

Регистрация регенерации планарии по фотоизображениям

Х.П. Тирас^{1,2}, С.Е. Нефедова^{1,2}, Л.М. Местецкий³, Н.А. Ломов³

¹Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Институтская 3, Пущино, Россия, 142290

²Пушкинский государственный естественно-научный институт, проспект Науки, 3, Пущино, Россия, 142290

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991

Аннотация

Планарии – вид плоских червей, используемых в биологических экспериментах в силу своей уникальной способностью к регенерации. Суть экспериментов состоит в отрезании части червя и наблюдении процесса восстановления его тела в течение нескольких дней. Для автоматизации экспериментальных исследований на больших группах планарий разработан метод автоматической регистрации скорости регенерации на основе анализа изображений планарий, полученных с помощью микроскопа. По цифровому изображению строится непрерывная морфологическая модель, включающая в себя срединную ось и радиальную функцию силуэта планарии. На основе этой модели предложены морфологические критерии для оценки динамики регенерации и приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова

Планария, цифровая морфометрия, медиальное представление, скелет

1. Введение

Плоская структура тела планарий и способность к плавному «ресничному» движению позволяют получать точные изображения планарий, которые можно анализировать методами компьютерного зрения [1]. Планарии обладают уникальной способностью к регенерации – отрастанию любой утраченной части тела, в очень сжатые сроки. После удаления головного конца тела с нервным ганглием процесс регенерации занимает от 5 до 25 дней. Особая значимость этой биологической модели регенерации состоит в возможности экстраполяции процессов клеточной пролиферации и дифференцировки и процессов роста и морфогенеза на уровне целого организма [2]. Это открывает перспективы контроля клеточных процессов на макроуровне, что позволяет получить полное количественное описание процесса регенерации. Процесс измерения больших групп планарий в ходе экспериментов требуют больших затрат ручного труда, поэтому автоматизация его представляется актуальной задачей.

2. Метод оценки морфогенеза регенерации планарий

Ход построения морфологической модели представлен на рисунке 1. Процедура включает в себя бинаризацию полутонового изображения (рис. 1а), аппроксимацию силуэта планарии многоугольником (рис. 1б), построение скелета многоугольника (рис. 1в) [3], выделение основной оси скелета (рис. 1г) и определение участка оси в голове планарии (рис. 1д). Вписанные круги на этом участке могут иметь разные размеры, определяемые радиусом r . В соответствии с этими размерами круги располагаются на разной глубине относительно вершины бластемы – концевой точки головы. В качестве показателя вытянутости головы мы используем две функции: площадь вершины бластемы $S(r)$ и длину вершины бластемы $L(r)$, показанные на рис. 1е. Так как кривые этих функций для отдельных планарий варьируются достаточно сильно, возникает необходимость агрегации результатов по группам. Групповые функции могут быть получены как средние значения по группе из m планарий:

$$\hat{L}(r) = \frac{\sum_1^m L_i(r)}{m}, \hat{S}(r) = \frac{\sum_1^m S_i(r)}{m}, \quad (1)$$

где $L_i(r)$ и $S_i(r)$, $i = 1, \dots, m$ - длина и площадь вершины бластемы i -й планарии из группы.

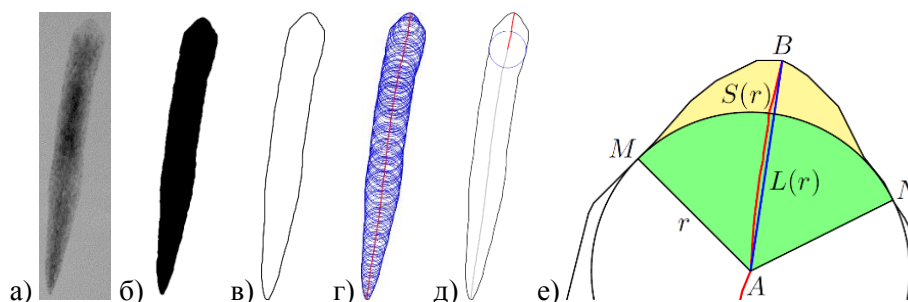


Рисунок 1: Модель формы планарии

На рис. 2 представлены результаты экспериментов по скорости регенерации групп из 20 планарий в первые дни после перерезки, помещённых в различные среды: вода содержания и раствор растительного пептида pCLV3 в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-12} М. Кривые показывают скорость роста головы у планарий и позволяют получить количественные оценки этого роста. Графики построены для изображений, полученных на третий день процесса регенерации. Графики согласуются с гипотезой о том, что стимулятор роста растений – пептид pCLV3 – также стимулирует регенерацию планарий [4].

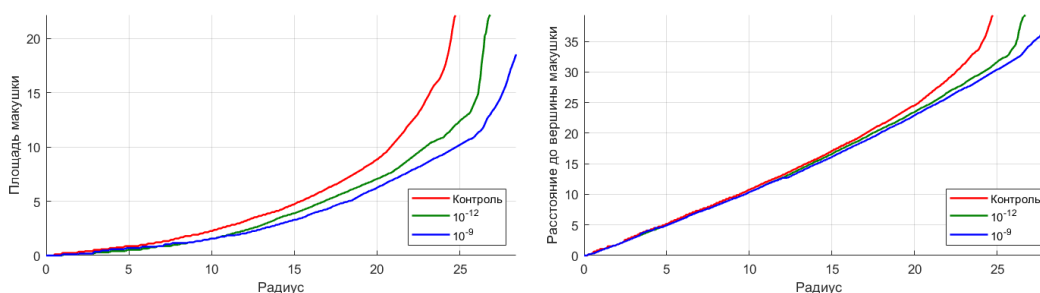


Рисунок 2: Интегральные кривые для групп планарий, помещённых в различные среды

3. Заключение

Проведенное исследование демонстрирует принципиальную возможность количественной оценки скорости регенерации плоских червей по сериям изображений. Полученные количественные показатели допускают ясную содержательную интерпретацию, что дает возможность оценивать их достоверность. В основе предложенного метода лежит построение непрерывной морфологической модели, что позволило обеспечить высокую вычислительную эффективность решения и удобную содержательную визуализацию.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 20-01-00664.

5. Литература

- [1] Шейман, И.М. Морфогенез у планарий *Dugesia tigrina* / И.М. Шейман, Н.Д. Крещенко, З.В. Седельников, А.В. Грозный // *Онтогенез*. – 2004. – Т. 35(4). – С. 285-290.
- [2] Тирас, Х.П. Показатели и стадии регенерации планарий / Х.П. Тирас, В.И. Хачко // *Онтогенез*. – 1990. – Т. 21, № 6. – С. 620-624.
- [3] Местецкий, Л.М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры / Л.М. Местецкий. – Москва: Физматлит, 2009. – 288 с.
- [4] Wang, X. A parasitism gene from a plant-parasitic nematode with function similar to CLAVATA3/ESR (CLE) of *Arabidopsis thaliana* / X. Wang, M.G. Mitchum, B. Gao, C. Li, H. Diab, T.J. Baum, R.S. Hussey, E.L. Davis // *Molecular Plant Pathology*. – 2005. – Vol. 6(2). – P. 187-191.