

А. Р. СТРИГАНОВА

О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ РЕГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МЫШЦЫ

(Представлено академиком А. И. Опариным 18 IX 1951)

Рядом работ установлена хорошо выраженная регенерационная способность скелетной мускулатуры высших позвоночных (1-3).

Для понимания условий развития восстановительных процессов в скелетной мускулатуре нам представлялось важным выяснить вопрос о функциональном состоянии поврежденной мышцы в процессе ее восстановления. Задачей данной работы и явилось изучение сократительной функции поврежденной мышцы на различных стадиях развития восстановительного процесса в ней. Исследование проведено на взрослых белых крысах. Сократительная способность мышцы регистрировалась путем миографической записи сокращений мышцы в ответ на раздражение — прямое или с нерва. Опыты проведены с икроножной мышцей на целом животном при условии сохранения кровообращения (4-6) по методике, принятой в лаборатории Х. С. Коштоянца.

Для раздражения пользовались индукционной катушкой (5000 витков во вторичной спирали). Источником тока служил 2-вольтовый аккумулятор, прерывателем тока — метроном с ртутным контактом. В качестве наркоза применялся люминаль (подкожно). Предварительно проведенные опыты с раздражением нормальных мышц показали, что при точном соблюдении одинаковых условий раздражения, нагрузки, состояния животного миографическая запись сокращений правой и левой мышц одного животного дает одинаковые кривые. Изображенные на рис. 1 кривые средних величин высоты сокращений правой и левой мышц при раздражении с нерва показывают почти полное совпадение. Порог раздражения нормальных мышц колебался в пределах 30—40 см расстояния между катушками (Р. К.) и в среднем для правой и левой мышц равен 35—36 см.

Эти результаты позволили нам перейти к опытам по изучению сократительной функции поврежденной мышцы при сравнении ее с одноименной нормальной мышцей противоположной стороны того же животного.

Опыты с раздражением поврежденной мышцы проведены на 30 крысах. Повреждение на мышцу наносилось путем иссечения сектора, проходящего почти через всю толщу медиальной головки и частично рассекающего латеральную головку посредине мышцы. Через различные промежутки времени после повреждения проводились опыты с раздражением поврежденной и контрольной мышц одного животного.

Запись сокращений производилась при максимальном раздражении с частотой 80—100 ударов в минуту. Вначале определялся порог раздражения исследуемой мышцы. Во избежание травмы поврежденной

области во всех опытах с непрямым раздражением сначала давалась небольшая нагрузка (25—50 г в зависимости от срока после повреждения и веса крысы), а затем по мере возможности она увеличивалась. В опытах с прямым раздражением запись сокращений производилась при оптимальной нагрузке для поврежденной мышцы. Точно такие же условия нагрузки соблюдались и при раздражении контрольной мышцы того же животного.

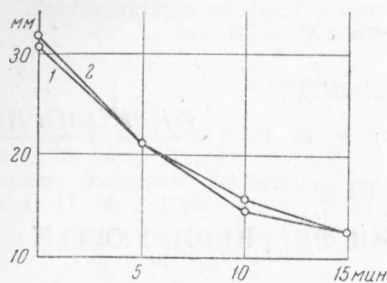


Рис. 1. Кривые средних величин высоты сокращений правой и левой нормальных мышц при раздражении с нерва в течение 15 мин. По вертикали отложена высота сокращений в мм, по горизонтали — время от начала раздражения в минутах

по морфологическим данным в очаге повреждения мышцы крыс преобладают процессы распада и расщепления мышечных волокон⁽³⁾, возбудимость мышцы возрастает (табл. 1, II), порог раздражения поврежденной мышцы на 3—5-й день колеблется в пределах 38—54 см Р. К., к 7-му дню он снова повышает. Сократительная способность мышцы в этот период резко ослабляется, утомление наступает гораздо быстрее по сравнению с контролем (см. рис. 2).

При прямом раздражении мышц в этот период отчетливо наблюдалось, как сократительная функция поврежденной мышцы постепенно ослабляется. В опытах через сутки после повреждения уменьшение уровня сокращения поврежденной мышцы, по сравнению с контрольной того же животного, еще невелико, через 3 дня оно выступает более отчетливо, а на 5-й день еще более резко. При прямом раздражении отдельных участков поврежденной мышцы на 5-й день оказалось, что ее проксимальный конец до области повреждения сокращается в ответ на раздражение, дистальный же конец ниже места повреждения совсем не отвечает на раздражение.

На следующей стадии восстановления (10—15-й день), когда начинают преобладать процессы формирования вновь образующихся мышечных волокон⁽³⁾, функциональное состояние поврежденной мышцы характеризуется в основном теми же особенностями, что и на предыдущей стадии, но различия между поврежденной и контрольной мышцами выражены уже слабее, они постепенно как бы стираются (табл. 1, III). Важно отметить, что в этот период, начиная с 10—12-го дня, дистальный конец поврежденной мышцы в отличие от предыдущей стадии уже дает ответ на раздражение, правда, пока слабым сокращением.

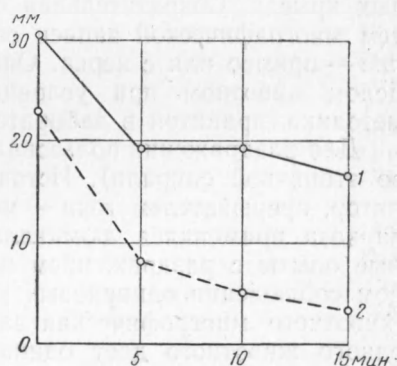


Рис. 2. Кривые средних величин высоты сокращений контрольной (1) и поврежденной (2) мышц при раздражении с нерва через 2—7 суток после повреждения мышцы

Серия опытов, проведенная через 1—1½ мес. после повреждения, в период, когда восстановительный процесс в мышце взрослых крыс в основном уже заканчивается (2, 3), свидетельствует о том, что сократительная функция поврежденной мышцы в этот период почти не отличается от контрольной. Как показывает табл. 1, IV, порог раздражения подопытной мышцы несколько выше контроля, но разница между ними невелика; средние величины близки. При прямом раздражении пороги возбудимости подопытной и контрольной мышц определяются в среднем одинаковыми величинами. Таким образом, степень возбудимости поврежденной мышцы в этот период колеблется в пределах возбудимости нормальной неповрежденной мышцы. Сократительная способность как при раздражении с нерва, так и прямом проявляется с такой же интенсивностью, как и у контрольной мышцы (табл. 1, IV).

Приведенные на рис. 3 кривые средних величин высоты сокращений подопытной и контрольной мышц во всех точках почти совпадают, как и на рис. 1 (в норме). Однако сила восстановленной мышцы в этот период еще уступает контрольной: оптимальная нагрузка, которую в этот период восстановления мышца поднимает с максимальным размахом сокращения, как правило, еще меньше, чем у контрольной. Но позднее (через 3—4 мес. после повреждения) восстанавливается и сила поврежденной мыш-

Таблица 1

	На какой день поврежд.	Число опытов	Поврежденная мышца				Контрольная мышца				Нагрузка * в г		
			Порог раздр. в см Р. К.	Высота сокращений в мм		Порог раздр. в см Р. К.	Высота сокращений в мм						
				сначала	через 5 мин. 10 мин. 15 мин.		сначала	через 5 мин. 10 мин. 15 мин.					
При раздражении нерва													
I	Сразу после поврежд.	3	27	38	18	13	12	33	34	21	15	15	100
II	2-7	7	37	23	8	5	3	31	31	19	19	16	
III	10-15	5	30	27	12	8	6	32	36	20	17	14	
IV	33-44	5	30	40	19	16	12	33	38	16	12	8	
При прямом раздражении													
II	2-7	6	15	37	7	6	6	17	44	16	15	14	75-100 100-150
IV	33-44	6	17	36	10	10	8	17	38	11	11	7	

* Нагрузка колебалась в пределах указанных цифр в зависимости от веса животного и срока после повреждения, но во всех опытах контрольная мышца раздражалась при тех же условиях нагрузки, что и поврежденная того же животного.

цы, которая не отличается от нормальной мышцы противоположной стороны того же животного.

Таким образом, изложенные в настоящей работе данные показывают, что скелетная мышца в течение первых часов после повреждения реагирует на раздражение с такой же интенсивностью сокращения, как и нормальная мышца противоположной стороны того же животного. И только спустя 1—2 суток начинается постепенное уменьшение сократительной способности поврежденной мышцы, достигающей наибольшего ослабления между 3-м и 7-м днем после повреждения. Это свидетельствует о том, что ослабление работоспособности поврежденной мышцы не является просто результатом выключения из работы перерезанных мышечных пучков вследствие нарушения их механической связи с сухожилием, а развивается постепенно — по мере изменения физиологического состояния мышцы в целом как реакции на повреждение.

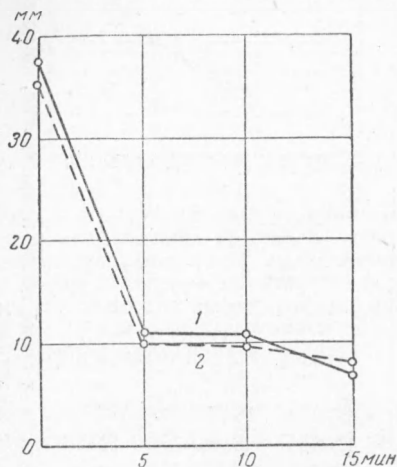


Рис. 3. Кривые средних величин высоты сокращений контрольной (1) и поврежденной (2) мышц при прямом раздражении через 1—1½ мес. после нанесения повреждения

В работе (3) было показано, что поврежденные мышечные волокна подвергаются последовательным морфологическим изменениям не только в области повреждения, но и по всей длине их, вплоть до связи с сухожилием. Позднее аналогичные изменения обнаруживаются и в неповрежденных волокнах данной мышцы. На основании этого был сделан вывод, что наступающие после повреждения морфологические изменения в мышце представляют собой специфическую реакцию, характеризующую возбужденное состояние мышцы, вызванное нанесенным повреждением.

Полученные нами в настоящей работе данные подтверждают этот вывод. Несомненно, что обнаруженные нами последовательные изменения физиологического состояния поврежденной мышцы, возникая вначале как ответная реакция на повреждение, затем становятся необходимым условием развития восстановительного процесса, обеспечивающим исходный материал для восстановления поврежденной области.

И, наконец, полученные результаты ясно показывают, что с восстановлением поврежденного участка мышцы полностью восстанавливается и функция ее.

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

Поступило
27 VI 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Студитский, ДАН, 64, № 3 (1949). ² З. П. Игнатьева, ДАН, 75, № 4 (1950). ³ А. Н. Студитский и А. Р. Стриганова, Восстановительные процессы в скелетной мускулатуре, изд. АН СССР, 1951. ⁴ А. Г. Гинецинский, Н. П. Нехорошев и М. Б. Тетяева, Русск. физиол. журн., 10, в. 6 (1927). ⁵ Д. Гедевани, Физиол. журн. СССР, 16, № 3 (1933). ⁶ Е. П. Закаря, там же, 16, № 4 (1933).