

КАПИЛЛЯРИЗАЦИЯ МИОКАРДА ПАМИРСКОГО ЯКА (POEPHAGUS GRUNNIENS)

***В.Ш. Белкин, доктор медицинских наук, профессор
Тель Авивский университет, Израиль***

***А. Хейман, MD Department of Anatomy and Anthropology
Tel Aviv University, Sackler Faculty of Medicine, Israel***

***О.Б. Астахов, кандидат медицинских наук, доцент
Ульяновский государственный университет, Россия***

С.Л. Гуторов, доктор медицинских наук

Российский онкологический научный центр им. Н. Н. Блохина

Викладено результати досліджень, що дали змогу показати вищий ступінь васкуляризації міокарда правого шлуночка серця яка, що є наслідком впливу умов існування цього виду, який постійно знаходиться на висотах від 3000 до 5000 м над рівнем моря.

Памірський як, серце, передсердя, шлуночок, міокард, аорта, артерія легенева, вена легенева, індекс Керногана.

Среди крупных обитателей высокогорья особое внимание привлекает як (*Bos grunniens.*), ареал распространения которого достигает 5000 м над уровнем моря. Проведенными сравнительно-анатомическими [5, 7, 9], морфофункциональными исследованиями сердечной мышцы крупных сосудов животных, постоянно живущих на высоте высокогорных обитателей [8, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 22] выявлены некоторые особенности строения миокарда и крупных сосудов, связанные с постоянным влиянием условий высокогорной гипоксии. В связи с этим нами предпринята попытка уточнить некоторые особенности капилляризации различных отделов сердца яка для понимания одного из механизмов адаптации к высокогорью.

Цель исследований – изучить капилляризацию миокарда памирского яка (*Poephagus grunniens*).

Материал и методика исследований. Исследованы сердца 40 взрослых яков, доставленных с высокогорных пастбищ Таджикской ССР (Джиргитальский район). Изучались линейные размеры сердца и крупных сосудов, проводилось раздельное взвешивание по методике Ильина [10]. Внутривенное кровеносное русло инъецировали водной взвесью черной туши через венечные артерии с последующим приготовлением гистологических срезов, окрашенных гематоксилин-эозином и по ван Гизону. Исследовали участки правого и левого предсердия, ушка, стенки желудочков и сосочковые мышцы. Количественную оценку

капилляризации миокарда проводили по методике С.М.Блинкова и Г.Д.Моисеева, 1961 с последующим расчетом объемных показателей на 1 мм ткани миокарда [3]. Цифровой материал обработан методом вариационной статистики, с учетом изменчивости признака в пределах организма [11].

Результаты исследования и обсуждение. При измерении линейных размеров сердца яка оказалось, что его длина составляет $16,20 \pm 0,36$ см, поперечный размер (на уровне основания предсердий) – $13,00 \pm 0,17$ см, переднезадний размер (на уровне расположения митрального и 3-створчатого клапанов) – $13,40 \pm 0,25$ см. Измерения диаметра просвета и толщины стенок крупных сосудов, обеспечивающих циркуляцию крови по большому и малому кругам кровообращения, представлены в табл. 1. Среди представленных данных наибольший интерес имеют величины индекса Керногана, (толщина стенок / \sqrt{V} диаметр просвета), отражающие степень резистентности стенок артериальных и венозных сосудов в зависимости от внутрисосудистого давления.

Анализ результатов отдельного взвешивания сердца по абсолютным и расчетным показателям свидетельствует о том, что на его правые отделы у яка приходится 28 % общей массы органа, а на левые – 58 %. Выявлены достоверные различия в величине относительного показателя, характеризующего отношение массы желудочков к толщине их стенок (табл. 2, 3).

1. Размеры крупных сосудов сердца яка

Показатель	Аорта	Артерия легочная	Вена легочная
Диаметр просвета, мм	$26,8 \pm 1,2$	$26,9 \pm 0,8$	$32,3 \pm 1,9$
Толщина стенки, мм	$4,2 \pm 0,8$	$2,6 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,3$
Индекс Керногана	$0,31 \pm 0,04$	$0,190 \pm 0,022$	$0,121 \pm 0,021$

2. Абсолютные показатели отдельного взвешивания сердца яка ($\bar{x} + S$)

Показатель	Сердце в целом	Правые отделы		Левые отделы	
		предсердие	желудочек	предсердие	желудочек
Масса, г	$1030,0 \pm 25,0$	$47,0 \pm 3,0$	$244,0 \pm 6,0$	$74,0 \pm 3,0$	$530,0 \pm 14,0$
Толщина стенки,	—	$1,60 \pm 0,20$	$12,5 \pm 0,4$	$2,3 \pm 0,2$	$24,3 \pm 0,7$

3. Относительные характеристики различных отделов сердца яка ($\bar{x} + s$)

Показатель	Правые отделы сердца		Левые отделы сердца	
	предсердие	желудочек	предсердие	желудочек
Масса сердца/Масса отдела (%)	$4,20 \pm 0,20$	$23,0 \pm 0,5$	$7,0 \pm 0,3$	$51,3 \pm 1,3$
Масса отдела / Толщина стенки (%)	$4,30 \pm 0,10$	$4,70 \pm 0,10$	$3,10 \pm 0,10$	$5,10 \pm 0,20$

Кроме данных, представленных в таблицах, следует указать, что величина сердечного индекса (масса сердца/масса тела животного) составляла $0,36 \pm 0,1$ %, а величина желудочкового индекса (масса правого желудочка/масса левого желудочка) – $46,0 \pm 3,0$ %.

Гистометрическое изучение показателей капилляризации и мышечных волокон различных участков сердца яка (табл. 4) свидетельствует, что в зависимости от топографии и от функции обследуемого отдела сердца морфометрические характеристики имеют ряд особенностей (рис. 1).

Отметим, что имеющиеся в нашем распоряжении данные позволили провести анализ по новому интенсивному показателю – отношение объема капилляров к объему мышечных волокон в единице объема ткани миокарда. Именно этот показатель, который, по нашему мнению, наиболее адекватно характеризует степень капилляризации миокарда, выявил существенные различия ($P < 0,05$), свидетельствующие о более высокой степени капилляризации миокарда правого желудочка по сравнению с миокардом левого желудочка сердца взрослого яка (табл. 4). Общее представление об объемные характеристики капилляров и мышечных волокон миокарда в различных отделах сердца яка представлено из рис. 1.

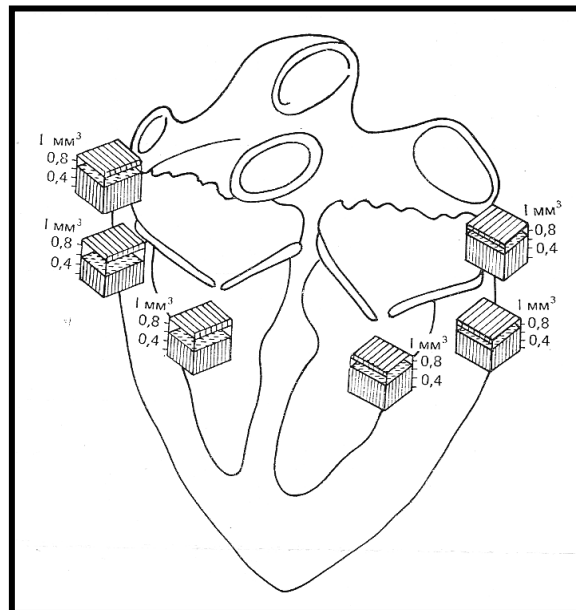


Рис. 1. Схема, показывающая объемные характеристики капилляров и мышечных волокон миокарда в различных отделах сердца яка. Горизонтальная штриховка – объем капилляров; вертикальная штриховка – объем мышечных волокон

Учитывая неоднократные свидетельства про повышенную нагрузку на правое сердце при длительном пребывании в условиях высокогорной гипоксии [1, 3, 12, 23], нами проведено целенаправленное сравнение

морфометрических характеристик капилляризации миокарда правого и левого желудочков. В процессе анализа выяснилось, что сравнение экстерьерных показателей, позволяя установить некоторые локальные различия, недостаточно характеризует степень капилляризации миокарда, так как не учитываются количественные соотношения между состоянием мышечных волокон и капилляров. При попытке сопоставления такого интенсивного показателя — как среднее число капилляров, приходящееся на одно мышечное волокно, также не было выявлено значимых различий между капилляризацией миокарда правого и левого желудочков (табл. 4).

В то же время, при сравнении установленных показателей капилляризации миокарда высокогорных яков с аналогичными показателями белых крыс, адаптирующихся к условиям высокогорья (4000 м) в течение 45 дней [2] отчетливо видно, что уровень кровоснабжения миокарда яков является предиктором, который должны достигнуть неадаптированные животные в процессе высотной адаптации (рис. 2, 3).

4. Морфометрическая характеристика интрамуральных капилляров и мышечных волокон различных отделов сердца яка ($x \pm s$)

Показатель	Правые отделы сердца			Левые отделы сердца		
	предсердие	ушко	желудочек	предсердие	ушко	желудочек
Капилляры						
Диаметр, мкм	6,16±0,09	6,11±0,06	6,24±0,06	6,54±0,15	6,24±0,08	6,18±0,05
Плотность сети, ед/мм ²	1795±25	1714±30	1695±20	1770±20	1690±30	1740±60
Объем сети, мм ³ /мм ³	0,107±0,028	0,102±0,020	0,104±0,002	0,119±0,006	0,104±0,006	0,104±0,006
Мышечные волокна						
Диаметр, мкм	16,01±0,07	16,02±0,06	16,91±0,09	16,04±0,06	15,98±0,08	16,74±0,14
Плотность волокон, ед/мм ²	1860±13	1700±17	1522±30	1680±30	1850±15	1600±13
Объем волокон, мм ³ /мм ³	0,749±0,008	0,685±0,01	0,562±0,014	0,677±0,011	0,743±0,015	0,705±0,007
Среднее число капилляров, приходящихся на 1 мышечное волокно, ед.	0,960±0,010	1,01±0,03	1,120±0,020	1,050±0,020	0,910±0,010	1,08±0,04
Объем капиллярной сети / Объем капиллярных волокон	0,143±0,009	0,149±0,015	0,185±0,010	0,176±0,004	0,148±0,005	0,140±0,011

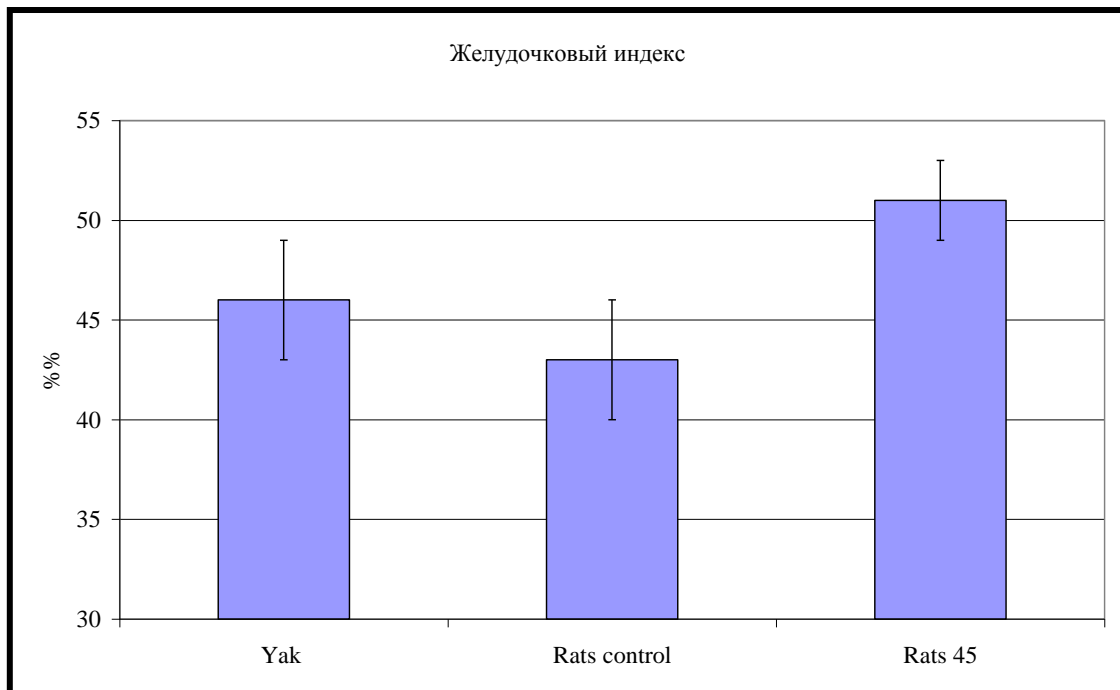


Рис. 2. Величина желудочкового индекса сердца яка и белых крыс, адаптирующихся к высоте 4000 м над ур. м. в течение 45 дней

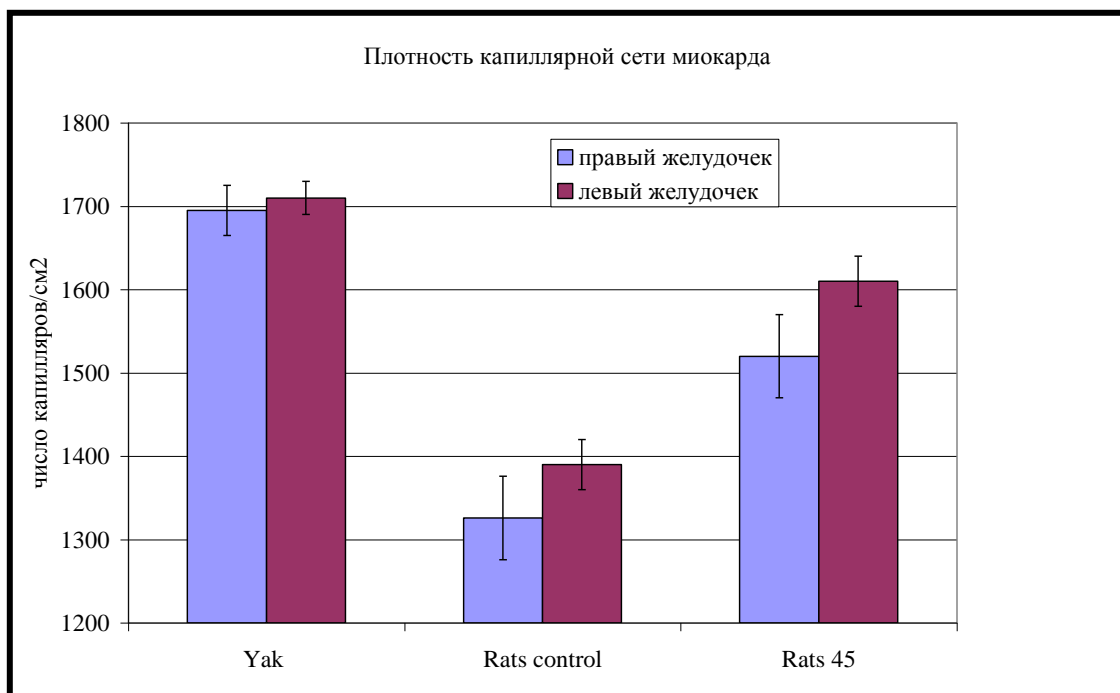


Рис. 3. Плотность капилляризации желудочков сердца яка и белых крыс, адаптирующихся к высоте 4000 м над ур. м. в течение 45 дней

Выводы

Результаты исследований позволили показать более высокую степень васкуляризации миокарда правого желудочка сердца яка, что является следствием влияния условий обитания данного вида, постоянно находящегося на высотах от 3000 до 5000 м над уровнем моря. Этот

факт, рассматриваемый как наследуемый фактор активно изучается генетиками [21, 24] считающими, что их результаты могут иметь важные последствия для понимания адаптации к высоте у других видов животных и гипоксии заболеваний у людей. Настоящее исследование является дополнительным подтверждением этого направления исследований.

Список литературы

1. Бейкер П.Т. Адаптивные возможности высокогорных популяций. – В кн.: Биология жителей высокогорья / Бейкер П.Т. – М.: Мир, 1981. – С. 362–368.
2. Белкин В.Ш. Морфологические аспекты адаптации к высокогорной гипоксии / Белкин В.Ш. – Душанбе: Дониш, 1991. – 290 с.
3. Белкин В.Ш. Особенности капилляризации миокарда белых крыс при высокогорной гипоксии / В.Ш.Белкин // Арх. анат., 1981. – Т. 80. – Вып. 6. – С. 48–52.
4. Блинков С.М. Определение плотности капиллярной сети в органах и тканях человека и животных независимо от толщины микротомного среза / С.М.Блинков, Г.Д.Моисеев // Докл. АН СССР. – Серия Биология. – 1961. – Т. 140. – Вып. 2. – С. 465–468.
5. Большаков В.Н. Пути приспособления мелких млекопитающих к горным условиям / Большаков В.Н. – М., Наука, 1972. – 200 с.
6. Денисов В.Ф. Домашние яки и их гибриды / Денисов В.Ф. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 116 с.
7. Дружинин А.Н. К вопросу сравнительно-анатомического изучения яка, киргизского крупного рогатого скота и их гибридов / А.Н. Дружинин, В.В.Иванова, И.М.Любимов // Известия АН СССР. – Серия Биология. – 1937. – Вып. 3. – С. 843–894.
8. Жапаров Б. Особенности ультраструктуры миокарда яков, обитающих выше 3000 м над уровнем моря / Б.Жапаров // Бюлл. экспер. биол. – 1979. – Вып. 3. – С. 217–220.
9. Жеденов В.Н. Легкие и сердце животных и человека / Жеденов В.Н. – М.: Высш. шк., 1961. – 478 с.
10. Ильин Г.И. К вопросу о диагностике гипертрофии миокарда методом взвешивания / Г.И.Ильин // Арх. пат. – 1956. – Т. 18. – Вып. 8. – С. 97–101.
11. О нахождении стандартной ошибки среднего с учетом изменчивости признака в пределах организма // Г.С.Катинас, В.П.Булгак, Е.Н.Никифорова, К.М.Светикова // Арх. анат. – 1969. – Т. 57. – Вып. 9. – С. 97–104.
12. Милованов А.П. Адаптация малого круга кровообращения человека в условиях Севера / Милованов А.П. – Новосибирск, 1981. – 171 с.
13. К морфологии миокарда животных, постоянно обитающих в условиях высокогорья Киргизии. В кн.: Вопросы адаптации к условиям высокогорья / [Хамитов С.Х., Миррахимов М.М., Калюжный И.Т. и др.]. – Фрунзе, Илим, 1973. – Т. 90. – Вып. 1. – С. 37–45.
14. Alexander A.F. Pulmonary vascular pathology of bovine high mountain disease / A.F.Alexander, R.Jensen // Amer. J. Vet. Res. – 1962. – Vol. 24. – P. 1083–1111.
15. Alexander A.F. The bovine lung: normal vascular histology and vascular lesions in high mountain disease / A.F.Alexander // Med Thorac. – 1962. – Vol. 19. – P. 528–542.

16. Pulmonary haemodynamics of the yak, cattle, and cross breeds at high altitude / I.S.Anand, E.Harris, R.Ferrari, P.Pearce, P.Harris // *Thorax*. – 1986. – September, Vol. 41(9). – P. 696–700.
17. Functional and structural adaptation of the yak pulmonary circulation to residence at high altitude / A.Durmowicz, S.Hofmeister, T.K.Kadyraliev, A.A.Aldashev, K.R.Stenmark // *J. Appl. Physiol.* – 1993. – May, Vol. 74 (5). – P. 2276–85.
18. Heat D. The pulmonary arteries of the yak / D.Heath, D.Williams, J.Dickinson // *Cardiovascular Research*. – 1984. – Vol. 18. – P. 133–139.
19. Heath D. The small pulmonary arteries of the llama and other domestic animals native to high altitudes / D.Heath, Y.Castillo, J.Arias-Stella, P.Harris // *Cardiovasc Res*. – 1969. – Jan., Vol. 3(1). – P. 75–78.
20. The heart and pulmonary vasculature of the llama (*Lama glama*) / D.Heath, P.Smith, D.Williams, P.Harris, J.Arias-Stella, H.Krüger // *Thorax*. – 1974. – Vol. 29. – P. 463-471.
21. Hu et al. The Yak genome database: an integrative database for studying yak biology and high-altitude adaption / *BMC Genomics*. – 2012. – Vol. 13 (600). – P. 2–5.
22. Hurtado A. Animals in high altitudes:resident man. – In: Dill D.B., Adolph E.F., Wilber C.J. *Handbook of Physiology / Adaptation to the Environment*, section 4. – Washington DC. American Physiological Society. – 1964. – P. 843–860.
23. Penalosa D. The Heart and Pulmonary Circulation at High Altitudes Healthy Highlanders and Chronic Mountain Sickness / D.Penalosa, A.-S.Javier // *Circulation*. – 2007. – Vol. 115. – P. 1132–1146.
24. Qiu Q. et al. The yak genome and adaptation to life at high altitude / *Nature Genetics*. – 2012. –Vol. 44 (8). – P.946–951.

Изложены результаты исследований, которые позволили показать более высокую степень васкуляризации миокарда правого желудочка сердца яка, что является следствием влияния условий обитания данного вида, постоянно находящегося на высотах от 3000 до 5000 м над уровнем моря.

Памирский як, сердце, предсердие, желудочек, миокард, аорта, артерия легочная, вена легочная, индекс Керногана.

The results of studies that enable us to show a higher degree of vascularization of the myocardium of the right ventricle of the heart of yak, due to the effects of this type of habitat conditions, permanently at altitudes of 3,000 to 5,000 meters above sea level.

Pamir yak, heart, atrium, ventricle, myocardium, aorta, pulmonary artery, pulmonary vienna, Kernogan index.