

УДК 612.67:612.23

И. Н. Маньковская, М. М. Филиппов

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГИПОКСИИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ ПРИ ОСТРОЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ

Многочисленные экспериментальные и клинические исследования [3—7, 12, 13 и др.] четко выявили возрастные особенности реакции на гипоксию системы дыхания, обеспечивающей тканям доставку кислорода, адекватную их метаболическим потребностям. Старческий организм характеризуется, в частности, повышенной чувствительностью и сниженной устойчивостью к острой и хронической гипоксии [13]. Однако вопрос о возрастных особенностях возникновения и развития тканевой гипоксии, возрастных различиях в степени выраженности ее основных признаков — снижения скорости потребления кислорода тканью и интенсивности обмена макроэргических соединений, нарушений ультраструктуры ткани, лактацидоза — остается мало изученным при гипоксических состояниях различного происхождения.

В литературе имеются указания на то, что при острой циркуляторной гипоксии развитие миокарда у старых животных сопровождается более ранними и выраженными нарушениями генерации энергии в сердечной мышце [1]. При острой гипоксической гипоксии (пребывание животных в барокамере на «высоте» 6000 и 8800 м) у старых крыс в большей степени, чем у восьмимесячных, были выражены процессы пиноцитоза, микропиноцитоза и гидратации эндотелиальных клеток капилляров миокарда, явления дискомплексации и разрушения крист в крупных митохондриях миоцитов [14].

Целенаправленного комплексного исследования возрастных особенностей распределения напряжения кислорода и факторов, его определяющих, в мышечной ткани при гипоксии не проводилось. С этим связано отсутствие в литературе ответа на вопрос, существуют ли при гипоксических состояниях возрастные различия формирования критического уровня P_{O_2} в мышцах, детерминирующего снижение потребления кислорода в митохондриях мышечных клеток и развитие вторичной тканевой гипоксии [18].

Сведения о возрастных особенностях динамики P_{O_2} в тканях при гипоксии разного происхождения и факторах, формирующих эту величину, фрагментарны. Так, показано, что при одной и той же степени гипоксического воздействия (12,5 % O_2 во вдыхаемой смеси) снижение P_{O_2} (на 52—45 %) оказывается большим в подкожной клетчатке пожилых и старых людей (у молодых P_{O_2} снижается на 34 %) [7]. Этими же авторами [7] обнаружены возрастные различия в динамике кожной микроциркуляции в условиях острой гипоксической гипоксии (17 и 12,5 % O_2 в газовой смеси). При длительной физической нагрузке умеренной и субмаксимальной интенсивности (плавание) установлено, что у старых крыс плотность капилляров в скелетных мышцах задних конечностей увеличивается меньше, чем у животных среднего возраста [8]. Автор, правда, не указывает, развивалась ли у животных двигательная гипоксия.

Мы изучали возрастные особенности распределения напряжения кислорода в скелетной мышце и факторы, обуславливающие это распределение — параметры доставки кислорода к мышцам и интенсивность его потребления в мышечной ткани — при острой гипоксической гипоксии разной степени.

Исследо-
лых крысах-с
разной степе
10 % O_2 в N_2
рованных в т
моря). Газов
дыхательной
ляли предло
хательных газ
маски.

Содержа
Все мет
кровью, прит
держание кис
тоды определ
мышцей, стат
четы напряж
БЭСМ-6 с по
риментально
лородных пар
значений коэ
растворимост

При и
покое выя
взрослых и
1,98±0,06 м
тенсивност
12 мес кры
рых крыс
при меньш
приводит к
ными на 40

Наши
витие артер
животных и
и той же с
центном от
кислорода
ком возраст
меньшей ст

Расход
крови соба
описано в

Механ
старческой
никновения
ного покоя
чины и рав
ности легк
ношений л
через анат
кислородсв
ния нейро
ние, транс

Воздей
потреблени

* Опред
с Л. А. Курба

Методика исследований

Исследования проведены на 40 взрослых (12 мес) и 35 старых (28—32 мес) белых крысах-самцах в условиях нормо- и гипоксии. Острую гипоксическую гипоксию разной степени воспроизвели 10 мин вдыханием смеси азота с кислородом (16,14 и 10 % O_2 в N_2). Часть экспериментов проведена на крысах, предварительно адаптированных в течение 2 нед к условиям среднегорья (пос. Терскол, 2100 м над уровнем моря). Газовые смеси подавались из баллона с помощью специальной тefлоновой дыхательной маски с искусственной продувкой [15]. Газообмен у животного определяли предложенным нами [15] открытым методом с измерением концентраций дыхательных газов в постоянном и известном по скорости потоке на входе и выходе из маски.

Содержание молочной кислоты в крови определяли по [17].

Все методические приемы исследования параметров транспорта кислорода кровью, притекающей к икроножной мышце и оттекающей от нее (напряжение и содержание кислорода, насыщение кислородом, кислородная емкость, рН), а также методы определения скорости мышечного кровотока, скорости потребления кислорода мышцей, статистической обработки данных изложены в предыдущей работе [11]. Расчеты напряжения кислорода в икроножной мышце проведены Е. Г. Лябах на БЭСМ-6 с помощью предложенной ею математической модели [9], исходя из экспериментально полученных нами величин капилляризации икроножной мышцы [10], кислородных параметров крови, объемной скорости кровотока через мышцу*, а также значений коэффициента диффузии кислорода в ткани ($1,5 \cdot 10^{-5}$ см/с) и коэффициента растворимости кислорода в крови ($2,8 \cdot 10^{-5}$ мл O_2 /мл крови на мм рт. ст.).

Результаты исследований и их обсуждение

При исследовании скорости потребления кислорода животными в покое выяснилось, что в нормоксических условиях эти величины у взрослых и старых крыс не имеют существенных различий ($1,95 \pm 0,14$ и $1,98 \pm 0,06$ мл O_2 /100 г веса тела в 1 мин соответственно). Снижение интенсивности потребления кислорода на 26,7 % ($p < 0,05$) происходит у 12 мес крыс только при резко выраженной гипоксии (10 % O_2). У старых крыс почти такое же снижение (на 22,7 %, $p < 0,05$) наблюдается при меньшей степени гипоксии (14 % O_2), а вдыхание смеси с 10 % O_2 приводит к падению скорости потребления кислорода старыми животными на 40 %.

Наши данные подтвердили описанное в литературе [3, 6, 12] развитие артериальной и менее выраженной венозной гипоксемии у старых животных в условиях нормоксии (табл. 1 и 2). Показано, что при одной и той же степени гипоксии снижение (в абсолютных величинах и в процентном отношении к исходному уровню) напряжения и содержания кислорода в артериальной крови, насыщения ее кислородом в старческом возрасте выражено значительно, чем в среднем возрасте. Это (в меньшей степени) характерно и для венозной крови (табл. 1 и 2).

Расхождение между уровнями падения оксигенации артериальной крови собак аналогичных возрастных групп при гипоксической гипоксии описано в литературе [13].

Механизмы, обуславливающие более резкое нарастание гипоксемии старческого организма при гипоксической гипоксии, и механизмы возникновения естественной гипоксемии в старости в условиях относительного покоя, по-видимому, одни и те же. В их числе — нарушения величины и равномерности альвеолярной вентиляции, диффузионной способности легких, скорости кровотока по легочным капиллярам, взаимоотношений легочной вентиляции и перфузии, увеличение сброса крови через анатомические и функциональные шунты в легких, нарушения кислородсвязывающих и кислородтранспортных свойств крови, изменения нейро-гормональной регуляции систем, обеспечивающих поступление, транспорт и утилизацию кислорода в организме [6, 7 и др.].

Воздействие смеси с 16 % O_2 не приводит к снижению скорости потребления кислорода мышцами ни у годовалых, ни у старых крыс,

* Определения объемной скорости кровотока через мышцу проведены совместно с Л. А. Курбаковым.

Таблица 1
Показатели транспорта кислорода кровью и кислородного снабжения икроножной мышцы 12 мес крыс при острой гипоксической гипоксии

Исследуемые показатели	Содержание O_2 в газовой смеси, %					
	20,9 (n=12)		16 (n=6)		14 (n=6)	
	артерия	вена	артерия	вена	артерия	вена
P_{O_2} , мм рт. ст.	92,5±2,50 (123,0±3,33)	38,9±1,40 (51,7±1,86)	69,0±0,89 (91,77±1,18)	36,4±0,02 (48,4±0,027)	66,6±1,7 (88,58±2,26)	40,8±0,70 (54,26±0,93)
C_{O_2} , об. %	16,90±0,54	10,90±0,28	15,64±0,09	10,49±0,55	15,4±0,22	12,16±0,24
S_{O_2} , %	89,0±0,92	58,8±1,14	82,3±0,46	55,2±2,91	78,18±0,96	60,51±0,59
pH	7,40±0,028	7,34±0,018	7,47±0,09	7,35±0,018	7,42±0,063	7,38±0,061
$C_{(a-v)O_2}$, об. %	6,0±0,61		5,15±0,46		5,76±0,58	5,65±0,45
КЕК, об. %	19,04±0,38		18,97±0,64		19,7±0,5	20,1±0,8
Hb, г %	13,98±0,90		13,9±0,47		14,5±0,19	14,7±0,24
МК, мл/100 г·мин	23,1±1,56		27,0±3,65		23,4±0,5	11,9±1,15
$\dot{V}O_2$, мл/100 г·мин	1,38		1,39		1,35	1,67

Таблица 2
Показатели транспорта кислорода кровью и кислородного снабжения икроножной мышцы старых крыс (28—32 мес) при острой гипоксической гипоксии

Исследуемые показатели	Содержание O_2 в газовой смеси, %					
	20,9 (n=10)		16 (n=6)		14 (n=6)	
	артерия	вена	артерия	вена	артерия	вена
P_{O_2} , мм рт. ст.	79,9±4,3 (106,26±5,7)	34,4±0,85 (45,75±1,13)	62,2±4,01 (82,7±5,33)	30,2±0,61 (40,17±0,81)	59,2±3,52 (78,7±4,68)	29,2±1,34 (38,8±1,78)
C_{O_2} , об. %	16,5±0,12	10,03±0,53	15,54±0,19	9,51±0,43	14,41±0,92	9,16±0,15
S_{O_2} , %	83,3±0,29	50,7±0,18	78,48±0,59	48,08±0,83	75,0±0,59	46,20±0,18
pH	7,39±0,015	7,35±0,008	7,38±0,065	7,32±0,068	7,40±0,048	7,38±0,014
$C_{(a-v)O_2}$, об. %	6,47±0,34		6,03±0,47		5,20±0,34	3,97±0,15
Hb, г %	14,6±0,5		14,6±0,32		14,1±0,29	14,6±0,40
КЕК, об. %	19,8±0,6		19,8±0,4		19,22±0,4	19,8±0,6
МК, мл/100 г·мин	18,6±0,8		18,2±0,4		16,2±0,77	13,8±2,29
$\dot{V}O_2$, мл/100 г·мин	1,20		1,10		0,84	0,55

благодаря в действующи гипоксия (14 снижение и фоне умень роду ($p < 0$, мышце (МК рону апидоз крови* (36,3

Исследо жение скоро ных обеих в

$\dot{V}O_2$ мышцей 59,5±3,59 м жание лакта сравнению с ет до 45,3±6 жение скоро животных к тельным ум кислорода, : рости мышеч чий в реак что в старе в артериал кислую сто значительно гипоксическ рых животн мым (в от тканью) со стареющем

Сказан математиче летных мы биофизичес ется в сниж и напряжен ГПа (табл нирующих на рис. 1). A_1 высоких

Анализ при гипокс ниях и мин более выра ние скорост молочной в смеси с 14 вого и мин ветственно рода мышеч ние вторич наихудшего уровня.

Опреде
В. М. Алекс

благодаря включению хорошо известных компенсаторных механизмов, действующих на системном и тканевом уровнях. Более выраженная гипоксия (14 % O_2) вызвала у старых животных, в отличие от 12 мес, снижение интенсивности потребления кислорода скелетной мышцей на фоне уменьшения регионарного артерио-венозного различия по кислороду ($p < 0,05$), падения объемной скорости кровотока ($p < 0,05$) в мышце (МК), сдвига рН венозной крови, оттекающей от мышцы, в сторону ацидоза ($p < 0,05$), повышения содержания молочной кислоты в крови* ($36,3 \pm 2,21$ против $15,9 \pm 0,38$ мг %, $p < 0,05$).

Исследование влияния газовой смеси с 10 % O_2 показало, что снижение скорости потребления кислорода мышцей развивается у животных обеих возрастных групп. Однако у старых животных снижение $\dot{V}O_2$ мышцей и повышение содержания молочной кислоты в крови (до $59,5 \pm 3,59$ мг %) более выражено, чем у годовалых. У последних содержание лактата в крови не изменяется при вдыхании смеси с 14 % O_2 по сравнению с нормоксическим контролем ($22,16 \pm 1,49$ мг %) и возрастает до $45,3 \pm 6,56$ мг % ($p < 0,001$) при воздействии смеси с 10 % O_2 . Снижение скорости потребления кислорода мышцей коррелирует у старых животных как с ослаблением кровотока через мышцу, так и со значительным уменьшением регионарного артерио-венозного различия по кислороду, а у животных среднего возраста — лишь со снижением скорости мышечного кровотока ($p < 0,05$) (табл. 1 и 2). Из других различий в реакциях на острую гипоксическую гипоксию следует отметить, что в стареющем организме не наблюдается сдвига в сторону алкалоза в артериальной крови, свойственного взрослым особям, сдвиг же в кислую сторону в венозной крови (при 14 и 10 % O_2) был более значительно выражен у старых животных. Таким образом, острая гипоксическая гипоксия, вызванная вдыханием смеси с 14 % O_2 , у старых животных, в отличие от взрослых, уже не является компенсируемым (в отношении потребления кислорода организмом и мышечной тканью) состоянием, т. е. вторичная тканевая гипоксия развивается в стареющем организме при более высоком P_{O_2} во вдыхаемой смеси.

Сказанное подтверждают исследования, проведенные с помощью математической модели [9]. Ранее [11] нами было показано, что в скелетных мышцах старых крыс и в нормоксических условиях ухудшаются биофизические условия осуществления тканевого дыхания, что выражается в снижении средней величины P_{tO_2} ($\bar{P}$) до 38 мм рт. ст. (50,5 гПа) и напряжении кислорода в мертвом углу до 26 мм рт. ст.; или 34,6 ГПа (табл. 3), в процентном увеличении мышечных клеток, функционирующих при сниженных значениях P_{O_2} (сдвиг гистограммы A_1 влево на рис. 1). Обращает на себя внимание отсутствие на гистограмме A_1 высоких значений P_{tO_2} , что связано с артериальной гипоксемией.

Анализ распределения P_{O_2} в икроножной мышце старых животных при гипоксии выявил ряд особенностей. У старых крыс снижение средних и минимальных величин P_{tO_2} под влиянием гипоксии оказалось более выраженным по сравнению с 12 мес животными (табл. 3). Падение скорости потребления кислорода мышцей и нарастание содержания молочной кислоты в крови, отмеченные у старых крыс при вдыхании смеси с 14 % O_2 , происходят на фоне снижения значений среднетканевого и минимального P_{O_2} до 33 и 22 мм рт. ст. (43,9 и 29,3 гПа) соответственно (табл. 3). Мы расцениваем это снижение потребления кислорода мышечной тканью, сопровождаемое лактацидемией, как проявление вторичной тканевой гипоксии вследствие снижения P_{O_2} в зоне наихудшего снабжения ткани кислородом до и ниже критического уровня.

Определения содержания молочной кислоты в крови проведены при участии В. М. Алексеева.

14,6±0,40
19,8±0,6
13,8±2,29
0,55

14,1±0,29
19,22±0,4
16,2±0,77
0,84

14,6±0,32
19,8±0,4
18,2±0,4
1,10

14,6±0,5
19,8±0,6
18,6±0,8
1,20

гв, г %
КЕК, об. %
МК, мл/100 г·мин
 $\dot{V}O_2$, мл/100 г·мин

Подобное уменьшение интенсивности потребления кислорода мышцей в сочетании с лактацидемией происходит у годовалых крыс при более «жесткой» гипоксии (10 % O_2 в N_2) и детерминировано снижением среднетканевого и минимального P_{O_2} до 24 и 20 мм рт. ст. (32 и 26,6 гПа) соответственно (табл. 3).

Таблица 3
Расчетные показатели кислородтранспортной системы икроножной мышцы крыс разного возраста при нормоксии и острой гипоксической гипоксии

Показатели	Содержание O_2 в газовой смеси, %							
	20,9		16		14		10	
	12 мес	28—32 мес	12 мес	28—32 мес	12 мес	28—32 мес	12 мес	28—32 мес
Среднетканевое напряжение кислорода ($\bar{P}$), мм рт. ст. (гПа)	48 (63,9)	38 (50,6)	40 (53,2)	34 (45,2)	39 (51,9)	33 (43,9)	24 (32)	17 (22,6)
Напряжение кислорода в зоне худшего снабжения (P_{min}), мм рт. ст. (гПа)	32 (42,6)	26 (34,6)	28 (37,3)	24 (32)	28 (37,3)	22 (29,3)	20 (26,6)	14 (18,6)
Объемная скорость кровотока в единичном капилляре, мл/с · 10 ⁻⁹	9,6	14,4	9,6	16	11,2	12,8	4,8	8

Отмечается, что расчетные гистограммы P_{O_2} в этом случае как у взрослых, так и у старых животных (A_{III} и B_{III} на рис. 1) весьма сжаты, имеют острый пик, т. е. поле P_{O_2} однородно и низко.

Таким образом, возникновение вторичной тканевой гипоксии в скелетных мышцах старых животных вследствие падения P_{O_2} ниже критического уровня отмечается при более высоком P_{O_2} во вдыхаемой газовой смеси. Сдвиг гистограмм A_{II} и A_{III} влево (рис. 1) свидетельствует о том, что в гипоксических условиях (так же, как при нормоксии) скелетные мышцы в старости снабжаются кислородом хуже, чем в среднем возрасте: растет процентное содержание мышечных клеток, функционирующих при сниженных значениях P_{O_2} .

Расчеты показали, что увеличение объемной скорости кровотока в единичном капилляре (у 12 мес при вдыхании смеси с 14 % O_2 , у старых — с 16 % O_2) играет, по-видимому, компенсаторную роль в поддержании относительно более высокого P_{O_2} . Развитие вторичной тканевой гипоксии как у взрослых, так и у старых животных сопровождается снижением этого показателя (табл. 3). При воздействии смеси с 10 % O_2 такое снижение составляет около 50 %, что соответствует литературным данным [2, 16].

При старении объемная скорость кровотока в мышечной ткани уменьшается, но объемная скорость кровотока в единичном капилляре, по данным расчета на ЭЦВМ, у старых крыс в 1,2—1,4 раза выше, чем у годовалых как при нормо-, так и при гипоксии.

Поскольку наличие тканевой гипоксии установлено в опытах с применением газовой смеси с 10 % O_2 у животных обеих возрастных групп, интересно проследить, как влияет на ее развитие предварительная адаптация животных к гипоксическим условиям. Такой адаптацией явилось двухнедельное пребывание крыс разного возраста на высоте 2100 м над уровнем моря в пос. Терскол в Приэльбрусье. В конце

пребывания ж
рузке: 10 мин

Выяснило
эта проба выз
ной крови, че
раста, а потр
снизилось мен

Рис. 1. Распредел
I — нормоксия; II —
По горизонтали — P_{O_2}

с 10 % O_2 . У
параметры ар
у неадаптиров
сдвиг рН арте
тока через мы
пени, что и у

При анализ
ются меньша
ляют 21 и 26
годовалых кры
(29,3 гПа), а
шает равнинн
падает ниже к
обуславливает
ножной мышц

Эти экспе
шение компенс
родом у стары

Проведенн
кой модели) и
новения втори
компенсации в
сических возде
ными среднего

При одной
ния напряженн
ления в ней P_{O_2}
ражены значит

пребывания животные подвергались дополнительной гипоксической нагрузке: 10 мин вдыханию газовой смеси с 10 % O_2 (табл. 4).

Выяснилось, что у относительно адаптированных годовалых крыс эта проба вызвала меньшее снижение МК, меньшие сдвиги pH венозной крови, чем у неадаптированных к гипоксии животных того же возраста, а потребление кислорода у животных, прошедших адаптацию, снизилось меньше, чем у неадаптированных крыс после вдыхания смеси

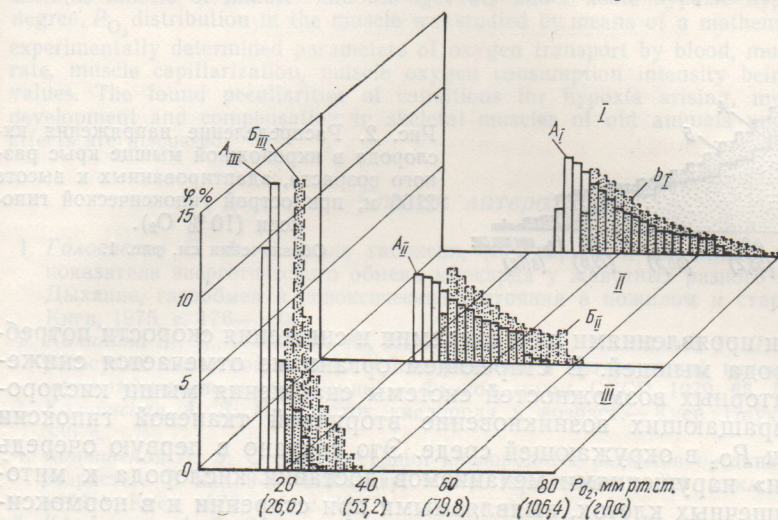


Рис. 1. Распределение напряжения кислорода в икроножной мышце крыс разного возраста при нормоксии и острой гипоксической гипоксии.

I — нормоксия; II — 14 % O_2 ; III — 10 % O_2 . A_I, A_{II}, A_{III} — 28—32 мес; B_I, B_{II}, B_{III} — 12 мес. По горизонтали — P_{O_2} , по вертикали — частота встречаемости определенного значения P_{O_2} , φ (%).

с 10 % O_2 . У старых крыс после применения такой пробы кислородные параметры артериальной и венозной крови были несколько лучше, чем у неадаптированных, но зато более резко был выражен ацидотический сдвиг pH артериальной и венозной крови, а объемная скорость кровотока через мышцу и потребление ею кислорода снижались в той же степени, что и у неадаптированных к высоте старых животных.

При анализе гистотрамм (рис. 2) обнаружено, что $\bar{P}_A$ и $\bar{P}_B$ снижаются меньше, чем при аналогичном воздействии на равнине, и составляют 21 и 26 мм рт. ст. (28 и 34,6 гПа) соответственно. P_{min} в мышцах годовалых крыс остается выше критического уровня — 22 мм рт. ст. (29,3 гПа), а у старых P_{min} (18 мм рт. ст. или 24 гПа), хотя и превышает равнинный показатель (14 мм рт. ст. или 18,6 гПа), но все же падает ниже критического уровня P_{O_2} для мышц при старении, что и обуславливает снижение интенсивности потребления кислорода икроножной мышцей.

Эти экспериментальные и расчетные данные указывают на уменьшение компенсаторных возможностей системы снабжения мышц кислородом у старых животных в процессе адаптации к гипоксии.

Проведенные экспериментальные и теоретические (на математической модели) исследования позволяют заключить, что условия возникновения вторичной тканевой гипоксии, механизмы ее развития и компенсации в скелетной мышце старых животных при острых гипоксических воздействиях имеют свои особенности по сравнению с животными среднего возраста. Эти особенности состоят в следующем.

При одной и той же степени гипоксии уменьшение среднего значения напряжения кислорода в скелетной мышце и изменение распределения в ней P_{O_2} в сторону преобладания сниженных значений P_{O_2} выражены значительно в стареющем организме.

Возникновение вторичной тканевой гипоксии, обусловленной падением напряжения кислорода в ткани ниже критического уровня, отмечается в скелетных мышцах старых животных при более высоком P_{O_2} в дыхательной среде. Снижение скорости мышечного кровотока и уменьшение экстракции кислорода из крови установлено у старых животных при менее выраженном дефиците кислорода в окружающей среде. При старении развитие тканевой гипоксии сопровождается более

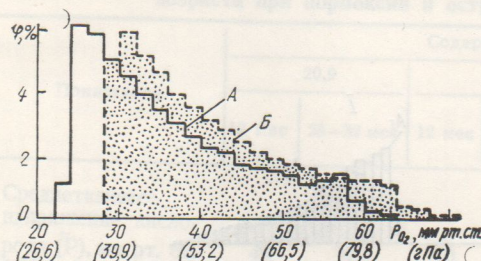


Рис. 2. Распределение напряжения кислорода в икроножной мышце крыс разного возраста, адаптированных к высоте 2100 м, при острой гипоксической гипоксии (10 % O_2).

Обозначения см. рис. 1.

выраженными проявлениями лактацидемии и снижения скорости потребления кислорода мышцей. В стареющем организме отмечается снижение компенсаторных возможностей системы снабжения мышц кислородом, предотвращающих возникновение вторичной тканевой гипоксии при снижении P_{O_2} в окружающей среде. Это связано в первую очередь с «исходными» нарушениями механизмов доставки кислорода к митохондриям мышечных клеток, выявляемыми при старении и в нормоксических условиях: артериальной гипоксемией, снижением скорости тран-

Таблица 4

Влияние острой гипоксической гипоксии (10 % O_2) на параметры транспорта кислорода кровью и кислородного снабжения скелетной мышцы крыс разного возраста после 14 дней пребывания на высоте 2100 м

Исследуемые показатели	Возраст (мес)			
	12 (n=6)		28—32 (n=6)	
	артерия	вена	артерия	вена
P_{O_2} , мм рт. ст.	50,0±2,52	26,8±1,24	37,8±1,08	21,3±0,11
(гПа)	(66,5±3,35)	(35,6±1,65)	(50,27±1,44)	(28,3±0,15)
C_{O_2} , об. %	14,92±0,15	8,44±0,18	12,34±0,32	6,68±0,11
S_{O_2} , %	70,39±0,85	39,79±0,56	60,22±1,03	32,58±0,95
pH	7,43±0,015	7,36±0,012	7,32±0,008	7,27±0,016
$C_{(a-v)O_2}$, об. %	6,48±0,23		5,66±0,34	
КЕК, об. %	21,2±0,09		20,5±0,6	
МК, мл/100 г·мин	16,2±0,6		10,6±0,7	
$\dot{V}_{O_2}$, мл/100 г·мин	0,92		0,60	

спорта кислорода артериальной кровью, уменьшением объемной скорости кровотока через мышцу, ухудшением условий диффузии в мышечной ткани за счет изменений диффузионных параметров капиллярного русла и в самой мышечной клетке за счет уменьшения содержания миоглобина, ультраструктурными нарушениями стенки капилляров и многими другими [6, 11 и др.].

AGE

Oxygen
cnemius musc
degree. P_{O_2} dis
experimentally
rate, muscle c
values. The f
development a
effects are dis

1. Головченко, показатели Дыхание, Киев, 1975
2. Калинина, россосудах матографии
3. Колчинска, 336 с.
4. Колчинска, возрасте.— 1972, г. Ки
5. Колчинска, № 3, с. 419
6. Коркушко, 275 с.
7. Коркушко, ние, газооб В кн.: Ды расте. Кие
8. Ленская Г, висимости бриологии,
9. Лябах Е., мышце.— С
10. Маньковск, сла мышеч и гериатри
11. Маньковск, ределяющи журн., 198
12. Полинская, крови кисл в норми с. 39—44.
13. Середенко, достаток К, Киев, 1965
14. Ступина А, виях гипопатологии
15. Филиппов, ния газооб с. 240—242
16. Arfors K., der differe
17. Barker S., logical mal
18. Honig C., work.— Mi

Отдел гипоксии
Института физ
АН УССР, Ки

обусловленной
еского уровня,
более высоким
о кровотока и
у старых жи-
вущей сре-
дается более

напряжения ки-
мышце крыс раз-
ованных к высоте
поксической гипо-
O₂).
и. рис. 1.

орости потреб-
чается сниже-
ыщ кислоро-
вой гипоксии
ервую очередь
рода к мито-
и в нормокси-
корости тран-

Таблица 4
порта кислорода
возраста после

2 (n=6)

вена

21,3±0,11
(28,3±0,15)
6,68±0,11
32,58±0,95
7,27±0,016

±0,34
±0,6
±0,7
60

емной скоро-
ни в мышеч-
капиллярного
ержания мио-
ляров и мно-

I. N. Mankovskaya, M. M. Filippov

AGE PECULIARITIES OF HYPOXIA DEVELOPMENT IN SKELETAL MUSCLES UNDER ACUTE HYPOXIC HYPOXIA

Summary

Oxygen stress distribution and mechanisms affecting it are studied in the gastrocnemius muscle of middle- and old-age rats under acute hypoxic hypoxia of different degree. P_{O₂} distribution in the muscle was studied by means of a mathematical model with experimentally determined parameters of oxygen transport by blood, muscular blood flow rate, muscle capillarization, muscle oxygen consumption intensity being used as input values. The found peculiarities of conditions for hypoxia arising, mechanisms for its development and compensation in skeletal muscles of old animals under acute hypoxic effects are discussed.

Список литературы

1. Головченко С. Ф. Влияние гипоксии, моделируемой введением вазопрессина, на показатели энергетического обмена миокарда у животных разного возраста.— В кн.: Дыхание, газообмен и гипоксические состояния в пожилом и старческом возрасте. Киев, 1975, с. 176—180.
2. Калинина М. К., Левкович Ю. И., Иванов К. П., Михайлова Г. П. Кровоток в микрососудах скелетной мышцы при нормоксии и артериальной гипоксии (микрокинематографические исследования).— Физиол. журн. СССР, 1979, 65, № 4, с. 620—628.
3. Колчинская А. З. Недостаток кислорода и возраст.— Киев: Наук. думка, 1964.— 336 с.
4. Колчинская А. З. О регулировании кислородных режимов организма в старческом возрасте.— В кн.: 9-й Междунар. конгр. геронтологов: Тез. докл. Киев 2—7 июля 1972, г. Киев, 1972, т. 3, с. 338.
5. Колчинская А. З. Система дыхания, гипоксия и возраст.— Физиол. журн., 1981, 27, № 3, с. 419—423.
6. Коркушко О. В., Иванов Л. А. Гипоксия и старение.— Киев: Наук. думка, 1980.— 275 с.
7. Коркушко О. В., Иванов Л. А., Саркисов К. Г. Влияние гипоксии на внешнее дыхание, газообмен и капиллярное кровообращение в пожилом и старческом возрасте.— В кн.: Дыхание, газообмен и гипоксические состояния в пожилом и старческом возрасте. Киев, 1975, с. 136—148.
8. Ленская Г. Н. Возрастные изменения васкуляризации скелетных мышц крыс в зависимости от характера физических нагрузок.— Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии, 1971, 61, № 11, с. 115—120.
9. Лябах Е. Г. О значении межкапиллярного расстояния для транспорта кислорода в мышце.— Физиол. журн. СССР, 1980, 66, № 8, с. 1193—1199.
10. Маньковская И. Н. Изменения морфофункциональных показателей капиллярного русла мышечной ткани при старении.— В кн.: Современные проблемы геронтологии и гериатрии. Тбилиси, 1977, с. 267—268.
11. Маньковская И. Н., Лябах Е. Г., Филиппов М. М., Курбаков Л. А. О факторах, определяющих напряжение кислорода в скелетных мышцах при старении.— Физиол. журн., 1980, 26, № 1, с. 88—95.
12. Полинская В. И., Черкасский Л. П. Влияние гипоксической нагрузки на насыщение крови кислородом и напряжение кислорода в крови у кроликов разного возраста в норме и при экспериментальном атеросклерозе.— Физиол. журн., 1980, 26, № 1, с. 39—44.
13. Середенко М. М. Возрастные особенности реакции старческого организма на недостаток кислорода во вдыхаемом воздухе: Автореф. дис. ... канд. мед. наук.— Киев, 1965.— 15 с.
14. Ступина А. С. Реактивные изменения клеток и капилляров миокарда крыс в условиях гипоксии.— В кн.: Оксигиот. и аноксигиот. процессы при эксперим. и клин. патологии: Тез. докл. к симпозию. Киев, 18—22 апр. 1975, г. Киев, 1975, с. 206—207.
15. Филиппов М. М., Маньковская И. Н., Курбаков Л. А. Открытый метод определения газообмена у мелких лабораторных животных.— Физиол. журн. 1981, 27, № 2, с. 240—242.
16. Arfors K., E., Lindbom L., Rutli G. Capillary red cell velocity in the tenuissimus under different oxygen tensions.— Microvasc. Res., 1975, 10, N 2, p. 234—238.
17. Barker S. B., Summerson W. H. The colorimetric determination of lactic acid in biological material.— J. Biol. Chem., 1941, 138, N 4, p. 535—554.
18. Honig C. R. Hypoxia in skeletal muscle at rest and during the transition to steady work.— Microvasc. Res., 1977, 13, N 3, p. 377—398.

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

Поступила в редакцию
16.VI 1981 г.