

УДК 611.08:591.412

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ ВЕНЕЧНОГО РУСЛА СЕРДЦА СОБАКИ

Ю.Х.-М. Шидиков, И.А. Абдумаликова

Анализируются особенности газообмена разных отделов миокарда, в частности особенности функциональной анатомии коронарного русла и закономерности асимметрии кровоснабжения сердца собаки в норме.

*Ключевые слова:* сердце; коронарное русло; газообмен.

---

## FUNCTIONAL ANATOMY OF THE CORONARY BED OF THE DOG'S HEART

Yu. Kh.-M. Shidakov, I.A. Abdumalikova

Features of the gas exchange of the different sections of the myocardium are analyzed, in particular, it is normal of feature functional anatomy of the coronary bed and regularity of asymmetry blood supply of the dog's heart.

*Keywords:* heart; coronary bed; gas exchange.

Сердце собаки часто служит объектом моделирования патологических процессов и оперативных вмешательств, течение и исход которых во многом сопрягаются состоянием коронарного кровообращения до и после экспериментальных вмешательств. В свою очередь, морфофункциональные изменения миокарда ремоделируют пластичность и реактивность кровеносного русла сердца. Поэтому результаты фундаментальных исследований кровоснабжения сердца собаки отвечают запросам теоретической и клинической кардиологии. Ибо, только ясно представляя исходные в норме данные, можно судить о степени, роли и назначении приспособительных, защитных и компенсаторных морфофункциональных ремоделирований структурной организации и физиологической специализации коронарного русла и миокарда в эксперименте и клинике [1].

Мы поставили перед собой цель установить особенности функциональной анатомии коронарного русла и закономерности асимметрии кровоснабжения сердца собаки в норме.

**Материал и методы.** Работа выполнена на собаках-аборигенах Чуйской долины (высота 760 м над ур. моря) со средним весом  $11,9 \pm 1,2$  кг. Под гексеналовым либо тиопентал-натриевым наркозом животные интубировались и подключались к аппарату искусственного дыхания. Разрезом вдоль верхнего края четвертого ребра от грудины до позвоночного столба вскрывалась грудная клетка. Края раны отодвигались винтовым ранорасширителем. У 10 собак определялся ретроградный

кровоток (РК) из передней межжелудочковой артерии (ПМА) по Маутц – Греггу [2] без дополнительных вмешательств, а также после временной остановки кровотока по огибающей (ОА) и правой венечной (ПВА) артериям. Затем животные умерщвлялись кровопусканием из каудальной поллой вены. Сердце извлекалось из грудной полости и подвергалось разделению с учетом зон кровоснабжения левой (ЛВА) и правой (ПВА) венечных артерий, по ходу которых производился забор материала для световой и электронной микроскопии по общепринятым методикам.

У других 20 собак перед инъекцией кровеносного русла через аорту водной взвесью черной туши по Б.В. Огневу [3], свинцовыми суриком либо свинцовыми фабрично тертыми красками по М.Г. Привесу [4] через катетеры из полостей левого и правого желудочков и венечного синуса производился забор крови. Сердце извлекалось из грудной полости и на сутки помещалось в нейтральный 12%-ный раствор формалина с последующим изготовлением рентгеноангиограмм целого и развернутого по Шлезингеру [5] сердца и просветленных препаратов, а также продольных и поперечных томограмм миокарда.

На рентгеноангиограммах измеряли толщину камер сердца, а под микроскопом МБС-1 с помощью счетной линейки – диаметры (d) субэпикардальных ветвей венечных артерий и анастомозов между ними с последующим вычислением площади сечения (S). На просветленных препаратах изу-

чалось микроциркуляторное русло, а на гистологических и ультрамикроскопических – строение кардиомиоцитов.

Образцы крови подвергались анализу газового состава и кислотно-основного состояния ( $PaO_2$ ,  $PvO_2$ ,  $PaCO_2$ ,  $PvCO_2$ ,  $pH_a$ ,  $pH_v$ ) микрометодом Аструпа на аппарате АМЕ-1. Для оценки распределения минутного объема кровотока (Q) и объемной скорости органного кровотока (q) в разных отделах сердца использовалась методика введения в кровеносное русло макроагрегата альбумина, меченного йодом  $^{131}$ .

**Результаты и обсуждение.** У собак со средней массой тела  $11,9 \pm 2,1$  кг, средний вес сердца равен  $106,39 \pm 8,71$  г, отношение веса сердца к массе тела (СИ) составляет  $0,90 \pm 0,01$ . Вес левого предсердия (ЛП), левого желудочка (ЛЖ), межпредсердной (МПП) и межжелудочковой (МЖП) перегородок вместе взятых (левое сердце – ЛС) равен  $73,11 \pm 5,7$  г. Вес правого предсердия (ПП) вместе с весом правого желудочка (ПЖ) – правое сердце (ПС) составляет  $33,28 \pm 3,6$  г, а отношение равно 2,2. Толщина стенки ЛП равна  $1,7 \pm 0,03$  мм, ПП –  $1,1 \pm 0,01$  мм, ЛЖ –  $14,2 \pm 2,1$  мм, ПЖ –  $6,1 \pm 0,7$  мм. Продольный размер сердца (ПРС) – длина окружности, проходящей через верхушку сердца, переднюю и заднюю межжелудочковые борозды, а также между началом аорты и легочной артерии равен  $23,9 \pm 3,6$  см. Поперечный (ППРС) размер сердца (наибольшая длина окружности, опоясывающей желудочки в горизонтальном направлении) равен  $18,5 \pm 2,4$  см. Разница ПРС и ППРС достигает  $4,6 \pm 0,5$  см.

Сердце собаки кровоснабжается левой (ЛВА) и правой (РВА) венечными артериями (рисунки 1, 2).

ЛВА диаметром  $3,9 \pm 0,02$  мм и длиной общего ствола  $0,38 \pm 0,003$  см располагается между левым предсердием и легочной артерией, прикрыта левым ушком сердца и имеет четыре варианта ветвления. В 10 % случаев делится на 4 ветви (огибающую, переднюю межжелудочковую или переднюю нисходящую, перегородочную и диагональную); в 37 % случаев – на 3 ветви (огибающую, переднюю нисходящую и перегородочную – 19,7 %, либо огибающую, переднюю нисходящую и диагональную – 17,3 %); в 53 % случаев – на две ветви (огибающую и переднюю нисходящую).

ОА диаметром  $3,8 \pm 0,02$  мм в начале и  $1,5 \pm 0,01$  мм – при переходе ее в заднюю нисходящую артерию, в среднем  $2,05 \pm 0,007$  мм по левой венечной борозде достигает задней межжелудочковой борозды и опускается по ней до верхушки сердца в виде задней нисходящей ветви ЛВА или задней межжелудочковой артерии (ЗМА). Диаметр ЗМА колеблется от 2,9 до 1,3 мм, в среднем –  $1,8 \pm 0,002$

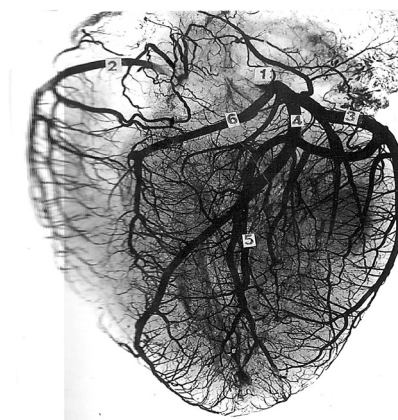


Рисунок 1 – Артерии сердца собаки в норме (контактный снимок с ангиорентгенограммы): 1 – левая венечная артерия; 2 – правая венечная артерия; 3 – огибающая ветвь левой венечной артерии; 4 – передняя нисходящая ветвь левой венечной артерии; 5 – задняя ветвь левой венечной артерии; 6 – перегородочная ветвь левой венечной артерии

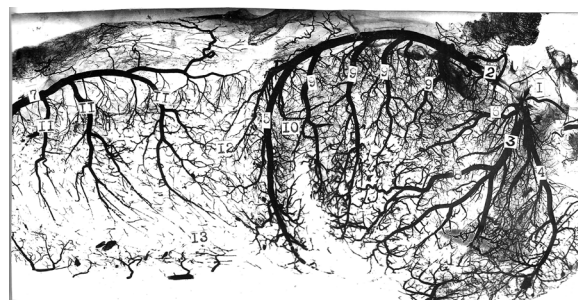


Рисунок 2 – Артерии сердца собаки в норме (контактный снимок с ангиорентгенограммы): 1 – левая венечная артерия; 2 – огибающая ветвь левой венечной артерии; 3 – передняя нисходящая ветвь левой венечной артерии; 4 – перегородочная ветвь левой венечной артерии; 5 – задняя нисходящая ветвь левой венечной артерии; 6 – диагональная ветвь левой венечной артерии; 7 – правая венечная артерия; 8 – ветви, отходящие от передней межжелудочковой артерии к передней поверхности левого желудочка; 9 – ветви, отходящие от огибающей артерии к переднебоковой, боковой и заднебоковой поверхностям левого желудочка; 10 – ветви, отходящие от задней межжелудочковой артерии к правому желудочку; 12 – межвенечные анастомозы, расположенные вдоль задней межжелудочковой борозды; 13 – межвенечные анастомозы, расположенные вдоль передней межжелудочковой борозды

мм. От ОА отходят от 5 до 9 ветвей в восходящем направлении, которые кровоснабжают левое предсердие, левое ушко, частично – правое предсердие. Общее поперечное сечение их (S) достигает  $1,45 \pm 0,01 \text{ мм}^2$ . В нисходящем направлении от ОА отходят от 18 до 35 ветвей, ( $M = 22 \pm 3,2$ ) снабжающих ЛЖ. Диаметры этих ветвей колеблются в пределах  $0,05\text{--}2,1 \text{ мм}$  ( $M = 0,46 \pm 0,002 \text{ мм}$ ). Наиболее крупной из них является артерия тупого края сердца, кровоснабжающая передне- и заднебоковую поверхности ЛЖ.

Передняя МЖА диаметром устья от  $2,1$  до  $2,9 \text{ мм}$  ( $M = 2,4 \pm 0,02 \text{ мм}$ ) проходит по передней межжелудочковой борозде, достигает верхушки сердца, частот огибает ее и переходит на заднюю межжелудочковую борозду или на заднюю поверхность ЛЖ. От ПМЖА отходят от 25 до 42 ветвей ( $M = 28 \pm 3$ ), диаметром  $0,05\text{--}1,9 \text{ мм}$  ( $M = 0,3 \pm 0,007 \text{ мм}$ ) к левому желудочку; от 15 до 32 ( $M = 18 \pm 2$ ) ветвей диаметром  $0,05\text{--}1,5 \text{ мм}$  ( $M = 0,28 \pm 0,002 \text{ мм}$ ) – к ПЖ. В 80,3 % случаев от ПМЖА отходит верхняя перегородочная артерия диаметром от  $0,8$  до  $1,95 \text{ мм}$  ( $M = 1,3 \pm 0,02 \text{ мм}$ ), а также от 7 до 17 мелких ветвей к передней части межжелудочковой перегородки. Другой крупной ветвью ПМЖА является большая артерия левого желудочка, снабжающая переднюю поверхность ЛЖ.

ЗМА отдает от 7 до 11 ветвей ( $M = 8 \pm 2$ ) к ЛЖ диаметром  $0,05\text{--}0,5 \text{ мм}$  ( $M = 0,19 \pm 0,01 \text{ мм}$ );  $5\text{--}10$  ( $M = 7 \pm 2$ ) ветвей диаметром  $0,06\text{--}0,6 \text{ мм}$  ( $M = 0,22 \pm 0,02 \text{ мм}$ ) – к правому желудочку;  $4\text{--}7$  ветвей ( $M = 5 \pm 0,9$ ) – к межжелудочковой перегородке. Диагональная артерия в 17,3 % случаев отходит от основного ствола ЛВА, в 31 % случаев – от ПМЖА, в 25,8 % случаев – от ОА и 25,9 % случаев – отсутствует.

Перегородочная артерия в 19,7 % случаев отходит от основного ствола ЛВА и в 80,3 % случаев – от ПМЖ и кровоснабжает большую часть межжелудочковой перегородки.

Таким образом, ЛВА кровоснабжает ЛП, ЛЖ, межжелудочковую перегородку (МЖП), частично переднюю и заднюю стенки ПЖ и верхушку сердца. ЛЖ кровоснабжается ветвями ОА, ПМЖА, ЗМЖА, а также диагональной артерией. От этих артерий к ЛЖ отходят  $51\text{--}88$  ветвей ( $M = 58 \pm 8,3$ ), диаметром  $0,05\text{--}2,1 \text{ мм}$  ( $M = 0,317 \pm 0,01 \text{ мм}$ ). Общая площадь поперечного сечения (S) их колеблется от  $5,21$  до  $8,79 \text{ мм}^2$  ( $M = 7,7 \pm 1,6 \text{ мм}^2$ ).

ПВА диаметром  $1,3\text{--}3,2$  ( $M = 2,1 \pm 0,02 \text{ мм}$ ), прикрытая правым ушком сердца, ложится на правую венечную борозду. Не достигая межжелудочковой борозды, она делится на две конечные ветви: предсердную и желудочковую. Предсердная ветвь, в свою очередь, чаще всего делится на две

ветви. Одна из них кровоснабжает заднюю стенку правого предсердия, другая – по венечной борозде достигает задней межжелудочковой борозды и анастомозирует с ветвями огибающей артерии. От ПВА отходят от 8 до 17 ветвей ( $M = 11,0 \pm 1,4$ ) в восходящем направлении, которые кровоснабжают правое предсердие, правое ушко, стенки легочного ствола и аорты. Общая S ветвей венечных артерий, кровоснабжающих правое предсердие, составляет  $0,6\text{--}1,3 \text{ мм}^2$  ( $M = 1,0 \pm 0,02 \text{ мм}^2$ ). К ПЖ от ПВА отходят от 18 до 28 ветвей ( $M = 20,2 \pm 2,4$ ), диаметром  $0,05\text{--}0,5 \text{ мм}$  ( $M = 0,25 \pm 0,002 \text{ мм}$ ).

Таким образом, ПЖ кровоснабжается ветвями ПМЖА и ЗМЖА и ПВА. От названных артерий к правому желудочку отходят от 38 до 70 ветвей ( $M = 45,0 \pm 7,3$ ), диаметром  $0,0\text{--}0,87 \text{ мм}$  ( $M = 0,85 \pm 0,05 \text{ мм}$ ). Общая S этих ветвей равна  $4,49 \pm 0,1 \text{ мм}^2$ .

Итак, ПВА по диаметру, количеству ветвей и зонам кровоснабжения значительно уступает ЛВА, что дает возможность говорить о левовенечном варианте кровоснабжения сердца собаки.

В целом венечные артерии в субэпикардальном слое делятся на ветви I, III, IV порядков с диаметром  $0,06\text{--}1,509 \text{ мм}$  ( $M = 0,39 \pm 0,02 \text{ мм}$ ) в ЛЖ и диаметром  $0,059\text{--}1,375 \text{ мм}$  ( $M = 0,32 \pm 0,01 \text{ мм}$ ) – в ПЖ, которые образуют субэпикардальную артериальную сеть сердца.

Глубокое внутриорганный артериальный русло формируется путем проникновения артериальных ветвей III и IV порядка диаметром  $0,06\text{--}0,08 \text{ мм}$  ЛЖ и  $0,027\text{--}0,048 \text{ мм}$  – в ПЖ в миокард. Часть этих сосудов тут же делится последовательно на мелкие артериальные веточки, артериолы, и последующие звенья микроциркуляторного русла, образуя сосудистую сеть наружного продольного слоя миокарда.

Другая часть интрамуральных артерий проникает в толщу циркулярного и продольного слоев миокарда и формирует сосудистую сеть этих слоев.

Высокий уровень окислительного метаболизма в миокарде реализуется адекватным кровоснабжением и кислородным обеспечением. Сердце употребляет  $5,4 \pm 0,2 \%$  МОК, а объемная скорость кровотока в органе равняется  $70,3 \pm 2,8 \text{ мл}/(\text{мин} \cdot 100 \text{ г})$ . При этом имеются определенные различия внутриорганный распределения кровотока. Так, объемная скорость кровотока в миокарде ЛЖ равна  $80,5 \pm 3,4 \text{ мл}/(\text{мин} \cdot 100 \text{ г})$ , в ПЖ –  $72,6 \pm 2,9 \text{ мл}/(\text{мин} \cdot 100 \text{ г})$ , в ЛП –  $62,5 \pm 4,7 \text{ мл}/(\text{мин} \pm 100 \text{ г})$ , в ПП –  $58,1 \pm 4,2 \text{ мл}/(\text{мин} \cdot 100 \text{ г})$ .

Видимо, имеются отличительные черты и в кислородном обеспечении разных отделов сердца. Однако в силу методических трудностей оценить особенности и механизмы кислородно-

го обеспечения отделов сердца мы не смогли, поэтому ниже речь идет о кислородном обеспечении сердца в целом.

Газовый состав артериальной и венозной крови, оттекающей из венечного синуса сердца, дает представление о кислородном обеспечении сердца. Нами установлено, что напряжение кислорода в артериальной крови ( $P_{aO_2}$ ) составляет  $88,0 \pm 1,0$  мм рт. ст., венозной ( $P_{vO_2}$ ) –  $42,4 \pm 2,0$ . Насыщение артериальной крови кислородом ( $S_{aO_2}$ ) равняется  $99,6 \pm 0,3$  %, венозной ( $S_{vO_2}$ ) –  $73,3 \pm 1,1$  %. Содержание кислорода в артериальной крови ( $CaO_2$ ) составляет  $19,4 \pm 0,1$  об %, венозной ( $CvO_2$ ) –  $12,3 \pm 0,2$  об %. Коэффициент утилизации кислорода из крови (коэф. утил.  $O_2$ ) равняется  $33,8 \pm 2,0$  %, а потребление кислорода миокардом ( $VO_2$ ) –  $4,1 \pm 0,2$  мл/ (мин·100 г). Количество кислорода, доставляемого артериальной кровью в сердце ( $qaO_2$ ) равно  $12,62$  мл/(мин·100 г), а транспорт кислорода венозной кровью, оттекающей из венозного синуса сердца ( $qvO_2$ ) –  $8,72 \pm 0,5$  мл/(мин·100 г). Отрицательный логарифм концентрации ионов водорода в артериальной крови (рНа) равен  $7,38 \pm 0,01$ , венозной (рНв) –  $7,34 \pm 0,01$ . Напряжение углекислого газа в артериальной крови ( $P_{aCO_2}$ ) равно  $37,2 \pm 0,7$  мм рт. ст., венозной ( $P_{vCO_2}$ ) –  $43,5 \pm 1,2$  мм рт. ст. Концентрация гемоглобина в крови (Нв) равняется  $13,5 \pm 1,2$  г %.

Одним из методов индикации анастомозов в системе коронарного кровообращения является

ретроградный кровоток (РК) из передней нисходящей ветви левой венечной артерии, который у собак равен  $2,7-5,4$  мл/мин. Причем, если перекрыть ОВА, РК из передней нисходящей артерии резко снижается, вплоть до 0. В то же время перекрытие правой венечной артерии сопровождается снижением РК не более чем  $1-0,5$  мл/мин. Это дает основание считать, что РК из передней нисходящей артерии сердца сопряжен преимущественно с анастомозами в системе ЛВА и в меньшей степени с межвенечными (межсистемными) анастомозами.

#### Литература

1. *Шидаков Ю.Х.-М.* Высокогорная кардиоангиология / Ю.Х.-М. Шидаков, Х.Д. Каркабатов, Ф.А. Текеева. Бишкек, 2001. 227 с.
2. *Mautz F.R., Gregg D.E.* The dynamics of collateral circulation following chronic occlusion of coronary arteries // Proc. Soc. Exper. Biol., 1937, 36, 4. 797–801.
3. *Огнев Б.В.* К методике инъекции кровеносных сосудов тушью // Тр. III Всероссийского съезда зоологов, анатомов, гистологов / Б.В. Огнев. Л., 1928. С. 293–295.
4. *Привес М.Г.* К методике анатомического исследования сосудов / М.Г. Привес // Архив анатомии. 1952. № 2. С. 60–63.
5. *Schlesinger M.J.* An injection plus dissection study of coronary occlusions, and anastomoses // Am. Heart. J., 1938, 15, 528–568.