

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОРФОЛОГИЯ

А. Н. СТУДИТСКИЙ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫЛУЩЕННЫХ КОСТЕЙ У ПТИЦ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем 8 III 1948)

В биологической литературе прочно утвердилось представление о падении регенерационной способности в животном мире в ходе эволюции (1, 2, 4-6). Согласно этому представлению, ведущему начало от Пржибрама (8), низшие организмы располагают возможностями восстановления утраченных органов и частей тела, а у высших регенерационная способность по мере эволюционного усложнения организации постепенно ослабевает, ограничиваясь, в конце концов, заживлением ран.

Предлагаемая работа была предпринята с целью установить высоту регенерационной способности скелета одной из групп высших позвоночных — птиц в сравнении с аналогичным свойством низших позвоночных — хвостатых амфибий.

Рядом авторов (7, 9, 10) установлено, что при тотальном вылущении элементов скелета конечностей у хвостатых амфибий регенерации утраченных частей не происходит. Эти данные были подтверждены мной в опытах на плечевой кости аксолотля. У 8—10-месячных животных удалялась плечевая кость. Поврежденная конечность претерпевала значительное укорочение вследствие сокращения мышц, причем это изменение сохранялось вплоть до возобновления функции конечности, так как удаленная кость не восстанавливалась. Менее существенные повреждения — удаление проксимального или дистального концов или средней части плечевой кости — исправляются гистотипически; хрящевая ткань, компенсирующая утраченную часть, возникает за счет возбужденной надкостницы. Поскольку при тотальном вылущении кости сохранить на месте надкостницу из-за ее ничтожной толщины не удавалось, восстановления кости не происходило. Таким образом, регенерация целых скелетных частей у аксолотля не обеспечена достаточно развитым аппаратом камбиальных элементов.

Иные результаты удалось получить в опытах над курами. Птицам приписывается низкий уровень регенерационной способности (2). Однако, благодаря постоянному наличию в скелете камбиальных элементов, восстановление вылущенных костей оказывается возможным. Операции были произведены на петушках породы белый леггорн в возрасте 2 месяцев. Вылущению подвергалась плечевая кость. Надкостница трубчатых костей у птиц представлена хорошо развитой волокнистой оболочкой, одевающей костную ткань. Особенностью костных органов птиц является параллельно-волокнистое строение остеонов с очень слабым развитием шарпеевских волокон. Таким образом, надкостница связана с костью главным образом тончайшими волокнами внутреннего волокнистого слоя, вследствие чего она с большой легкостью отделяется от костного вещества. Благодаря такому устройству надкостницы, операцию удастся произвести таким образом, что после вылущения кости на месте остается камбиальная ткань, способная к восстановлению удаленного органа. Эта ткань представлена надкостницей по всей длине

удаленной кости и частично сочленовными хрящами. Трубчатые кости птиц, за исключением проксимального конца большеберцовой кости, лишены самостоятельно окостеневающих эпифизов. Концы костей одеты хрящевыми шапочками, внешняя поверхность которых несет сочленовную функцию, а внутренняя играет роль аппарата, обеспечивающего рост кости в длину. При вылущении кости проксимальный хрящ сохранился на месте, а дистальный удалялся вместе с костью (рис. 1).

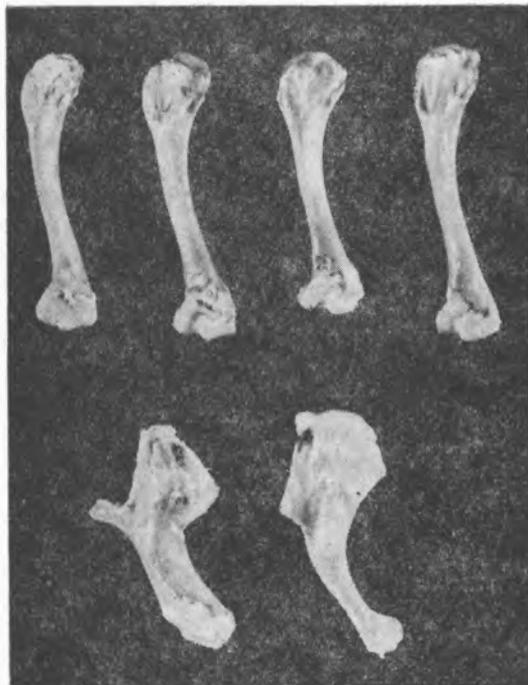


Рис. 1. Восстановление вылущенной плечевой кости у петушков. Верхний ряд — вылущенные кости. Нижний ряд — регенерировавшие кости через 40 дней после операции

Строение плечевой кости в момент операции отражает быстро идущий процесс образования воздушной полости. У кур, несмотря на утрату способности к летанию, в плечевых костях развиваются полости, в которые заходят воздушные мешки, связанные с дыхательной системой. Плечевые кости 2-месячных петушков обнаруживают разные стадии этого процесса. Одни еще полностью сохраняют в костномозговой полости костный мозг, другие проявляют первые признаки развития воздушной полости в проксимальной части, третьи обладают типичной дефинитивной структурой плечевых костей с большой воздушной полостью, укрепленной системой тонких поперечных балок. Отверстия, ведущие в полость, возникают на внутренней, обращенной в полость сустава поверхности плечевой кости и при операции оказываются удаленными. Таким образом, на оставшиеся части падает задача восстановить орган сложной структуры и функции, включающий не только костную, но и костномозговую ткань, а также полость для воздушного мешка. С этой задачей остеогенные элементы, оставшиеся на месте удаленной кости, справляются вполне успешно.

После операции поврежденное крыло отвисает, будучи лишено опоры для сгибателей плеча и предплечья. Но уже через неделю в прокси-

мальном отделе плеча, где сохраняется эпифизарный хрящ, через кожу прощупывается конусовидное утолщение — здесь идет быстрое развитие хрящевой ткани. При вскрытии через 10 дней после операции на месте удаленной кости обнаруживается хрящевое тело в проксимальной части, костный стержень в средней части и слабо развитое хрящевое образование в дистальном отделе, где эпифизарный хрящ оставить на месте операции не удавалось. На третьей неделе происходит дальнейшее укрепление новообразованного скелетного элемента, обуславливающее возможность активных движений крылом, а к концу месяца функция полностью восстанавливается: петушки совершают нормальные взмахи оперированным крылом. Восстановленные кости обнаруживают близкое к норме строение проксимальной части, развившейся на основе сохра-



Рис. 2. Рентгенограмма скелета плечевого пояса и крыльев оперированного петуха через 3 месяца после операции. Регенерировавшая плечевая кость — слева

нившегося эпифизарного хряща, и несколько уклоняющееся от нормы строение дистальной части, образовавшейся на месте удаленного эпифизарного хряща. Здесь развивается суставная поверхность, функционально приспособленная к условиям движения оперированной конечности, но по форме несколько отличная от нормы (рис. 1). При фиксации некоторые из новообразованных костей всплывают на поверхность фиксирующей жидкости, демонстрируя наличие воздушного мешка внутри костномозговой полости.

В течение последующих 3 месяцев наблюдения происходило дальнейшее развитие регенерата, включающее общий рост и дифференцировку структурных элементов. У 5-месячных петушков регенерат функционально замещает утраченный орган, приближаясь к контрольной, неоперированной кости как по размерам, так и по строению (рис. 2). Проксимальный отдел, развивающийся на основе сохранившегося эпифизарного хряща, по форме и структуре почти не отличается от контрольной конечности (рис. 3). На внутренней поверхности отчетливо выражено отверстие, ведущее в полость воздушного мешка. Дистальная часть, восстановленная за счет надкостницы, без участия эпифизарного хряща, обладает сложной конфигурацией суставной поверхности, определяемой контактом с лучевой и локтевой костями. Однако, несмотря на эти особенности, отличающие регенерировавшую кость от нормальной, плечо выполняет свою функцию. Задача восстановления утраченного органа оказывается функционально и морфологически разрешенной.

Оценивая результаты проведенных опытов, можно утверждать, что уровень регенерационной способности скелетной ткани у птиц по сравнению с хвостатыми амфибиями в данной постановке опыта не обнаруживает никакого ослабления в связи с усложнением и специализацией организма. Наоборот, выступает усиление регенерационной способности, обеспеченное дифференцировкой аппарата камбиальных элементов, который восстанавливает утраченную костную ткань. При этом реге-



Рис. 3. Контрольная неоперированная (слева) и регенерировавшая (справа) плечевая кость петуха через 3 месяца после операции. В обеих костях видны отверстия, ведущие в полости воздушных мешков

нерация не ограничивается гистотипическим процессом. Образуется целый орган — морфологически обособленная система, выполняющая определенную функцию. Она включает костную и хрящевую ткани и костный мозг. В ее структуре, обусловленной, очевидно, в значительной степени функциональным приспособлением, обнаруживаются признаки значительного сходства с утраченной частью, включая развитие полости воздушного мешка. Этот процесс, однако, не может быть характеризован и как органотипическая регенерация, так как в нем отсутствует образование регенерационной бластемы с ее последующей детерминацией. Это выражение формообразовательных свойств тканей — гистоморфогенез.

Институт эволюционной морфологии
Академии Наук СССР

Поступило
12 II 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Д. Лиознер, Регенерация, БМЭ, 28, 1934. ² Л. В. Полежаев, Усп. совр. биол., 24 (1947). ³ А. Н. Студитский, Журн. общ. биол., 8 (1947). ⁴ Ю. А. Филипченко, Экспер. зоология, 1932. ⁵ В. М. Шимкевич, Биол. основы зоологии, 2, 1923. ⁶ L. Bertalanffy, Modern Theories of Development, Oxford, 1933. ⁷ W. Böhmel, Arch. Entw.-Mech., 115 (1929). ⁸ H. Przibram, Experimentalzoologie, II, Regeneration, 1909. ⁹ P. Weiss, Arch. Entw.-Mech., 104 (1925). ¹⁰ H. Wendelstadt, Arch. mikr. Anat., 63 (1904).