

Взаимодействия аллельных генов: как один ген влияет на признак

Как один ген может давать разные фенотипы?



Почему наследование сложнее схемы Менделя



Законы Менделя важны, но реальная наследственность зависит не только от пары «доминантный — рецессивный». На проявление признака влияют активность белка, его количество, а также число возможных аллелей и их сочетаний в популяции.

Аллельные гены и их сочетания в генотипе

- **Один локус**

Аллельные гены располагаются в одинаковых участках гомологичных хромосом и определяют один и тот же признак, хотя могут по-разному влиять на его проявление.

- **Две аллели**

У диплоидного организма обычно есть две аллели одного гена, полученные от родителей. Возможны сочетания АА, Аа и аа, каждое из которых может давать свой фенотип.

- **Гомозигота**

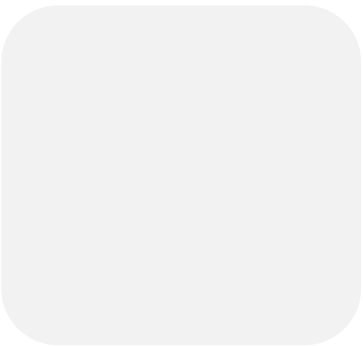
Гомозигота содержит одинаковые аллели одного гена. В таком случае признак проявляется более предсказуемо, потому что обе копии гена несут одинаковую информацию.

- **Гетерозигота**

Гетерозигота имеет разные аллели, и именно здесь возможны разные варианты фенотипа: полное совпадение с доминантным признаком, промежуточное состояние или одновременное проявление обеих аллелей.

- **Фенотипический итог**

Один и тот же генотипический набор может по-разному отражаться во внешнем признаке, если меняется соотношение активности аллелей и их вклад в работу клетки.



Основные типы взаимодействия аллелей

Диаграмма показывает, что гетерозигота может вести себя по-разному: быть похожей на доминантную форму, иметь промежуточный фенотип или проявлять обе аллели одновременно.

Тип взаимодействия определяется не самим фактом гетерозиготности, а тем, как аллели влияют на синтез и работу белка.

Схематическое обобщение по материалам школьной
генетики



Полное доминирование: классическая модель наследования

01

Суть явления

При полном доминировании доминантная аллель полностью определяет фенотип гетерозиготы, а рецессивная не проявляется внешне, хотя сохраняется в генотипе.

02

Почему это важно

Именно этот тип наследования чаще всего используется в учебных задачах, потому что он позволяет наглядно проследить связь между генотипом

03

Пример у растений

У гороха жёлтая окраска семян доминирует над зелёной, поэтому гибриды с одной доминантной аллелью выглядят так же, как доминантные гомозиготы.

04

Значение для человека

У человека многие наследственные заболевания проявляются только при наличии двух рецессивных аллелей, поэтому гетерозиготы могут быть внешне здоровыми носителями признака.



Фенотипические соотношения при полном доминировании

Сравнение двух типичных скрещиваний показывает, как меняются генотипические и фенотипические соотношения при полном доминировании.

При полном доминировании фенотип гетерозиготы совпадает с доминантной гомозиготой, поэтому фенотипические отношения проще генотипических.

Скрещивание	Генотипы	Фенотипы
$Aa \times Aa$	1 AA: 2 Aa: 1 aa	3: 1
$Aa \times aa$	1 Aa: 1 aa	1: 1

Неполное доминирование: промежуточный фенотип

Промежуточный результат

При неполном доминировании гетерозигота не повторяет ни одну из родительских форм полностью, а демонстрирует признак, находящийся между ними по выраженности.

Классический пример

У львиного зева при скрещивании красных и белых цветков у гибридов появляются розовые цветки, что хорошо иллюстрирует промежуточный фенотип.

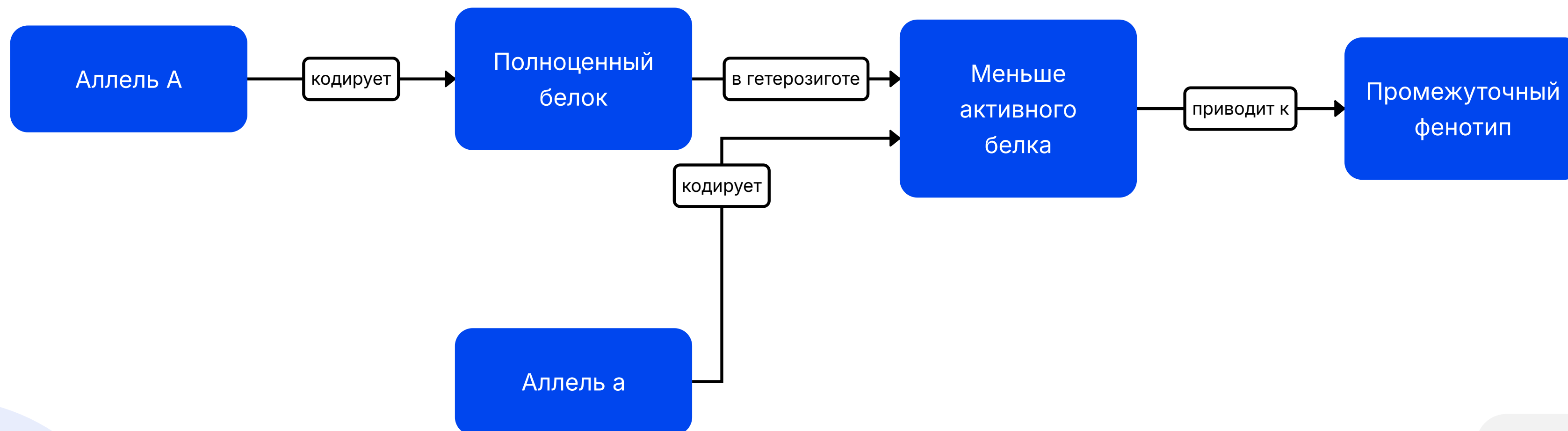
Почему так происходит

Одна функциональная аллель даёт недостаточно продукта для полного проявления признака, поэтому клетка формирует ослабленный или частичный вариант признака.



Как возникает неполное доминирование

Схема показывает, как количество функционального белка влияет на итоговый фенотип.



Кодоминирование: одновременное проявление обеих аллелей



Обе аллели видны

В гетерозиготе каждая аллель проявляется самостоятельно, поэтому фенотип не становится промежуточным и не сводится к одной доминантной форме.



Пример АВ0

В системе групп крови АВ0 аллели I^A и I^B кодоминируют: генотип $I^A I^B$ определяет группу крови АВ, где одновременно присутствуют оба антигена.



Отличие от неполного доминирования

При неполном доминировании возникает смешанный по выраженности признак, а при кодоминировании в фенотипе заметны обе аллели без подавления одной другой.

Система групп крови АВ0 как пример множественных аллелей

Аллели	Генотип	Группа
I ^A	I ^A I ^A , I ^A i	A
I ^B	I ^B I ^B , I ^B i	B
I ^A + I ^B	I ^A I ^B	AB
i	ii	O

Один ген может существовать в популяции в нескольких аллельных вариантах, хотя у конкретного человека одновременно присутствуют только две аллели.

Множественный аллелизм увеличивает число возможных сочетаний и фенотипов, но у каждого организма сохраняется только два аллеля данного гена.

Множественный аллелизм: больше двух вариантов одного гена

01

Что означает термин

Множественный аллелизм — это существование в популяции нескольких аллельных форм одного и того же гена. У каждого организма при этом сохраняются только две аллели, но в популяции их может быть значительно больше.

02

Почему это важно

Чем больше вариантов гена, тем шире набор возможных генотипов и фенотипов. Это повышает наследственную изменчивость и делает проявление признака более разнообразным, чем при наличии только двух аллелей.

03

Уровень популяции

Явление нельзя увидеть по одному организму: оно проявляется только при сравнении многих особей вида. Разные аллели могут по-разному влиять на один признак, формируя несколько устойчивых вариантов его наследования.

04

Школьный вывод

Главная идея темы проста: один локус не обязан иметь только две формы. В реальной популяции возможны три, четыре и больше аллелей, хотя в клетках отдельного человека всегда присутствуют лишь две.



Рост числа генотипов при увеличении числа аллелей

Для диплоидного организма число генотипов растёт не линейно, а ускоренно: каждая новая аллель добавляет новые сочетания с уже существующими вариантами.

Чем больше аллелей у гена, тем выше генетическое разнообразие популяции и тем сложнее наследование признака.

Расчёт по формуле $n(n+1)/2$ для диплоидных организмов; учебная генетика.

Плейотропия: один ген влияет на несколько признаков

- **Один белок — много эффектов**

Плейотропия возникает, когда продукт одного гена участвует сразу в нескольких процессах. Поэтому изменение одного белка может отражаться на разных органах и системах организма одновременно.

- **Связь с развитием**

Особенно заметно это в эмбриональном и постнатальном развитии, когда один и тот же белок нужен в разных тканях. Тогда мутация вызывает не один, а целый комплекс связанных признаков.

- **Разный уровень проявления**

Один и тот же ген может влиять и на строение, и на работу органов, и на обмен веществ. Поэтому внешние признаки часто сочетаются с внутренними физиологическими изменениями.

- **Почему это важно**

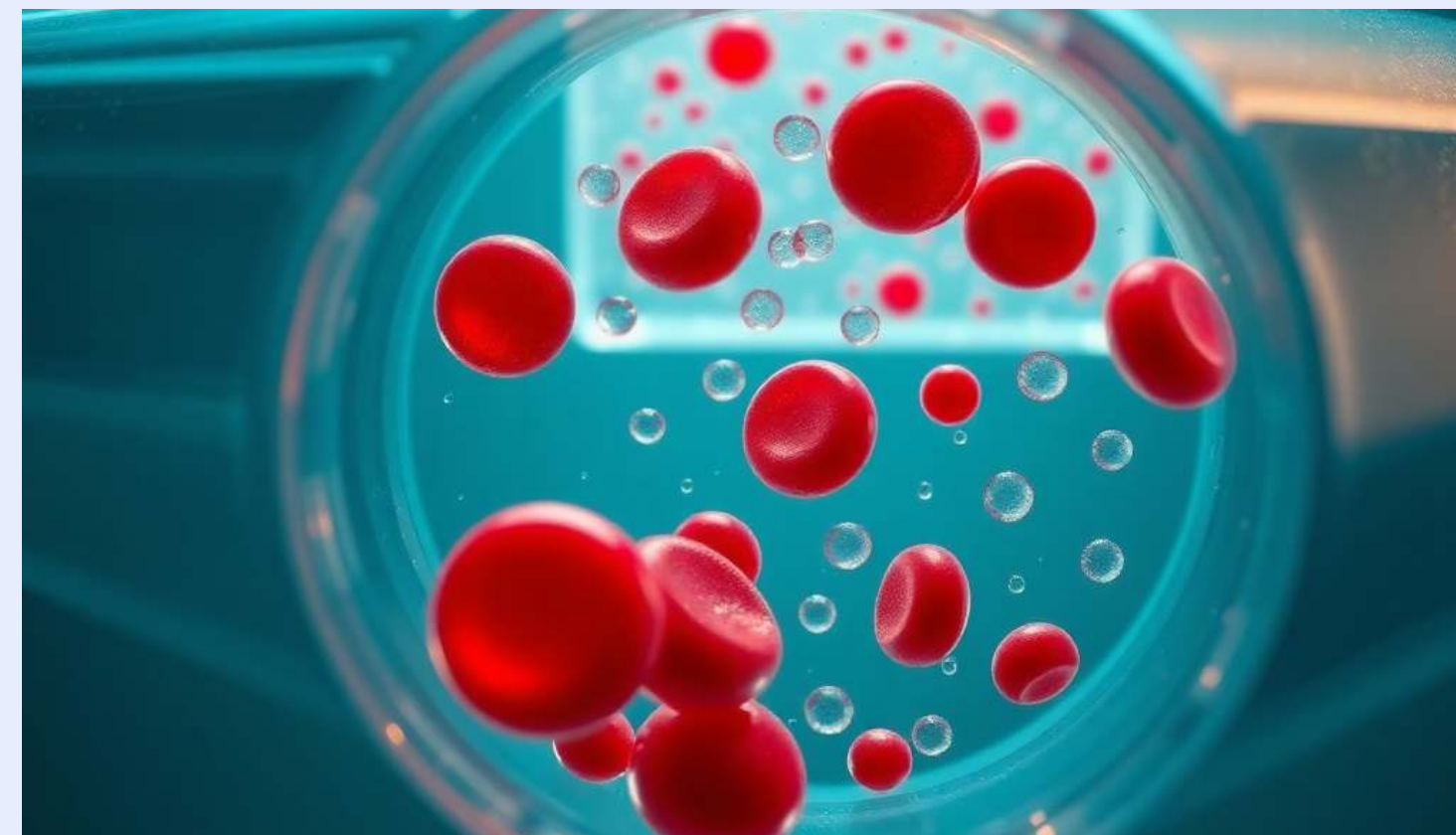
Плейотропия показывает, что генетическое изменение нельзя оценивать только по одному признаку. Чтобы понять последствия мутации, нужно учитывать весь организм и взаимодействие его систем.

Примеры плеiotропии в биологии и медицине



Синдром Марфана: один ген — несколько систем

Мутация гена *FBN1* нарушает структуру соединительной ткани, поэтому изменения затрагивают скелет, зрение и сердечно-сосудистую систему. На практике это проявляется в сочетании вытянутых конечностей, проблем с хрусталиком и рисков для сердца.

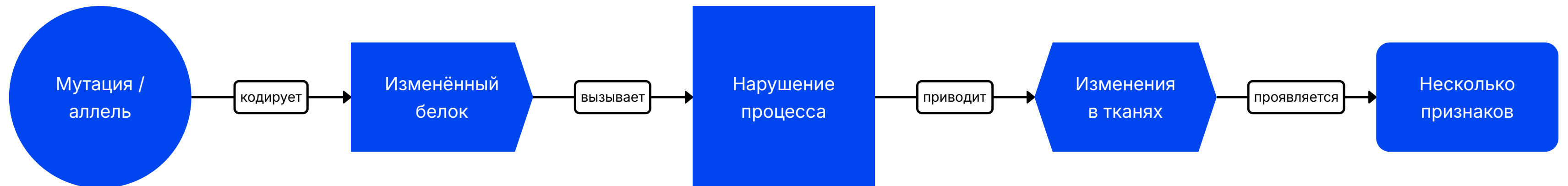


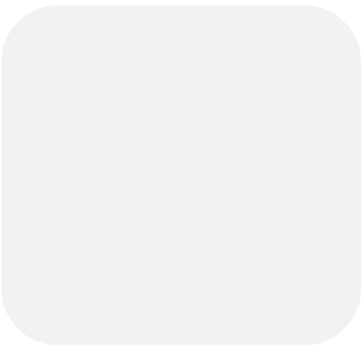
Серповидноклеточная анемия: эффект одной замены

Изменение гена гемоглобина меняет форму эритроцитов и снижает эффективность переноса кислорода. При этом проявления касаются не только крови: болезнь влияет на самочувствие, работу тканей и даже устойчивость к малярии.

От изменения гена к комплексному фенотипу

Схема отражает переход от молекулярного изменения к видимым признакам организма.





Сравнение основных явлений, связанных с аллелями

На одной диаграмме удобно видеть, что первые три явления описывают работу аллелей одного гена, а два последних связаны уже с числом аллелей и числом признаков.

Взаимодействие аллелей и множественное действие гена — разные механизмы, поэтому их нельзя смешивать при анализе наследования.

Обобщение понятий школьной генетики; учебные примеры по наследованию признаков.

Практическое значение для селекции и генетики человека



Селекция растений

Понимание типов доминирования помогает отбирать линии с нужной окраской, формой, урожайностью и устойчивостью. Это особенно важно при планировании скрещиваний и прогнозе признаков потомства.



Породное разведение

У животных знание аллельных взаимодействий позволяет предсказать, как проявятся окраска, экстерьер и отдельные наследственные особенности. Это делает селекцию более точной и управляемой.



Анализ крови

Система АВ0 показывает, почему для медицины важны кодоминирование и множественный аллелизм. По группе крови можно не только подобрать донорство, но и лучше понять генотипы родителей.



Медицинская генетика

При наследственных заболеваниях важно определить, какие аллели есть у человека и как они проявляются. Это помогает объяснять риск болезни, результаты обследований и возможные варианты наследования.



Сводная таблица понятий темы

Таблица помогает быстро сравнить ключевые явления и не путать их между собой при решении генетических задач.

Первые три явления описывают проявление аллелей, множественный аллелизм связан с разнообразием вариантов гена в популяции, а плейотропия — с множественным действием одного гена.

Явление	Аллели	Гетерозигота	Пример
Полное доминирование	2	как доминантная	горох
Неполное доминирование	2	промежуточная	львиный зев
Кодоминирование	2	оба признака	AB0
Множественный аллелизм	3+	зависит от аллелей	AB0
Плейотропия	1 ген	несколько признаков	Марфан

Частые ошибки при изучении взаимодействия аллельных генов

01

Путают неполное доминирование

Неполное доминирование не означает, что признаки «смешиваются навсегда». Промежуточный фенотип возникает только у гетерозиготы и связан с количеством функционального

продукта гена.

02

Смешивают с кодоминированием

При кодоминировании обе аллели проявляются одновременно и одинаково, а при неполном доминировании появляется промежуточный вариант признака. Это

03

Неверно понимают аллели

Множественный аллелизм относится не к одному человеку, а к популяции. У отдельного организма по-прежнему есть только две аллели, даже если в виде их существует

больше.

04

Путают с плеiotропией

Плеiotропия — это не множество аллелей, а влияние одного гена на несколько признаков. Здесь важно различать число вариантов гена и число эффектов его белкового продукта.



Наследование признаков сложнее простой схемы

Гены проявляются не одинаково: всё зависит от сочетания аллелей, свойств белка и его роли в клетке. Именно поэтому генетика объясняет наследование точнее, чем простая пара «доминантный — рецессивный».