

§ 4.1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

Вся система биохимических процессов в клетке и в организме действует при обязательном участии белков. Белки-ферменты катализируют все химические процессы в клетке. Важнейшая функция белков — каталитическая, ферментативная. Ферменты являются необходимыми участниками биосинтеза белков, запрограммированного на генетическом уровне. Ферменты участвуют во всех этапах биосинтеза белка. Вместе с тем белки служат регуляторами генетической функции нуклеиновых кислот. Все метаболические процессы в клетке — ее питание и дыхание — катализируются ферментами, которые выполняют как каталитическую, так и регуляторную функции; регуляторные ферменты, называемые аллостерическими (см. гл. 7), обеспечивают обратные связи в метаболических цепях.

Механохимическая функция сократительных белков, неразрывно связанная с ферментативной, ответственна за клеточные и внутриклеточные движения, т. е. за перемещение клетки, за движение протоплазмы, за перемещение веществ в делящейся клетке при митозе. Сократительные белки — это ферменты, в результате каталитической деятельности которых химическая энергия превращается в механическую работу.

Существование клетки как целостной системы, существование функциональных клеточных органоидов требует *компартиментализации*, пространственного разграничения этих систем мембранами, характеризующимися регулируемой проницаемостью. Белки-ферменты, входящие в состав мембран в комплексах с липидами, обеспечивают активный транспорт метаболитов в клетку и из нее, идущий в направлении, противоположном градиенту концентрации. Эта функция белков тесно связана с механохимической. Кроме того, белки катализируют метаболические биоэнергетические процессы, протекающие в мембранах. Так, ферменты митохондрий, локализованные в мембранах, ответственны за биохимические процессы, связанные с дыханием, за механические движения митохондрий, за активный транспорт.

Переходя от клетки к многоклеточному организму, мы встречаемся с новыми, специализированными функциями белков. Белки служат для запасаания (миоглобин) и переноса кислорода

(гемоглобин, гемодианин). Эта функция родственна ферментативной, но отлична от нее, так как молекулярный кислород не испытывает химических превращений в соответствующих процессах. Низкомолекулярные белки, или, точнее, полипептиды (инсулин, окситоцин, вазопрессин и др.), выполняют регуляторные функции в качестве гормонов.

Специализированные белки высших организмов — гамма-глобулины защищают организм от чужеродных биополимеров, выполняя иммунологическую функцию.

Наконец, специальные белки, входящие в состав кожи, волос и перьев, соединительной ткани и т. д., выполняют динамическую опорную функцию, обеспечивая нежесткую, но надежную взаимосвязь органов, их механическую целостность и защиту.

Белки являются непреходящими участниками запасаания, посылки, передачи, перекодирования и рецепции химических сигналов. В ряде случаев такими сигналами, рецепторами и преобразователями сигналов служат сами белковые молекулы или содержащие белки надмолекулярные системы.

Реакция организма на любые внешние воздействия сводится к перекодированию внешних сигналов на химический язык, что осуществляется белками.

Основная физическая задача, возникающая при изучении белков, состоит в установлении связи между их строением и свойствами. Это — классическая задача молекулярной физики. Решение ее начинается с установления структуры белка — пространственного расположения атомов и состояния их электронных оболочек в белковой молекуле.

Легко написать эти слова, но трудно решить указанную задачу. Молекулы белков — самые сложные среди известных современной науке. Их структура определяется не только химическими связями, но и целой совокупностью разнообразных взаимодействий между аминокислотными остатками. Белки функционируют в водном окружении, и оно существенным образом влияет на строение и свойства белковых молекул.

Макромолекула белка сходна с твердым телом в том отношении, что значительная часть атомов имеет в ней фиксированные положения. Макромолекула белка в этом смысле является аperiodическим кристаллом. Подходы к рассмотрению такой структуры, основанные на положениях физики твердого тела, естественны и разумны. Вместе с тем макромолекула белка — динамическая система, характеризующаяся большей или меньшей конформационной лабильностью. Это — своего рода машина, поведение которой зависит от положения и свойств каждого индивидуального аминокислотного остатка. Исследование динамических свойств белка требует теоретических и экспериментальных методов физики макромолекул.

Как уже указывалось (см. стр. 144), наличие линейной памяти в полимерной цепи приводит к ее особым физическим свойствам [1] Поведение молекулы белка определяется свойствами цепи как целого, электронно-конформационными взаимодействиями (см стр. 146) и конкретными особенностями первичной структуры — информационными характеристиками, кодируемыми на генетическом уровне. Важная физическая задача состоит в установлении связи между пространственным строением молекулы белка и первичной структурой цепи или цепей, ее образующих.

Конечная цель биофизических исследований заключается в физическом истолковании биологических функций белка, прежде всего его ферментативной функции.

Вопрос о способе возникновения первичной структуры белковой цепи в процессе матричного синтеза, идущего с необходимым участием других информационных макромолекул (молекул нуклеиновых кислот), представляет собой сложную физическую проблему. В связи с этим возникает физическая проблема генетического кода. Представление о генетическом коде исходит из предположения о существовании специфического молекулярного механизма превращения генетической информации в структурную функциональность белковых молекул. Это предположение имеет физический характер.

Наряду с ферментативным катализом, биофизика исследует и другие динамические свойства белковых молекул, ответственные за механохимические процессы, за иммунологическую защиту, за запасание и перенос кислорода и т. д. Соответственно следует говорить о физике сократительных белков как основе механохимии, о физике иммунитета и даже о физике отдельных белков — миоглобина и гемоглобина, например.

Таким образом, задачи физики белка сводятся к следующим:

1) Теоретическое и экспериментальное исследование структуры белковых молекул (а также надмолекулярных систем, которые они образуют совместно с другими биологически-функциональными веществами).

2) Установление связи первичной структуры белковых цепей и пространственного строения молекул белков.

3) Исследование физических механизмов биосинтеза белка.

4) Исследование физических механизмов, лежащих в основе биологических функций белков.

§ 4.2. КОНФОРМАЦИИ ПОЛИПЕПТИДНОЙ ЦЕПИ

Для понимания структуры белка необходимо рассмотреть конформационное строение полипептидной цепи.

Как уже сказано, пептидная единица цепи, группа $-CO-NH-$ имеет плоское строение (см. стр. 69). Структур-