

УДК 619.12:616-073.9654

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ И ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ У СОБАК В РАННИЕ СРОКИ ПОСЛЕ ТОРАКОТОМИИ И РАНЕНИЯ СЕРДЦА

© Г.А. Захаров

*Ключевые слова:* торакотомия; ранение сердца; электролиты; электрокардиограмма; эксперимент.  
Рассмотрено влияние торакотомии и непроникающего ранения сердца на содержание электролитов и ЭКГ у собак.  
Установлена однонаправленность сдвигов, более выраженных при ранении сердца.

Нарушение водно-электролитного обмена приводит к патологическим сдвигам в различных системах организма. Известно, что электролитное равновесие имеет огромное значение для процессов сокращения и возбуждения сердечной мышцы. Так, при повышении концентрации ионов натрия во внеклеточной жидкости ускоряется процесс деполяризации и незначительно замедляется – реполяризации, а при его понижении, наоборот, замедляется деполяризация и незначительно ускоряется реполяризация. Повышение концентрации ионов калия замедляет деполяризацию и начальную фазу реполяризации. Снижение калия – ускоряет начало деполяризации и удлиняет фазу реполяризации. А т. к. фазы сердечной деятельности отражаются на электрокардиограмме: QRS совпадает во времени с фазой деполяризации и быстрой реполяризации, сегмент S–T – с фазой медленной реполяризации, волна T и U – с конечной фазой реполяризации, то изменение уровня электролитов должно отразиться на электрокардиограмме.

Содержание электролитов меняется при заболеваниях сердечно-сосудистой системы [1], при применении гормональных препаратов [2–3], при адаптации к гипоксии [4–5] и различных экстремальных воздействиях [6].

В доступной нам литературе мы не встретили работ, касающихся изменений электролитного обмена и электрокардиографических показателей в ранние сроки после хирургических вмешательств на грудной клетке и сердце. В связи с этим настоящее исследование посвящено изучению содержания натрия и калия в плазме и эритроцитах крови, миокарде левого желудочка, скелетной мышце, печени и почке и изменению электрокардиограммы при торакотомии и ранении сердца в эксперименте на собаках.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опыты проведены на двух группах животных – первая (8 собак) с торакотомией, вторая (8 собак) с торакотомией и резаной (непроникающей) раной левого желудочка сердца, с последующим ушиванием. Концентрацию электролитов в крови определяли методом пламенной фотометрии [1] до начала опытов (исходные данные) и через 1, 3, 6, 24, 48 и 72 часа после операции, электролиты в органах и тканях [7] исследо-

вали через 72 часа после оперативного вмешательства. Запись электрокардиограммы в трех стандартных отведениях производили в те же сроки, что и исследования электролитов крови, с помощью игольчатых электродов. Полученные данные обработаны методом вариационной статистики. Вычисляли среднее значение ( $M$ ), ошибку средней величины ( $m$ ). Разницу средних величин оценивали по критерию Стьюдента и вероятности  $P$ , которую признавали статистически значимой при  $P < 0,05$ .

Опыты проводились в соответствии с Европейской конвенцией о защите животных, используемых в экспериментальных целях (директива 86/609 ЕЕС).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У здоровых собак, содержащихся в течение 2-х недель на диете с нормальным количеством соли, концентрация натрия в плазме составляла  $152 \pm 2,3$  и в эритроцитах  $104 \pm 1,6$  ммоль/л, калия в плазме –  $4,0 \pm 0,2$  и в эритроцитах –  $5,3 \pm 0,2$  ммоль/л (табл. 1, 2). Уровень натрия в миокарде левого желудочка был равен  $18 \pm 1,0$ , в скелетной мышце –  $18 \pm 2,7$ , почке –  $49 \pm 4,6$  и печени –  $22 \pm 1,3$  ммоль/100 г сухой ткани. Содержание калия в миокарде левого желудочка составляло  $29 \pm 1,0$ , скелетной мышце –  $32 \pm 1,7$ , почке  $24 \pm 1,6$  и печени  $19 \pm 1,5$  ммоль/100 г сухой ткани (табл. 3).

Изучение электролитов крови после торакотомии (табл. 1) показало, что содержание натрия в плазме имело тенденцию к увеличению через 24–48 часов после операции, когда его концентрация возросла до  $158 \pm 2,1$  и  $157 \pm 0,8$  ммоль/л. Уровень натрия в эритроцитах был несколько выше исходного через 6 и 48 часов наблюдения. Через 72 часа содержание натрия как в плазме, так и в эритроцитах возвращалось к исходному уровню. Концентрация калия в плазме и в эритроцитах существенно не изменялась.

В группе животных с ранением сердца (табл. 2) изменения были более значительными. Так, уже через час после ранения сердца наблюдалось увеличение натрия в плазме до  $164 \pm 3,1$  ммоль/л против исходного  $152 \pm 2,3$  ( $P < 0,05$ ), и это повышение сохранялось до конца наблюдения. Уровень натрия в эритроцитах увеличился начиная с 6-ти до 72 часов, достигая  $117 \pm 4,8$  ммоль/л. Содержание калия имело некоторую тенденцию к снижению в эритроцитах лишь через 1 час после операции

Таблица 1

Изменение содержания электролитов (ммоль/л) в крови при торакотомии ( $M + m$ )

Электролиты		Сроки наблюдения (часы)						
		Исх.	1	3	6	24	48	72
Натрий	Плазма	152 ± 2,3 <i>P</i>	156 ± 4,6 < 0,5	155 ± 3,3 < 0,5	153 ± 3,6 < 0,5	158 ± 2,1 < 0,1	157 ± 0,8 < 0,1	152 ± 3,0 > 0,5
	Эритроциты	104 ± 1,6 <i>P</i>	106 ± 2,6 < 0,5	104 ± 1,9 > 0,5	111 ± 2,6 < 0,05	109 ± 4,7 < 0,5	111 ± 2,2 < 0,05	104 ± 2,5 > 0,5
Калий	Плазма	4,0 ± 0,2 <i>P</i>	4,1 ± 0,2 > 0,5	4,2 ± 0,2 > 0,5	4,0 ± 0,1 > 0,5	4,5 ± 0,3 > 0,5	3,8 ± 0,1 > 0,5	4,0 ± 0,2 > 0,5
	Эритроциты	5,3 ± 0,2 <i>P</i>	5,3 ± 0,3 > 0,5	5,4 ± 0,4 > 0,5	5,4 ± 0,2 > 0,5	6,1 ± 0,3 < 0,2	5,6 ± 0,4 > 0,5	5,3 ± 0,3 > 0,5

Таблица 2

Изменение содержания электролитов (ммоль/л) в крови при ранении сердца ( $M + m$ )

Электролиты		Сроки наблюдения (часы)						
		Исх.	1	3	6	24	48	72
Натрий	Плазма	152 ± 2,3 <i>P</i>	164 ± 3,1 < 0,05	166 ± 4,7 < 0,02	161 ± 2,0 < 0,01	168 ± 2 < 0,001	159 ± 0,7 < 0,05	158 ± 1,0 < 0,05
	Эритроциты	104 ± 1,6 <i>P</i>	110 ± 2,9 < 0,1	117 ± 3,4 < 0,02	116 ± 3,0 < 0,02	114 ± 3,6 < 0,05	117 ± 4,3 < 0,02	117 ± 4,8 < 0,02
Калий	Плазма	4,0 ± 0,2 <i>P</i>	3,9 ± 0,2 > 0,5	4,1 ± 0,3 > 0,5	3,9 ± 0,2 > 0,5	4,1 ± 0,3 > 0,5	4,0 ± 0,2 > 0,5	4,7 ± 0,3 > 0,2
	Эритроциты	5,3 ± 0,2 <i>P</i>	4,8 ± 0,1 < 0,1	5,1 ± 0,4 > 0,5	5,4 ± 0,2 > 0,5	5,4 ± 0,3 > 0,5	5,5 ± 0,4 > 0,5	5,1 ± 0,4 > 0,5

Таблица 3

Изменение содержания электролитов (ммоль/100 г сухой ткани) в тканях при торакотомии и ранении сердца ( $M + m$ )

№ п/п	Органы и ткани	Натрий			Калий		
		Торакотомия		Рана сердца	Торакотомия		Рана сердца
		Исх.	72 ч.	72 ч.	Исх.	72 ч.	72 ч.
1	Сердце (здоровый участок)	18 ± 1,0 <i>P</i>	17,5 ± 2,3 > 0,5	24,1 ± 2,6 < 0,1	29 ± 1,0	37 ± 2,8 < 0,05	34 ± 1,7 < 0,1
2	Сердце с раной	<i>P</i>	–	32 ± 2,3 < 0,001	–	–	25 ± 2,1 < 0,5
3	Скелетная мышца	18 ± 2,7 <i>P</i>	7,1 ± 1,2 < 0,001	7,1 ± 0,4 < 0,01	32 ± 1,7	33 ± 4,1 > 0,5	36 ± 0,8 < 0,2
4	Почка	49 ± 2,6 <i>P</i>	53 ± 4,5 > 0,5	44 ± 5,7 > 0,5	24 ± 1,6	25 ± 2,4 > 0,5	30 ± 1,4 < 0,05
5	Печень	22 ± 1,3 <i>P</i>	16 ± 1,3 < 0,05	10,3 ± 3,1 < 0,01	19 ± 1,5	38 ± 0,9 < 0,001	26 ± 1,2 < 0,01

( $P < 0,1$ ). В остальные сроки уровень калия как в плазме, так и в эритроцитах существенно не отличался от исходного.

Исследование концентрации электролитов в органах и тканях (табл. 3) выявило, что при торакотомии наблюдалось уменьшение натрия в скелетной мышце ( $7,1 \pm 1,2$  ммоль/100 г сухой ткани,  $P < 0,001$ ) и печени ( $16 \pm 1,3$ ,  $P < 0,05$ ) и увеличение калия в миокарде левого желудочка ( $37 \pm 2,8$ ,  $P < 0,05$ ) и печени ( $38 \pm 0,9$  ммоль/100 г сухой ткани,  $P < 0,001$ ). Через 72 часа после ранения сердечной мышцы в интактной зоне левого желудочка миокарда содержание натрия и калия имело тенденцию к увеличению ( $P < 0,1$ ). В зоне ранения

сердца отмечалось увеличение натрия до  $32 \pm 2,3$  ммоль, против исходного  $18 \pm 1,0$  ммоль/100 г сухой ткани ( $P < 0,001$ ), в то время как содержание калия существенно не изменялось. Так же как и при торакотомии, отмечалось уменьшение натрия в скелетной мышце (до  $7,1 \pm 0,4$  ммоль,  $P < 0,01$ ) и печени (до  $10,3 \pm 3,1$  ммоль,  $P < 0,01$ ).

Уровень калия повысился в почке (до  $30 \pm 1,4$  ммоль против  $24 \pm 1,6$ ,  $P < 0,05$ ) и в печени (до  $26 \pm 1,2$  ммоль против  $19 \pm 1,5$ ,  $P < 0,01$ ) и существенно не изменился в скелетной мышце ( $P < 0,2$ ). Следовательно, отмечалось однонаправленное изменение электролитов в тканях в обеих группах животных и большее увели-

чение натрия в пораженном участке миокарда при ранении сердца.

Изучением электрокардиографических показателей у здоровых животных установлено (табл. 4–5), что средняя частота сердечных сокращений равна  $128 \pm 5$  уд./мин. при продолжительности сердечного цикла  $50 \pm 2$  сотых секунды. Длительность интервала  $P-Q$  составляла  $11 \pm 0,2$ ,  $Q-T$   $22 \pm 1$  сотых секунды. Систолический показатель равен  $46 \pm 2$  %. Величина зубца  $P$  в первом отведении составляла  $0,6 \pm 0,1$  мм, во втором –  $1,3 \pm 0,1$  и в третьем –  $1,0 \pm 0,06$  мм. Высота зубца  $R$  в первом отведении составляла  $3,9 \pm 0,6$ , во втором –  $12,3 \pm 0,6$  и в третьем –  $9,5 \pm 0,9$  мм, а величина зубца  $T$  соответственно –  $0,3 \pm 0,1$ ,  $0,8 \pm 0,2$  и  $0,6 \pm 0,2$  мм. Полученные нами показатели ЭКГ у здоровых животных соответствуют данным ряда авторов [8–9], которые изучали ее физиологические нормативы у собак.

В группе собак с торакотомией (табл. 4) отмечалось учащение частоты сердечных сокращений с 1-го до 48 часов наблюдения до  $147 \pm 7 - 207 \pm 12$  уд./мин. при соответствующем укорочении продолжительности сердечного цикла. В эти же сроки отмечалась тенденция к укорочению интервалов  $P-Q$  и  $Q-T$  и увеличению систолического показателя на 7–14 %. Через 72 часа эти изменения ЭКГ нормализовались. Со стороны зубца  $P$  в первые 6 часов опыта заметно уменьшение его средней величины в первом отведении на 0,3–

0,34 мм ( $P < 0,05$ ) и увеличение во втором на 1,0–1,5 мм ( $P < 0,1 - < 0,001$ ) и в третьем – на 1,2–1,7 мм ( $P < 0,02 - < 0,001$ ). Зубец  $R$  уменьшался в первом отведении в течение 6 часов и увеличивался в течение 3 часов – в третьем, а во втором существенно не отличался от исходного. Со стороны зубца  $T$  во всех отведениях видна тенденция к его снижению в течение 48 часов наблюдения. В отдельные сроки исследования его величина в среднем становилась отрицательной.

В группе собак с ранением сердца (табл. 5), так же как и при торакотомии, можно отметить учащение частоты сердечных сокращений в течение 48 часов после операции в среднем до 156–192 уд./мин., уменьшение интервала  $P-Q$  и увеличение систолического показателя.

Зубец  $P$  уменьшался в первом отведении и увеличивался в третьем в течение первых 6 часов, в то время как во втором его величина была увеличена только через 1 час наблюдения. Зубец  $R$  был уменьшен в первом отведении в течение первых 6 часов, во втором – в течение всего срока исследования, а в третьем – имел тенденцию к снижению, начиная с 6 часов до конца срока наблюдения. Зубец  $T$  в первом отведении становился отрицательным сразу после оперативного вмешательства и не восстанавливался через 72 часа наблюдения. Во втором и третьем также имела тенденция к его снижению.

Таблица 4

Динамика длительности интервалов ЭКГ (в сотых сек.) при торакотомии

Показатели	Сроки наблюдения (часы)							
	Исх.	0,5	1	3	6	24	48	72
$R-R$	$50 \pm 2$ $P$	$40 \pm 6$ <0,2	$34 \pm 5$ <0,02	$35 \pm 2$ <0,001	$29 \pm 2$ <0,001	$37 \pm 2$ <0,001	$40 \pm 2$ <0,02	$49 \pm 4$ >0,5
Частота сердечных сокращений (уд./мин.)	$128 \pm 5$ $P$	$180 \pm 33$ <0,2	$198 \pm 25$ <0,05	$174 \pm 10$ <0,001	$207 \pm 12$ <0,001	$160 \pm 7$ <0,001	$147 \pm 5$ <0,05	$127 \pm 8,6$ >0,5
$P-Q$	$11 \pm 0,2$ $P$	$9 \pm 1$ <0,2	$9 \pm 1$ <0,2	$9 \pm 0,5$ <0,1	$9 \pm 0,4$ <0,1	$10 \pm 0,4$ <0,5	$10 \pm 0,3$ <0,5	$11 \pm 0,5$ <0,5
$Q-T$	$22 \pm 1$ $P$	$21 \pm 3$ >0,5	$20 \pm 1,8$ <0,1	$20 \pm 0,8$ <0,1	$17 \pm 1$ <0,001	$20 \pm 0,7$ <0,1	$20 \pm 0,6$ <0,1	$22 \pm 2$ >0,5
Систолический показатель, %	$46 \pm 2$ $P$	$55 \pm 4$ <0,1	$59 \pm 3$ <0,01	$58 \pm 4$ <0,01	$60 \pm 3$ <0,01	$53 \pm 2$ <0,05	$50 \pm 1$ <0,2	$46 \pm 3$ >0,5

Таблица 5

Динамика длительности интервалов ЭКГ (в сотых сек.) при ранении сердца

Показатели	Сроки наблюдения (часы)						
	Исх.	1	3	6	24	48	72
$R-R$	$50 \pm 2$ $P$	$37 \pm 7$ <0,2	$42 \pm 4$ <0,2	$33 \pm 2$ <0,001	$36 \pm 2$ <0,001	$39 \pm 1$ <0,01	$53 \pm 4$ <0,5
Частота сердечных сокращений (уд./мин.)	$128 \pm 5$ $P$	$192 \pm 8$ <0,001	$149 \pm 4,6$ <0,05	$185 \pm 12$ <0,01	$168 \pm 10$ <0,02	$156 \pm 4$ <0,001	$116 \pm 10$ <0,5
$P-Q$	$11 \pm 0,2$ $P$	$9 \pm 0,1$ <0,2	$9 \pm 0,4$ <0,001	$9 \pm 0,5$ <0,01	$9 \pm 0,6$ <0,01	$7 \pm 1$ <0,01	$10 \pm 1$ <0,5
$Q-T$	$22 \pm 1$ $P$	$22 \pm 3$ >0,5	$22 \pm 0,1$ >0,5	$20 \pm 1$ <0,2	$20 \pm 2$ <0,5	$22 \pm 1$ >0,5	$21 \pm 2$ >0,5
Систолический показатель, %	$46 \pm 2$ $P$	$60 \pm 3$ <0,01	$54 \pm 3$ <0,05	$57 \pm 3$ <0,02	$54 \pm 2$ <0,02	$58 \pm 4$ <0,01	$40 \pm 4$ <0,5

Таким образом, изменения электрокардиограммы в обеих группах носили однонаправленный характер: увеличивалась частота сердечных сокращений и укорачивалась длительность интервалов, увеличивался систологический показатель. Но длительность интервалов и величина изменений зубцов ЭКГ при ранении сердца были более выражены.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить, что как при торакотомии, так и при ранении сердца изменения изучаемых показателей носили однонаправленный характер: увеличивалось содержание натрия в крови и калия в тканях, уменьшалось – натрия в скелетной мышце и печени. В то же время значительно возрастала концентрация натрия в поврежденном участке миокарда. Со стороны ЭКГ отмечалось увеличение частоты сердечных сокращений и систолического показателя, укорочение длительности интервалов и изменение величины зубцов *P*, *R* и *T*. Однако степень этих изменений зависела от величины оперативного вмешательства. Отмеченные сдвиги были более выражены при ранении мышцы левого желудочка сердца, чем только при торакотомии. Очевидно, это обусловлено развитием явлений умеренного вторичного гиперальдостеронизма (гипернатриемия без гипокалиемии), как проявление «стресс-реакции», которая вызывает изменения электролитов в крови и тканях и влияет на функциональную активность сердечной мышцы, т. к. установлено, что после введения гормональных препаратов или при избыточном их образовании в организме отмечается изменение электролитов и электрокардиографических показателей [2–3; 8–10].

Захаров Геннадий Алексеевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор медицинских наук, профессор кафедры патологии, e-mail: gaz41@mail.ru

Zakharov Gennadiy Alekseevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Medicine, Professor of Pathology Department, e-mail: gaz41@mail.ru

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бриккер В.Н. Нарушение электролитного обмена при сердечно-сосудистых заболеваниях. Л., 1965. 121 с.
2. Алиев М.А., Захаров Г.А., Шукина М.Я. Адаптация к высокогорью при гормональных нагрузках. Фрунзе, 1975. 130 с.
3. Захаров Г.А. Гормонально-индуцированный стресс и инфаркт миокарда у горных собак. Фрунзе, 1991. 250 с.
4. Захаров Г.А. Генез экспериментального инфаркта миокарда в условиях среднегорья. Бишкек, 2005. 216 с.
5. Филиппенко Е.Г. Влияние панангина на электрофизиологические свойства миокарда при его гипертрофии в условиях низко- и высокогорья: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Бишкек, 2009. 24 с.
6. Волкович О.В. Влияние повышенного внутрибрюшного давления на функциональное состояние организма: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Бишкек, 2007. 26 с.
7. Руммель А.Г., Баженова А.Ф. Методика определения натрия, калия и хлора в биологических жидкостях и тканях // Кортикостероидная регуляция водно-солевого гомеостаза. Новосибирск, 1967. С. 234-236.
8. Особенности нормальной электрокардиограммы у собак // Физиол. ж. СССР. 1966. № 5. С. 568-570.
9. Захаров Г.А., Горохова Г.И., Убаева Ч.А. Генез экспериментального кардионекроза в условиях среднегорья и высокогорья. Бишкек, 2010. 380 с.
10. Поповичи Д., Схляну В. Гормоны и сердечно-сосудистая патология / пер. с рум. М., 1969. 380 с.

Поступила в редакцию 24 июня 2015 г.

Zakharov G.A. CHANGES OF ELECTROLYTES AND ELECTROCARDIOGRAM IN DOGS AT EARLY STAGES AFTER THORACOTOMY AND A HEART INJURY

The influence of thoracotomy and non-penetrating injury of a heart on the content of electrolytes and ECG in dogs is reviewed. Unidirectionality of shifts is determined, that are more expressed at a heart injury.

*Key words:* thoracotomy; heart injury; electrolytes; electrocardiogram; experiment.