

СИММЕТРИЯ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Владимир Подольный

Живые организмы сложно устроены. У них есть несколько уровней организации. Например, внешняя форма, оболочка, должна полностью соответствовать среде обитания: водной, воздушной и др. Внутреннее строение в меньшей степени соответствует внешней среде, оно участвует в осуществлении физиологических функций. Биохимический, молекулярный уровень организации в ещё меньшей степени зависит от внешней среды, но зависит от физиологического уровня организации.

Целый организм, таким образом, представляет собой скоординированную систему, состоящую из целого ряда подсистем, и проявления симметрии на каждом уровне организации могут отличаться.

Симметрия интересна тем, что она одна из основ строения нашего мира, она необходима для функционирования механизмов, поддерживающих жизнь, но есть и другие механизмы, не связанные с симметрией. Поэтому необходимо видеть сложность, многообразие механизмов жизни.

Основную доктрину биологии ещё в 16-м веке заложил известный британский врач и физиолог Вильям Харвей: каждое живое существо происходит из яйца. Харвей имел в виду яйцеклетку. Яйцеклетка обладает сферической симметрией, т.е. симметричность сохраняется при вращении на произвольные углы в трёхмерном пространстве. Сферическая симметрия соответствует изотропной экологической нише, как, например, вода или однородные растворы. Первые организмы на Земле, плавающие в толще воды, как предполагается, имели сферическую форму или близкую к сферической. Они появились примерно 3,5 миллиарда лет назад. Такие организмы можно видеть и теперь, например водоросль Вольвокс.

Остановимся на яйцеклетке, т.к. любой тип размножения и любой тип пространственной организации исходит из её свойств. Прежде всего, яйцеклетка это женская гамета, женская половая клетка. Для выполнения своей жизненной функции яйцеклетка должна соединиться со спермием. После этого образуется зигота, которая и даёт начало новому организму. Спермий действует как индуктор, запускающий деление клеток в зиготе.

После этого образуется симметричный шарик из клеток. Затем клетки перемещаются к поверхности. Образуется полый шарик из клеток (рис. 1), эта фаза называется «Гаструла». После неё начинается первичное разделение клеток по будущим функционально различным тканям.

Симметрия здесь сохраняется, но характер её меняется: рано выделяются зачатки нервной системы, хорды, как зачатка позвоночника, и др. органов.

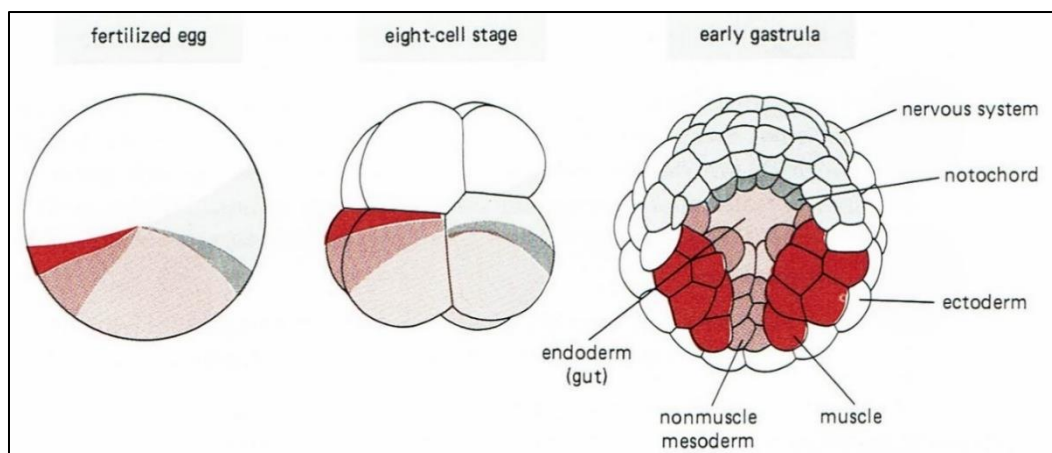


Рис.1. Деление клеток в зародыше лягушки



Рис.2. Сравнение эмбрионального развития рыбы, амфибии, птицы и человека

Дальнейшее развитие идёт примерно одинаково у всех высших животных.

На рис 2 показана сравнительная схема эмбрионального развития рыбы, амфибии, птицы и человека. Эта картинка знакома ещё из школьного учебника биологии.

Наверху рисунка показана хорда, из которой развивается позвоночник. Она играет роль центрального стержня и становится новой осью симметрии.

Здесь самое место вспомнить великого немецкого поэта Иоганна Вольфганга Гёте (середина 17 – первая треть 18 века), и немного отойти от симметрии.

Плюс к литературным талантам, Гёте также оставил свой след и в области естественных наук. Он издал ряд работ по сравнительной морфологии растений и животных, по физике (оптика и акустика), минералогии. Наибольшее значение имеют его морфологические исследования.

У каждого века есть своя задача в развитии человечества и, в частности, науки. Время Гёте было периодом, когда исследователи пытались понять основные, общие принципы формирования живой природы. То было время широко мыслящих философов. И наука, в частности биологическая, называлась *Натуральной философией - Философией Природы*. Именно она заложила основы современной инструментальной биологии. Теперь о симметрии.

Рассматривая строение различных животных, Гёте пытался выявить структурную единицу, объединяющую всех животных. У животных, на его взгляд, такой единицей мог оказаться позвонок. Симметрично повторяющиеся позвонки образуют спинной хребет, ось симметрии, вокруг которой организуются остальные органы. Череп представляет собой несколько слившихся позвонков.

Идея Гёте нашла современное подтверждение в конце 20-го века. В 1983 году была обнаружена большая группа генов, которые управляют формированием многих повторяющихся анатомических структур у животных, растений, грибов, насекомых. Они активны в период раннего эмбрионального развития и характеризуются особым участком ДНК, нуклеотидная последовательность которой названа «гомеобокс». Гены, соответственно, названы гомеогены. Я бы перевел это название как «домашние гены». Они как бы следят за порядком в доме. В частности, они контролируют сегментацию во время развития вдоль оси животных, вдоль позвоночника.

У растений в качестве такой единицы строения был взят лист с прилегающей почкой (узлом) и стеблем (междоузлием). Цветок, согласно этим представлениям, представляет собой модифицированный побег, тогда как части цветка - модифицированные листья.

Цветы – половые органы растений. Они представляют собой наиболее яркий и разнообразный пример симметрии. В них происходит встреча растительной яйцеклетки со спермием. Однако, из-за того, что растения сами не могут двигаться, для выполнения этой функции, им нужны помощники для переноса пыльцы. Эволюция тесно связала цветение растений с насекомыми – опылителями. Их отношения – одно из проявлений настоящей земной любви, они буквально созданы друг для друга. Взамен насекомые получают сахара и ту же пыльцу. Вариантов взаимного приспособления множество. Они удивительны. И я предполагаю, что многие с удивлением и восхищением рассматривали и сами цветки и прилетающих к ним бабочек и т.д. Из множества возможных примеров посмотрим цветок Раффлезии (рис.3). В Малайзии почки и цветы считаются деликатесом. Однако цветы



Рис.3. Раффлезия (*Rafflesia arnoldii*) самый большой цветок в мире

выделяют запах гниющего мяса и этим привлекают особых маленьких мушек – опылителей.

Здесь хорошо видна одна из важных проблем, связанных с симметрией – проблема узнавания, т.к. симметрия - один из сигналов для узнавания. На общем фоне симметричные цветки легко распознаваемы. К этому ещё надо добавить их отличный на общем фоне цвет, запах. Цветовое зрение насекомых отличается от цветового зрения человека. Они видят в УФ части спектра. Кроме того на лепестках может находиться узор, видимый насекомым и не видимый нами, который указывает путь к нектарникам. Я уже рассказывал об этом в одном из предыдущих сообщений.

Узнавание и его запрограммированность, очень часто врождённая, широко распространена в живом мире. Посмотрим клип.

В нём показана рыба Фугу. Это ядовитая рыба, деликатес японской кухни. Есть специальные правила, как её готовить. Но нас интересует другое. Для того чтобы привлечь самку, самцы Фугу плавниками расчищают площадку на дне. Затем рисуют плавниками на песке симметричный узор в виде розетки и, под конец, кладут в середину розетки ракушку. Самочки не могут устоять перед такой красотой.

Элементами симметрии, вероятно, должен обладать каждый работающий механизм. Генетический аппарат – не исключение. Его основная часть, состоит из двух спиралей гигантской молекулы ДНК, упакованной в хромосомах. Спираль – один из типов симметрии и представляет собой композицию преобразования поворота объекта вокруг оси и переноса его вдоль оси. (рис 4).

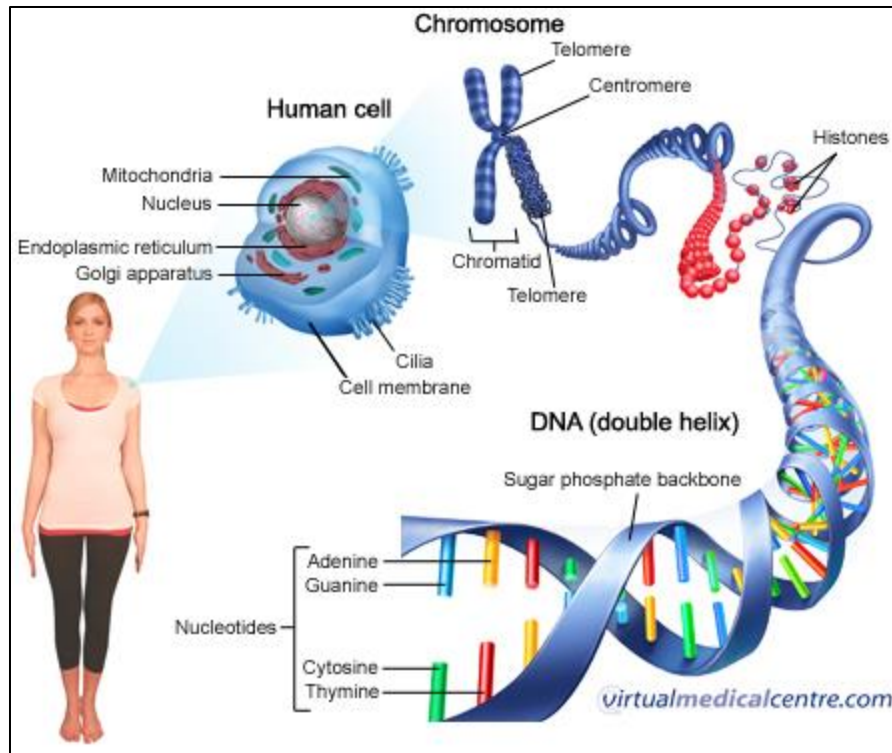


Рис.4. Схема устройства генетического аппарата

Кстати, спиральная симметрия часто встречается в биологии, начиная с устройства биомолекул, таких как ДНК, РНК, белки, и кончая типом движения некоторых животных, например змей.

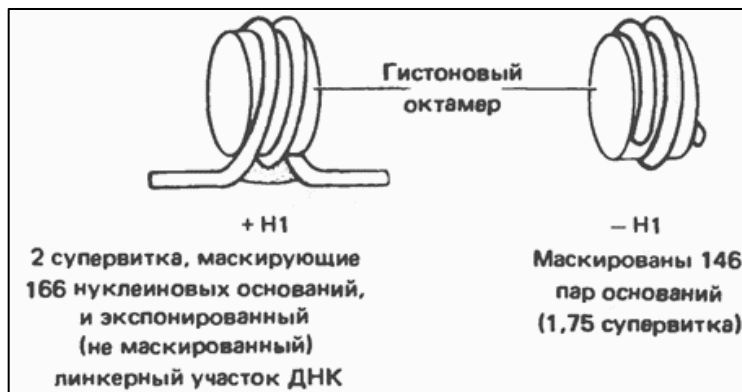


Рис.5. Схематическое строение нуклеосомы

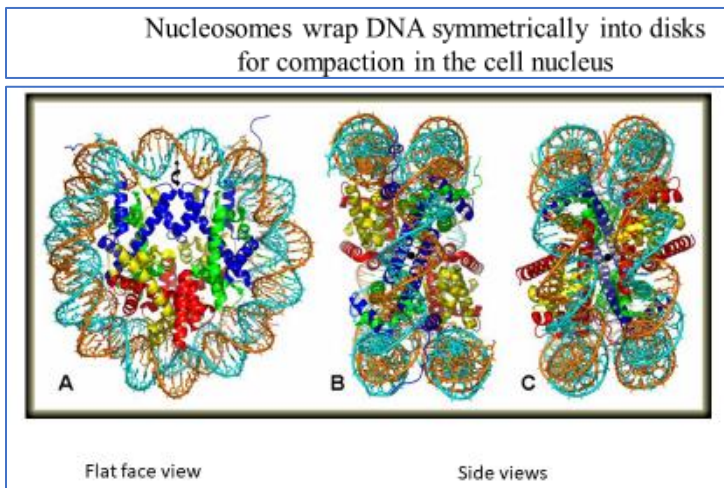


Рис.6. Нуклеосома с разных сторон

Спираль ДНК компактно упакована в нуклеосомы. Нуклеосомы представляют собой своего рода диски, на которые намотана двухспиральная ДНК. Два с половиной оборота на диск. Диск состоит из 8 специальных белков – гистонов. (рис. 5).

Рисунки 5, 6, 7 любезно предоставлена профессором S. Buratowski, Harvard Medical School.

На рис 6 показана нуклеосома с разных сторон.

Пока ДНК намотана на диск, вся дальнейшая работа генетического аппарата заблокирована. Гены, записанные на ней, не могут быть считаны. Они молчат. Большинство генов молчит. Если бы они все заработали одновременно, был бы хаос. Должны работать только те гены,

которые нужны в данный момент. Поэтому есть специальный механизм для активации нужных генов. Он, конечно же, связан с симметрией. Есть специальные белки - активаторы транскрипции. (Напомню, что транскрипция это переписка определённого участка ДНК в виде РНК; только в виде РНК может быть закодирован последующий, соответствующий гену белок, который и есть конечный, активный продукт гена). Итак, активатор транскрипции садится на тот участок ДНК, с которого начинается ген. Обычно это совпадает с участком, где связь ДНК-нуклеосома ослаблена. Это граница между двумя нуклеосомами. На рисунке показан кусочек ДНК, на нём, как в седле, сидит активатор транскрипции. Активатор транскрипции не только отмечает место, с которого начинается переписка гена с ДНК в РНК, но и место, где садится фермент РНК-полимераза, который переписывает участок гена на ДНК в виде РНК. Поэтому процесс и называется транскрипция – переписка. Фермент ослабляет связь ДНК с нуклеосомой, раскручивает двойную спираль ДНК и начинает переписывать ДНК в РНК.

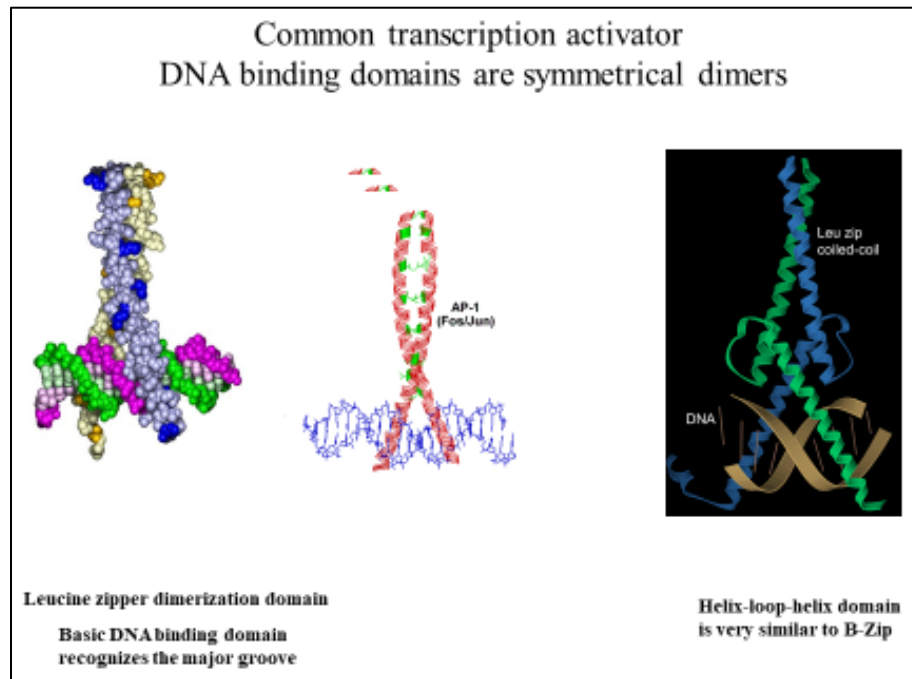


Рис.7. Схема работы активатора транскрипции

Таких примеров, где принцип симметрии активно работает в механизмах жизни, множество.

Генетический аппарат – очень динамичная система и главные проблемы его работы можно свести к двум типам взаимодействия ДНК-ДНК и белок-ДНК. Механизмы узнавания взаимодействующих компонентов генетического аппарата интенсивно исследуются в современной молекулярной биологии.

Источники

1. William Harvey. https://en.wikipedia.org/wiki/William_Harvey
2. B. Alberts, D. Bray, J. Lewis, et. all. Molecular Biology of the Cell.
3. Johann Wolfgang Goethe. https://en.wikipedia.org/wiki/Johann_Wolfgang-von-Goethe
4. https://wikibooks.org/wiki/Structure_Biochemistry/Homeobox_Genes
5. <https://www.bing.com/search?v=rafflesia+arnoldii>
6. Клип. <https://www.youtube.com/watch?v=DajThFhFAEa78>
7. В. Подольный. Молекулярные механизмы: ДНК и разные функции РНК. Второе дыхание. Сборник статей. Выпуск 31. 8-13. 2015.
8. <https://www.bing.com/search?q=nucleosome+structure&q>