

УДК 636.1.12:591.1

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КИСЛОРОДНЫХ РЕЖИМОВ ОРГАНИЗМА И СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ РЫСИСТЫХ ЛОШАДЕЙ

С.А. КОЗЛОВ

(Кафедра физиологии и биохимии с.-х. животных)

Приводятся данные по изучению кислородных режимов организма (КРО) и состояния функциональной системы дыхания (ФСД) у лошадей рысистых пород разных возрастных групп (от 2 до 13 лет).

Были определены частота дыхания, дыхательный и минутный объемы дыхания, частота сердечных сокращений, содержание гемоглобина и эритроцитов в крови, насыщение крови кислородом, потребление кислорода и другие показатели, характеризующие состояние ФСД и КРО рысистых лошадей. Выявлена тенденция изменения показателей КРО и состояния ФСД с возрастом у рысистых лошадей. Полученные данные указывают на более эффективное и экономичное дыхание молодых половозрелых рысаков 4 и 5 лет по сравнению с лошадьми младшего и более старшего возрастов.

Сделанные заключения подтверждают ранее установленную в физиологии людей и млекопитающих животных закономерность изменения с возрастом КРО и состояния ФСД.

В научной литературе широко освещены закономерности изменения дыхания, кровообращения, дыхательной функции крови, тканевого дыхания с возрастом у животных [9—11]. Установлены также особенности изменения этих функций с возрастом у человека, выявлены особенности дыхания женщин [5—8].

В литературе по коневодству, в которой имеется много сведений о физиологии лошадей, в частности по физиологии пищеварения,

размножения, искусственного оплодотворения, очень мало данных о процессе дыхания, особенно о дыхании лошадей рысистых пород [1—2].

Внешнее дыхание — начальное звено сложного процесса дыхания, включающего поэтапную доставку кислорода к клеткам и митохондриям, где, собственно, и осуществляется дыхание — окислительное фосфорилирование — и где образуется углекислый газ, совершающий свой поэтапный

путь от клеток к выдыхаемому воздуху. В своих исследованиях мы основывались на концепциях А.З. Колчинской (1973, 1979, 1983, 1991) о системе регулирования кислородных режимов организма и о функциональной системе дыхания (ФСД), основным назначением которой является обеспечение соответствия скорости поэтапной доставки кислорода и его потребления кислородному запросу организма, скорости выведения углекислого газа — скорости его образования в тканях [6—8]. Эта система включает газообмен в легких, транспорт респираторных газов кровью, тканевое дыхание. ФСД обслуживается управляемыми нервной и эндокринной системами органами внешнего дыхания, кровообращения, кроветворения, цепочкой дыхательных ферментов митохондрий. Функциональная система дыхания лошадей до недавнего времени не была охарактеризована, а об изменении ее состояния с возрастом у лошадей данных в литературе нет и вовсе. Вместе с тем уровень развития и состояние функциональной системы дыхания рысистых лошадей обеспечивают аэробную производительность организма, от которой зависят работоспособность рысаков, их резвостные качества.

Вышеизложенное побудило нас изучить состояние ФСД лошадей разного возраста, при этом наше внимание было обращено на возраст, в котором рысаки проявляют самые высокие спортивные возможности.

Целью работы явилось охарактеризовать состояние ФСД лоша-

дей рысистых пород разных возрастных групп, выявить основные закономерности ее изменений с возрастом.

Методика

Обследованы 40 рысаков 6 возрастных групп: 2, 3, 4—5, 6, 7—10 и 12—13 лет. Обследования проводились на Центральном Московском ипподроме и в Московском конном заводе № 1 в утренние часы, до обычного ипподромного или заводского тренинга. Каждая лошадь во время обследования находилась в своем деннике в состоянии относительного покоя.

В опытах использовали дыхательную маску конструкции Г.Г. Карлсена (ВНИИ коневодства) с минимальным мертвым дыхательным пространством, имеющую 2 клапана вдоха и 2 клапана выдоха, соединенную резиновыми гофрированными шлангами с мешком из прорезиненной ткани емкостью до 2000 л. Для определения показателей внешнего дыхания, объема выдыхаемого газа использовали сухие газовые часы с высокой пропускной способностью конструкции Г.Г. Карлсена и В.А. Щукина. Состав выдыхаемого, выдыхаемого и альвеолярного газов определяли на газоанализаторе фирмы «Трейд Медикал».

Регистрацию частоты сердечных сокращений проводили с помощью пульсометров типа «Horges tester» или «Sport tester».

Содержание гемоглобина и эритроцитов в крови определяли на ФЭК (модель 0—65), степень насыщения крови кислородом —

на кюветном оксигеометре марки ОКО—057.

Расчеты функциональных показателей дыхания лошадей и их анализ проводили с использованием математической модели кислородных режимов организма А.З. Колчинской [6].

Результаты

Как известно, средняя продолжительность жизни лошадей рысистых пород составляет 25 лет. К 4-м годам лошади достигают физиологической зрелости. Исследования дыхания молодых половозрелых рысаков в условиях покоя показали, что их дыхание ока-

зывается редким, практически таким же, как в покое у спортсменов 18—25 лет, легочная вентиляция в пересчете на 1 кг массы тела также близка к тому, что отмечено у молодых спортсменов. Нет разницы и в интенсивности потребления кислорода, но установлены различия по показателям кровообращения: пульс у молодых половозрелых лошадей в 1,5—2 раза реже, чем у молодых мужчин, но интенсивность кровотока (минутный объем крови на 1 кг массы тела) у лошадей рысистых пород превышает значение этого показателя у человека (табл. 1).

Таблица 1

Показатели состояния функциональной системы дыхания

Показатель	Спортсмены 18—25 лет (по данным [6])	Рысаки 4—5 лет
Частота дыхания, дых/мин	11—14	11,1±0,87
Минутный объем дыхания (МОД), л/мин	6,5—7,5	46,0±1,9
МОД на 1 кг массы тела, мл/мин	87—100	99,0±0,8
Потребление кислорода, мл/мин	250—290	1718,1±28,9
Потребление кислорода на 1 кг массы тела, мл/мин	3,3—3,7	3,5±0,3
Частота сердечных сокращений, уд/мин	56—62	34,2±0,8
Минутный объем крови, мл/мин	3800—4200	35700±248,6
Минутный объем крови на 1 кг массы тела, мл/мин	50—56	72,9±0,5
Содержание гемоглобина в крови, г/л	140—150	135,3±1,2
Количество эритроцитов в крови, млн/мм ³	5—6	6,8±0,1
Кислородная емкость крови, мл/л	190—200	184,0±2,8
Содержание кислорода в артериальной крови, мл/л	180—190	178,5±1,6

Выявлены различия и в дыхательной функции крови. Количество эритроцитов у молодых рысистых лошадей больше, чем у человека, а содержание гемоглобина в крови, ее кислородная емкость и содержание кислорода в артериальной крови

приближаются к нижним границам этих показателей у человека.

По интенсивности потребления кислорода тканями организма лошади рысистых пород практически не отличаются от того, что имеет место у человека.

Выявленные особенности внешнего дыхания, кровообращения, дыхательной функции крови, тканевого дыхания обуславливают различия в кислородных режимах организма рысистых лошадей.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что состояние функциональной системы дыхания лошадей рысистых пород изменяется с возрастом. Если у рысаков 4—5 лет ритм дыхания редкий, то у молодых лошадей «пре-

пубертатного» возраста (2 года) он почти в 2 раза чаще. Дыхательный объем 2-летних рысаков едва достигает 82% величины дыхательного объема половозрелых рысаков. Более частое дыхание у молодых животных обуславливает существенно больший (в 1,5 раза) минутный объем дыхания, который в 1,8 раза превышает минутный объем дыхания половозрелых лошадей и в расчете на 1 кг массы тела (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Показатели внешнего дыхания лошадей рысистых пород разных возрастов

Показатель	Рысаки 2 лет	Рысаки 3 лет	Рысаки 4—5 лет	Рысаки 6 лет	Рысаки 7—10 лет	Рысаки 12—13 лет
Частота дыхания, дых/мин	20,4±3,6	14,1±1,4	11,1±0,9	13,0±0,3	15,1±0,7	17,0±0,1
Дыхательный объем, л	3,67±0,31	4,29±0,24	4,43±0,21	3,19±0,08	2,77±0,11	2,46±0,03
МОД, л/мин	72,7±4,8	60,0±2,7	46,0±1,9	41,0±0,5	41,7±1,1	41,7±0,8
МОД на 1 кг массы тела, мл/мин	178,4±12,5	127,3±8,5	99,0±0,8	84,4±7,3	86,9±9,2	91,5±6,3
Вентиляционный эквивалент	33,9±2,2	28,6±0,4	26,8±0,4	27,4±0,8	32,3±0,1	34,7±0,2
Отношение альвеолярной вентиляции к МОД, %	62,3±0,7	66,4±0,2	66,4±0,4	64,5±0,8	58,8±1,0	62,0±1,1
Кислородный эффект дыхательного цикла, мл на 1 дых. цикл	105,2±17,2	149,0±6,3	154,8±4,7	115,0±2,1	86,3±1,7	70,7±1,2

Скорость потребления кислорода у лошадей младшей возрастной группы более чем в 1,2 раза выше, чем у лошадей 4—5 лет. Интенсивность потребления кислорода (мл/О₂ в 1 мин на 1 кг массы тела) у рысаков «препубертатного» возраста на 1,76 мл/мин выше, чем у молодых половозрелых животных (табл. 3).

Показатели состояния функциональной системы дыхания и энерготрат у 2-леток по сравнению с 4—5-летками отличаются меньшей экономичностью и эффективностью. Об этом свидетельствуют меньший процент поглощения кислорода в легких и более высокий вентиляционный эквивалент (см. табл. 2, 3).

Таблица 3

Потребление кислорода лошадьми рыснстых пород разных возрастов

Показатель	Рысаки 2 лет	Рысаки 3 лет	Рысаки 4—5 лет	Рысаки 6 лет	Рысаки 7—10 лет	Рысаки 12—13 лет
Потребление O ₂ , мл/мин	2146,1±	2100,6±	1718,1±	1494,5±	1296,4±	1201,0±
Потребление O ₂ на 1 кг массы тела, мл/мин	5,27±0,20	4,46±0,17	3,51±0,21	3,08±0,33	2,70±0,11	2,63±0,16
Поглощение O ₂ в легких, %	3,28±0,21	3,89±0,07	4,15±0,04	4,05±0,08	3,45±0,06	3,20±0,02

Ритм сердечных сокращений у 2-летних рысаков в 1,2 раза чаще, чем у рысаков 4—5 лет, примерно во столько же раз у них выше и

кислородный пульс. Эти показатели указывают на меньшую эффективность сердечной деятельности (табл. 4).

Таблица 4

Показатели кровообращения лошадей рыснстых пород разных возрастов

Показатель	Рысаки 2 лет	Рысаки 3 лет	Рысаки 4—5 лет	Рысаки 6 лет	Рысаки 7—10 лет	Рысаки 12—13 лет
Частота сердечных сокращений, уд/мин	41,1±2,3	38,0±1,6	34,2±0,8	34,0±0,6	36,2±0,9	36,7±0,7
Ударный объем крови, л за 1 сердечное сокращение	1,10±0,19	1,19±0,07	1,04±0,08	0,92±0,02	0,77±0,07	0,71±0,03
Минутный объем крови, л/мин	45,3±2,4	45,1±2,9	35,7±2,5	31,4±1,4	27,8±1,1	26,2±0,9
Гемодинамический эквивалент	21,1±1,3	21,5±0,4	20,8±0,7	21,0±0,2	21,4±1,1	21,8±0,3
Кислородный пульс, мл за 1 сердечное сокращение	52,2±5,7	55,3±1,8	50,2±2,2	44,0±1,4	35,8±2,0	32,7±2,4

Сравнение состояния функциональной системы дыхания молодых половозрелых лошадей (4—5 лет) и «пожилых» (12—13 лет) показало, что у животных старшего возраста частота дыхания более чем в 1,5 раза превышает данный показатель 4—5-летних рысаков (см. табл. 2). При этом отмечается снижение дыхательного объема у

«пожилых» рысаков. Он составляет 55,5% дыхательного объема молодых рысаков. Меньше и минутный объем дыхания: 90,7% к величине показателя молодых лошадей. Более частый дыхательный ритм и меньший дыхательный объем указывают на то, что у «пожилых» лошадей дыхание становится более поверхностным.

Скорость потребления кислорода у «пожилых» рысаков в 1,4 раза меньше, чем у лошадей 4—5-летнего возраста. Интенсивность потребления кислорода также оказывается более низкой, она на 0,88 мл/мин на 1 кг массы тела меньше, чем у молодых животных.

Сравнение показателей внешнего дыхания и утилизации кислорода указывает на меньшие экономичность и эффективность дыхания у старых животных по сравнению с молодыми половозрелыми лошадьми. Об этом свидетельствуют меньший процент поглощения кислорода кровью в легких у старых лошадей и более высокий вентиляционный эквивалент (для утилизации 1 л кислорода этим животным требуется больший объем воздуха, поступающий в легкие).

Выявлено снижение кислородного эффекта дыхательного цикла у «пожилых» лошадей. Он составляет всего лишь 45,7% величины данного показателя молодых половозрелых животных. Все это — признаки снижения экономичности внешнего дыхания.

Исследования указывают также на снижение экономичности сердечной деятельности у «пожилых» лошадей. Ритм сердечных сокращений у них более частый, а кислородный пульс составляет 65,1% к значению данного показателя у лошадей 4—5-летнего возраста (табл. 4).

Лошади 3 и 6—10 лет занимают промежуточное положение по показателям состояния функциональной системы дыхания между лошадьми соответственно 2 и 4—5 лет и 4—5 и 12—13 лет.

У лошадей рысистых пород 2—5 лет частота дыхания с возрастом уменьшается, а начиная с 6 лет этот показатель постепенно увеличивается.

Аналогичная тенденция наблюдается и с изменением показателей дыхательного объема у рысаков с возрастом. Так, по мере старения рысаков дыхательный объем возрастает, достигая максимального значения в 4—5-летнем возрасте, а затем уменьшается, составляя 67,0% величины дыхательного объема 2-летних рысаков и 55,5% величины дыхательного объема лошадей 4—5 лет.

С возрастом отмечается снижение объема легочной вентиляции. Данный показатель у рысаков 4—5-летнего возраста составляет 63,4%, а у рысаков 12—13 лет — 57,4% к его величине 2-летних рысаков.

Скорость потребления кислорода уменьшается с возрастом. У «пожилых» лошадей по сравнению с 2-летними и 4—5-летними данный показатель составляет 56,0% и 69,9%. Интенсивность потребления кислорода также уменьшается с возрастом. У рысаков 12-13 лет данный показатель в 2 раза меньше, чем у молодых 2-летних животных (см. табл. 3).

Меньший процент поглощения кислорода кровью в легких и больший показатель вентиляционного эквивалента у молодых и старых лошадей по сравнению с лошадьми среднего возраста (4—6 лет), снижение кислородного эффекта дыхательного цикла у лошадей, начиная с 4-летнего возраста, указывают на снижение

экономичности внешнего дыхания у рысистых лошадей с возрастом.

Нами отмечено также снижение экономичности сердечной деятельности у рысистых лошадей с возрастом. По мере наступления половозрелости ритм сердечных сокращений снижается, а с 7-летнего возраста начинает увеличиваться. Показатель кислородного пульса с возрастом уменьшается: у «пожилых» лошадей он составляет 62,6 и 71,7% к его значению

соответственно у 2 и 4—5-летних рысаков (табл. 4).

С возрастом у лошадей изменяются и показатели, характеризующие дыхательную функцию крови. Так, с возрастом, ростом, прибавлением массы тела и особенно с повышением степени тренированности рысаков увеличивается содержание гемоглобина в крови, ее кислородная емкость, а также содержание кислорода в артериальной и венозной крови (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Показатели дыхательной функции крови лошадей рысистых пород разных возрастов

Показатель	Рысаки 2 лет	Рысаки 3 лет	Рысаки 4—5 лет	Рысаки 6 лет	Рысаки 7—10 лет	Рысаки 12—13 лет
Содержание гемоглобина в крови, г/л	122,3±1,7	129,5±1,9	135,3±1,2	137,0±1,7	140,4±1,1	142,3±1,4
Количество эритроцитов в крови, млн/мм ³	6,6±0,7	6,8±0,5	6,8±0,1	6,75±0,9	6,76±1,1	6,63±0,5
Кислородная емкость крови, мл/л	166,3±2,4	176,1±2,3	184,0±2,8	186,3±1,9	190,9±2,1	193,5±1,6
Насыщение кислородом артериальной крови, ‰	96±0,8	97±0,2	97±0,7	96±0,6	95±0,4	95±0,1
Насыщение кислородом венозной крови, ‰	69,3±0,4	72,6±0,8	70,4±0,7	70,5±0,1	70,5±0,9	71,3±0,3
Содержание кислорода в артериальной крови, мл/л	159,7±3,1	170,8±2,9	178,5±1,6	178,9±2,6	181,4±1,7	183,8±2,1
Содержание кислорода в венозной крови, мл/л	112,3±4,6	124,2±2,8	130,3±2,1	131,3±4,2	134,8±1,8	138,0±3,7

Снижаются с возрастом минутный и ударный объемы крови. Скорость поэтапного транспорта кислорода артериальной и венозной кровью имеет тенденцию к постепенному повышению у лошадей от 2 до 3 лет и снижено у

рысаков половозрелого возраста. У лошадей 12—13 лет эти показатели составляют лишь 66,7 и 71,1% к их значению у 2-летних рысаков.

Артерио-венозное различие по кислороду также изменяется с воз-

растом: у лошадей среднего возраста (4—5 лет) этот показатель достоверно выше, чем у 2-летних рысаков, в то время как у «пожилых» лошадей он ниже.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что с возрастом у рысистых лошадей происходит закономерное снижение скорости поэтапной доставки кислорода, при этом кислородные режимы организма рысаков становятся более напряженными. Парциальное давление кислорода (PO_2) в альвеолах с возрастом уменьшается. Однако у рысаков старше 7 лет PO_2 в альвеолах возрастает. Напряжение кислорода в артериальной крови у «пожилых» лошадей становится ниже, чем у молодых животных. Напряжение кислорода в венозной крови с возрастом практически не претерпевает изменений.

Таким образом, в процессе старения рысаков на фоне снижения скорости поэтапной доставки кислорода к тканям, парциального давления кислорода в артериальной крови и уменьшения альвеолярно-венозного градиента PO_2 кислородные режимы организма становятся более напряженными.

Выявленные нами особенности изменения показателей, характеризующих состояние функциональной системы дыхания, кислородных режимов организма и их регулирования у рысистых лошадей разного возраста, соответствуют тем же возрастным закономерностям, которые наблюдаются у человека в разные периоды его жизненного цикла [3, 4, 6].

Выводы

1. Выявлены особенности кислородных режимов организма и функциональной системы дыхания у лошадей рысистых пород и их изменения с возрастом. Частота дыхания молодых половозрелых рысаков практически такая же, как и у спортсменов 18—25 лет, минутный объем дыхания в 6—7 раз превышает данный показатель у человека. Частота сердечных сокращений в 1,5—2 раза реже, чем у молодых мужчин. Количество эритроцитов у лошадей больше, чем у человека, а содержание гемоглобина в крови и ее кислородная емкость приближаются к нижним границам этих показателей у человека.

2. У рысистых лошадей младшего возраста (2 года) дыхание более частое, менее глубокое, а также менее эффективное и экономичное, чем у лошадей старшего возраста. Скорость потребления кислорода и его интенсивность в этом возрасте самые высокие.

3. У животных среднего возраста (4—5 лет) происходят урежение дыхания, увеличение дыхательного объема, повышение эффективности и экономичности кислородных режимов организма.

4. По мере старения лошадей их дыхание учащается, скорость и интенсивность потребления кислорода снижаются. Кислородные режимы организма становятся менее эффективными и экономичными, но более напряженными.

5. Сделанные заключения подтверждают ранее установленную в физиологии человека и млекопитающих животных закономер-

ность изменения с возрастом кислородных режимов организма и состояния функциональной системы дыхания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлсен Г.Г. Газообмен и расход энергии. — Книга о лошади. М.: Сельхозиздат, 1960, т. 5, с. 208—243. — 2. Карлсен Г.Г. и др. Тренинг и испытания рысаков. М.: Колос, 1975. — 3. Козлов С.А. Возрастные и половые особенности состояния функциональной системы дыхания рысистых лошадей. — Сб. науч. трудов ВНИИ коневодства, 1998. — 4. Козлов С.А., Колчинская А.З. Особенности дыхания рысаков. — Коневодство и конный спорт, 1998, № 3, с. 13. — 5. Колчинская А.З. Недостаток кислорода и возраст. Киев: Наукова думка, 1964. — 6. Колчинская А.З. Кислородные режимы организма ребенка и подро-

тка. Киев: Наукова думка, 1973. — 7. Колчинская А.З. Вторичная тканевая гипоксия. Киев: Наукова думка, 1983. — 8. Колчинская А.З. Кислород. Физическое состояние. Работоспособность. Киев: Наукова думка, 1991. — 9. Лауэр Н.В., Колчинская А.З. Об изменении сердечной деятельности и дыхания у животных разного возраста при кислородной недостаточности. — Физиология и патология кровообращения. Киев: Изд-во АН УССР, 1959. — 10. Назорный А.В. Старение и продление жизни. М.: Изд-во Сов. наука, 1950. — 11. Сиротинин Н.Н. Высшая нервная деятельность при кислородном голодании. — Сб. научной конференции по проблемам высшей нервной деятельности и кортиковисцер. отношений. Киев: Изд-во АН УССР, 1954, с. 35—37.

Статья поступила 1 октября 1998 г.

SUMMARY

Data on studying oxygen regimes of organism (ORO) and condition of functional respiration system (FRS) in race horses of different age groups (from 2 to 13 years) are presented.

Frequency of respiration, respiratory and minute volume of respiration, frequency of heart contractions, content of hemoglobin and erythrocytes in blood, saturation of blood with oxygen, consumption of oxygen and other factors which characterize ORO and FRS condition of race horses.

The tendency to changes in ORO indices and FRS condition with age in race horses has been found. The data obtained show more efficient and economical respiration in young sexually mature 4—5 years old race horses in comparison with younger and older ones.

These conclusions confirm the regularity in changes of ORO and FRS condition in people and mammal animals with age, which was formerly found in physiology.