I., Salata O. Journal of Nanobiotechnology. 2004. Vol. 2. P. 12.