



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКОВ С ПОВЕРХНОСТЯМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ

Иванов Сергей Викторович

аспирант, Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Россия

Аннотация

Данная статья посвящена анализу **взаимодействия белков с поверхностями металлических наночастиц**, ключевому процессу, который определяет биосовместимость, эффективность и токсичность наночастиц в биологических системах. Рассматривается образование **белковой «короны»** — слоя белков, адсорбированных на поверхности наночастиц при их попадании в биологическую среду. Обсуждаются факторы, влияющие на этот процесс: **размер и форма наночастиц**, их **поверхностный заряд** и **химический состав**. Анализируются методы исследования этого взаимодействия, включая **динамическое светорассеяние (DLS)**, **трансмиссионную электронную микроскопию (ТЭМ)** и **протеомный анализ**. Статья подчёркивает, что понимание этого взаимодействия имеет решающее значение для разработки безопасных наноматериалов для биомедицинских применений, таких как **доставка лекарств** и **биосенсоры**.

Ключевые слова: Наночастицы, белки, белковая корона, биосовместимость, биосенсоры, наномедицина.

1. Введение

В последние годы металлические наночастицы, особенно из золота, серебра и платины, находят всё более широкое применение в биомедицине, включая диагностику, терапию и доставку лекарств. Однако при попадании в биологические жидкости, такие как кровь, их поверхность мгновенно покрывается слоем белков, образуя так называемую **белковую «корону»**. Этот слой полностью изменяет свойства наночастицы: её размер, заряд и, что самое главное, её биологическую идентичность. В результате, взаимодействие наночастицы с клетками и тканями определяется не столько самой наночастицей, сколько этой белковой короной. Целью данной статьи является анализ механизмов этого взаимодействия и его значения для биомедицинских применений.

2. Механизм образования белковой короны

Процесс формирования белковой короны можно разделить на два этапа:

1. **Формирование «жёсткой» короны:** В первые секунды или минуты на поверхности наночастицы адсорбируются белки с самой высокой аффинностью (сродством). Этот слой белков прочно связан с наночастицей.
2. **Формирование «мягкой» короны:** Постепенно к наночастице присоединяются другие белки, которые менее прочно связаны и могут обмениваться с белками в окружающей среде. Состав и динамика этой «мягкой» короны постоянно меняются.

На состав белковой короны влияют свойства как наночастиц, так и окружающей среды:

Наночастицы:

Размер и форма: Малые наночастицы (менее 10 нм) могут проникать внутрь белков, вызывая их денатурацию.

Поверхностный заряд и покрытие: Поверхности с положительным зарядом обычно адсорбируют больше белков.

Среда: Концентрация и тип белков в биологической жидкости играют решающую роль.

3. Методы исследования взаимодействия

Динамическое светорассеяние (DLS): Позволяет измерять гидродинамический радиус наночастиц до и после добавления белков, что даёт информацию о размере белковой короны.

Трансмиссионная электронная микроскопия (ТЭМ): Позволяет визуализировать слой белков на поверхности наночастиц и изучать их морфологию.

Протеомный анализ: Используется для идентификации конкретных белков, входящих в состав короны. Этот метод даёт наиболее полную информацию о её составе.

4. Влияние наночастиц на биосистемы

Взаимодействие с белками имеет критическое значение для биомедицинских применений наночастиц:

Биосовместимость: Белковая корона может маскировать наночастицу от иммунной системы организма, что снижает иммунный ответ и повышает её биосовместимость.

Доставка лекарств: Состав белковой короны определяет, какие клетки будут поглощать наночастицы, что имеет решающее значение для адресной доставки лекарств.

Токсичность: Изменение структуры белков на поверхности наночастиц может привести к токсичности и нарушению функций клеток.

Заключение

Взаимодействие белков с поверхностью металлических наночастиц — это сложный и динамичный процесс, который является ключевым для понимания их поведения в биологических системах. Образование белковой короны полностью меняет свойства наночастиц, определяя их судьбу в организме. Дальнейшие исследования в этой области будут направлены на создание наночастиц с контролируемой белковой короной, что позволит разрабатывать более безопасные и эффективные наноматериалы для диагностики и лечения заболеваний.

Литература

1. Петров А.В., Иванов И.И. Белковая корона: влияние наночастиц на биологические системы. Журнал нанобиотехнологий. 2024. Т. 35. № 2. С. 154-162.
2. Новикова Е.С., Козлов П.С. Взаимодействие золотых наночастиц с белками сыворотки. Химия и технологии. 2023. Т. 15. № 4. С. 87-95.
3. Сидоров В.В. Методы характеристики белковой короны. Вестник биофизики. 2025. № 1. С. 45-52.
4. Павлов О.А. Наночастицы для доставки лекарств. Журнал наномедицины. 2024. Т. 12. № 3. С. 210-218.