

УДК 612.13:612.22:612.23:612.12—008

Н. В. Штученко

ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДНЫХ РЕЖИМОВ ОРГАНИЗМА У БОЛЬНЫХ ТЕТРАДОЙ ФАЛЛО

Артериальная гипоксемия, как известно, является одним из ведущих патогенетических признаков гипоксического состояния при тетраде Фалло. Она возникает в результате первичных гемодинамических нарушений, обусловленных дефектом межжелудочковой перегородки и стенозом легочной артерии. Большой дефект межжелудочковой перегородки способствует уравниванию систолического давления в желудочках, а стеноз легочной артерии, повышая сопротивление току крови из правого желудочка, оказывает влияние на величину и направление сброса [2, 9]. Сброс крови справа налево обуславливает резкое снижение насыщения кислородом артериальной крови [1, 3, 9, 13].

Механизмы компенсации расстройств кровообращения при тетраде Фалло довольно многообразны и включают как специфические для этого порока приспособительные изменения, например развитие коллатерального кровотока в легких [2, 9], так и механизмы, направленные на компенсацию кислородной недостаточности. Хотя отдельные особенности кровообращения, дыхания, газообмена, кислородтранспортной функции крови при тетраде Фалло исследованы [1, 2, 5, 6, 9, 10], комплексного изучения кислородных режимов организма у больных тетрадой Фалло не проводилось. Несмотря на то, что тетрада Фалло представляет собой естественную клиническую модель гипоксии, публикаций, содержащих объективную характеристику гипоксического состояния при данном пороке сердца, в литературе недостаточно [1, 4].

Мы изучали изменения кислородных режимов организма у больных тетрадой Фалло и объективные признаки гипоксии, развивающейся при этом заболевании.

Методика исследований

Нами обследовано в отделении врожденных пороков сердца Киевского института туберкулеза и грудной хирургии 40 больных тетрадой Фалло в возрасте от 4 до 16 лет.

Минутный объем крови (МОК) в большом (МОБ) и малом круге (МОМ) кровообращения определяли по формуле Фика, для чего использовали данные о насыщении кислородом крови аорты, полых вен, легочной артерии, полученные во время диагностического зондирования сердца. В отдельных случаях исследовали артериальную кровь, полученную в результате пункции бедренной артерии. Насыщение крови кислородом определяли оксиметрически, а напряжение кислорода в ней — полярографически на аппарате микро-Аструл. Насыщение кислородом крови легочной вены принимали за 95 %. [1]. Газообмен исследовали по методу Дуглас — Холдена. Альвеолярный воздух собирали с помощью автоматического отсекателя альвеолярного воздуха. Минутный объем дыхания (МОД) и концентрацию O_2 и CO_2 в выдыхаемом и альвеолярном газе определяли с помощью аппарата «Универсальный спирограф». Расчет и анализ кислородных режимов организма проводился по [3].

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты обследования больных тетрадой Фалло приведены в таблице. Средняя величина сброса крови из правого желудочка в аорту у них составляла около 40 % МОК в большом круге кровообращения. Индивидуальные колебания объема сброса были довольно велики — у отдельных больных сброс справа налево приблизился к МОБ. МОБ

Основные

МОК в большом (л/мин)
МОК в малом (л/мин)
СИ в большом (л/мин·м²)
СИ в малом (л/мин·м²)
Сброс справа объему больного
Гемодинамиче
МОД (%) к д
Частота дыха
Дыхательный
Отношение А
Интенсивност
(% к должно

почти в дв
дечного ин
ко, возраст
МОБ превы
льного возз
а у подрос

В резу
ви кислоро
у всех обс.
териальной
 PQ_2 в ней —
же нормы.
личиной сб
тесная кор
дом артери
лородом ар
держания.
ническая а
личением к
на. По на
тетрадой Ф
норму, а к
В связи с
бина у бол
ным иссле
которые мо
была проа
на в крови
12 лет кор
выраженно
Больш
ных тетрад
риальной и
здоровых д

Основные показатели гемодинамики, внешнего дыхания и газообмена у больных тетрадой Фалло

Показатели	Статистические показатели			
	<i>M</i>	$\pm m$	<i>max</i>	<i>min</i>
МОК в большом круге кровообращения (л/мин)	4,75	0,35	8,6	2,44
МОК в малом круге кровообращения (л/мин)	2,51	0,16	5,11	1,1
СИ в большом круге кровообращения (л/мин·м ²)	4,39	0,37	10,95	2,12
СИ в малом круге кровообращения (л/мин·м ²)	2,41	0,11	3,91	1,12
Сброс справа налево (%) к минутному объему большого круга)	39,7	3,28	77,0	5,0
Гемодинамический эквивалент	29,5	2,57	52,6	15,4
МОД (% кциальному МОД)	157,9	6,35	311,0	94,0
Частота дыхания (д. ц./мин)	21,6	0,36	28,0	16,0
Дыхательный объем (мл)	283,5	11,6	543,0	160,6
Отношение АВ/МОД (%)	69,0	1,17	78,0	53,0
Интенсивность потребления О ₂ (% кциальному)	98,9	2,61	142,0	65,0

почти в два раза превосходил МОМ. При этом средняя величина сердечного индекса в большом круге не отличалась от нормальной: Однако, возрастной анализ показал, что у больных дошкольного возраста МОБ превышал возрастные нормы на 47 %. У больных младшего школьного возраста МОК в большом круге был выше должностного на 19 %, а у подростков он не отличался от возрастных норм.

В результате сброса справа налево насыщение артериальной крови кислородом снижается. Артериальная гипоксемия была обнаружена у всех обследованных нами больных тетрадой Фалло. Насыщение артериальной крови кислородом составляло в среднем $83 \pm 1,30\%$, а Р_{О₂} в ней — $70,8 \pm 2,89$ гПа (53,2 $\pm 2,17$ мм рт. ст.), что значительно ниже нормы. При сопоставлении степени артериальной гипоксемии с величиной сброса справа налево оказалось, что между ними существует тесная корреляция — по мере увеличения сброса насыщение кислородом артериальной крови снижается (рис. 1). Снижение насыщения кислородом артериальной крови должно приводить к уменьшению его содержания. Однако при тетраде Фалло этого не происходит, т. к. хроническая артериальная гипоксемия компенсируется значительным увеличением кислородной емкости крови за счет концентрации гемоглобина. По нашим данным, концентрация гемоглобина в крови у больных тетрадой Фалло составляла в среднем $17,5 \pm 0,43$ г %, что превосходит норму, а кислородная емкость крови была равна $23,48 \pm 0,58$ об %. В связи с тем, что индивидуальные колебания концентрации гемоглобина у больных тетрадой Фалло были велики, нам показалось интересным исследовать зависимость данного показателя от ряда факторов, которые могут оказывать влияние на его величину. В первую очередь была проанализирована корреляция между концентрацией гемоглобина в крови и величиной сброса справа налево (рис. 1). У больных 4—12 лет корреляция оказалась высокой, у подростков она была менее выраженной.

Большая кислородная емкость крови приводит к тому, что у больных тетрадой Фалло, несмотря на артериальную гипоксемию, в артериальной крови содержится такое же количество кислорода, как и у здоровых детей. Возникает вопрос, обеспечивается ли в организме бо-

льных тетрадой Фалло такая скорость доставки кислорода, которая была бы адекватна потребности в нем организма, достаточна ли скорость кровотока в большом круге кровообращения для удовлетворения кислородного запроса тканей, а если достаточна, то насколько экономична функция кровообращения в отношении снабжения организма кислородом?

Скорость транспорта кислорода артериальной кровью является интегральным показателем, характеризующим процесс массопереноса кислорода артериальной кровью. У больных 7—12 лет скорость, тран-

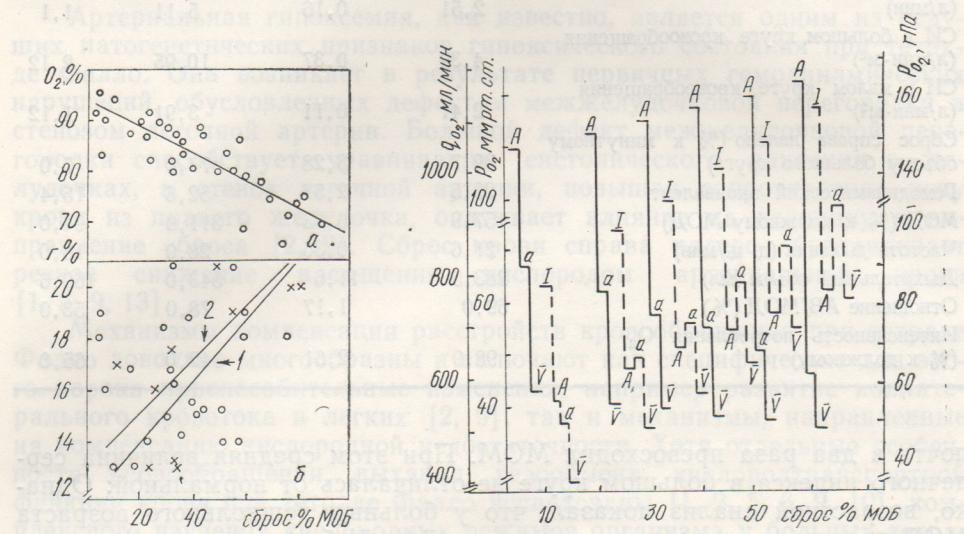


Рис 1. Зависимость насыщения артериальной крови кислородом (а) и концентрации гемоглобина (б) у больных тетрадой Фалло разного возраста от величины сброса крови справа налево.

1—4—7 лет, 2—8—13 лет.

Рис. 2. Зависимость скорости поэтапной доставки кислорода (прерывистая линия) и парциального давления кислорода (сплошная линия) в альвеолярном воздухе (A), артериальной (a) и смешанной венозной (v) крови от величины сброса крови справа налево.

спорта кислорода артериальной кровью уменьшается, оставаясь одинако на 25—30 % выше возрастных норм. У подростков с терадой Фалло она не отличается от возрастных норм. Таким образом, скорость доставки кислорода к тканям у больных тетрадой Фалло не ниже, а даже выше, чем у их здоровых сверстников. Благодаря этому, несмотря на артериальную гипоксемию, P_{O_2} в тканях может поддерживаться на таком уровне, при котором потребление ими кислорода не снижается.

Согласно нашим данным, средняя интенсивность потребления кислорода (потребление O_2 , отнесенное к массе тела) не отличалась от наблюдаемой в норме (см. таблицу). Однако следует подчеркнуть, что большинство больных тетрадой Фалло отстают в весе, а иногда и в росте от своих сверстников [1], и поэтому общая скорость потребления кислорода у них ниже возрастных норм. Наши данные согласуются с результатами определений потребления кислорода у больных тетрадой Фалло, полученными другими авторами [1, 6, 12], которые показали, что несмотря на артериальную гипоксемию, больные потребляют на кг массы столько же кислорода, сколько здоровые.

Показателем, характеризующим эффективность гемодинамики в отношении удовлетворения кислородного запроса тканей, являются гемодинамический эквивалент. У здоровых детей и подростков его величина колеблется от 23 до 18 [3]. Проведенные исследования показали, что у больных тетрадой Фалло гемодинамический эквивалент го-

раздо выше
ное потребл
эффективно-
физической
ной крови в
ется еще бо
кислорода
нагрузке мс

Говоря о
Фалло, след-
вателься допо-
рода на из-
[12], усилен-

Гипервентиляция Фалло. МО лицу). Увеличение за счет воздыхательного с этим относится к нижних гравитационных вентиляционных радий Фалло больных до растных нор. Гипервентиляция Р_{O₂} в альвеолы ление альвеол налево пок (рис. 2).

Po_2 в α снижено. Понятно отмечено снижение в крови в ср.ния Po_2 в α тканях выше, чем ниже которой

Таким провождает ганизма болеет при температуре этих детей потому, что пациент Po_2 становится Фалло является крови, венозный пациент Po_2 уменьшает потребление кислорода. Скорость постепенности, чем спорта кислорода тет больше.

которая
ли ско-
ворения
о эконо-
ганизма
вляется
реноса-
ь, тран-

гра
160
140
100
80
60
40
20
моб
центрации
роса кро-

я) и пар-
, артери-
а налево.

одна-
стей до-
е, а да-
есмотря-
ться на-
жается.
ия кис-
от наб-
что бо-
в росте-
ия кис-
я с ре-
трападой
казали,
т на кг

ики в
тся ге-
ков его
я пока-
ент го-

раздо выше, чем у здоровых (см. таблицу). Таким образом, нормальное потребление кислорода у больных достигается за счет снижения эффективности и экономичности функции кровообращения. Однако при физической нагрузке кровоток увеличивается меньше, чем сброс венозной крови в аорту, насыщение кислородом артериальной крови снижается еще больше, в тканях создаются худшие условия для утилизации кислорода [1, 7]. Вследствие этого даже при небольшой физической нагрузке может развиться тканевая гипоксия.

Говоря о нормальном потреблении кислорода у больных тетрадой Фалло, следует отметить, что при этом пороке сердца может расходоваться дополнительное количество энергии, а, следовательно, и кислорода на избыточную работу сердца [11], дыхательной мускулатуры [12], усиление эритропоэза [8].

Гипервентиляция была обнаружена нами у всех больных тетрадой Фалло. МОД у них в 1,5 раза превышал должную величину (см. таблицу). Увеличение вентиляции легких происходило главным образом за счет возрастания дыхательного объема. Физиологическое мертвое дыхательное пространство у больных было увеличено. В соответствии с этим отношение альвеолярной вентиляции к МОД находилось на нижних границах возрастных норм. Большой, чем у здоровых детей, вентиляционный эквивалент свидетельствует о том, что у больных тетрадой Фалло дыхание менее эффективно и менее экономично. Так, у больных дошкольников он на 34 %, а у подростков на 20 % выше возрастных норм.

Гипервентиляция приводит к тому, что у больных тетрадой Фалло P_{O_2} в альвеолярном воздухе повышается до $116,2 \pm 6,72$ гПа. Сопоставление альвеолярного P_{O_2} у больных с разной величиной сброса справа налево показало, что чем сброс больше, тем P_{O_2} в альвеолах выше (рис. 2).

P_{O_2} в артериальной крови у всех больных тетрадой Фалло резко снижено. Причем оно снижалось параллельно увеличению сброса. Интересно отметить, что увеличение сброса справа налево не вызывало снижения венозного P_{O_2} . Напряжение кислорода в смешанной венозной крови в среднем не отличалось от нормального. Важность определения P_{O_2} в венозной крови, подчеркнутая многими авторами, объясняется тем, что нормальный уровень P_{O_2} венозной крови при артериальной гипоксемии косвенно свидетельствует о том, что величина P_{O_2} в тканях выше так называемого критического уровня, т. е. такого P_{O_2} , ниже которого потребление ими кислорода начинает снижаться.

Таким образом, гипоксическое состояние при тетраде Фалло сопровождается своеобразными изменениями кислородных режимов организма больного. В связи с тем, что артериальная гипоксемия возникает при тетраде Фалло в результате внутрисердечного сброса венозной крови в аорту, она не может быть компенсирована отмеченным у этих детей повышением P_{O_2} в альвеолярном воздухе. Это приводит к тому, что по мере увеличения сброса альвеолярно-артериальный градиент P_{O_2} становится больше. Другой особенностью гипоксии при тетраде Фалло является то, что, несмотря на сниженное P_{O_2} в артериальной крови, венозная гипоксемия не развивается, но артерио-венозный градиент P_{O_2} уменьшен. Отсутствие венозной гипоксемии, а также нормальное потребление кислорода в покое у больных тетрадой Фалло косвенно свидетельствуют о том, что гипоксическое состояние компенсировано благодаря увеличению скорости поэтапной доставки кислорода к тканям (рис. 2). На рисунке видно, что скорость поэтапной доставки кислорода возрастает параллельно увеличению сброса справа налево. Скорость поступления кислорода в альвеолы увеличивается в меньшей степени, чем скорость поступления кислорода в легкие. Скорость транспорта кислорода артериальной кровью по мере увеличения сброса растет больше, чем скорость поступления кислорода в альвеолы, и уже

при сбросе, превышающем 30 % МОК большого круга, превосходит ее величину. Скорость транспорта кислорода смешанной венозной кровью увеличивается почти параллельно скорости транспорта его артериальной кровью.

Выводы

1. Скорость поступления кислорода в легкие и в меньшей степени в альвеолы возрастает пропорционально величине сброса справа налево. Скорость транспорта кислорода артериальной и смешанной венозной кровью у больных тетрадой Фалло не ниже, а даже выше, чем у здоровых, причем она возрастает с увеличением сброса.
 2. Увеличение скорости поэтапной доставки кислорода к тканям обуславливает отсутствие венозной гипоксемии и поддержание нормального уровня потребления кислорода у больных тетрадой Фалло.
 3. При тетраде Фалло наблюдается снижение эффективности и экономичности функции кровообращения и дыхания в отношении обеспечения организма кислородом, о чем свидетельствует повышение гемодинамического и вентиляционного эквивалентов.

Список литературы

1. Винницкая Р. С. Дыхание при врожденных пороках сердца.— М. : Медицина, 1969.— 268 с.
 2. Вишневский А. А., Галанкин Н. К., Крымский Л. Д. Тетрада Фалло.— М. : Медицина, 1969.— 224 с.
 3. Колчинская А. З. Кислородные режимы организма ребенка и подростка.— Киев : Наук. думка, 1973.— 320 с.
 4. Мешалкин Е. Н., Окуниева Г. Н., Власов Ю. А. Формирование приспособления организма к артериальной гипоксемии больного врожденным пороком сердца синего типа и здорового человека в условиях высокогорья.— В кн.: Тез. докл. к симпоз. «Оксигенотические и аноксибиотические процессы при экспериментальной и клинической патологии», Киев, 18—22 апр. 1975 г. Киев: Б. и., 1975, с. 145—147.
 5. Никитина Н. И., Кузнецова В. К. Функциональное состояние аппарата легочного дыхания при врожденных пороках сердца с обедненным легочным кровотоком.— Кардиология, 1973, 13, № 4, с. 138—140.
 6. Bjarke B. Spirometric data, pulmonary ventilation and gas exchange at rest and during exercise in adult patients with tetralogy of Fallot.— Scand. J. Resp. Dis., 1974, 55, N 1, p. 47—61.
 7. Eriksson B. O., Bjarke B. Oxygen uptake, arterial blood gases and blood lactate concentration during submaximal and maximal exercise in adult subject with shunt-operated tetralogy of Fallot.— Acta med. scand., 1975, 197, N 3, p. 187—193.
 8. Hedlund S. Studies on erythropoiesis and total red cell volume in congestive heart failure.— Acta med. scand., 1953, 146, Suppl. 284, p. 1.
 9. Kirklin J. W., Karp R. B. The tetralogy of Fallot.— Toronto: Saunders 1970.— 378 p.
 10. Manzke H., Esters W., Dörner K. et al. Untersuchungen über den Sauerstofftransport im Blut bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern.— J. Karbiologie, 1975, 64, N 6, S. 562—673.
 11. Sarnoff S. U., Braunwald E., Welch G. N. et al. Hemodynamic determinants of oxygen consumption of the heart with special reference to the tension-time index.— Amer. J. Physiol., 1958, 192, N 1, p. 148—156.
 12. Sotier M., Mocellin R., Bühlmeyer K. Zur Frage des Sauerstoffverbrauchs bei Säuglingen und Kindern mit angeborenen Herzfehlern.— Z. Kardiologie, 1975, 64, N 2, S. 149—160.
 13. Strong M., Keats A., Cooley D. Arterial Gas tension under anesthesia in tetralogy of Fallot.— Brit. J. Anaesthesiol., 1967, 39, N 6, p. 472—479.

Отдел гипоксических состояний
Института физиологии им. А. А. Богомольца
АН УССР, Киев

Поступила в редакцию
18.III 1982 г.

УДК 612.273.1+6

В связ-
щей при ме-
личающийся
ганизма и
ционированы
характерные
сия нагрузок
ления кислорода
результате
кислородны
рактерны в
дефицита к
кислородного
сдвиг кислородных
свойств, оказываясь
Определены
мы, за счет
рос организ-
ной деятель-
ности и дру-
гих аналогий с
делить четы-
частично ко-
поксемией с
дуктов и из-
щийся кислород
Учитывая

учиты-
лена задача

Для оценки механизмов, ее функционального состояния и дыхания, низкого состояния реноса углекислого газа высших разряда давления. При малой интенсивности,

В стаде
тенсивности
нога потребует
гашается в
значительно
смешанной
с тем, что в
кровоток в