МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ¹

© 2007 Ю.П. Фролов²

В работе представлена возможная модель морфогенеза Metazoa с ведущим участием нервной системы.

Введение

Проблема формирования пространственной структуры биосистем относится к одной из наиболее сложных в биологии. Важную роль в этом процессе играет узнавание взаимодействующих при построении системы элементов друг другом, которое обеспечивает ее самосборку. Говорят о молекулярном морфогенезе у фагов, о самосборке хвостового стержня и чехла бактериофага, мембраны митохондрий и даже о реконструкции зародыша морского ежа на ранней стадии развития из его разобщенных клеток. Приводится пример с возвращением в исходное состояние вывернутой наизнанку гидры путем миграции скользящих друг мимо друга клеток на свои нормальные места без изменения свойственной ей формы. Однако вести речь о полноценной самосборке взрослого многоклеточного организма из набора составляющих его клеток, по меньшей мере, наивно. Даже формирование третичной структуры белков в условиях *in vivo*, несмотря на постулируемую ее детерминированность первичной структурой, происходит с участием специальных белков шаперонов, шаперонинов и др. Поэтому формирование Metazoa с момента оплодотворения яйцеклетки до состояния взрослого организма происходит с участием специальных механизмов, которые не исключают процессы узнавания клетками друг друга.

1. История проблемы

Для объяснения механизмов морфогенеза Metazoa предложено множество моделей и ряд концепций. Широкую известность получили две концепции: эмбриональных полей и позиционной информации. На стадии поздней бластулы амфибий и других животных можно совершенно точно указать так называемые презумптивные (предполагаемые) участки, из которых

¹Представлена доктором биологических наук профессором В.Г. Подковкиным.

²Фролов Юрий Павлович, кафедра биохимии Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

разовьются те или иные органы. Презумптивный участок можно рассматривать как презумптивное поле. Если удалить часть презумптивного зачатка органа, то из оставшихся клеток, тем не менее, сформируется этот орган с обычными его частями. Для того, чтобы объяснить поведение клеток в пределах полей, Л. Вольперт сформулировал концепцию позиционной информации. Эта информация, сообщаемая клетке, содержит указание о ее местоположении по отношению к другим клеткам. Она определяет план, в соответствии с которым развивается зародыш. Чаще всего позиционная информация рассматривается как градиент какого-либо вещества (морфогена), которое распределяется по полю таким образом, что его концентрация постоянно изменяется от высокой к низкой.

Наряду с вещественным позиционным полем различные авторы предлагали модели морфогенетических полей иной, не вещественной природы. Так, морфогенетическое поле П. Вейса, которое организует процессы регенерации и эмбрионального развития, материальной, но не химической природы. Оно представляет собой систему сил, имеющих определенное направление и действующих на клеточный материал, который сам по себе является индифферентным. В развивающемся организме образуются все новые и новые поля, соответствующие различным органам. А.Г. Гурвич полагал, что в формообразовательных процессах принимает участие биологическое поле, источником которого, вероятно, является ядро клетки, его хромосомы. Центром клеточного поля является центр ядра. Клетки оказывают влияние друг на друга своими полями. Общее (целое) поле является объединением полей совокупности клеток. В ходе эмбрионального развития оно меняется и определяет дальнейший ход эмбриогенеза. Силовое поле Н.К. Кольцова, с которым связано развитие зародыша, имеет физическую природу. Оно порождает потенциалы различной природы (электрической, химической, температурной, гравитационной и др.), которые являются не только отражением состояния зародыша, но и играют важную роль в его развитии, определяя поведение отдельных бластомеров и всего зародыша.

В середине прошлого века рядом ученых высказывалась мысль о морфогенетической роли антигенной реактивности, при которой специфическое объединение клеток происходит в результате взаимодействия находящихся на поверхности комплементарных между собой белков — антигенов и антител. Помимо этого, важное место в морфогенезе занимает, как известно, фагоцитоз (например, резорбция хвоста головастика лягушки).

В последние годы появилась модель морфогенеза, которая исходит из дуализма гена. Он существует и функционирует как в вещественной, так и в волновой форме. Суть модели Гаряева—Березина—Васильева ("ГБВ-модель") состоит в том, что геном высших организмов рассматривается ими как солитонный биологический компьютер, формирующий пространственно-временную структуру развивающихся эмбрионов (солитон — уединенная волна).

Несколько больше известно о конкретных проявлениях морфогенеза. Формообразовательные процессы реализуются путем движений, изгибаний, утолщений клеточных пластов, миграции отдельных клеток из одних участков зародыша в другие (например, первичных половых клеток из желточного мешка в зачатки половых желез), размножения клеток, их гибели (например, межфаланговых клеток при разъединении фаланг у птиц) и др. О механизме этих процессов определенные сведения имеются. Однако о том, как организуется четкое протекание их, существуют лишь малоубедительные предположения. Нельзя, например, серьезно относиться к предположению, что с помощью градиентов концентраций морфогенов, процессов индукции, взаимного узнавания клеток могут сформироваться организмы, нередко очень точно повторяющие строение друг друга, как это наблюдается, в частности, у однояйцовых близнецов, имеющих даже одинаковый узор папиллярных линий.

2. Модель морфогенеза

Имеются серьезные основания полагать, что морфогенетическая информация многоклеточного организма, как и информация о первичной структуре белков, тоже записана на молекуле ДНК. Об этом, в частности, свидетельствует передача потомкам внешних морфологических особенностей родителей, по которым обычно судят об их сходстве ("похожести"), подчинение данного явления законам генетического наследования, реализуемым прежде всего через участие хромосом.

Естественно, возникает вопрос о морфогенетическом коде ДНК и, главное, о механизме его реализации на фенотипическом уровне. Однако поиски специальной, имеющей свою анатомическую локализацию, системы, осуществляющей морфогенез Metazoa, успеха не имели. Естественно возникает вопрос: А существует ли такая система? Как правило, каждая физиологическая система многоклеточного организма помимо своей основной функции выполняет еще одну или более дополнительных функций. Аналогичное явление имеет место и в отдельно взятой клетке. Так, основная функция ДНК в делящихся клетках — передача путем редупликации наследственной информации дочерним клеткам, используя которую они удваивают свою массу. Однако, если эти клетки впоследствии не будут делиться, функцией молекул ДНК станет только обеспечение нормальной работы клеток путем участия, прежде всего, в процессе транскрипции. При этом молекулы ДНК остаются носителями генетической информации и находятся на самом верхнем уровне управления работой клетки.

В многоклеточном организме верхний уровень регуляции функций занимает нервная система. Ее клетки (нейроны) своими отростками пронизывают все органы и ткани, образуя своего рода плотную нервную сеть, заполняющую весь объем организма.

Естественно возникает вопрос: А не выполняет ли нервная система, помимо регуляции жизненных функций сформировавшегося организма, "по совместительству" роль "прораба" на этапе формирования его, начиная с эмбрионального периода, не формирует ли система регуляции организма свой объект управления, как это имеет место с ДНК на клеточном уровне? Каждая нервная клетка имеет ядро со всей генетической информацией, содержащейся в нем. Поэтому, первая задача нервной клетки в случае ее участия в морфогенезе — считывание морфогенетической информации с молекул ДНК и перевод ее (трансляция) в состояние, способное осуществить морфогенез. Формирование из различных типов клеток органов с их тонкой структурой, вероятно, осуществляется с участием пептидов, синтезируемых в теле нервной клетки и передаваемых по микроканальцам к нервным окончаниям в места их контакта с соответствующими клетками. Для каждого типа клеток, по-видимому, вырабатываются свои молекулы пептидов, которые вызывают интеграцию клеток. Прочное связывание клеток между собой происходит с помощью ионов двухвалентных металлов, прежде всего кальция. Управление скоростью роста клеток осуществляется путем соответствующей иннервации кровеносных сосудов микроциркуляторного русла, доставляющих питательные вещества клеткам. Выдерживание пропорций между функциональными мощностями формирующихся органов контролируется нервной системой по тому же механизму, который используется и для взрослого организма. В качестве исполнительного звена нервная система помимо кровеносной системы использует частично эндокринную и иммунную системы. Таким образом, предполагается, что генетическая информация, записанная на *одномерном* носителе (молекуле ДНК), трансформируется в *пространственную* структуру нервной системы, которая, в свою очередь, формирует органы и организм многоклеточных животных (и человека).

Морфогенетическую функцию нервная система начинает выполнять не с самого начала эмбриогенеза. Первыми вступают в работу наиболее простые механизмы, которые формируют тело организмов, имеющих слабо выраженную нервную систему или вообще не имеющих ее (кишечнополостные, губки). При этом используется хемотаксис, узнавание клетками друг друга, самосборка. В этот период образуются зародышевые листки, скопления различных клеток, зачатки органов, которые готовят почву для вступления в работу эволюционно более поздней, поэтому оформившейся с некоторой задержкой нервной системы.

Клетки формирующейся нервной системы создают своеобразный каркас, ячейки которого заполняют специализированные ткани, образующие различные органы с их специфической формой и внутренним строением. В построении нервно-клеточного каркаса, задающего форму органам и всему организму в целом, принимают участие, вероятно, специфические пептиды, которые обеспечивают строго упорядоченное соединение нервных клеток друг с другом. По-видимому, сходный механизм имеет место в формиро-

вании сложной архитектуры центральной нервной системы, особенно различных отделов головного мозга, а также при образовании связей между нервными клетками, ответственными за проявление безусловных (врожденных) рефлексов — простых и сложных (инстинктов).

О специфической роли молекул РНК и транслируемых с них пептидов, в частности, при образовании долговременной памяти, свидетельствуют многочисленные факты [1]. Поэтому не исключено, что эти химические соединения принимают участие в процессах морфогенеза Metazoa, осуществляемых под контролем нервной системы.

Рассмотренная модель морфогенеза, естественно, является предположительной и требует сложной экспериментальной проверки. Положительной стороной этой модели является определенная обоснованность ее с позиции эволюционной и сравнительной биохимии, а также соответствие принципу "бритвы Оккама"— в ней не привлекаются "экзотические" процессы, а используются лишь апробированные живой природой механизмы.

В морфогенезе принимают участие как позднее возникшие сложные механизмы, так и древние, более простые процессы. Следствием этого является пестрая картина фактов, полученных в экспериментах различными учеными, которая затрудняет создание единой теории морфогенеза.

Литература

- [1] Иванов-Муромский, К.А. Мозг и память / К.А. Иванов-Муромский. — Киев: Наукова думка, 1987. — 136 с.

Поступила в редакцию 05/II/2007;
в окончательном варианте — 05/II/2007.

THE MORPHOGENETIC FUNCTION OF THE NERVE SYSTEM³

© 2007 Yu.P. Frolov⁴

A possible model of Metazoa morphogenesis involving the leading participation of nerve system is given.

Paper received 05/II/2007.
Paper accepted 05/II/2007.

³Communicated by Dr. Sci. (Biol.) Prof. V.G. Podkovkin.

⁴Frolov Yuriy Pavlovich, Dept. of Biochemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.