



РЕГЕНЕРА́ЦИЯ

Авторы: Э. Н. Григорян

РЕГЕНЕРА́ЦИЯ в биологии (от позднелатинского *regeneratio* – возрождение, возобновление), восстановление растениями или животными утраченных или повреждённых органов и тканей, а также целого организма из его части. Способность к Р. возникла в ходе эволюции как адаптивное свойство в ответ на жёсткие воздействия среды. Она проявляется в разл. степени как у разных видов организмов, так и на разных этапах их жизненного цикла. Термин «Р.» ввёл Р. А. [Реомюр](#) (1712), изучавший Р. конечностей речного рака. Р. наблюдается в естеств. условиях, но может быть индуцирована и усилена в условиях эксперимента. При Р. часто используются клеточные и молекулярные механизмы развития организма, но она не является буквально повторным развитием, т. к. осуществляется в условиях окружения формирующегося участка восстановления специализир. тканями взрослого организма.

Регенерация у животных и человека

Одноклеточные животные, напр. амёба, восстанавливают свою целостность многократно при условии сохранения ядра клетки. Среди многоклеточных макс. способностью к восстановлению даже из малых фрагментов организма или групп клеток обладают губки, гидры, иглокожие, а также черви. У высших животных Р. условно может быть разделена на физиологическую и репаративную. Первая направлена на восстановление обновляющихся клеток крови, кожи, некоторых эпителиев, вторая – на восстановление утраченного в результате травмы или нападений хищника. Осн. роль в процессах физиологич. Р. во взрослом организме играют тканевые [стволовые клетки](#), находящиеся под контролем со стороны окружения, т. н. ниш стволовых клеток. Близкими к физиологич. Р. являются гиперплазия и гипертрофия, направленные на увеличение объёма ткани при возросших на неё нагрузках. Рубцевание, присущее высшим позвоночным (в т. ч. человеку), необходимое для быстрого заживления ран и предотвращения инфицирования, также является способом Р. При этом механизмы физиологич. Р. и др. указанных типов регенерационных процессов различаются. Репаративная Р. происходит в случаях утраты хвоста и конечности, тканей глаза и сердца у амфибий, плавников, сердца и сетчатки глаза у рыб, кишечника и половых клеток у дрозофилы и т. д. Все эти и др. виды репаративной Р. используются при изучении клеточных и молекулярных механизмов процесса с применением совр. техники трансгеноза, секвенирования генома, методов полимеразной цепной реакции, биоинформатики, протеомного анализа и др.

У низших животных для восстановления бывает достаточно простого ремоделирования исходной ткани (морфоллаксис). У более сложно организованных животных в ответ на повреждение мобилизуются клеточные популяции, дающие начало клеткам-предшественникам, которые, в свою очередь, обеспечивают рост и формирование повреждённых или утерянных частей тела (эпиморфоз, эпиморфная Р.). В некоторых случаях клетки-предшественники для Р. образуются из дифференцированных клеток, в других – благодаря участию стволовых клеток. В первом случае клетки теряют морфологич. признаки исходной специализации и входят в пролиферативную фазу, во втором – используются мезенхимные стволовые клетки (участвуют в Р. мн. тканей),

т. н. клетки-сателлиты (при Р. мышц), стволовые клетки волосяного фолликула (обеспечивают рост волос), стволовые клетки сперматогенного эпителия и ряд др. У планарий и гидр стволовые клетки распределены по всему телу, что объясняет высокие способности этих животных к регенерации.

Р. утраченных целых органов наиболее совершенна у хвостатых земноводных. Она проходит 3 осн. этапа: формирование раневого эпителия, накопление клеток-предшественников (формирование бластемы) и формообразование вновь возникшего органа (ткани). Регулируется Р. на генетич. уровне, системой межклеточных коммуникаций и эпигенетич. механизмами при участии нервной и иммунной систем, гормонов и др. биологически активных молекул. Ключевыми биологич. процессами Р. являются клеточная пролиферация, миграция, интеграция клеток и их дифференцировка. Разные животные используют разные механизмы регенерации.

Регенерация у растений

У растений Р. может происходить на месте утраченной части тела (реституция); напр., поверхность ранения покрывается т. н. раневой перидермой, рана на стволе или ветке зарубцовывается наплывами (каллюсами) или на др. месте (напр., при отрезании верхушечного побега усиленно развиваются боковые, весной восстанавливаются листья вместо опавших осенью). Способность к восстановлению у растений обнаружена почти для всех органов: ствола, корня, листьев, цветков и др. Чаще под Р. у растений понимают восстановление лишь насильственно удалённых частей. В природе широко распространена Р. отрезками корня, корневища, слоевища, стеблевыми и листовыми черенками, изолированными клетками, отд. протопластами, а у некоторых водорослей – небольшими участками их многоядерной протоплазмы (симпласта).

Выделяют 3 способа Р. у растений: Р. ткани, утерянной при повреждении; образование ткани *de novo* (рост структуры, не существующей до повреждения); Р. целого растения из одной соматич. клетки. Последний способ Р. является осн. отличием от Р. у животных. При этом способе под действием фитогормонов (ауксин, цитокинин) образуются зоны роста – меристемы и формируются каллюсы, дающие начало целому растению, так же, как это происходит в эмбриогенезе. Общим для Р. у растений и животных является образование популяции клеток-предшественников (каллюс у растений и бластема у животных), формирующихся в месте повреждения, наличие у них стволовых клеток. Предполагается, что, в отличие от позвоночных животных, у растений присутствует всего один тип стволовых клеток, распределённых по системе сосудов растит. организма; доступность этих клеток для восстановления утерянных растением частей, возможно, является причиной их более высоких регенерационных способностей. Пока остаётся неясным, что служит сигналом, инициирующим Р., каковы природа клеток – источников Р., молекулярно-генетич. основа способности к Р., молекулярно-генетич. механизмы каждого из этапов процесса регенерации.

Литература

Лит.: Карлсон Б. М. Регенерация. М., 1986; Carlson B. M. Principles of regenerative biology. М., 2007; Бабаева А. Г. Регенерация: факты и перспективы. М., 2009; Stocum D. L. Regenerative biology and medicine. 2nd ed. L., 2012; Григорян Э. Н. и др. Исследование регенерации у амфибий в эпоху молекулярно-генетических подходов и методов // Генетика. 2013. Т. 49. № 1.