

С. Н. АЛЕКСАНДРОВ

## СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ В МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКНАХ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА

(Представлено академиком Л. А. Орбели 28 VIII 1948)

Д. Н. Насоновым и его сотрудниками было обнаружено, что иррадиация повреждения в элементах соматической мускулатуры позвоночных (ценкеровский некроз) имеет ряд черт, сходных с распространением волн возбуждения. Так, согласно М. Н. Раевской<sup>(1)</sup>, ценкеровский некроз, подобно волне возбуждения, распространяется в обоих направлениях от места первичного возникновения и никогда не передается на соседние волокна. Далее, Д. Н. Насонов и Д. С. Розенталь<sup>(2)</sup> показали, что движущей силой иррадиации повреждения, так же как и волны возбуждения, является биоэлектрический потенциал.

Настоящая работа представляет попытку продолжить эти сопоставления; ее задача — выяснить, зависит ли скорость распространения повреждения от диаметра мышечных волокон (как известно, скорость распространения возбуждения в элементах проводящей системы находится в прямой линейной зависимости от диаметра проводника<sup>(3,4)</sup>).

Работая долгое время с портняжными мышцами взрослых лягушек (*Rana temporaria*), мы обнаружили, что волокна, расположенные на анатомически наружной поверхности этих мышц, в среднем в 1,4 раза тоньше волокон, расположенных на внутренней поверхности ( $\frac{\text{Diff}}{m \text{ diff}} = 7,88$ ). Найдя столь удобный объект для решения поставленной задачи, мы провели сравнение скорости распространения ценкеровского некроза в элементах наружной и внутренней поверхности этих мышц.

Опыт начинался измерением с помощью окуляр-микрометра толщины каждого из поверхностно расположенных волокон на обеих сторонах мышцы в средней ее части. После этого разрезом, проведенным острой бритвой в средней же части, вызывалось развитие ценкеровского некроза. От опыта к опыту чередовалась сторона мышцы, обращенная во время разреза к поверхности предметного стекла. После разреза и до конца опыта мышцы находились в рингеровской жидкости. Измерение зон распада производилось в каждом поверхностно-расположенном волокне и занимало при участии помощника не более 10 мин. В течение этого времени мышца находилась на предметном стекле без рингеровской жидкости, и у нас не было основания опасаться дальнейшей иррадиации повреждения<sup>(1,5)</sup>. Первым учитывался распад в волокнах той стороны, которая во время разреза была верхней (соответствующие цифры в таблицах отмечены звездочкой).

Результаты, полученные в этих опытах, представлены в табл. 1. Отношение средней толщины волокон внутренней поверхности к

средней толщине волокон наружной (В/Н) равно 1,5—1,53. Оказалось, что и отношение средней арифметической зон распада в волокнах внутренней поверхности к средней арифметической зон распада в элементах наружной (ЗРВ/ЗРН) также больше единицы (в опытах 1-часовой продолжительности 1,35, в опытах 3-часовой продолжительности 1,64).

Таким образом, из этих опытов вытекает, что скорость распространения повреждения больше на той поверхности портняжных мышц, где диаметр мышечных волокон в среднем больше.

Таблица 1

Средняя толщина волокон и распространение повреждения на наружной и внутренней стороне портняжных мышц взрослых лягушек (размеры тела 16—22 см)

№ опыта	Сторона мышцы	Средняя толщина волокон в мм	$\frac{В}{Н}$	Средняя величина зоны распада в мм	$\frac{ЗРВ}{ЗРН}$	Продолжительность распада в час.
1	Наружная . . . . .	0,068	1,6	0,260*	1,51	1
	Внутрен. . . . .	0,111		0,392		
2	Наружная . . . . .	0,063	1,4	0,250	1,24	1
	Внутрен. . . . .	0,095		0,310*		
3	Наружная . . . . .	0,066	1,3	0,280*	1,20	1
	Внутрен. . . . .	0,084		0,336		
4	Наружная . . . . .	0,073	1,5	0,273	1,40	1
	Внутрен. . . . .	0,109		0,332*		
5	Наружная . . . . .	0,051	1,7	0,30*	1,37	1
	Внутрен. . . . .	0,103		0,41		
	Среднее . . . . .		1,5		1,35	
6	Наружная . . . . .	0,0604	1,6	0,496	1,49	3
	Внутрен. . . . .	0,096		0,74 *		
7	Наружн. . . . .	0,075	1,5	0,51 *	1,92	3
	Внутрен. . . . .	0,111		0,979		
8	Наружная . . . . .	0,064	1,5	0,546*	1,52	3
	Внутрен. . . . .	0,097		0,830		
	Среднее . . . . .		1,53		1,64	

Однако эти опыты не казались нам сами по себе достаточно убедительными. Можно было предполагать, что волокна наружной и внутренней поверхности, помимо различий в толщине, обладают рядом других отличительных свойств, которые могли самостоятельно определить полученные результаты. Поэтому необходимо было выяснить, существует ли такая же зависимость и для волокон различного диаметра одной и той же стороны мышц.

Опыты ставились на кожно-грудных мышцах. Благодаря своей тонкости эта мышца значительно удобнее для работы, чем портняжная. Наблюдения велись над волокнами анатомически наружной стороны мышцы. Толщина волокон определялась одновременно с измерением зон распада в них и проводилась в пределах неизменной

части мышечных элементов (на расстоянии 0,2 мм от некротизированного участка). Измерения продолжались около 30 мин. для каждой мышцы. Для того чтобы избежать распространения повреждения за это время, мы выдерживали мышцы по окончании опыта 10 мин. в рингеровской жидкости, лишенной хлористого кальция, после чего переносили их на поверхность предметного стекла. Таким образом, во время регистрации результатов мышцы находились вне жидкости, концентрация ионов кальция в их межклеточных промежутках была резко снижена; оба эти условия предотвращали дальнейшее распространение ценкеровского некроза (1,5). Всего было проведено 14 опытов. В 5 из них измерения проводились через 1 час после нанесения разрезав, в 7—через 2 часа, в 1—через 2 часа 30 мин. и в 1—через 3 часа.

Результаты, полученные в этих опытах, приведены на рис. 1. Представленные кривые показывают, что, как и в опытах на портняжных мышцах, скорость распространения повреждения возрастает здесь по мере увеличения диаметра мышечных волокон. Зависимость между скоростью распада и диаметром волокна носит линейный характер, и, следовательно, скорость иррадиации повреждения возрастает в связи с увеличением поверхности, а не площади поперечного сечения волокна. Коэффициент этой зависимости возрастает по мере увеличения времени распада.

Аналогичные результаты были нами получены в 10 опытах на изолированных мышечных волокнах *m. adductor longus*. В каждом опыте наблюдения велись над двумя, как правило, резко различающимися по своей толщине волокнами, выделенными из одной и той же мышцы (табл. 2).

Теперь нам предстояло выяснить, как сложатся соотношения скоростей распространения ценкеровского некроза на наружной и внутренней поверхности портняжных мышц при одинаковой средней толщине их волокон.

Швальбе, Майеда (6,7) и др. показали, что мышечные волокна новорожденных позвоночных и на ранних стадиях постэмбрионального развития очень однородны по своей толщине. На основании этих исследований мы предполагали, что средняя толщина волокон на наружной и внутренней стороне портняжных мышц сегментов должна быть примерно одинаковой.

Полученные результаты приведены в табл. 3. Они свидетельствуют об отсутствии различий в средней толщине волокон на наружной и внутренней стороне портняжных мышц сегментов. В соответствии с этим и средние арифметические зон распада (ЗРН и ЗРВ) практически не обнаруживают различий.

Итак, скорость распространения повреждения находится в прямой зависимости от диаметра (поверхности) мышечных волокон. Зависи-

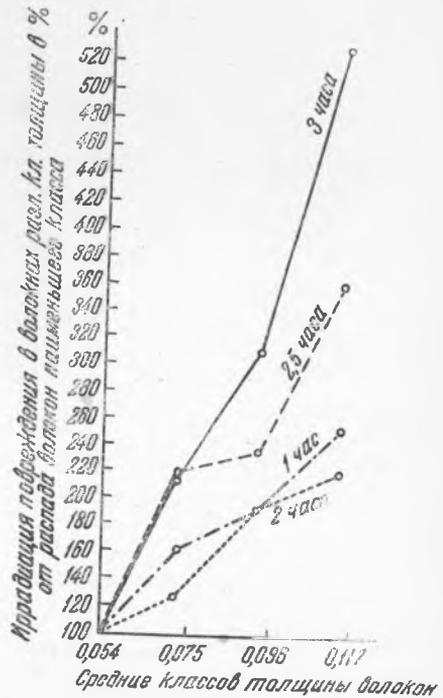


Рис. 1. Зависимость скорости иррадиации повреждения от толщины мышечных волокон в опытах разной продолжительности

Таблица 2

Скорость распространения повреждения и средняя толщина волокон на наружной и внутренней стороне портняжных мышц сеголетки (размеры тела 5—7 см)

№ опыта	Сторона мышцы	Число сосчитан. волокон	Средн. толщина волокон в мм	$\frac{V}{H}$	Величина зоны распада в мм	$\frac{ЗРВ}{ЗРН}$	Время от разреза до начала регенерации в час.
1	Наружная . . . . .	64	0,031	0,97	0,145	1,01	1
	Внутрен. . . . .	51	0,030		0,146*		
2	Наружная . . . . .	58	0,032	0,97	0,146*	1,01	1
	Внутрен. . . . .	46	0,031		0,148		
3	Наружная . . . . .	65	0,032	1,03	0,124	1,13	1
	Внутрен. . . . .	55	0,033		0,140*		
4	Наружная . . . . .	55	0,033	1,01	0,136*	0,94	1
	Внутрен. . . . .	48	0,0335		0,128		
5	Наружная . . . . .	68	0,032	1,00	0,127	0,96	1
	Внутрен. . . . .	56	0,032		0,122*		
6	Наружная . . . . .	61	0,031	1,03	0,118*	1,05	1
	Внутрен. . . . .	46	0,032		0,124		
7	Наружная . . . . .	63	0,033	0,94	0,134	0,97	1
	Внутрен. . . . .	50	0,031		0,130*		
8	Наружная . . . . .	70	0,032	0,97	0,140*	1,04	1
	Внутрен. . . . .	58	0,031		0,145		

\* Распад на данной поверхности учитывался в первую очередь.

Таблица 3

Иррадиация повреждения в изолированных мышечных волокнах в зависимости от их толщины (в мм, протокол трех опытов)

Продолжительность в мин.	Опыт I		Опыт II		Опыт III	
	Толщина волокон в мм					
	0,042	0,120	0,050	0,117	0,084	0,125
10	0,146	0,271	0,104	0,208	0,229	0,292
20	0,217	0,542	—	—	0,292	0,396
30	0,237	0,604	0,125	0,375	0,375	0,500
40	0,242	0,667	0,167	0,437	0,396	0,534
50	0,260	0,750	0,188	0,500	0,417	0,563
60	0,260	0,834	0,188	0,521	0,480	0,646

мость эта носит статистический характер, и коэффициент ее возрастает по мере увеличения времени распада.

Поступило  
26 VIII 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> М. Н. Раевская, Возникновение и распространение повреждений в поперечно-полосатых мышцах лягушки, Диссертация, 1941. <sup>2</sup> Д. Н. Насонов и Д. С. Розенталь, Журн. общ. биол., 8, 281 (1947). <sup>3</sup> J. Erlanger and G. Gasser, Electrical Signs of Nervous Activity, London, 1937. <sup>4</sup> G. Gasser and J. Erlanger, Am. J. Physiol., 80, 522 (1927). <sup>5</sup> Д. С. Розенталь, О причинах распространения повреждения в поперечно-полосатой мускулатуре, Диссертация, 1941. <sup>6</sup> G. Schwalbe u. R. Mayeda, Z. Biol., 27, 482 (1890). <sup>7</sup> R. Mayeda, Über die Kaliberverhältnisse der quergestreiften Muskelfasern, Dissert., Strassburg, 1890.