

Сравнительный анализ экспрессии аденилатциклаз и фосфолипаз в раннем эмбриогенезе выявил сложность и специфичность внутриклеточных сигнальных систем

Ю.Б. Шмуклер¹, Д.А. Никишин^{*1,2}

¹Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия;

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

* d.nikishin@idbras.ru

Внутриклеточные сигнальные каскады, опосредованные вторичными мессенджерами, такими как цАМФ и инозитол-1,4,5-трифосфат (IP₃), играют ключевую роль в регуляции раннего эмбрионального развития. Ферменты, синтезирующие эти молекулы — аденилатциклазы (AC) и фосфолипазы C β (PLC β) — являются центральными узлами передачи сигнала. Проведён биоинформационный анализ общедоступных баз данных транскриптомов и протеомов ранних зародышей четырёх видов морских ежей, двух видов шпорцевых лягушек и мыши. Анализ экспрессии аденилатциклаз выявил как консервативные, так и видоспецифичные паттерны. У всех исследованных видов на ранних стадиях развития обнаружена одновременная экспрессия нескольких изоформ AC. Консервативным признаком является высокий уровень экспрессии *adcy9*, сопоставимый или превышающий уровень экспрессии генов «домашнего хозяйства». Для *X. laevis* наличие белка ADCY9 подтверждено протеомными данными. Экспрессия *adcy2* и *adcy10* характерна для морских ежей, тогда как *adcy4*, 6 и 7 экспрессируются преимущественно у хордовых. мРНК *adcy8* не была обнаружена ни у одного из проанализированных видов. Анализ экспрессии PLC β показал значительные различия между таксонами. В геномах хордовых аннотировано четыре изоформы гена (*plcb1-4*), в то время как для морских ежей доступны лишь обобщённые данные. Следует отметить вероятную ошибку аннотации у *M. franciscanus*, где единственный вариант *plcb* помечен как неактивный. У других видов морских ежей, особенно у *L. variegatus*, уровень экспрессии мРНК *plcb* высок. У *X. laevis* выявлена значительная экспрессия изоформ *plcb1*, 3 и 4, что подтверждается данными протеомики. У *X. tropicalis* и мыши также доминируют транскрипты *plcb3* и *plcb4*.

Проведённый анализ демонстрирует, что клетки ранних зародышей обладают сложным и вариативным набором ферментов для синтеза вторичных мессенджеров. Наличие множества одновременно экспрессирующихся изоформ AC и PLC β предполагает существование высокоорганизованной регуляторной сети. Эта комбинаторная сложность позволяет клетке осуществлять прецизионную настройку ответа на внешние или внутренние сигналы: один и тот же лиганд, действуя через разные типы рецепторов, может активировать специфические подмножества AC и PLC β , генерируя уникальный внутриклеточный отклик. Таким образом, регуляторный потенциал на уровне внутриклеточной передачи сигнала является значительно более комплексным, чем предполагалось ранее, что необходимо учитывать при моделировании процессов эмбрионального развития.