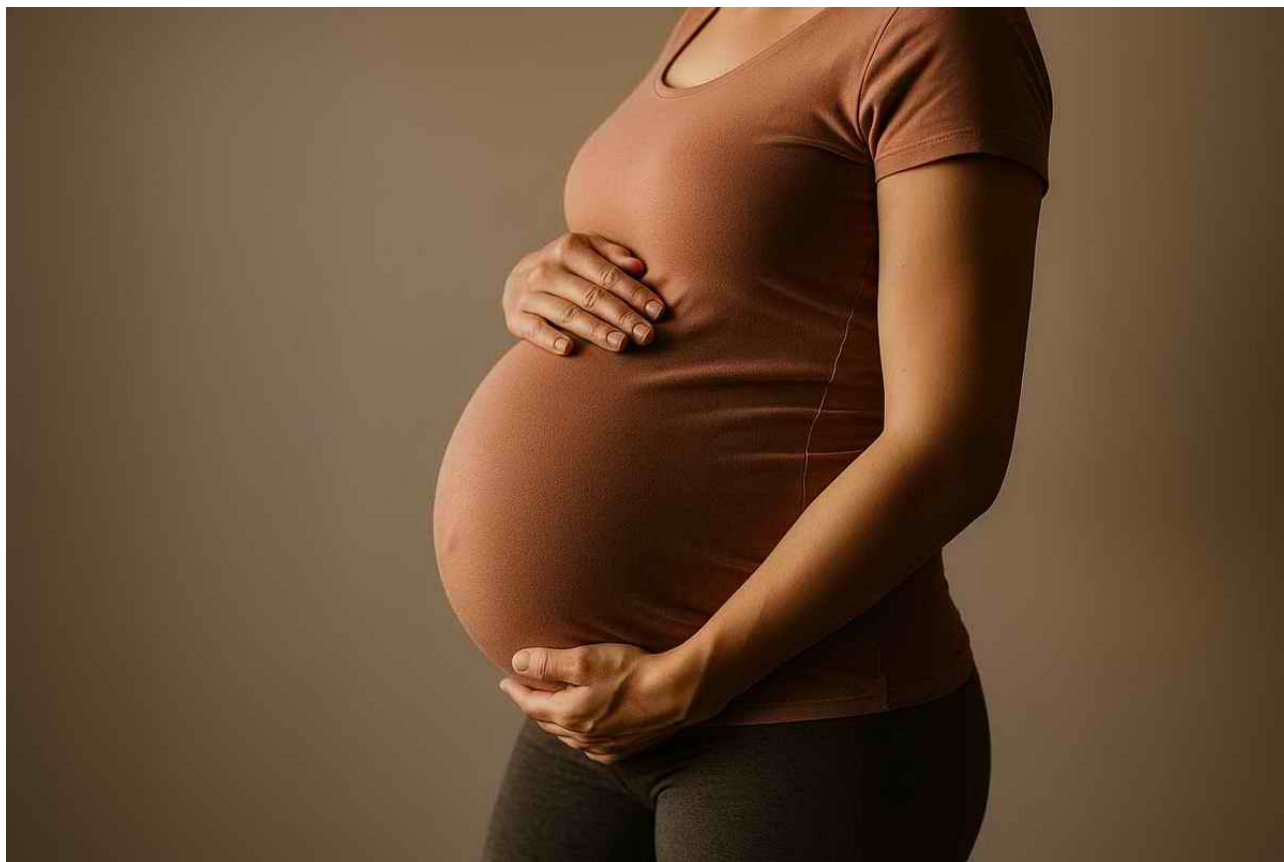


Беременность как эволюционное достижение: как мать и плод научились жить вместе



Дата публикации: 04.07.2025

Беременность — это не просто физиологическое состояние, а одно из наиболее изящных и сложных решений, которые выработала природа за миллионы лет эволюции. Она требует тонкой координации между двумя биологическими организмами — матерью и плодом, которые имеют разный генетический набор, но вынуждены взаимодействовать как единое целое.

Международная команда биологов из Венского университета и других научных центров предложила новую модель того, как это взаимодействие возникло и как оно видоизменялось у разных групп млекопитающих. Используя данные одноклеточной транскриптомики, ученые создали первый в своем роде эволюционный «атлас беременности» — карту активности генов в клетках на границе между маткой и плацентой у шести видов, включая человека.

Речь идет о самой сути воспроизводства у плацентарных млекопитающих: о плотно сцепленных слоях клеток, через которые проходят питательные вещества, гормоны и сигналы, но при этом не разворачивается иммунный

конфликт. Плод — это полугенный «чужак» для организма матери, и тем не менее он не отторгается, а поддерживается на протяжении всей беременности. Устройство этой системы требует эволюционного компромисса между инвазией (внедрением) и терпимостью.

В исследовании приняли участие шесть видов, охватывающих разные ветви эволюционного древа: от опоссума, сумчатого с примитивной формой плацентации, до человека, примата с самой сложной структурой плаценты. Такой сравнительный анализ позволил отследить не только анатомические и физиологические различия, но и глубинные генетические сигнатуры — устойчивые модели экспрессии генов, передающиеся от предков.

Особое внимание ученые уделили клеткам плаценты, которые происходят от плода и вторгаются в маточную стенку, а также материнским стромальным клеткам, реагирующим на это внедрение. Удалось выявить уникальные маркеры инвазивности плацентарных клеток, которые оказались удивительно древними: аналогичные сигнатуры обнаружены у видов, разделившихся более 100 миллионов лет назад. Это говорит о том, что ключевые свойства инвазивной плаценты не являются исключительно человеческими, а представляют собой общую черту всей ветви плацентарных млекопитающих.

Параллельно с этим материнские клетки эволюционировали, приобретая новые функции, в частности, гормональную активность, необходимую для поддержки беременности. Эти изменения происходили в унисон с усилением роли гормональных и иммунных сигналов между организмами. Фактически, мать и плод не просто взаимодействуют, а формируют динамичную молекулярную сеть, где каждый из «партнеров» способен адаптироваться к изменениям другого.

Авторы работы протестировали две теории, объясняющие поведение этого интерфейса. Согласно первой, сигналы с течением времени эволюционно закрепляются за одним источником (плодом или матерью), снижая риск неправильной интерпретации и биологического конфликта. Вторая теория, гипотеза геномного конфликта, предполагает скрытую борьбу между материнскими и фетальными генами за контроль над обменом ресурсами.

Результаты показали, что обе модели в какой-то степени справедливы, но основное развитие пошло по пути кооперации. Большинство сигналов — от белков WNT до стероидных гормонов — демонстрируют высокую степень согласованности и четкую принадлежность к одной стороне. Конфликты, хотя и возможны, локализуются в небольшом числе генов, например IGF2, ответственного за рост. Это опровергает упрощённые представления о беременности как об однозначной «гонке вооружений» между организмами.

Технологический прорыв, позволивший прийти к этим выводам, связан с применением транскриптомики одиночных клеток — метода, позволяющего изучить активность каждого гена в каждой отдельной клетке. Совмещение этих данных с моделями эволюционной реконструкции дало уникальное представление о том, как эволюция настраивала молекулярный диалог между матерью и плодом.

Эти открытия имеют значение не только для эволюционной биологии. Понимание того, какие клеточные взаимодействия обеспечивают успешную беременность, а какие — могут быть нарушены, открывает перспективы для медицины, особенно в области репродуктивного здоровья и профилактики осложнений, таких как преэклампсия или невынашивание.

Исследование также даёт новую рамку для понимания того, как крупные эволюционные изменения могут происходить не в одном гене или органе, а на уровне согласованного функционирования целых клеточных систем. Это шаг к более глубокому пониманию того, как взаимодействие между двумя биологическими индивидуумами может эволюционировать в устойчивую и жизненно важную форму сотрудничества — беременность.

Ссылка: «Тип клеток и инновации в клеточной сигнализации, лежащие в основе беременности млекопитающих» DOI: [10.1038/s41559-025-02748-x](https://doi.org/10.1038/s41559-025-02748-x).