

- of noradrenaline in nonfasted and nonanesthetized coldadapted rats.— *Canad. J. Physiol. and Pharmacol.*, 1980, 58, N 7, p. 797—804.
24. *Mušil J., Nováková O., Kuns K.* Biochemistry in schematic perspective. — Prague: Czechoslovak med. press, 1977.—182 p.
25. (*Robinson D. R.*) *Робинсон Д. Р.* Основы регуляции кислотно-щелочного равновесия. — М.: Медицина, 1969. — 72 с.

Ин-т физиологии им. А. А. Богомольца
АН УССР, Киев

Поступила 25.07.83

УДК 612.2+612.133+612.11/12

М. М. Филиппов

ОСОБЕННОСТИ ГИПОКСИИ НАГРУЗКИ ПРИ СНИЖЕННОМ СОДЕРЖАНИИ ГЕМОГЛОБИНА

Известно, что при снижении содержания гемоглобина в крови до 20 % нормы обеспечение необходимой доставки кислорода к органам и тканям в покое поддерживается за счет усиления кровотока [1, 3, 6, 8]. Однако данных об изменении дыхания, кровообращения, крови в условиях сочетанного воздействия гемической гипоксии и физической нагрузки недостаточно для полного понимания патогенеза этого состояния. В связи с этим определенный интерес представляет характеристика смешанного типа гипоксии — анемического с возникающим при мышечной деятельности.

Методика. Обследовали 10 девочек 14—15 лет с ювенильными кровотечениями (концентрация гемоглобина снижена на 12—15 % нормы). Контролем служила группа здоровых девочек такого же возраста (12 чел.). У всех обследованных были определены показатели спирометрии. До работы, во время нагрузки в течение 5 мин (восхождение на ступеньку высотой 46 см 10 раз в минуту) и в период 10 мин восстановления непрерывно регистрировали частоту дыханий (ЧД), сердечных сокращений (ЧСС), оксигенограмму. Перед нагрузкой, на 2, 3, 5 мин работы и в восстановительный период на 1, 2, 3, 5 и 10 мин в тонкие резиновые аэрозонды забирали выдыхаемый воздух; с помощью пневматического устройства собственной конструкции [12] отбирали альвеолярный воздух. Газовый состав измеряли на аппарате «Спиrolит», объем выдыхаемого воздуха определяли на газовых часах. Все легочные объемы приводили к условиям *VTPS*, газовые — к *STPD*. Перед нагрузкой, сразу после ее окончания и на 10 мин восстановления методом возвратного дыхания CO_2 [14] определяли минутный объем крови (МОК). Перед каждым определением МОК из предварительно разогретого пальца руки брали кровь для определения ее кислотно-основного равновесия (КОР). Для расчета производных параметров КОР использовали номограмму [13]. Построение кислородных режимов организма (КРО) и оценку из эффективности осуществляли по [3, 4]. Статистическую обработку полученных данных проводили с применением критериев Стьюдента [9].

Результаты и их обсуждение. В покое у анемичных девочек наблюдались низкие показатели спирометрии, повышенное потребление кислорода, более высокий МОК. Они отличались от здоровых девочек астеническим телосложением.

Исследования с физической нагрузкой показали, что кислородный запрос на работу у девочек с анемиями был на 30 % выше, чем у здоровых, у них не наблюдалось устойчивого состояния в потреблении кислорода (рис. 1). Большим оказался кислородный долг, более затянутым период восстановления.

Более высокая скорость потребления кислорода обеспечивалась усиленной доставкой кислорода к работающим органам и тканям. В результате снижения кислородной емкости крови такая скорость транспорта кислорода кровью осуществлялась значительным минутным объемом крови (рис. 1). Однако достигалось это в основном за счет

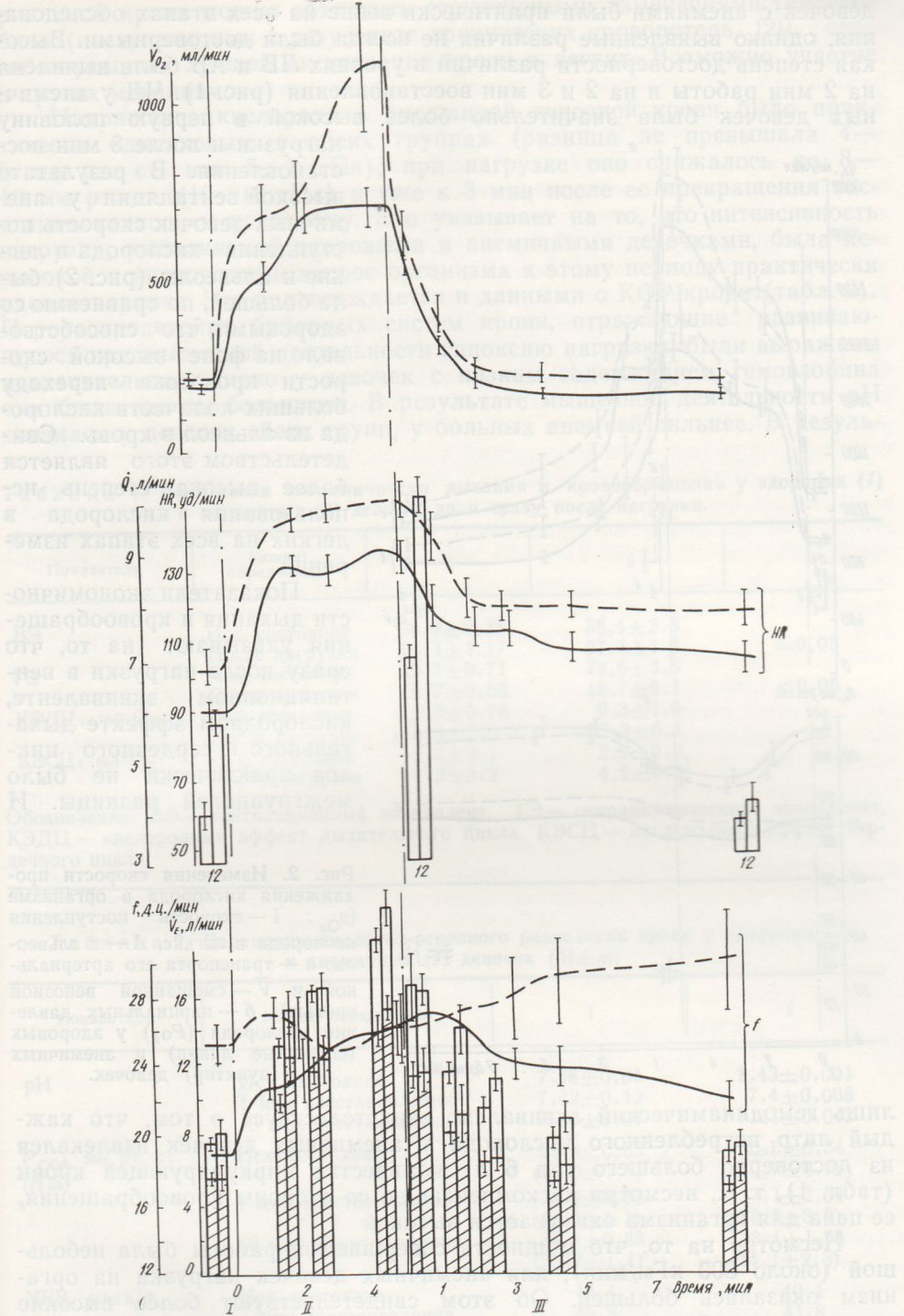


Рис. 1. Изменения скорости потребления кислорода ($\dot{V}_{O_2}$), частоты сердечных сокращений (HR) и минутного объема крови ($\dot{Q}$), частоты дыханий (f) и легочной вентиляции ($\dot{V}_E$) у здоровых (сплошные линии, 1) и анемичных (пунктир, 2) девочек в исходном состоянии (I), в нагрузке (II) и в периоде восстановления (III). Заштрихованная часть столбиков — альвеолярная вентиляция.

повышения ЧСС (ударный объем крови в обеих группах был практически одинаковым), что неэкономно для организма [5, 10, 11].

Определенные отличия наблюдались со стороны внешнего дыхания. Так, уровни легочной (ЛВ) и альвеолярной (АВ) вентиляции, ЧД у

девочек с анемиями были практически выше на всех этапах обследования, однако выявленные различия не всегда были достоверными. Высокая степень достоверности различий в уровнях ЛВ и АВ была выявлена на 2 мин работы и на 2 и 3 мин восстановления (рис. 1). ЧД у анемичных девочек была значительно более высокой в первую половину

нагрузки и после 3 мин восстановления. В результате высокой вентиляции у анемичных девочек скорость поступления кислорода в легкие и альвеолы (рис. 2) была большей, по сравнению со здоровыми, что способствовало на фоне высокой скорости кровотока переходу больших количеств кислорода из альвеол в кровь. Свидетельством этого является более высокая степень использования кислорода в легких на всех этапах измерений.

Показатели экономичности дыхания и кровообращения указывают на то, что сразу после нагрузки в вентиляционном эквиваленте, кислородном эффекте дыхательного и сердечного циклов практически не было межгрупповой разницы. И

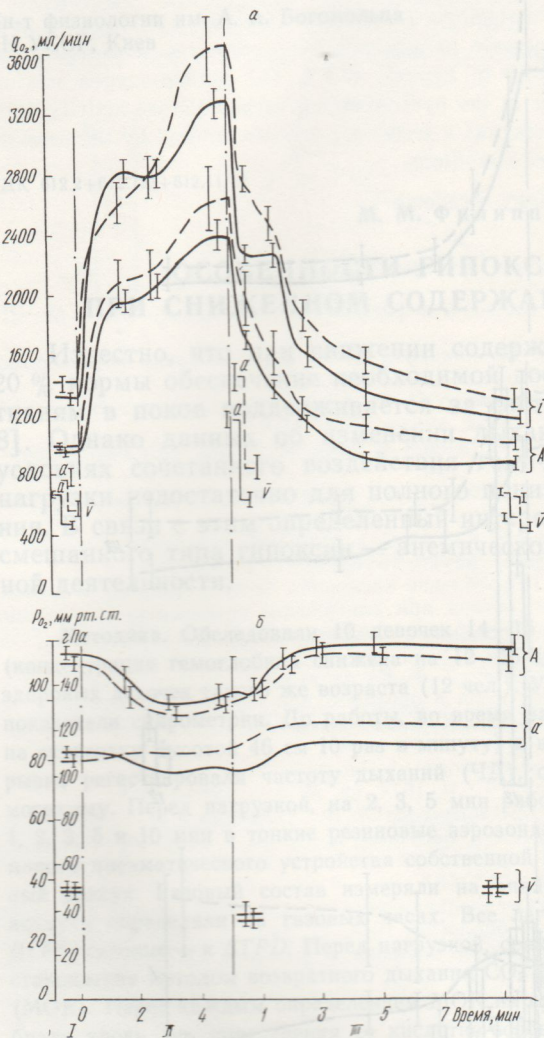


Рис. 2. Изменения скорости продвижения кислорода в организме (Q_{O_2} : i — скорость поступления кислорода в легкие, A — в альвеолы, a — транспорта его артериальной и $\bar{V}$ — смешанной венозной кровью); b — парциальных давлений кислорода (P_{O_2}) у здоровых (сплошные линии) и анемичных (пунктир) девочек.

лишь гемодинамический эквивалент свидетельствует о том, что каждый литр потребленного кислорода у анемичных девочек извлекался из достоверно большего (на 6 л) количества циркулирующей крови (табл. 1), т. е., несмотря на компенсацию со стороны кровообращения, ее цена для организма оказывается высокой.

Несмотря на то, что мощность совершаемой работы была небольшой (около 300 кГм/мин), для анемичных девочек нагрузка на организм оказалась большей. Об этом свидетельствуют более высокие скорость потребления кислорода, уровни ЛВ, АВ и, особенно, МОК. Судя по гемодинамическому эквиваленту, резервы обеспечения доставки кислорода кровью при дальнейшем увеличении нагрузки у них ограничены.

Парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе, несмотря на недостоверность различий, при всех измерениях было ниже у анемичных девочек (рис. 2). Напряжение кислорода в артериальной крови в процессе нагрузки и в период восстановления у них было выше, чем у здоровых, однако так как его рассчитывали по кривой диссоциации оксигемоглобина через процент насыщения [7], мы не выявляли достоверность различий. Более высокое напряжение кислорода в арте-

риальной крови можно объяснить структурными изменениями гемоглобина (наступающими в результате хронических кровопотерь [2]), способствующими лучшей оксигенации крови в легких. Возможно участие и других механизмов.

Напряжение кислорода в смешанной венозной крови было практически одинаковым в обеих группах (разница не превышала 4—5 мм рт. ст. или 5—7 гПа), при нагрузке оно снижалось на 8—10 мм рт. ст. (10—13 гПа) и уже к 3 мин после ее прекращения восстанавливалось к исходному. Это указывает на то, что интенсивность нагрузки, выполняемой здоровыми и анемичными девочками, была невысокой и кислородный запрос организма к этому периоду практически удовлетворялся. Это подтверждается и данными о КОР крови (табл. 2). Перераспределения буферных систем крови, отражающие развивающуюся при мышечной деятельности гипоксию нагрузки, были выражены незначительно, однако у девочек с низким содержанием гемоглобина они были все же большими. В результате мышечной деятельности рН снизился у девочек обеих групп, у больных анемией сильнее. В резуль-

Таблица 1. Показатели экономичности дыхания и кровообращения у здоровых (1) и анемичных (2) девочек до и сразу после нагрузки.

Показатели	Момент определения	1	2	p
ВЭ	Исх. состояние	38,9±0,85	38,4±2,8	=0,05
	После нагрузки	24,1±1,17	27,4±1,4	
ГЭ	Исх. состояние	29,1±0,71	28,6±3,5	<0,05
	После нагрузки	12,7±0,53	18,7±2,1	
КЭДЦ, мл O ₂	Исх. состояние	10,8±0,76	9,3±1,6	
	После нагрузки	24,3±0,8	27,3±6,4	
КЭСЦ, мл O ₂	Исх. состояние	2,3±0,1	2,1±0,2	
	После нагрузки	4,2±0,2	4,2±0,3	

Обозначения: ВЭ — вентиляционный эквивалент, ГЭ — гемодинамический эквивалент, КЭДЦ — кислородный эффект дыхательного цикла, КЭСЦ — кислородный эффект сердечного цикла.

Таблица 2. Параметры кислотно-основного равновесия крови у здоровых (1) и анемичных (2) девочек ($M \pm m$)

Показатели	Момент определения	1	2
рН	Исх. состояние	7,45±0,04	7,43±0,001
	1 мин восстановления	7,42±0,12	7,4±0,008
	10 мин восстановления	7,43±0,01	7,41±0,012
P _{CO₂} , мм рт. ст. (гПа)	Исх. состояние	29,3±0,83 (39,0±1,1)	30,5±0,54 (40,7±0,72)
	1 мин восстановления	(33,0±0,83 (44,0±1,1)	37,1±2,54 (48,1±3,3)
	10 мин восстановления	29,4±0,83 (39,2±1,1)	33,1±1,55 (44,1±2,3)
NBB, мэкв/л	Исх. состояние	44,4	40,1
	1 мин восстановления	45,3	41,8
	10 мин восстановления	44,2	42,6
BE, мэкв/л	Исх. состояние	-2,7	-3,5
	1 мин восстановления	-2,0	-3,6
	10 мин восстановления	-3,1	-3,8
StB, мэкв/л	Исх. состояние	22,2	21,8
	1 мин восстановления	22,8	20,1
	10 мин восстановления	21,6	21,0
AB, мэкв/л	Исх. состояние	20,0	19,9
	1 мин восстановления	21,1	19,6
	10 мин восстановления	20,2	20,1

тате нагрузки увеличивался, хотя и не так резко, дефицит буферных оснований. При этом следует отметить, что у некоторых больных, у которых концентрация гемоглобина была очень снижена (на 20—30 % и более) наблюдался декомпенсированный метаболический ацидоз. Уровень рН у таких больных падал до 7,34, дефицит буферных оснований возрастал до —7 мэкв/л. У всех обследованных нами здоровых девочек таких нарушений КОР отмечено не было. К концу нагрузки несколько уменьшились по сравнению с исходными данными величины стандартного и истинного бикарбоната. Уровень P_{CO_2} в артериальной крови повышался, причем у анемичных девочек в большей степени, что указывает на некоторое усугубление метаболического ацидоза респираторным компонентом.

Представленные данные о КОР крови свидетельствуют о том, что при мышечной деятельности у девочек с низким содержанием гемоглобина степень нарушений КОР крови более выражена, чем у здоровых, у отдельных больных возможно развитие декомпенсированного метаболического ацидоза. Большее увеличение у них P_{CO_2} крови в некоторой степени усугубляет метаболический ацидоз при мышечной деятельности.

Таким образом, при снижении концентрации гемоглобина в крови выполнение физических нагрузок невысокой интенсивности характеризуется повышенным по сравнению с нормой кислородным запросом организма, увеличенной кислородной стоимостью работы, более значительным кислородным долгом. В результате увеличенной объемной скорости кровотока обеспечивается необходимая тканям доставка кислорода, однако экономичность гемодинамики в отношении снабжения тканей и органов кислородом низкая — каждый литр потребленного кислорода обеспечивается большим, чем у здоровых, количеством крови. Это, а также выявленные нарушения КОР крови, свидетельствует о том, что при снижении концентрации гемоглобина в крови степень развивающейся при мышечной деятельности гипоксии оказывается выше, чем в здоровом организме. Тем не менее, удовлетворение повышенного кислородного запроса организма, поддержание высокого уровня напряжения кислорода в артериальной и лишь незначительное его снижение в смешанной венозной крови, невысокая выраженность сдвигов КОР указывают на то, что развивающаяся при таких нагрузках гипоксия у больных со сниженным на 12—15 % содержанием гемоглобина носит компенсаторный характер.

М. М. Филиппов

THE PECULIARITIES OF EXERCISE HYPOXIA WITH REDUCED HEMOGLOBIN CONTENT

Hypoxic state developing in the organism with physical exercises of moderate intensity is characterized on the basis of studying the respiration, blood circulation, blood and oxygen conditions of the organism in girls of 14-15 years old with juvenile hemorrhages (hemoglobin content is lowered by 12-15 %). It is shown that in girls with anemia oxygenous demand of the organism for work is higher by 30 % than that in healthy ones, oxygen duty is higher and rehabilitation period is prolonged. High rate of oxygen delivery in patients with anemia satisfies the elevated oxygenous demand of the organism, but hemodynamics efficiency with respect to supply the organs and working tissues with oxygen in the above patients is reduced. Each litre of the oxygen consumed needs the blood amount which is higher almost by six litres than that necessary for the healthy people. The satisfaction of oxygen demand of the organism and slight shifts of acid-base blood equilibrium, high levels of P_o both in arterial and mixed venous blood testify that with exercises of moderate intensity even in the case of hemoglobin content decrease by 12-15 % the developing hypoxia is a compensated one.

A. A. Bogomoletz Institute of Physiology,
Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev