

А. Н. СТУДИТСКИЙ

## РЕГЕНЕРАЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ МУСКУЛАТУРЫ У ПТИЦ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 30 XI 1948)

Двигательной мускулатуре высших позвоночных приписывается ограниченная регенерационная способность. С определенных стадий гистогенеза в развивающихся поперечно-полосатых мышечных волокнах отмечается исчезновение или значительное уменьшение митотических делений, вследствие чего дальнейшее увеличение числа ядер принято считать результатом амитозов. Для исследователей, стоящих на вейсманистских позициях в оценке роли ядра в процессах жизнедеятельности организмов, осуществление регенерации мышечных волокон с помощью таких «неполноценных» ядер представляется невозможным. Немногочисленные наблюдения по регенерации поперечно-полосатой мускулатуры у млекопитающих (1, 2, 4, 7, 8, 9) эти исследователи объясняют сохранением в мышечных волокнах отдельных «генеративных» или «камбиальных» ядер с полноценным набором хромосом (6).

На основании наблюдений над регенерацией мышц у амфибий у меня сложилось представление, что для восстановления поврежденной мускулатуры требуется наличие следующих условий: 1) поперечный разрез мышц, обеспечивающий образование регенерационных почек и развитие из них миобластов и миоимпластов; 2) наличие в области регенерации натяжения, определяющего направление роста регенерирующей ткани; 3) восстановление иннервации, обеспечивающей дифференцировку восстанавливающейся мышцы и 4) определенные взаимоотношения развивающихся мышечных и соединительнотканых элементов. Последнее условие имеет существенное значение. При регенерации мышц миобласты, равно как и возникающие из них мышечные трубочки, растут по линиям натяжения в сопровождении фибробластов, которые в дальнейшем образуют эндомизий, а также участвуют в развитии сарколеммы и сухожилий. Быстрое развитие рубцовой ткани, как правило, создает неблагоприятные условия для регенерации мышечных волокон. Медленное развитие соединительной ткани, наоборот, обеспечивает предпосылки для полного восстановления поврежденной мускулатуры. Таким образом, у амфибий, обладающих слабо развитой соединительной тканью (3), поврежденные мышцы легко восстанавливаются до первоначального состояния.

С эволюционной точки зрения (5), интенсивность восстановительных процессов в соединительной ткани следует, повидимому, рассматривать как приспособление к условиям заживления ран. К таким условиям принадлежит опасность заражения раны микробами. В ответ на это условие в организме млекопитающих повысилась активность соединительной ткани, выражающаяся в интенсивности воспалительной реакции, а также в скорости образования рубца, препятствующего проник-

новению микробов в глубь организма. В результате такого повышения активности соединительной ткани, повреждения мускулатуры у млекопитающих, как правило, замещаются не регенерирующими мышечными волокнами, а соединительнотканым рубцом.

В свете изложенных воззрений представляло существенный интерес поставить опыты по регенерации двигательной мускулатуры у птиц. Активность соединительной ткани в этой группе позвоночных не должна быть высокой, так как температура тела предохраняет птиц от заражения ран микробами. Соответственно этому, можно ожидать, что при восстановлении поврежденной мускулатуры у птиц рубцовая ткань не будет препятствовать регенерации мышечных волокон.

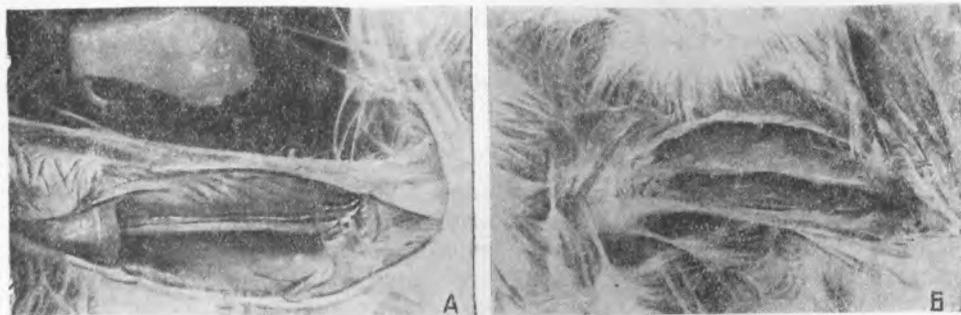


Рис. 1. Регенерация двуглавой мышцы плеча у месячного петушка: А — нанесенное повреждение, удаленная часть мышцы вверх; Б — через месяц после операции, полное замещение дефекта

Поставленные мной опыты по регенерации мускулатуры у птиц подтвердили приведенное рассуждение. Операция повреждения мускулатуры производилась на петушках породы белый леггорн в возрасте 1, 2 и 4 мес. На левом крыле производился разрез кожи вдоль двуглавой мышцы плеча. Обнаженная мышца отпрепаровывалась от окружающей соединительной ткани, и из внутренней части иссекался кусок длиной от 1 до 1½ см так, что залегающие внутри мышцы нерв и сосуды оставались неповрежденными (рис. 1, А, рис. 2, Б). Под опытом было 20 месячных, 10 двухмесячных и 10 четырехмесячных петушков. Вскрытия производились с 4 до 100 дней после операции. Большинство регенератов подверглось гистологическому анализу.

Результаты опытов. Как макроскопическое, так и микроскопическое обследование обнаруживают высокую регенерационную способность двигательной мускулатуры птиц. В опытах иссечению подвергается значительная часть мышцы. Однако оставшиеся проксимальный и дистальный концы справляются с задачей восстановления удаленной части. Особенно интенсивно регенерация происходит у месячных петушков. Уже через неделю после операции место повреждения оказывается затянутым грануляционной тканью, почти полностью моделирующей утраченную часть. Через месяц от повреждения не остается почти никаких следов (рис. 1, Б). У двухмесячных петушков происходит неполное замещение удаленной части (рис. 2, В, Г, Д). В одних случаях регенерирующие концы прирастают к оставшейся части мышцы, распластываясь на ее фасции веером новообразованного сухожилия (рис. 2, В). В других случаях происходит срастание регенерирующих концов, но восстановленная часть все же отличается от нормальной мышцы меньшей толщиной (рис. 2, Д). Наконец, у четырехмесячных петушков восстановление поврежденной мышцы завершается сращением регенерирующих концов лишь в отдельных случаях, в то время как в большинстве регенератов выросты регенерирующих концов мышцы

связываются волокнистым соединительнотканым тяжом. Однако я не исключаю возможности, что различие результатов в опытах на петушках разного возраста объясняется не ослаблением регенерационной способности мускулатуры в связи с возрастом, а условиями роста регени-

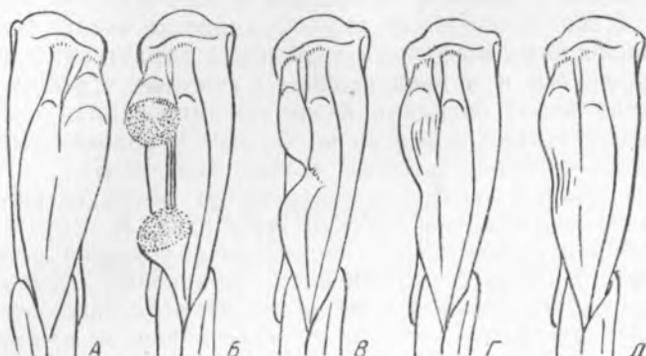


Рис. 2. Регенерация двуглавой мышцы плеча, поврежденной у двухмесячного петушка: А — контрольная мышца правого крыла, отпрепарированная на плечевой кости; Б — нанесенное повреждение на мышце левого крыла; В — Д — восстановление удаленной части (фиксировано через 100 дней после операции)

рующих мышечных волокон. Иссечение мышцы производилось вместе с фасцией, так что после наложения швов кожа непосредственно прилегала к месту повреждения, несомненно затрудняя регенерацию. Бо-

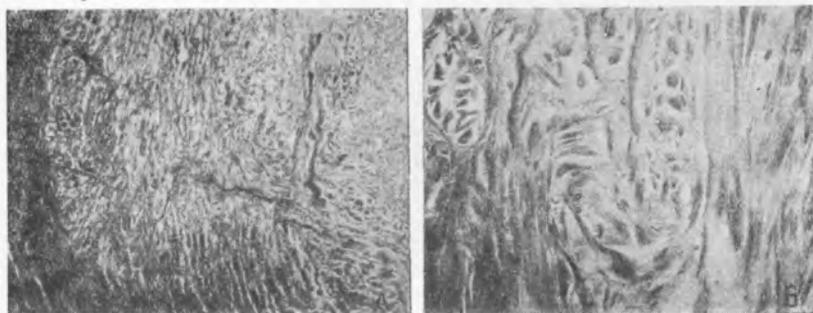


Рис. 3. Гистологическое строение регенерирующей мышцы месячного петушка: А — через неделю после операции, потоки миобластов и миосимпластов; Б — через месяц после операции, восстановленная мышечная ткань

лее грубая кожа петушков старшего возраста была препятствием для полной регенерации мышцы.

Гистологическое обследование. На микроскопических препаратах, изготовленных из продольных срезов через регенерирующую мышцу, обнаруживается подлинная регенерация мышечной ткани, завершающаяся развитием хорошо сформированных и активно функционирующих мионов. В течение первых 3—4 дней после операции место повреждения заполняется очень рыхлой соединительной тканью, врастающей вместе с немногочисленными сосудами в лимфу, выпотевающую в место повреждения. Одновременно происходит разрастание перерезанных мышечных волокон, начинающееся с образования типичных регенерационных почек, от которых в дальнейшем отщепляются мио-

бласти и миосимпласты. Многочисленны митозы и амитозы. К концу первой недели регенерации вся полость нанесенного дефекта оказывается заполненной потоками бесчисленных миобластов, двигающимися параллельными рядами между волокнами соединительной ткани, которые располагаются по линиям натяжения между концами перерезанной мышцы (рис. 3, А). Дальнейшая дифференцировка заключается в образовании из миобластов мышечных трубочек с характерным расположением ядер вдоль оси и в превращении мышечных трубочек в мионы. К концу месяца после операции вновь сформированная часть мышцы имеет типичное строение и только по богатству волокнистыми элементами отличается от неповрежденных концов (рис. 3, Б).

Материалы данных опытов устанавливают высокую регенерационную способность двигательной мускулатуры птиц. В свете наших данных оказывается несостоятельной концепция ослабления регенерационной способности в связи с усложнением организации животных <sup>(10)</sup>. Восстановительные свойства тканей исторически развиваются под непосредственным влиянием условий существования и в каждом конкретном случае реализуются в зависимости от взаимодействия тканевых элементов в ходе регенерации. Переход от митотических делений ядер к амитотическим, происходящий в процессе гистогенеза поперечно-полосатой мускулатуры, не влияет, вопреки вейсманистской концепции, на высоту регенерационной способности поперечно-полосатой мускулатуры.

Институт эволюционной морфологии  
им. А. Н. Северцова  
Академии наук СССР

Поступило  
30 XI 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. Н. Жинкин, ДАН, 48, №№ 7, 9 (1945). <sup>2</sup> Л. Н. Жинкин, ДАН, 63, №№ 1, 2 (1948). <sup>3</sup> А. А. Заварзин. Очерки эвол. гист. крови и соед. ткани, в. 1, 1945. <sup>4</sup> В. П. Казанцев, ДАН, 1 (1935). <sup>5</sup> А. Н. Студитский. Современ. проблемы регенерации. 1948. <sup>6</sup> Н. Г. Хлопин, Общебиол. и эксп. основы гистологии, 1946. <sup>7</sup> E. Bundschuh, Ziegl. Beitr., 71 (1923). <sup>8</sup> W. E. Clark, J. Anat., 80 (1946). <sup>9</sup> E. Hines, Am. J. Physiol., 137 (1942). <sup>10</sup> H. Przibram, Experimentalzoologie, II, Regeneration, 1909.