

УДК 612.67:612.23

А. З. Колчинская

СИСТЕМА ДЫХАНИЯ, ГИПОКСИЯ И ВОЗРАСТ

Основателю советской патофизиологической науки академику А. А. Богомольцу принадлежит честь создания отечественной геронтологии, науки о генезе старости, методах и средствах профилактики преждевременного старения. Только 43 года отделяют нас от созданной А. А. Богомольцем первой Всесоюзной конференции по проблеме старения, где академики А. А. Богомолец, Н. Д. Стражеско, А. В. Нагорный, проф. М. С. Мильман и др. имели возможность подвести первые итоги и наметить перспективы развития советской возрастной физиологии. За прошедшие годы, благодаря исследованиям научных коллективов, возглавляемых академиками АМН СССР Н. Н. Сиротининым, Д. Ф. Чеботаревым, академиком АН УССР В. Н. Никитиным, членом-корреспондентом АН УССР В. В. Фролькисом, доктором мед. наук Н. В. Лауэр и др., возрастная физиология достигла значительных успехов.

Начавшиеся еще при жизни А. А. Богомольца в руководимом им Институте исследования Н. Н. Сиротинина, Н. В. Лауэр и их учеников способствовали выделению в самостоятельный раздел — возрастной физиологии гипоксических состояний. Особенности гипоксических состояний организма новорожденных животных были детально охарактеризованы Лауэр [12], ювелирные опыты которой с препаратами продолговатого мозга позволили выявить высокую устойчивость дыхательного центра новорожденных к гипоксии и ее значение для выживания плодов, рождающихся в условиях резчайшей гипоксии.

Исследования возрастных особенностей гипоксических состояний, начавшиеся с изучения изменения общей реактивности организма в процессе онтогенеза, установившие тесную зависимость чувствительности к гипоксии от уровня общей организации организма и развития его центральной нервной системы, в дальнейшем стали включать детальное изучение возрастных особенностей реакции на гипоксию основных систем — нервной, дыхания, кровообращения, крови.

Естественно, что при изучении гипоксических состояний наше внимание привлекла в первую очередь система дыхания, обеспечивающая организму адекватную его потребности доставку кислорода, выведение углекислого газа, стабилизацию параметров его внутренней среды.

Изучая гипоксические состояния, мы неизбежно должны были прийти к необходимости количественного сопоставления скорости доставки кислорода с потребностью в нем организма, анализируя доставку кислорода к тканям — к определению скорости поступления кислорода в легкие; альвеолы, транспорта его артериальной и смешанной венозной кровью, к сопоставлению парциального давления кислорода во вдыхаемом и альвеолярном воздухе, напряжения его в артериальной и смешанной венозной крови, в тканях. В связи с тем, что скорость поэтапной доставки кислорода и его парциальные давления на разных этапах пути кислорода в организме зависят от слаженной деятельности аппаратов внешнего дыхания, кровообращения, крови, для характерис-

тики процесса массопереноса в организме кислорода и углекислого газа мы вынуждены были проводить комплексные исследования, включающие определение большого числа показателей внешнего дыхания, кровообращения, крови, газообмена, и продумать методику анализа большого объема получаемой в результате эксперимента информации. Так, естественным путем мы пришли к необходимости осуществления системного подхода в исследовании дыхания [13].

Привлечение кибернетических методов [8] и методов математического моделирования [9] позволило нам систематизировать представления о системе дыхания, математически описать сложный процесс массопереноса респираторных и инертных газов в организме, не только качественно, но и количественно охарактеризовать те режимы, в которых протекает весь процесс массопереноса кислорода и его утилизации, т. е. кислородные режимы организма, а также режимы массопереноса углекислого газа, предложить концепцию о системе регулирования кислородных режимов организма [8]. В дальнейшем эта концепция послужила основой для расширения представлений о системе дыхания и создания математических моделей газообмена в легких [10, 16], системы массопереноса кислорода и углекислого газа в организме [9], системы дыхания [17], прогнозирования кровотока [20].

Обследование более 2000 лиц в возрасте 4—80 лет и теоретические исследования, проведенные с помощью математической модели на ЭЦВМ-БЭСМ-6, позволили качественно и количественно охарактеризовать возрастные особенности процесса массопереноса кислорода и углекислого газа. Нами [2, 5, 11, 13, 14, 18, 27, 28] было показано, что с возрастом до начала полового созревания, благодаря развитию аппаратов внешнего дыхания, кровообращения, дыхательной функции крови, тканевых механизмов, способствующих продвижению кислорода к клеточным энергетическим станциям — митохондриям, увеличивается общая мощность всей системы доставки и утилизации кислорода, повышается скорость поступления кислорода в легкие, альвеолы, транспорта его артериальной и смешанной венозной кровью, увеличивается скорость его потребления тканями. Наряду с этим с возрастом снижается интенсивность доставки и потребления кислорода, повышается эффективность, экономичность кислородных режимов организма и качество их регулирования.

У детей дошкольного и младшего школьного возраста в покое, при умеренной физической нагрузке, при небольшом снижении содержания кислорода и его парциального давления в выдыхаемом воздухе потребность организма в кислороде полностью удовлетворяется, однако удовлетворение этой потребности осуществляется менее экономично, чем у взрослых, а границы отклонений условий от нормальных, при которых кислородный запрос организма полностью удовлетворяется, значительно уже, чем у взрослых. В процессе роста и развития ребенка объем воздуха, вентилируемого в легких, и объем циркулирующей крови, необходимые для утилизации каждого литра кислорода, становятся меньшими, кислородный эффект дыхательного и сердечного циклов увеличивается, повышается эффективность и экономичность кислородных режимов организма, расширяются рамки внешних возмущений, при которых сохраняется соответствие между скоростью доставки кислорода и кислородным запросом организма. Нам удалось показать, что при снижающейся с возрастом интенсивности окислительных процессов развитие механизмов, обеспечивающих более полную утилизацию кислорода из крови и повышение использования кислорода из альвеолярного воздуха обуславливает еще большее снижение интенсивности поступления

кислорода в легкие, альвеолы, что приводит к тому, что становятся более напряженными венозная и артериальная кровь, а содержание кислорода в альвеолярной крови снижается, повышается.

Выявленные закономерности цикла, за исключением старческого возраста, подтверждены врачами. Если в период плавного изменения идет плавно, эффективность организма повышается в пубертатном возрасте кислородных режимов организма, восстанавливается. При этом нервная и гуморальная регуляция не всегда достаточно эффективна, и дыхание и кровообращение растущего организма и регулирования кислородных режимов, увеличивается интенсивность, увеличиваются нагрузки, снижаются кислородные циклы, падает коэффициент внешних возмущений, регулирования кислородных режимов проявляется при анализе парциального давления кислорода.

Менее эффективные механизмы у взрослых и у детей дошкольного возраста соотношения между частотой дыхания, снижением парциального давления в альвеолах, более низкое P_{O_2} у подростков развивается на меньших высотах, чем у взрослых (на высотах 2000—3000 м). Снижение минутного сердечного объема, так как скорость доставки кислорода и кислорода продукты, отходы. Проведенные нами исследования изменений высшей нервной деятельности показали, что болезни могут быть выявлены у взрослых лиц. При худшем приспособлении к высокому климату на высотах мала адаптация показателей в трудоспособности, нарастают сердечно-сосудистые заболевания, нарастание гемоглобина.

Детальная характеристика человека и животных среднего уровня и его учеников [1].

кислорода в легкие, альвеолы, транспорта его кровью. Это в свою очередь приводит к тому, что кислородные режимы организма с возрастом становятся более напряженными, напорные градиенты PO_2 (альвеоларно-венозный и артериально-венозный) уменьшаются, парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе и напряжение его в артериальной крови снижаются, а парциальное давление углекислого газа повышается.

Выявленные закономерности распространяются на весь жизненный цикл, за исключением периода новорожденности, пубертатного и старческого возрастов, привлекающих особое внимание физиологов и врачей. Если в период первого и второго детства развитие системы дыхания идет плавно, эффективность и экономичность кислородных режимов организма повышается, качество их регулирования улучшается, то в пубертатном возрасте повышение эффективности и экономичности кислородных режимов организма и качества их регулирования как бы приостанавливается. Происходящая в это время в организме перестройка нервной и гуморальной регуляции жизненно важных функций, бурные и не всегда достаточно равномерные рост и развитие систем внешнего дыхания и кровообращения при возрастающей потребности усиленно растущего организма в кислороде приводят к ухудшению качества регулирования кислородных режимов организма, снижается их экономичность, увеличиваются вентиляционный и гемодинамический эквиваленты, снижаются кислородные эффекты дыхательного и сердечного циклов, падает коэффициент утилизации кислорода, суживаются границы внешних возмущений, при которых сохраняется высокое качество регулирования кислородных режимов организма. Особенно четко это проявляется при анализе реакций юношеского организма на снижение парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе.

Менее эффективные изменения внешнего дыхания, худшие, чем у взрослых и у детей дошкольного, младшего и среднего школьного возраста соотношения между альвеоларной вентиляцией и минутным объемом дыхания, снижение скорости поступления кислорода в легкие и альвеолы, более низкое PO_2 альвеолярного воздуха приводят к тому, что у подростков развивается более выраженная артериальная гипоксемия на меньших высотах, чем у взрослых и детей. И несмотря на ранее (на высотах 2000—3000 м) учащение сердечных сокращений и увеличение минутного сердечного выброса, может проявиться тканевая гипоксия, так как скорость доставки кислорода не обеспечивает удовлетворение кислородного запроса организма. В крови накапливаются недоокисленные продукты, отмечаются сдвиги кислотно-щелочного равновесия. Проведенные нами наблюдения за самочувствием, исследования изменений высшей нервной деятельности, умственной и физической работоспособности показали, что у подростков 13—15 лет признаки горной болезни могут быть выявлены уже на высоте 2000 м (у неакклиматизированных взрослых лиц они проявляются на высоте 3000—4000 м). При худшем приспособлении к острой гипоксии юношеский организм обладает удовлетворительной способностью к акклиматизации к горному климату на высотах 2000 и 3000 м. Об этом свидетельствует нормализация показателей высшей нервной деятельности, восстановление трудоспособности, нарастание мышечной силы, нормализация деятельности сердечно-сосудистой системы, дыхания, большее чем у взрослых нарастание гемоглобина.

Детальная характеристика гипоксических состояний организма человека и животных среднего возраста была дана в работах Н. Н. Сиротинина и его учеников [1, 3—14, 19, 21—26 и др.].

В старческом возрасте, являющемся заключительным этапом развития организма, система дыхания и кислородные режимы организма подвергаются особо большим изменениям. Грудная клетка, дыхательные пути и легкие претерпевают структурные и функциональные изменения, дыхательный ритм учащается, возрастает минутный объем дыхания, изменяются соотношения между легочной и альвеолярной вентиляцией, значительно увеличивается физиологическое мертвое дыхательное пространство и снижается доля альвеолярной вентиляции в минутном объеме дыхания. Несмотря на увеличение минутного объема дыхания, альвеолярная вентиляция снижается, что, наряду с уплотнением альвеолярно-капиллярной мембраны, уменьшением диффузионной поверхности альвеол и ухудшением процесса диффузии кислорода через альвеолярно-капиллярные мембраны ведет к увеличению альвеолярно-капиллярного градиента PO_2 , снижению напряжения и содержания кислорода в артериальной крови и насыщения ее кислородом. Выраженные изменения претерпевает транспорт кислорода кровью: с возрастом по мере старения не только уменьшается кислородная емкость крови и содержание в ней кислорода, но и значительно снижается объемная скорость кровотока и с ней скорость массопереноса кислорода артериальной кровью, уменьшается количество функционирующих капилляров, нарушаются условия микроциркуляции крови, скорость доставки кислорода к отдельным клеткам. Снижение скорости кровотока, ухудшение микроциркуляции, уменьшение кислородной емкости крови, насыщения артериальной крови кислородом и содержания в ней кислорода приводят к снижению скорости и интенсивности доставки кислорода к тканям, к большой неравномерности распределения в них PO_2 , что не может не отразиться на способности клеток утилизировать кислород.

Как показали исследования, проведенные в нашей лаборатории Маньковской [15], в сердечной и в скелетных мышцах животных старческого возраста значительно ухудшаются условия для диффузии кислорода: увеличивается расстояние между функционирующими капиллярами, снижается плотность капилляров в ткани, увеличивается их длина. Указанные изменения приводят к снижению PO_2 в отдельных участках тканей, к большей пестроте его распределения. Изменяются и биохимические свойства ткани. В мышцах уменьшается содержание миоглобина, снижается активность дыхательных ферментов. Все это затрудняет утилизацию кислорода, потребление кислорода с возрастом снижается, кислородные режимы организма становятся менее эффективными и экономичными, в отличие от того, что наблюдается в пубертатном возрасте, более напряженными.

Таким образом, в старческом возрасте к респираторной гипоксии присоединяется циркуляторная и тканевая. Потребление кислорода организмом и головным мозгом, в частности, снижается, ухудшаются функции центральной нервной системы. Существует мнение о том, что проявляющиеся при нормальном атмосферном давлении нарушения высшей нервной деятельности стариков — ослабление внутреннего торможения, снижение подвижности основных нервных процессов, их силы, концентрации, уменьшение работоспособности корковых клеток является следствием кислородной недостаточности [25]. Все это говорит о том, каким сложным фоном для действия недостатка кислорода во вдыхаемом воздухе является старческий организм. К этому нужно еще добавить торпидность его реакций, нарушение адаптационных способностей в этом возрасте. Проведенные нами наблюдения над 8 лицами в возрасте 65—75 лет, прибывшими из г. Киева в Приэльбрусье, свидетельствуют о том, что снижение PO_2 во вдыхаемом воздухе ведет преж-

де всего к углублению дыхания (к снижению минутного объема дыхания в возрастных группах), возрастанию пространства, меньшему вентилированию по кислороду, кислорода при неравномерности в альвеолах, неравномерности альвеолярно-капиллярной мембраны артериальной крови.

При снижении лабильности и усилении кровотока, при наличии с застойными явлениями в легком, в известном вытеснении паренхимы легкого, организм снабжается кислородом и уже на небольших высотах гипоксия становится с нарушениями высшей нервной деятельности, ухудшении самочувствия, высоте 3000 м ведет к кислородному голоданию после возвращения в условия нормы.

Постепенное совершенствование эффективности и экономичности процесса онтогенеза обусловливает в легких и из крови, что при снижении кислорода в альвеолярном пространстве, к уменьшению альвеолярных градиентов PO_2 ухудшает условия для диффузии. Рост и развитие соединительной ткани, капилляров и снижение их эффективности, ухудшение условий для диффузии в участках ткани, наиболее отдаленных от капилляров, PO_2 может снижаться, что ведет к снижению активности ферментов, уменьшению функциональной активности растного развития и совершенствования диалектически противоположно развивается развитие механизмов адаптации, с другой — ухудшающуюся ощущается на заключитель-

А.

RESPIRATOR

The respiratory system, regulation of gas transfer in the organism, their characteristics, theories. Data are presented on the reaction on the decrease of PO_2

A. A. Bogomoletz Institute of Physiology, Academy of Sciences, Ukrainian S.S.R.

де всего к углублению дыхательной недостаточности у стариков: увеличению минутного объема дыхания (больше, чем у представителей всех возрастных групп), возрастанию физиологического мертвого дыхательного пространства, меньшему относительному увеличению альвеолярной вентиляции по кислороду, снижению коэффициента использования кислорода при неравномерном распределении респираторных газов в альвеолах, неравномерном кровотоке в легких, уплотнению альвеолярно-капиллярной мембраны, к ухудшению оксигенации артериальной крови.

При снижении лабильности сердечно-сосудистой системы и меньшем усилении кровотока, при наличии циркуляторной гипоксии, связанной с застойными явлениями, уплотнением стенок капилляров, при известном вытеснении паренхиматозных тканей соединительной старческий организм снабжается кислородом значительно хуже, чем молодой, и уже на небольших высотах (1000—2000 м) в пожилом возрасте тканевая гипоксия становится ощутимой. Она проявляется в значительных нарушениях высшей нервной деятельности, в снижении работоспособности, ухудшении самочувствия. Даже кратковременное пребывание на высоте 3000 м ведет к кислородной задолженности, проявляющейся и после возвращения в условия нормального PO_2 .

Постепенное совершенствование системы дыхания, повышение эффективности и экономичности кислородных режимов организма в процессе онтогенеза обуславливают более полное использование кислорода в легких и из крови, что приводит к снижению парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе и напряжения его в артериальной крови, к уменьшению альвеолярно-венозного и артериально-венозного градиентов PO_2 , ухудшает условия для диффузии кислорода в ткани. Рост и развитие соединительнотканых элементов, увеличение длины капилляров и снижение их плотности в тканях также приводит к ухудшению условий для диффузии кислорода в самих тканях. В отдельных участках ткани, наиболее отдаленных от артериальных концов капилляров, PO_2 может снижаться ниже критического уровня, что обуславливает снижение активности цитохромоксидазы и других дыхательных ферментов, уменьшение потребления кислорода, а с ним и снижение функциональной активности клетки. Таким образом, в естественном возрастном развитии и совершенствовании системы дыхания заложены две диалектически противоположные тенденции: с одной стороны осуществляется развитие механизмов, улучшающих доставку кислорода к клеткам, с другой — ухудшающих ее. Преобладание последних особенно ощущается на заключительном этапе жизненного цикла — в старости.

A. Z. Kolchinskaya

RESPIRATORY SYSTEM, HYPOXIA AND AGE

Summary

The respiratory system, regimes of the processes of oxygen and carbon dioxide mass transfer in the organism, their changes in ontogenesis are considered from the standpoint of the system theories. Data are presented on peculiarities of child, youthful and senile age reaction on the decrease of PO_2 in the aspirated air.

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

Список литературы

1. Белошицкий П. В. Повышение устойчивости зимнеящих животных к факторам космического полета: Автореф. дис. ... канд. наук, Киев, 1965. 16 с.
2. Гуляди Б. К. Кислородные режимы организма в период второго детства: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, К., 1971. 14 с.
3. Дударев В. П. Роль гемоглобина в механизмах адаптации к гипоксии и гипероксии. Киев: Наук. думка, 1979. 336 с.
4. Колпаков Е. В. О некоторых спорных вопросах адаптации организма к гипоксии. — В кн.: Механизмы регулирования жизнедеятельности организма в условиях патологии. Баку, 1970, с. 83—84.
5. Колчинская А. З. Недостаток кислорода и возраст. Киев: Наук. думка, 1964. 335 с.
6. Колчинская А. З. Кислородные режимы организма ребенка и подростка. Киев: Наук. думка, 1973. 319 с.
7. Колчинская А. З. О классификации гипоксических состояний. — В кн.: Специальная и клиническая физиология гипоксических состояний, Киев: Наук. думка, 1979, с. 5—19.
8. Колчинская А. З., Лауэр Н. В., Шкабара Е. А. О регулировании кислородных режимов организма. — В кн.: Кислородный режим организма и его регулирование. Киев: Наук. думка, 1966, с. 341—356.
9. Колчинская А. З., Мисюра А. Г., Пшеничный Б. Н., Онопчук Ю. Н., Марченко Д. И., Шевело Л. В. Исследование динамики процесса переноса газов в организме на математической модели. — Физиол. журн. СССР, 1976, № 7, с. 1047—1055.
10. Колчинская А. З., Мисюра А. Г. Математическая модель процесса массопереноса газов в организме. — В кн.: Бионика и биокibernетика. Киев, 1970, с. 90—96.
11. Лауэр Н. В. Питання патофізіології гіпоксичних станів новонароджених. Київ: Наук. думка, 1959. 199 с.
12. Лауэр Н. В., Колчинская А. З. О кислородном режиме организма. — В кн.: Кислородный режим организма и его регулирование. Киев: Наук. думка, 1966, с. 3—15.
13. Лауэр Н. В., Колчинская А. З. Дыхание и возраст. — В кн.: Возрастная физиология. Л.: Наука, 1975, с. 151—221.
14. Маньківська І. М. Вікові особливості окисних процесів у скелетних м'язах. — Х з'їзд Укр. т-ва. фізіологів. Київ: Наук. думка, 1977, с. 222.
15. Мисюра А. Г. Математична модель газообміну в легенях. — Фізіол. журн., 1973, 19, № 6, с. 830—839.
16. Мисюра А. Г. Математическая модель газообмена в легких дельфина. — В кн.: Подводные медико-биологические исследования. Киев: Наук. думка, 1975, с. 228—234.
17. Мищенко В. С. Изменения дыхания у подростков и юношей под влиянием спортивной тренировки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Киев, 1969. 16 с.
18. Нагибеда Н. Н. Симпато-адреналовая система в условиях гипоксической гипоксии. — В кн.: Специальная и клиническая физиология гипоксических состояний. Киев: Наук. думка, 1979, с. 119—123.
19. Онопчук Ю. Н. Имитационное моделирование процесса управления внешним дыханием и кровотоком в организме человека. — Киев: Кибернетика, 1979, № 6, с. 152—154.
20. Середенко М. М. Возрастные особенности оксигенации крови в легких: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук, Киев, 1980. 19 с.
21. Сиротинин М. М. Життя на висотах і хвороба висоти. Київ, 1939. 225 с.
22. Сиротинин М. М. Про резистентність до зниженого атмосферного тиску. — Мед. журн. АН УРСР, 1940, 10, № 5, с. 1415—1427.
23. Сиротинин Н. Н. Гипоксия и ее значение в патологии. — В кн.: Гипоксия, Киев, 1949, с. 19—27.
24. Сиротинин Н. Н. Старость и гипоксия. — Клинич. медицина, 1960, 38, № 8, с. 72—74.
25. Сиротинин Н. Н. Сравнительная физиология акклиматизации к высокогорному климату. — В кн.: Кислородная недостаточность. Киев, 1963, с. 36—40.
26. Степанов Ю. В. Кислородные режимы организма при статических усилиях: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Киев, 1971. 16 с.
27. Филиппов М. М. Изменения кислородтранспортной функции крови при мышечной деятельности: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Киев, 1975. 16 с.

Институт физиологии им. А. А. Богомольца
АН УССР, Киев

Поступила в редакцию
4.XI 1980 г.

УДК 612.67:612.12—008.331.1

Н. Н.

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРТОНИИ
У ЖИВОТНЫХ

С трудами А. А. Богомольца является существенный этап в развитии физиологии человека. Касаясь важнейших вопросов, касающихся жизни человека, А. А. Богомольца занимает проблема старения, его старение, голенити человека А. А. Богомольца. Система (атеросклероз) мер по их профилактике.

В экспериментальных исследованиях таких заболеваний как гипертония, внимание то обстоятельство, что учитывались возрастные патологические процессы, что гипертонический атеросклероз чаще встречается.

В свете идей А. А. Богомольца исследования особенностей развития от возраста, возрастные гипертонии и атеросклерозы.

Повышение кровяного давления, фактор, предрасполагающий к развитию, как фактор риска атеросклероза. Значение гипертонии в ука: авторов, когда речь идет о развитии. Взгляды исследователей на развитие жизни неоднородны, и эти работы не привели пока к однозначения, которое должно быть.

По одним данным, артериальное развитие атеросклероза, как и у людей более молодого.

Авторы других работ считают гипертонии (как фактор).

Необходимо учитывать, вопрос, представляющий собой практические мероприятия.

В связи с этим заслуживают проблемы взаимоотношений возрастом аспекте. Возможны исследований в этом плане.

* А. А. Богомольца. Избранные