

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

Ю.Б. Шмуклер<sup>1</sup>, Д.А. Никишин<sup>\*1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия;

<sup>2</sup>Московский 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 (IP<sub>3</sub>), играют ключевую роль в регуляции раннего эмбрионального развития. Ферменты, синтезирующие эти молекулы – аденилатциклазы (AC) и фосфолипазы Сβ (PLCβ) – 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 *adcuy9*, сопоставимый или превышающий уровень экспрессии генов «домашнего хозяйства». Для *X. laevis* наличие белка ADCY9 подтверждено протеомными данными. Экспрессия *adcuy2* и *adcuy10* характерна для морских ежей, тогда как *adcuy4*, 6 и 7 экспрессируются преимущественно у хордовых. мРНК *adcuy8* не была обнаружена ни у одного из проанализированных видов. Анализ экспрессии PLCβ показал значительные различия между таксонами. В геномах хордовых аннотировано четыре изоформы гена (*plcβ1-4*), в то время как для морских ежей доступны лишь обобщённые данные. Следует отметить вероятную ошибку аннотации у *M. franciscanus*, где единственный вариант *plcβ* помечен как неактивный. У других видов морских ежей, особенно у *L. variegatus*, уровень экспрессии мРНК *plcβ* высок. У *X. laevis* выявлена значительная экспрессия изоформ *plcβ1, 3* и *4*, что подтверждается данными протеомики. У *X. tropicalis* и мыши также доминируют транскрипты *plcβ3* и *plcβ4*.

Проведённый анализ демонстрирует, что клетки ранних зародышей обладают сложным и вариативным набором ферментов для синтеза вторичных мессенджеров. Наличие множества одновременно экспрессирующихся изоформ AC и PLCβ 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 PLCβ, 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.