

акция на растяжение мембраны сводится к изменению вероятностей переходов между закрытым и открытым состояниями канала. Действительно, удалось показать экспериментально, что изгиб волосков приводит к деполяризации мембраны, сопровождаемой возрастанием электрического шума. Одна стереоцилия управляет сорока ионными каналами. Удалось моделировать эти механохимические явления с помощью искусственной бислоидной липидной мембраны, в которую встроены ионные каналы.

Остается, однако, неясным, как при этом срабатывает К-, Na-активируемая АТФ-аза. Можно думать, что этот процесс подобен происходящему при осязательной рецепции — в тельцах Пачини (с. 415).

Слух означает способность различать частоты и интенсивности звуковых колебаний. Частотный диапазон слышимости варьирует в широких пределах у разных организмов. Так, кузнечик реагирует на звуки с частотой от 10 Гц до 100 кГц, лягушка — от 50 Гц до 30 кГц. Верхняя граница восприятия звука у птиц лежит около 15—20 кГц, у летучих мышей — от 100 до 150 кГц. На рис. 12.25 приведена диаграмма слышимости для человека. В отличие от ряда животных, человек к ультразвуку не восприимчив.

§ 12.8. Биомеханика

С механохимическими явлениями непосредственно связана область биологии и физики, именуемая биомеханикой. Здесь мы ограничимся кратким перечнем проблем биомеханики.

Движения позвоночных животных определяются поведением сложной системы мышц, сухожилий и костей. Изучение этих движений требует решения ряда задач механики сложносочлененной системы, гидро- и аэродинамики, автоматического регулирования. Движущаяся система животного содержит как жесткие (внутренний скелет позвоночных, внепий хитиновый скелет членистоногих), так и гибкие участки. Последние работают прежде всего в сочленениях. Соответствующие системы образуют *кинематические цепи*, т. е. совокупности звеньев, соединенных таким способом, что если одно из них закрепить, а какое-то другое привести в движение, то все остальные должны будут двигаться предписанным образом. Кинематические цепи образуют и конечности, и черепа кинетического типа у многих ящериц, змей и птиц. Кинетические черепа содержат подвижные сочленения.

Задача техники состоит в конструировании механизмов, способных совершать определенные движения. Биологи часто встречаются с обратной задачей — понять механизм, лежащий в основе наблюдаемого движения. Механизмы эти, созданные природой, весьма сложны, как о том свидетельствует, например, действующая модель крыльев мухи (рис. 12.26).

Механические свойства материалов и устройств, используемых организмами для движения, разнообразны. Внутренний и внешний скелеты должны обладать определенной прочностью. Так, например, череп дятла построен специальным способом, обеспечивающим амортизацию мозга птицы при сильных ударах

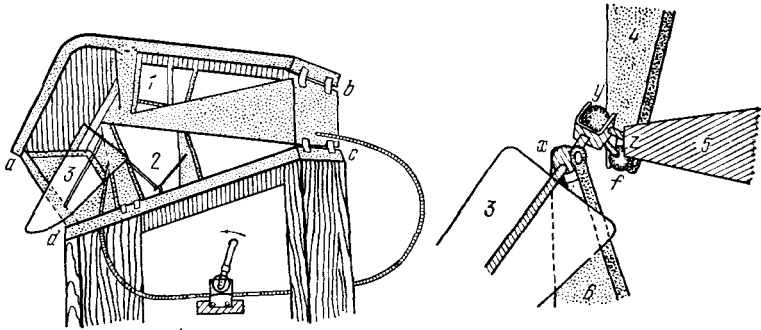


Рис. 12.26. Действующая модель, объясняющая механизм движения крыльев мухи: 1 — проволока, изображающая продольную спинную мышцу, 2 — резинка, изображающая плейростеральную мышцу, 3 — крыло, 4 — тергит, 5 — плечо скутеллума, 6 — плейрит, x, y, z, f — шарниры

клювом. Кости позвоночных построены из микроскопических кристаллов *гидроксиапатита* $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$, погруженных в фибриллярную коллагеновую структуру. Коллаген обеспечивает высокую прочность на изгиб.

Коллаген, сократительные и другие белки, участвующие в движениях животных, обладают специфическими вязкоупругими свойствами. У позвоночных в стенках артерий и в других органах содержится *эластин*, свойства которого сходны со свойствами резины. Эластин обладает высокоэластичностью, природа которой, как и у каучука, энтропийная (см. § 3.1). У насекомых в грудном отделе содержится белок *резилин*, также обладающий каучукоподобными свойствами — его модуль упругости близок к модулю упругости резины, и упругость практически целиком энтропийная. При полете саранчи большая часть кинетической энергии, отнимаемой у крыльев в конце их подъема, переходит в потенциальную энергию упругой деформации резилина, затем эта энергия вновь переходит в кинетическую энергию опускаемых крыльев. При прыжке блохи ее задняя нога, поднимаясь, сжимает комочек резилина. Она поднимается сравнительно медленно в результате сокращения мышцы, а затем резко освобождается особым спусковым устройством. Резилин срабатывает, как резина в рогатке.

Вязкоупругие свойства белковых материалов очень важны для движений как позвоночных, так и беспозвоночных.

Движение животных в воздухе и в воде определяется эволюционным развитием биологических систем, приспособленных

к решениям задач аэро- и гидродинамики, в ряде случаев пока недоступных искусственным устройствам. Кожа дельфина обладает специальными свойствами, позволяющими уменьшать лобовое сопротивление движению животного. Машущий и планирующий полет птиц послужил образцом для построения летательных аппаратов человеком. Область науки, посвященная техническому применению механизмов, развитых живой природой, именуется *бионикой*. Она была начата Леонардо да Винчи, проектировавшим крылья для полета человека. Он же был основоположником биомеханики в целом, впервые изучавшим ходьбу, бег и прыжки человека.

К биомеханике относится и рецепция механических колебаний и ориентации тела органами равновесия (отолитовые органы в ухе).

Биомеханические исследования очень существенны для техники и для медицины, в частности, в связи с невесомостью в космических полетах. Укажем, например, на протез руки, работающий от биотоков (Гурфинкель). Биомеханика — одна из важных областей биофизики, но ее подробное изложение выходит за рамки этой книги.