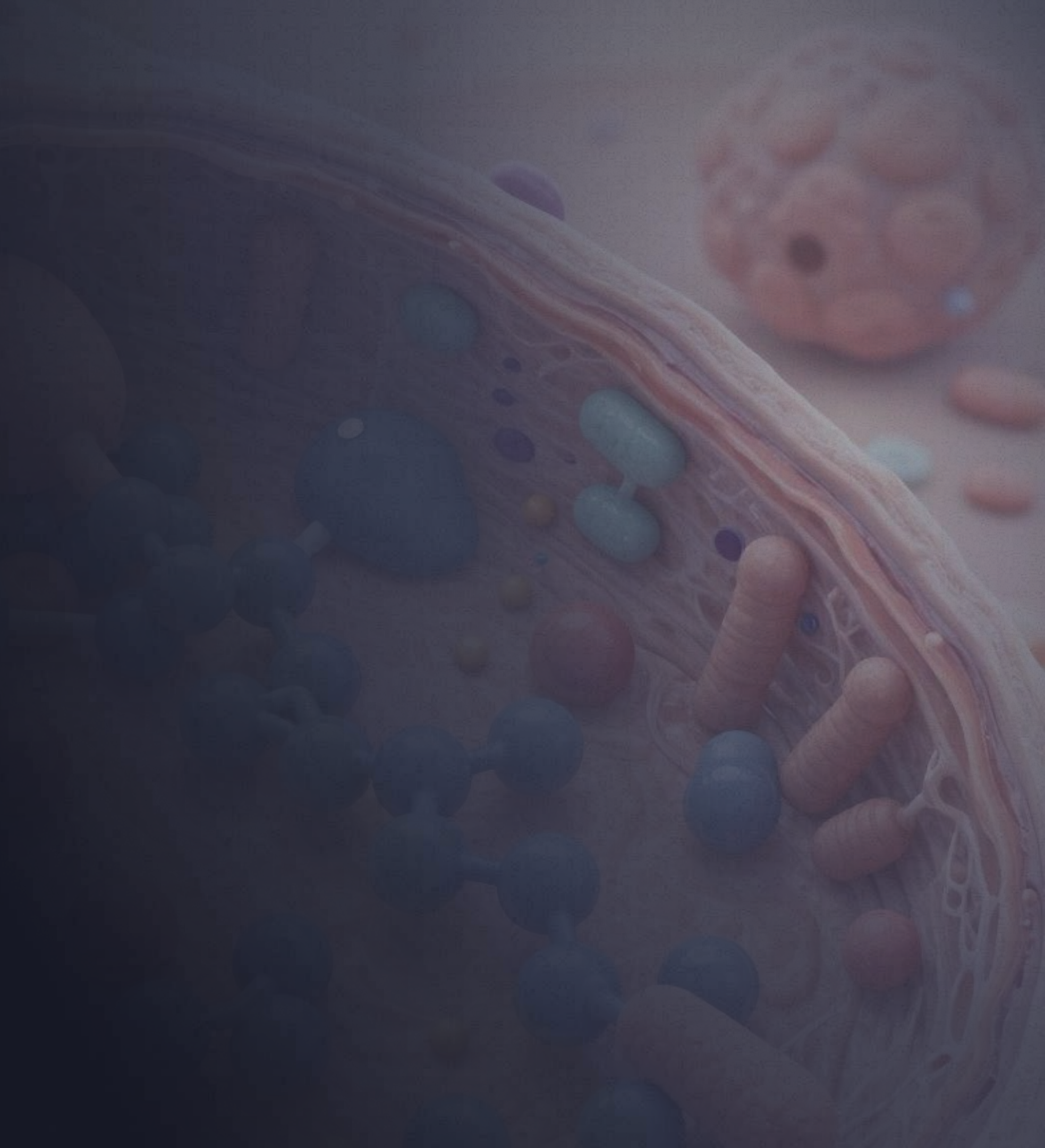


Обзор темы: энергетический обмен в клетке, акцент на бескислородный этап

Изучаем ключевые этапы энергетического обмена и
особенности бескислородного процесса.



Истоки знаний о энергетическом обмене в клетке

01

С началом XIX века исследования Пастера по брожению дали импульс изучению обмена веществ. В XX веке Эмбден, Мейергоф и Парнас детально описали гликолиз, раскрывая его роль в жизнедеятельности организмов.

Три этапа энергетического обмена и их функции

Подготовительный этап

Расщепление сложных веществ на мономеры в процессе пищеварения, не сопровождается накоплением АТФ.

Бескислородный этап

Протекает в цитоплазме, включает гликолиз и брожение с образованием ограниченного количества АТФ без кислорода.

Кислородный этап

Происходит в митохондриях, обеспечивает максимальный выход энергии за счёт аэробного окисления субстратов.

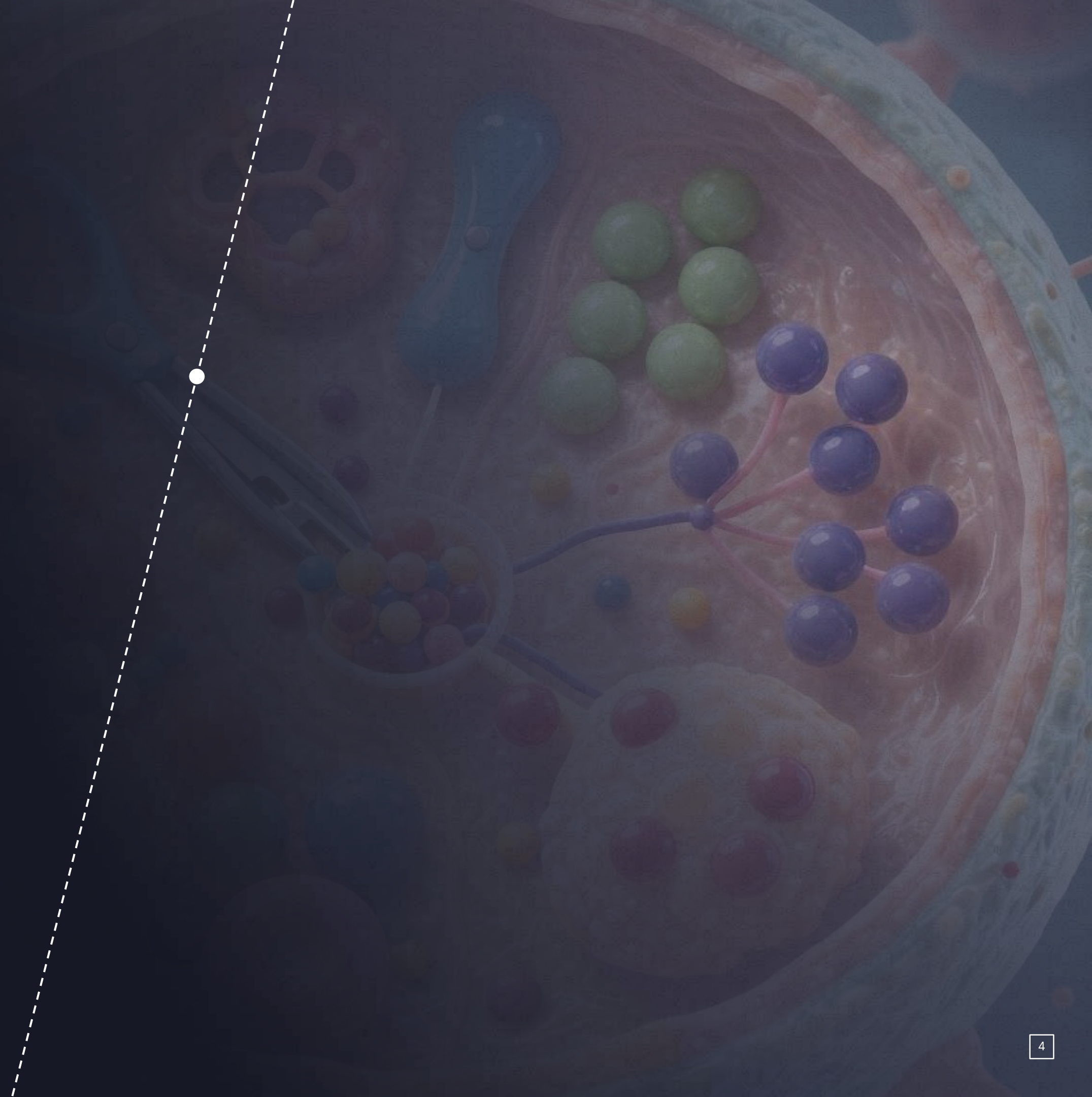
Классификация этапов энергетического обмена

Подготовительный этап

Начинается с гидролиза питательных веществ в ЖКТ и клетках, этап не приводит к образованию АТФ, обеспечивая субстраты для последующих стадий.

Бескислородный и кислородный этапы

Бескислородный этап за счет гликолиза и брожения генерирует ограниченное количество АТФ, тогда как кислородный этап полный распад субстратов с максимальной энергетической отдачей.



Физиологическая роль бескислородного этапа

01

Бескислородный этап обеспечивает выработку АТФ в отсутствие кислорода, что жизненно важно при гипоксии или у анаэробных организмов.

02

Входит в состав гликолиза и различных видов брожения, позволяя клеткам поддерживать энергодефицит при активной деятельности.

03

Кратковременное увеличение мощности энергетического обмена возможно благодаря этому этапу, играющему роль в адаптации к переменным условиям.

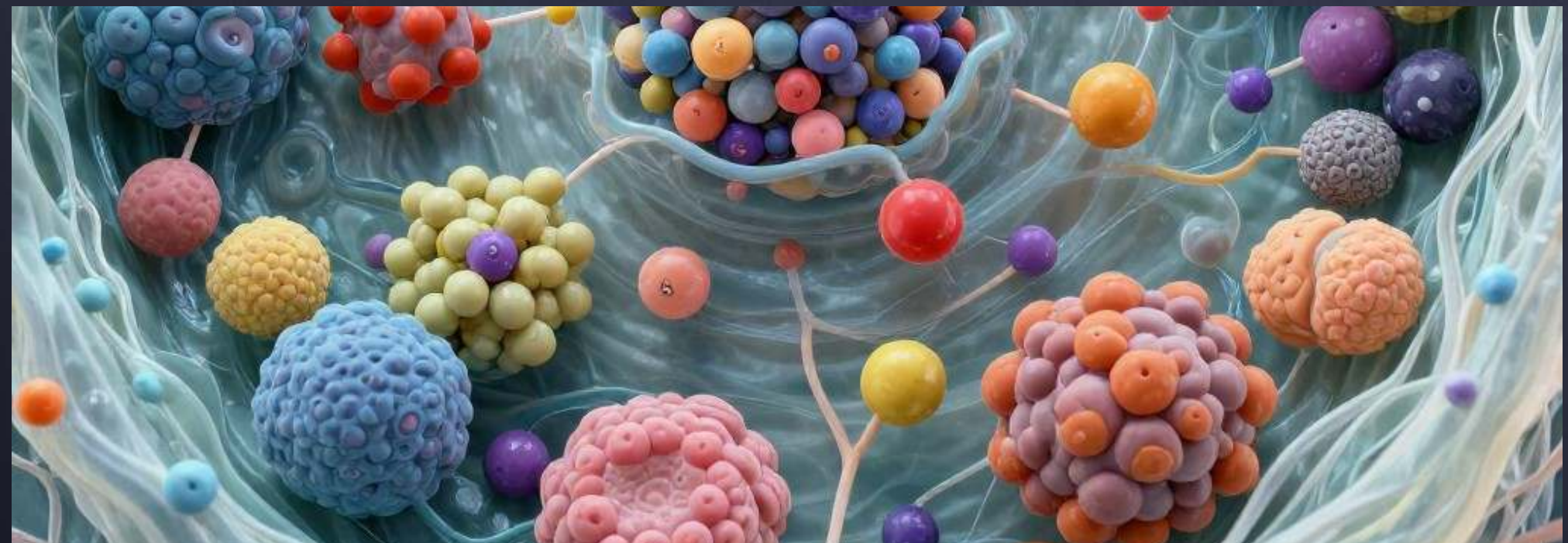
Локализация и универсальность гликолиза

Гликолиз в цитоплазме прокариот и эукариот

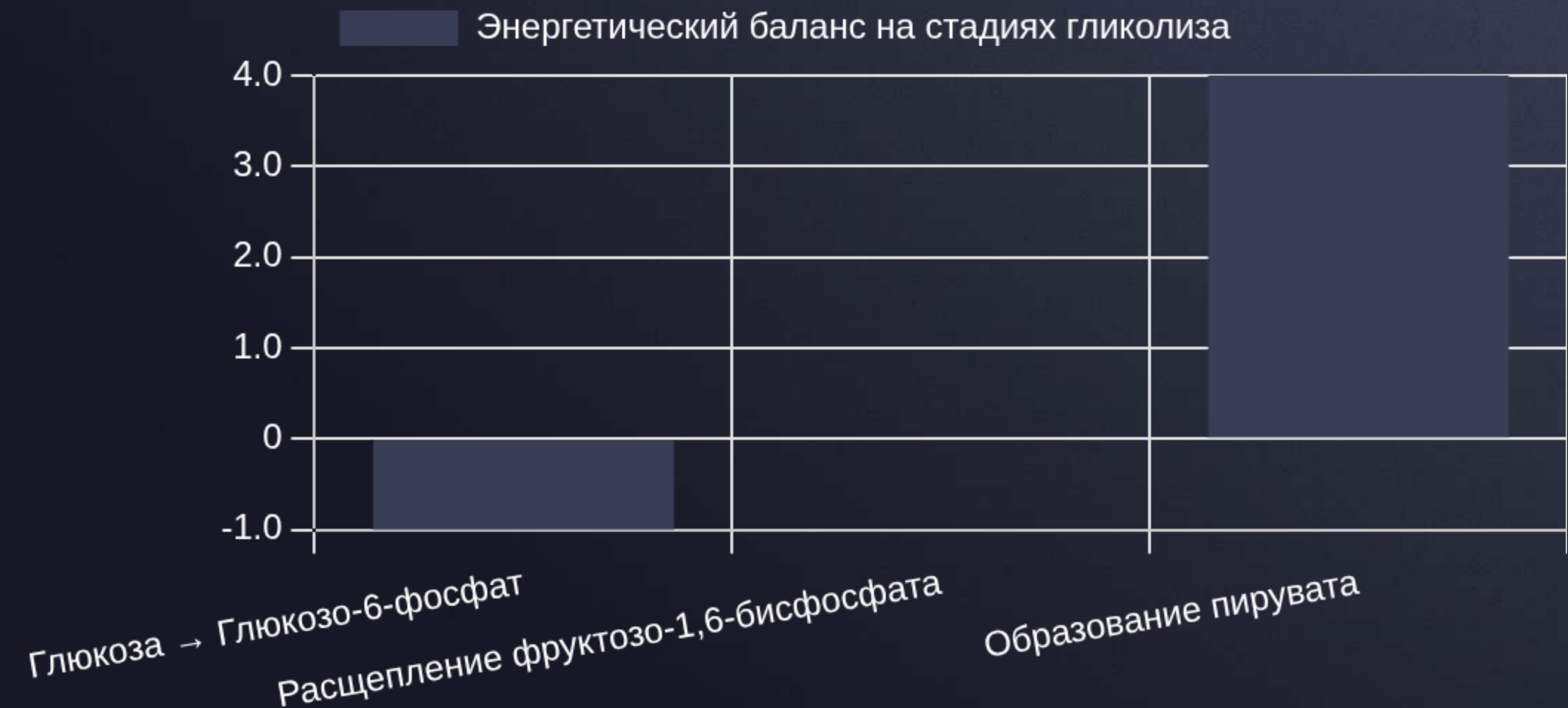
Процесс гликолиза происходит в цитоплазме клеток всех организмов, демонстрируя его эволюционную универсальность и фундаментальную роль в энергетическом обмене.

Структурные особенности цитоплазмы для гликолиза

Цитоплазма представляет собой сложную среду, где осуществляются ферментативные реакции гликолиза, поддерживая высокую эффективность процесса независимо от типа клетки.



Стадии гликолиза: последовательность реакций и энергетический баланс



Гликолиз состоит из десяти стадий, завершаясь образованием 2 молекул АТФ и НАДН на молекулу глюкозы.

Регуляторные этапы гексокиназы, фосфофруктокиназы и пируваткиназы определяют скорость всего пути.

Сравнительная таблица энергетического выхода этапов обмена

Энергетический выход разных стадий обмена демонстрирует эффективность и скорость выработки АТФ при аэробных и анаэробных условиях.

Гликолиз характеризуется быстрой, но сравнительно низкой энергетической отдачей.

Этап	АТФ (молекул)
Подготовительный	0
Гликолиз (бескислородный)	2
Кислородный (митохондрии)	До 36

Основные субстраты и продукты гликолиза

01

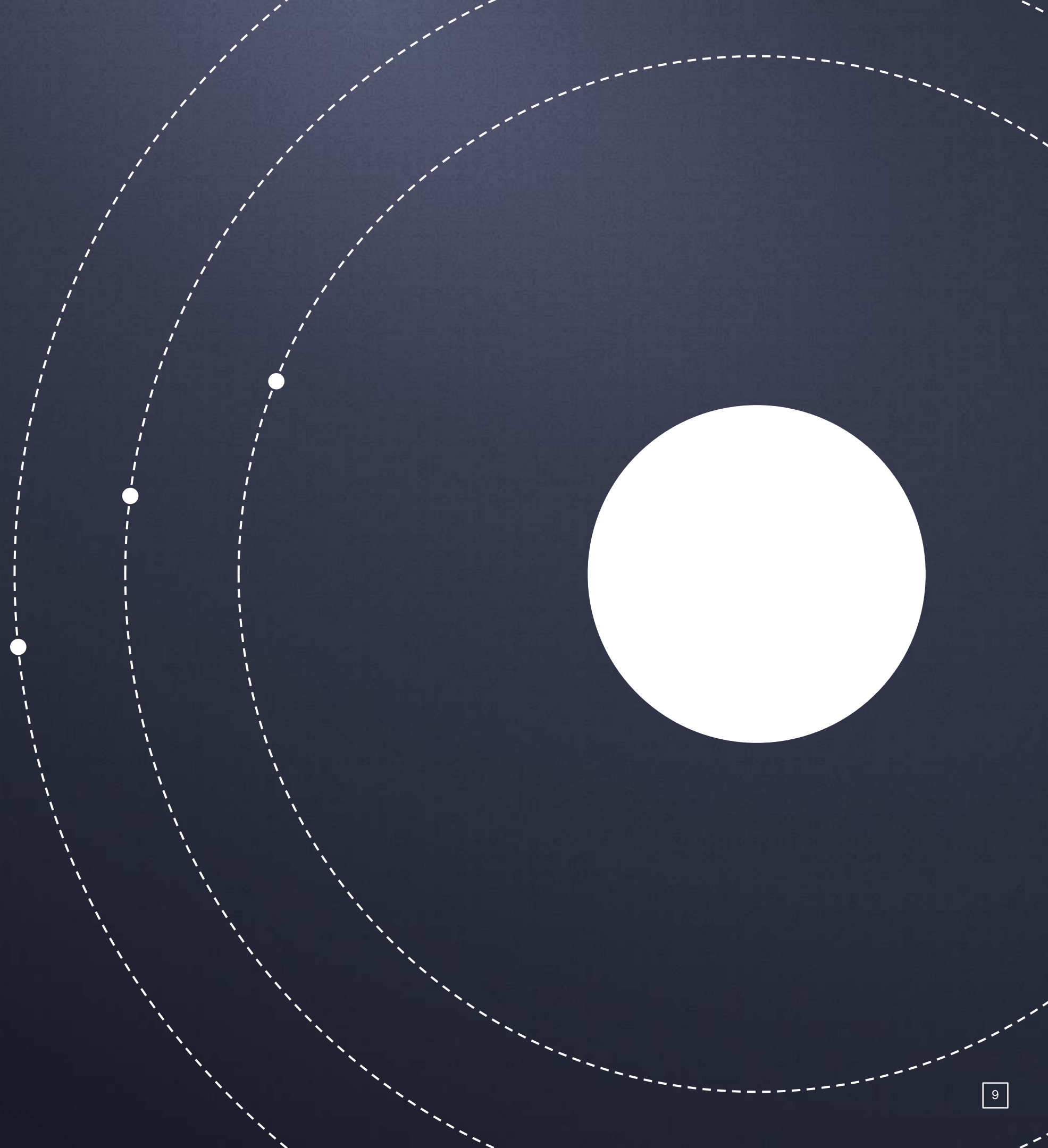
Глюкоза является исходным субстратом, поступающим в клетку и фосфорилируемым для дальнейшего расщепления.

02

Промежуточные продукты включают фруктозо-1,6-бисфосфат и триозофосфаты, ключевые для перехода к финальным стадиям.

03

В конце процесса образуются 2 пирувата, 2 молекулы АТФ и 2 НАДН, важные для дальнейших метаболических путей.



Ферменты гликолиза и их регуляция

Гексокиназа — стартовый фермент

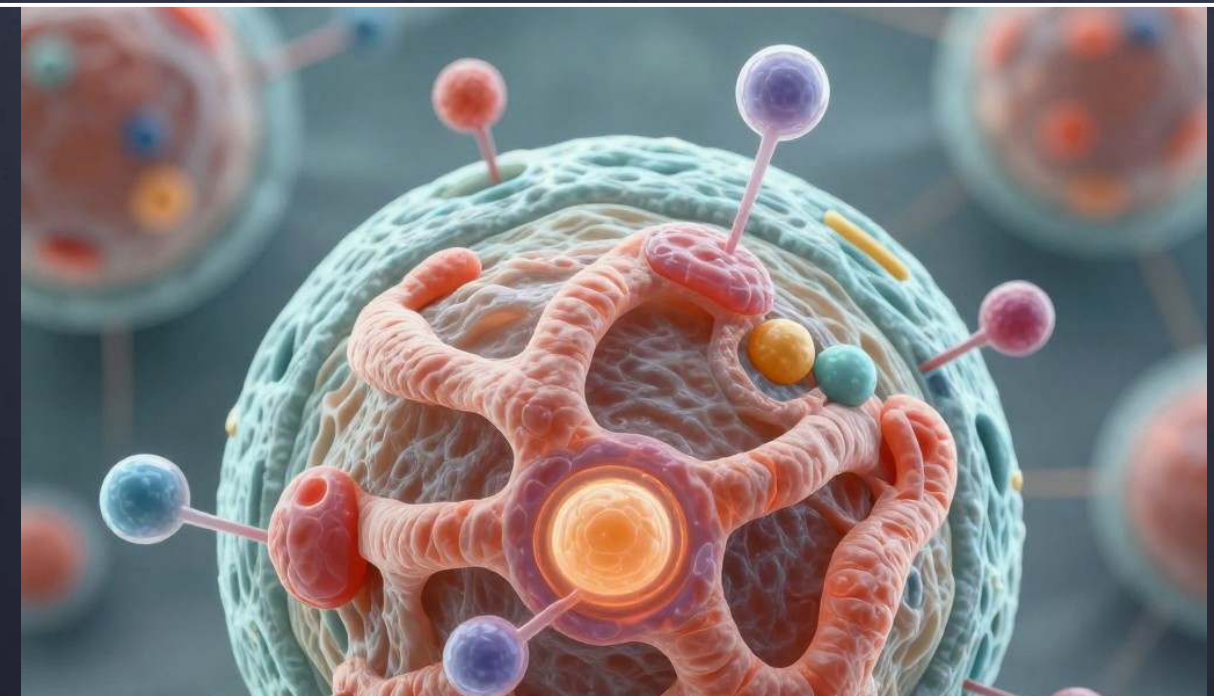
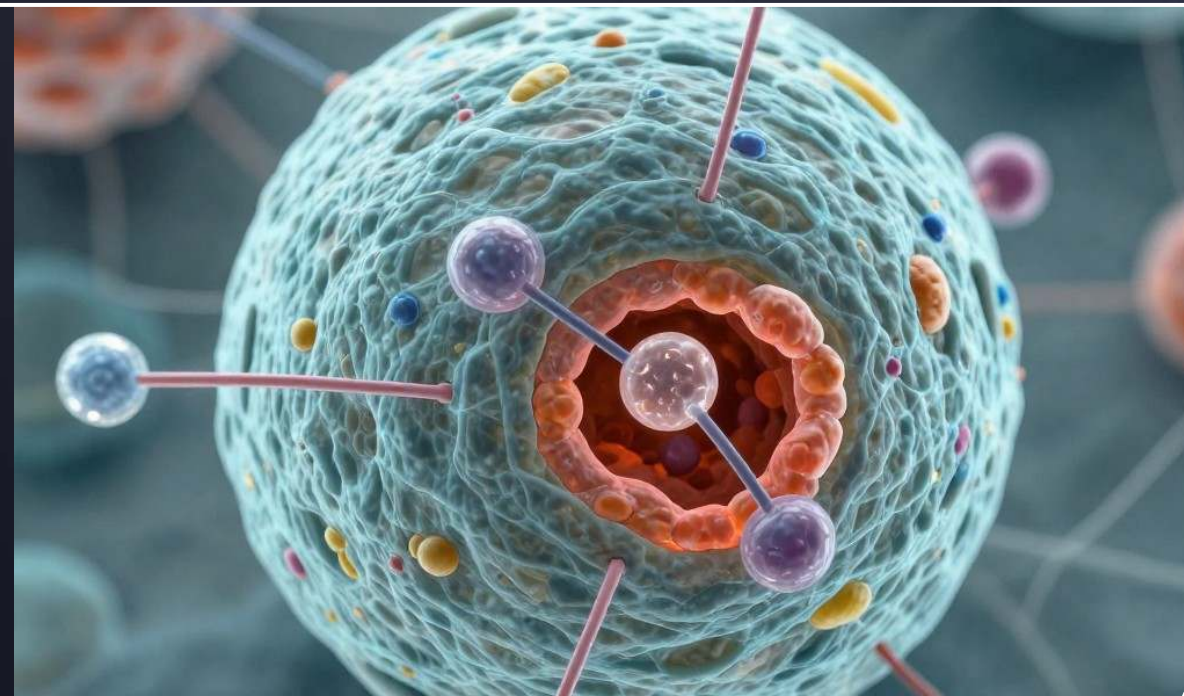
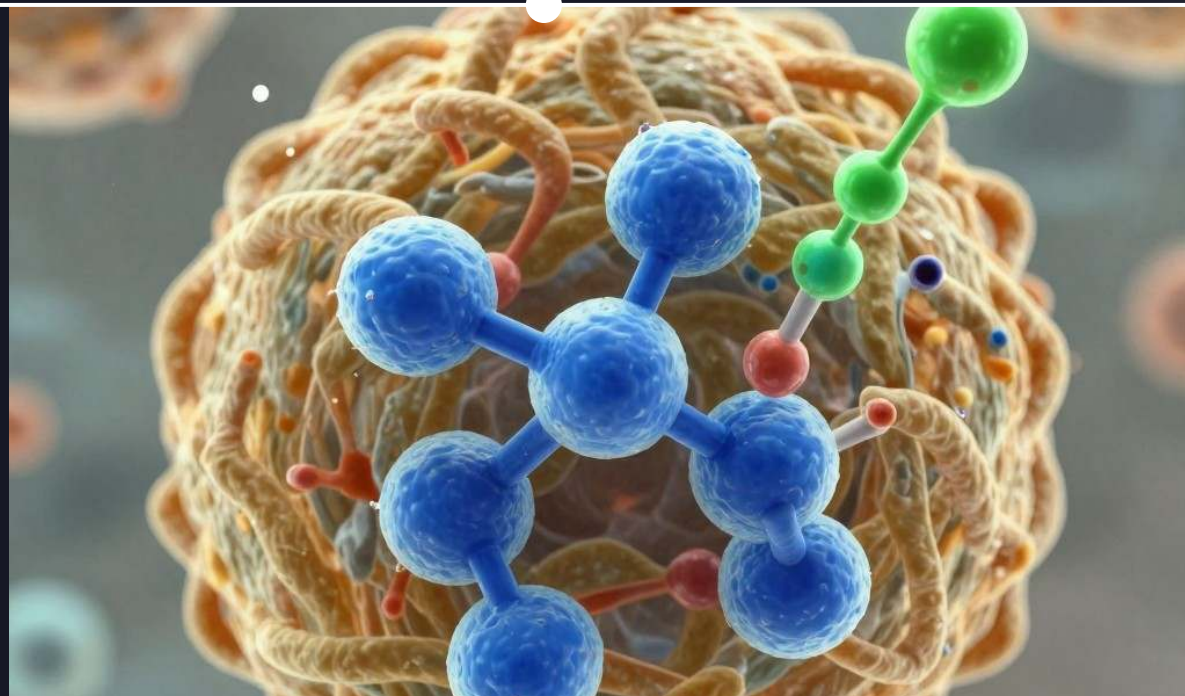
Обеспечивает фосфорилирование глюкозы, что важно для фиксирования субстрата внутри клетки и запуска всего цикла гликолиза.

Фосфофруктокиназа — ключевой регулятор

Регулируется по уровню АТФ и цитрата, меняет скорость гликолиза в ответ на энергетические потребности клетки.

Пируваткиназа — завершающая стадия

Обеспечивает образование пирувата, подвержена аллостерическому воздействию, что обеспечивает адаптацию метаболизма к условиям среды.



Гликолиз: универсальность и эволюционное значение для жизни

01

Гликолиз присутствует во всех клетках живых организмов — от бактерий и архей до растений, животных и грибов, что подтверждает его фундаментальную роль в обеспечении энергии.

02

Этот метаболический путь зародился миллиарды лет назад и является одним из древнейших, функций которого не зависит от наличия кислорода, что обеспечивало выживание при изменчивых условиях среды.

03

Гликолиз служит базовой энергетической платформой, позволяя клеткам быстро получать АТФ в условиях ограниченного кислорода или при его полном отсутствии, что особенно важно для примитивных форм жизни.

04

Его универсальность и эффективность поддерживают жизнедеятельность клеток в экстремальных и переменчивых условиях, что свидетельствует о значимости для эволюции всех организмов.

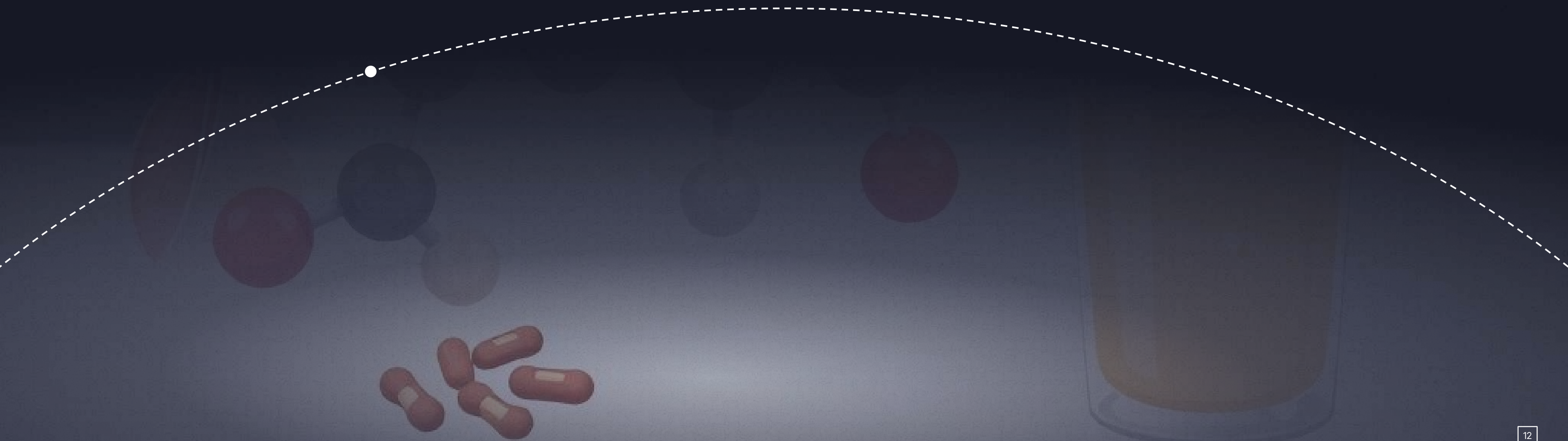
Типы бескислородных путей: молочнокислое, алкогольное и другие виды брожения

Молочнокислое брожение

При молочнокислом брожении питательная глюкоза превращается в лактат — конечный продукт, характерный для скелетных мышц и молочнокислых бактерий. Этот путь обеспечивает небольшой, но быстрый энергетический выход.

Алкогольное брожение

Алкогольное брожение происходит преимущественно у дрожжей, при котором из глюкозы образуются этанол и углекислый газ. Этот процесс широко используется в пищевой промышленности и сопровождается выделением энергии в виде АТФ.



Сравнение разнообразных путей брожения: продукты, субстраты, энергетический эффект

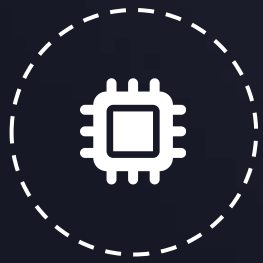
Тип брожения	Субстрат	Продукты	Энергетический выход (АТФ)
Молочнокислое	Глюкоза	Лактат	2
Алкогольное	Глюкоза	Этанол + CO ₂	2
Маслянокислое	Глюкоза	Масляная кислота	2

Пасечник, 2022, курс биохимии

Сравнительная таблица показывает основные характеристики молочнокислого, алкогольного и маслянокислого брожения, выделяя общие черты и особенности каждого типа.

Все типы брожения имеют одинаковый низкий энергетический выход — 2 молекулы АТФ на молекулу глюкозы, что указывает на их энергоэффективность в условиях отсутствия кислорода.

Биологическое значение бескислородного этапа обмена: организмы и условия



Адаптивное выживание при гипоксии

Бескислородный этап обеспечивает выработку энергии в мышцах во время кислородного дефицита, позволяя клеткам поддерживать функции при кратковременной гипоксии и усиленной нагрузке.



Метаболизм микроорганизмов

Анаэробные микроорганизмы используют бескислородные пути для получения энергии, что поддерживает их существование в кислороднедостаточных средах и экологическую нишу.



Роль в пищевой промышленности

Использование бескислородных процессов лежит в основе технологий производства кефира, йогуртов, хлеба и вина, что продвигает развитие биотехнологий и улучшение пищевых продуктов.

Пример: гликолиз в тканях скелетных мышц при высокой нагрузке

01

Во время интенсивной физической активности, например спринта, мышцы быстро переходят на гликолиз для быстрой генерации АТФ из-за ограниченной доставки кислорода.

02

Получаемый при этом молочная кислота накапливается в мышцах, вызывая временное снижение pH, что называется мышечной закисленностью и провоцирует чувство усталости.

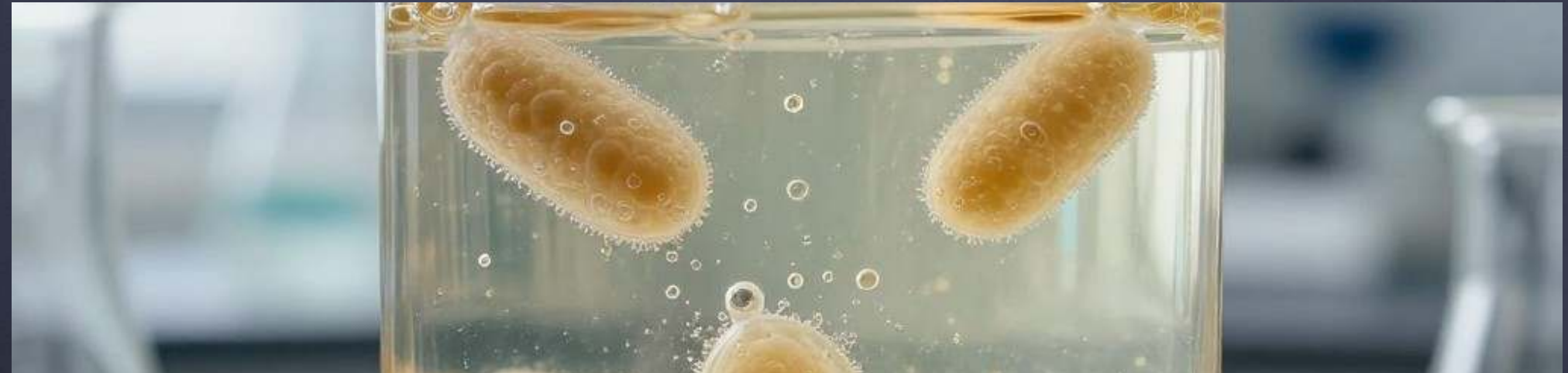
03

Этот процесс обеспечивает короткий всплеск энергии, позволяя поддерживать высокую мышечную активность при дефиците аэробных условий.

Анаэробные процессы у микроорганизмов: примеры в природе и биотехнологиях

Спиртовое брожение у дрожжей

Дрожжи используют алкогольное брожение для получения энергии в бескислородных условиях. Этот процесс служит основой для производства хлеба, пива и вина, при котором образуется этанол и углекислый газ.



Молочнокислое брожение в молочнокислых бактериях

Молочнокислые бактерии преобразуют лактозу в молочную кислоту без кислорода, что используется при изготовлении кефира, йогуртов и сыров, обеспечивая их характерный вкус и текстуру.



Использование анаэробных процессов в промышленности

Биотехнологии применяют анаэробные метаболические пути микробов для получения биоэтанола и биогазов, способствуя развитию экологических источников энергии и сырья.



2 АТФ

генерируется в результате гликолиза из одной молекулы глюкозы, что значительно меньше общего потенциала энергии.

Биохимический учебник, Зубарев, 2019

Энергия, высвобождаемая при гликолизе, составляет лишь небольшую часть от общей энергетической ценности глюкозы. Пируват, как промежуточный продукт, при отсутствии кислорода направляется на брожение, ограничивая общий энергетический выход.

Схема превращения глюкозы в бескислородном процессе: ветвление потоков вещества

Пошаговый метаболический путь с вариантом анаэробных и аэробных
реакций



Гликолиз в патологии и современной медицинской диагностике

01

Эффект Варбурга характеризует повышенную гликолитическую активность опухолевых клеток, что способствует быстрому росту и выживанию в гипоксических условиях опухоли.

02

Нарушения ферментов гликолиза, например дефицит пируваткиназы, приводят к наследственным заболеваниям, таким как анемия, вследствие снижения гранул производимых энергозависимых клеток.

03

Гликолиз широко применяется как биомаркер гипоксии в медицинской диагностике, помогая оценить состояние тканей и эффективность терапии при различных заболеваниях.

Заключение: значение бескислородного этапа в жизни и науке

Бескислородный этап энергетического обмена играет ключевую роль в поддержании жизни, адаптации и эволюции организмов, а также имеет важное практическое значение в биотехнологии, медицине и пищевых технологиях.

