

УДК 636.12:591.12.127

**ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ РЫСИСТЫХ ЛОШАДЕЙ
ПРИ ГИПОКСИИ**

С.А. КОЗЛОВ

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

Исследования проведены на 22 рысаках Центрального Московского ипподрома, в том числе на жеребцах трех возрастных групп и кобылах двух возрастных групп. У всех подопытных животных выявлена тенденция к изменению показателей состояния функциональной системы дыхания (ФСД) с возрастом.

Были определены частота дыхания, дыхательный и минутный объемы дыхания, частота сердечных сокращений, содержание гемоглоби-

на и эритроцитов в крови, насыщение крови кислородом, потребление кислорода и другие показатели, характеризующие состояние ФСД и кислородных режимов организма рысистых лошадей.

Полученные данные показывают, что у жеребцов дыхание более эффективное и экономичное, чем у кобыл. С возрастом происходит увеличение аэробной производительности организма лошади и повышение экономичности показателей ФСД.

Снижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе (pO_2) вызывает у рысаков усиление функции механизмов, направленных на компенсацию снижения pO_2 , т.е. усиление дыхания, кровообращения, дыхательной функции крови. Лошади рысистых пород более чувствительны к гипоксии, тканевая гипоксия развивается у них при относительно нерезком гипоксическом воздействии (при 12% O_2 в газовых смесях).

Современные испытания лошадей рысистых пород, характеризующихся высокими резвостными показателями, как правило, приводят к острой борьбе на финише. В крупных призах с большой премиальной суммой победа достается только отлично подготовленным рысакам, обладающим высокой резвостью и выносливостью. Эти их качества совершенствуются благодаря развитию всех физиологических систем организма в процессе систематического и целенаправленного тренинга, в первую очередь нервной-мышечной системы и функциональной системы дыхания (ФСД), обеспечивающей организм необходимой биологической энергией.

Наряду с тем, что в литературе имеются многочисленные данные по физиологии лошадей рысистых пород, ФСД оказалась, к сожалению, недостаточно изученной [2, 3].

Основываясь на учениях академика П.К. Анохина (1970) о функциональных системах, представляющих собой динамические совокупности различных физиологических систем, деятельность ко-

торых направлена на достижение какого-то полезного для организма конечного результата, о чем в центральную нервную систему поступает информация от акцепторов действия, в своих работах профессор, академик Нью-Йоркской академии наук А.З. Колчинская предложила концепцию о функциональной системе дыхания и ее составной части — системе регулирования кислородных режимов организма (СРКРО) [1, 7, 8]. Ю.Н. Онопчуком и др. совместно с сотрудниками института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины были осуществлены описание ФСД и СРКРО и реализация их математических моделей на ЭВМ [8].

Известно, что основным назначением ФСД является обеспечение кислородом организма и выведение образовавшегося в тканях углекислого газа. Без представлений о данной системе трудно судить об аэробной производительности организма, в частности организма лошадей, определяющей его работоспособность. Без этого сложно осуществить поиск новых способов и методов, позволяю-

щих повысить резервы ФСД, аэробной производительности, а следовательно, и работоспособности лошадей рысистых пород.

Познанию физиологии рысистых лошадей способствовали исследования энергетических процессов в их организме во время выполнения рысаками нагрузок различной интенсивности. Эта работа проводилась на Центральном Московском ипподроме в 1960—1961 гг. Г.Г. Карлсеном и его сотрудниками. В результате было показано, что энергетические затраты организма лошадей, как и человека, а также и других животных, возрастают с повышенном интенсивности нагрузок [2, 3].

Проведенные ранее сотрудниками лаборатории тренинга племенных и спортивных лошадей ВНИИ коневодства биоэнергетические исследования позволили выявить реакцию организма главным образом рабочих животных на различный уровень кормления и воздействие окружающей среды, в частности изменения температуры воздуха. Полученные в результате этих исследований данные позволили разработать и предложить производству более рациональные приемы кормления и использования рабочих лошадей, а также нормы кормления для них [2].

Однако до сих пор отсутствуют данные о состоянии ФСД и ее роли в снабжении организма лошадей рысистых пород кислородом. Недостаточно полно были изучены показатели дыхания, кровообращения и дыхательной функции крови рысаков. Почти не известной до недавнего времени оставалась реакция ФСД лошадей рысистых пород на дыха-

ние воздуха с пониженным парциальным давлением кислорода (pO_2) [2, 10].

Под руководством профессора А.А. Ласкова в 1987 г. нами было проведено изучение состояния ФСД рысаков на высоте 1000—1200 м в горах (pO_2 в воздухе 140—130 мм рт.ст.) [4]. Уже на этой небольшой высоте, как показали наши исследования, дыхательные лошадей в покое участилось, частота сердечных сокращений (ЧСС) возросла в первую неделю пребывания животных в горах, т.е. рысаки оказались более чувствительными к гипоксии, чем человек, так как у человека на высоте 1000—1500 м достоверные изменения показателей дыхания и кровообращения отсутствуют [4—6].

Недостаточное количество данных в литературе о состоянии ФСД у рысаков и отсутствие более подробных сведений о ее реакции на снижение pO_2 во вдыхаемом воздухе побудили нас предпринять серию исследований, целью которых явилось изучение состояния функциональной системы дыхания в покое у рысистых лошадей и ее реакции на снижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе.

Методика

Обследованы 22 лошади рысистых пород (орловской, русской, американской стандартбредной) 3 возрастных групп: 2- и 3-летки, а также и 4-летки и более старшего возраста. Все лошади прошли тренинг и испытания на Центральном Московском ипподроме. В опытах использовали дыхательную массу конструкции Г.Г.

Карлсена (1960) с минимальным мертвым дыхательным пространством, имеющую по 2 клапана вдоха и выдоха, соединенную резиновыми гофрированными шлангами с мешком из прорезиненной ткани емкостью до 2000 л [2]. Для определения объема выдыхаемого газа использованы специальные сухие газовые часы с высокой пропускной способностью конструкции Г.Г. Карлсена и В.А. Щукина [2]. Герметическое крепление маски на голове лошади достигалось при помощи манжеты из плотной эластичной резины. Маска с манжетой фиксировалась на голове с помощью оголовья. Клапаны маски расположены на металлической решетке, что способствует устранению отвисания клапана, нарушающего герметичность системы. Для сбора выдыхаемого воздуха использованы прорезиненные мешки объемом от 250 до 2000 л. Определение газового состава выдыхаемого, вдыхаемого и альвеолярного воздуха проводили на газоанализаторе.

В опытах определяли: частоту дыхания (ЧД) по движению стрелки в счетчике литража, установленного в газовых часах; частоту сердечных сокращений — с помощью пульсометров типа *Horses tester* или *Sport tester*; содержание гемоглобина и эритроцитов — на фотоэлектрическом эритрогемометре (модель 0—65); уровень метаболизма углеводного обмена (лактата и глюкозы) — в безбелковом экстракте крови после осаждения белка трихлоруксусной кислотой: лактата (моль 10^{-3} /л) — по методу Баркера-Саммерсона (1941) в реакции с пара-

оксидифенилом, глюкозы (мг%) — в реакции с ортотолуидином по методу Ватсона и Стевенсона (1963). Степень насыщения крови кислородом (%) определяли с помощью кюветного оксигеометра марки ОКО—057 и геморефлектора Бринкмана, потребление кислорода рассчитывали по формуле: $PO_2 = MO_2 \cdot 0,9(F_1O_2 - F_EO_2)$, где PO_2 — потребление кислорода, мл/мин; MO_2 — минутный объем дыхания; F_1O_2 — содержание кислорода во вдыхаемом воздухе, %; F_EO_2 — содержание кислорода в выдыхаемом воздухе, % [8].

В опытах использованы гипоксические газовые смеси с содержанием в них 16, 14, 12 и 10% кислорода. Гипоксические смеси подавались лошадям от емкости 2000 л аппарата «Гипоксикатор» фирмы «Trade Medical», конвертирующего комнатный воздух в гипоксическую газовую смесь с нужным содержанием кислорода.

Расчеты функциональных показателей рысаков проводили на математической модели, предложенной профессором А.З. Колчинской (1995).

Результаты

Результаты исследований рысаков в денниках в условиях нормоксии (20,9% O_2 во вдыхаемом воздухе) приведены в табл. 1, 2, 3.

В этих же условиях содержание лактата в крови в среднем составило $0,73 \pm 0,05$ моль 10^{-3} /л, глюкозы — $62,0 \pm 2,1$ мг%.

Состояние функциональной системы дыхания жеребцов рысистых пород с возрастом изменялось (табл. 2). Так, у лошадей двух лет в покое дыхание частое, его

Средние показатели ФСД рысаков в нормоксических условиях в покое (n = 22)

Показатель	Значения
Частота дыхания, дых/мин	9,3±0,8
Дыхательный объем, л	5,0±0,4
Минутный объем дыхания, л/мин	45,8±1,5
Содержание O ₂ в выдыхаемом воздухе, %	17,57±0,48
Содержание CO ₂ в выдыхаемом воздухе, %	2,67±0,38
Частота сердечных сокращений, уд/мин	32,5±1,2
Содержание в крови:	
гемоглобина, г/л	121,0±0,7
эритроцитов, млн/мм ³	6,7±0,1

минутный объем достигает 75,1 л, потребление кислорода в легких пока еще невысокое — 3,3%, примерно такое же, как и у нетренированного человека, а скорость потребления кислорода (2277,8 мл/мин) и его интенсивность (6,51 мл/мин на 1 кг массы тела) превышают значения этих показателей у человека средних лет и приближаются к значениям, полученным при обследовании детей дошкольного возраста [6].

Дыхание в этом возрасте у рысаков отличается малой экономичностью, минутный объем его превышает потребление кислорода примерно в 33 раза, а содержание гемоглобина в крови (129,6 г/л) и ее кислородная емкость (176,3 мл/л) меньше, чем у человека средних лет [5, 6].

С возрастом, ростом, прибавлением массы тела и особенно с повышением степени тренированности показатели состояния ФСД и энерготрат изменяются в сторону повышения экономичности: увеличиваются дыхательный объем, кислородный эффект дыхательного цикла, содержание гемоглобина в крови и ее кислород-

ная емкость. У жеребцов 4 и 5 лет дыхание становится более редким, дыхательный объем достоверно увеличивается, минутный объем дыхания уменьшается, но повышается экономичность дыхания, о чем свидетельствуют вентиляционный эквивалент и процент поглощения кислорода в легких: каждый литр кислорода извлекается организмом жеребцов данного возраста из 27,1 л воздуха, а поглощение кислорода в легких превышает 4,0%. Общее же потребление кислорода и его интенсивность снижаются.

Наши исследования также показали, что с возрастом растет эффективность сердечной деятельности. Пульс становится более редким, а кислородный эффект сердечного цикла с возрастом изменяется недостоверно.

Наряду с изменениями показателей ФСД рысаков, зависящими от возраста, большой интерес представляют данные об особенностях функциональной системы дыхания у лошадей разного пола. Из табл. 2 видно также, что минутный объем и частота дыхания у кобыл больше, чем у жеребцов

Показатели состояния ФСД жеребцов и кобыл рысистых пород разного возраста в условиях нормоксии

Показатель	Жеребцы в возрасте, лет			Кобылы в возрасте, лет	
	2	3	4—5	2	3
Частота дыхания, дых/мин	19,8±5,6	12,6±0,1	9,2±0,2	13,3±0,5	16,1±1,1
Дыхательный объем, л	3,79±0,43	4,21±0,13	4,89±0,03	4,09±0,15	4,20±0,28
Минутный объем дыхания, л/мин	75,1±13,0	53,1±2,0	45,0±0,6	54,4±0,1	67,6±1,4
Вентиляционный эквивалент	33,0±2,2	27,5±0,4	27,1±0,4	30,7±0,1	31,6±0,3
Кислородный эффект дыхательного цикла, мл на 1 дых. цикл	115,0±19,1	153,2±6,3	180,5±2,1	133,3±4,2	133,0±8,9
Частота сердечных сокращений, уд/мин	42,4±2,1	35,9±1,0	32,5±0,9	37,2±0,3	39,5±0,6
Содержание гемоглобина в крови, г/л	129,6±2,0	133,3±1,9	135,1±1,1	134,6±0,9	126,8±1,5
Кислородная емкость крови, мл/л	176,3±2,7	181,3±2,6	183,7±2,7	183,1±1,2	172,5±2,0
Поглощение кислорода в легких, %	3,37±0,21	4,04±0,07	4,10±0,04	3,62±0,02	3,52±0,08
Потребление кислорода, мл/мин	2277,8±320,7	1930,7±75,6	1660,5±28,8	1772,4±10,6	2141,6±93,1
Кислородный пульс, мл на 1 серд. цикл	53,7±6,0	53,8±1,7	51,1±0,9	47,5±0,1	54,2±2,2

того же возраста, при этом дыхательные объемы у них практически одинаковые. Минутный объем дыхания у кобыл больше только за счет более частого дыхательного ритма. Процент поглощения кислорода в легких у кобыл ниже, чем у жеребцов. Однако из-за высокого минутного объема дыхания скорость и интенсивность потребления кислорода организмом кобыл выше, чем у жеребцов.

У кобыл более частый, чем у жеребцов, не только дыхательный, но и сердечный ритм, а содержание гемоглобина в крови у кобыл меньше, чем у жеребцов.

Описанные особенности дыхания лошадей рысистых пород раз-

ного пола обуславливают неодинаковую эффективность и экономичность дыхания у кобыл и жеребцов. Вентиляционный эквивалент у кобыл больше, т.е. организму требуется больший объем воздуха для утилизации 1 л кислорода, что менее экономично, а кислородный эффект дыхательного цикла ниже, чем у жеребцов, что также свидетельствует о меньшей экономичности дыхания кобыл. Наряду с этим показатели кислородного пульса у кобыл и жеребцов практически одинаковы.

При вдыхании лошадами воздуха с 16% O₂ (pO₂ = 122 мм рт.ст.) легочная вентиляция усиливается

преимущественно за счет учащения дыхания. По нашим данным, частота дыхания увеличилась на 45,2%, а дыхательный объем — только на 16,0%. При этом отмечено возрастание минутного объема дыхания на 69,9%, а частоты сердечных сокращений — на 12,3% (табл. 3).

При вдыхании гипоксических газовых смесей с содержанием в них 14% O_2 ($pO_2 = 105$ мм рт.ст.) усиление внешнего дыхания и

кровообращения было значительно больше. Частота дыхания возросла на 69,9%, дыхательный объем — на 24,0, минутный объем дыхания — на 111,8, частота сердечных сокращений — на 43,1%.

Еще более усилились дыхание и кровообращение при вдыхании воздуха с 12% O_2 ($pO_2 = 90$ мм рт.ст.): частота дыхания составляла 236,6%, дыхательный объем — 108,0, минутный объем дыхания — 259,8, частота сердечных

Т а б л и ц а 3

Показатели ФСД рысаков при гипоксической гипоксии ($n = 22$)

Содержание O_2 в газовых смесях, %	Частота дыхания, дых/мин	Дыхательный объем, л	Минутный объем дыхания, л/мин	Частота сердечных сокращений, уд/мин
16	13,5±1,4	5,8±0,6	77,8±2,4	36,5±1,5
14	15,8±1,9	6,2±0,8	97,0±4,9	46,5±1,8
12	22,0±2,4	5,4±0,3	119,0±7,9	48,3±1,1
10	27,5±2,8	4,3±0,2	116,5±3,2	51,8±1,9

сокращений — 148,6% к значению при нормоксии.

При вдыхании гипоксических смесей с 10% O_2 ($pO_2 = 78$ мм рт.ст.) произошло дальнейшее снижение дыхательного объема до 86% к нормоксическому. В результате учащения дыхания минутный объем дыхания был на 154,4%, частота дыхания — на 195,7, а частота сердечных сокращений — на 59,4% выше соответствующих нормоксических значений.

Важно отметить, что при уменьшении содержания кислорода в гипоксической газовой смеси до 12% в крови начало повышаться содержание лактата и снижаться содержание глюкозы. Уровень лактата увеличился с $0,73 \pm 0,05$ до $1,00 \pm 0,06$ моль $\cdot 10^{-3}$ /л. Особенно достоверным было повышение содержания лактата при дыха-

нии воздуха с 10% O_2 , оно возросло до $2,35 \pm 0,23$ моль $\cdot 10^{-3}$ /л. Увеличение лактата в крови указывает на возрастание доли анаэробного гликолиза в обеспечении организма энергией.

Нами было установлено снижение процента потребления кислорода по мере уменьшения содержания последнего во вдыхаемой гипоксической смеси. Так, если при нормоксии в покое в легких поглощалось 3,23% O_2 , то уже при вдыхании воздуха с 16% O_2 — всего лишь 1,95% и еще меньше — 1,08% — при гипоксической смеси с 10% O_2 .

В результате увеличения минутного объема дыхания потребление кислорода при вдыхании газовой смеси с 16% O_2 мало отличалось от данного показателя при нормоксии (соответственно 1365,4 и 1331,4 мл/мин). Однако по мере

уменьшения содержания кислорода в гипоксических смесях происходило постепенное уменьшение его потребления — до 1132,4 мл/мин при 10% O₂.

Таким образом, снижение процента поглощения кислорода в легких, уменьшение потребления кислорода и увеличение содержания лактата в крови позволяют заключить, что у рысаков уже при вдыхании воздуха с 12% O₂ начинает проявляться тканевая гипоксия и отмечается третья степень гипоксии — субкомпенсированная гипоксия (по А.З. Колчинской, 1989; 1991) [9]. Согласно имеющимся в литературе данным, у мужчин среднего возраста субкомпенсированная гипоксия отмечается при вдыхании воздуха с более низким содержанием кислорода — 11% O₂ (А.З. Колчинская и сотр., 1983 [9]). Сравнение полученных нами данных с литературными позволяет сделать заключение о том, что лошади рысистых пород более чувствительны к гипоксии, чем мужчины среднего возраста. Следует также отметить, что даже кратковременное вдыхание рысаками газовых смесей (до 10 мин) с пониженным в них содержанием кислорода вызывает увеличение содержания гемоглобина и эритроцитов в крови.

Выводы

1. У жеребцов рысистых пород по сравнению с кобылами более эффективное и экономичное дыхание.

2. С возрастом увеличивается аэробная производительность организма лошади, а показатели состояния функциональной системы дыхания, являющиеся своего рода отражателями степени тренированности рысаков, указыва-

ют на то, что деятельность этой столь важной системы организма становится более экономичной не только с возрастом, но и по мере прогресса резовстных показателей рысистых лошадей.

3. Снижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе вызывает у рысаков усиление функции механизмов, направленных на компенсацию снижения рO₂: усиление дыхания, кровообращения, дыхательной функции крови.

4. При вдыхании воздуха с пониженным содержанием кислорода минутный объем дыхания увеличивается преимущественно за счет учащения дыхания, дыхательный объем увеличивается не так значительно.

5. При снижении содержания кислорода во вдыхаемом воздухе дыхание лошадей рысистых пород становится менее экономичным: более чем в 2 раза уменьшается процент поглощения кислорода, а вентиляционный эквивалент при вдыхании воздуха с 10% O₂ увеличивается с 33,6 при нормоксии до 102,9.

6. Даже кратковременное вдыхание рысаками газовых смесей с пониженным содержанием O₂ способствует увеличению содержания гемоглобина и эритроцитов в крови.

7. Потребление кислорода организмом лошадей рысистых пород, несмотря на увеличение минутного объема дыхания и учащение сердечных сокращений, снижается при вдыхании воздуха с 12% O₂ и тем более с 10% O₂.

8. Содержание лактата в крови рысистых лошадей начинается достоверно увеличиваться по отношению к нормоксии при вдыхании воздуха с 12% O₂.

9. Снижение потребления кислорода и увеличение содержания лактата в крови лошадей рысистых пород свидетельствуют о развитии у них тканевой гипоксии при относительно нерезком гипоксическом воздействии, что позволяет сделать вывод об их высокой чувствительности к гипоксии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анохин П.К. Теория функциональной системы.* — Усп. физиол. наук. М., 1970, т. 1, № 1, с. 12—14. — 2. *Карлсен Г.Г. Газообмен и расход энергии.* — Книга о лошади. М.: Сельхозиздат, 1960, т. 5, с. 208—243. — 3. *Карлсен Г.Г. и др. Тренинг и испытания рысаков.* М.: Колос, 1975. — 4. *Козлов С.А. Влияние среднегорья и интервальной тренировки на функциональное состояние и работоспособ-*

ность лошадей рысистых пород. — Канд. дис. Дивово, 1995. — 5. *Колчинская А.З. Недостаток кислорода и возраст.* Киев: Наукова думка, 1964. — 6. *Колчинская А.З. Кислородные режимы организма ребенка и подростка.* Киев: Наукова думка, 1973. — 7. *Колчинская А.З. Специальная и клиническая физиология гипоксических состояний.* Киев: Наукова думка, 1979, с. 39—46. — 8. *Колчинская А.З. О классификации гипоксических состояний.* — Патологическая физиология и экспериментальная терапия, 1981., вып. 4, с. 3—10. — 9. *Колчинская А.З. Кислород. Физическое состояние. Работоспособность.* Киев: Наукова думка, 1991. — 10. *Ласков А.А. Адаптация лошадей к хронической и острой гипоксии.* М.: Россельхозиздат, 1972.

Статья поступила 5 марта 1998 г.

SUMMARY

Data on studying respiration and gas exchange in race horses of different age and sex obtained with investigating coursers, including stallions of three age groups and mares of two age groups, under conditions of normoxia and with inhaling hypoxic gas mixtures with 16, 14, 12 and 10% O₂ are presented.

The tendency of variation in indicators of condition of functional system of respiration (FSR) in race horses of different sex has been detected. Frequency of respiration, respiratory and minute volumes of respiration, frequency of heart contractions, content of hemoglobin and erythrocytes in blood, saturation of blood with oxygen, oxygen intake and other characters showing condition of FSR and oxygen regimes in the body of race horses are determined.

The data obtained show that respiration of stallions is more efficient and economical than that of mares. When a horse gets older, the aerobic productivity of its body increases and economic characters of FSR become higher.

Decrease in partial oxygen pressure in inhaled air (pO₂) causes in race horses stronger functions of mechanisms directed to compensation of decrease in pO₂, strengthening of respiration, blood circulation, respiratory function of blood. Race horses are more sensitive to hypoxia, tissue hypoxia develops in their bodies with relatively unsharp hypoxic effect (with 12% O₂ in gas mixtures).