

**УЗБЕКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ**

Кафедра анатомии и физиологии

ОТКРЫТАЯ ЛЕКЦИЯ

на тему:

**РАЗВИТИЕ ВЕГЕТАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ И ИХ
РЕГУЛЯЦИЯ**

Составитель:

ст.преп. Светличная Н.К.

Ташкент – 2013

Тема: РАЗВИТИЕ ВЕГЕТАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ И ИХ РЕГУЛЯЦИЯ

План лекции:

- 1) Возрастные особенности кислородтранспортной системы и гомеостаза
- 2) Возрастные особенности кровообращения и дыхания
- 3) Адаптация к мышечной работе в разном возрасте

Возрастные особенности кислородтранспортной системы и гомеостаза

Начиная с Клода Бернара (1872) считается общепринятым положение о постоянстве внутренней среды организма высших позвоночных и человека, как необходимом условии жизни его тканей. Однако это постоянство нельзя понимать абсолютно: филогенетическое и онтогенетическое развитие биологической системы возможно лишь при определенных границах колебаний процессов (в системе в целом и в отдельных звеньях).

Кровь – это жидкая соединительная ткань организма. В ее состав входят форменные элементы (клетки крови) и плазма (жидкая часть крови).

Количественные и качественные возрастные отличия крови ярко выражены лишь в первые годы постнатального развития. Обычно у детей старше одного года многие гематологические показатели приближаются к значениям, характерным для взрослого организма.

Количество крови в организме человека меняется с возрастом. У детей крови относительно массы тела больше, чем у взрослых. У новорожденных кровь составляет 15% массы, у детей одного года – 11%, в 6-7 лет – 10%, в 11 лет – 8%, у взрослых – 5-8%. Это связано с более интенсивным протеканием обмена веществ в детском организме. Общее количество крови у новорожденных в среднем составляет 450-600 мл, у детей 1 года – 1,0-1,1 л, у детей 14 лет – 3,0-3,5 л, у взрослых людей массой 60-70 кг общее количество крови 5-5,5 л.

Плотность (удельный вес) крови у новорожденного составляет 1.060-1.080, в 10 лет – 1.060-1.070, у взрослых – 1.052-1.063 (у мужчин выше). **Вязкость** крови у новорожденного составляет 10.0-14.8 усл.ед, в 1 месяц – 4.6 усл.ед. **Белки** в сыворотке у новорожденных 5.68 ± 0.04 г% (у недоношенных 4.44 ± 0.1 г%), в 3-4 года – 6.83 ± 0.19 г%, у взрослых – 6.2-8.2 г%. **Аминокислоты** у новорожденных 70-80 мг%, в 10 лет – 80-90 мг%, у взрослых – 100 мг%. Количество **молочной кислоты**, выражающий повышенный гликолиз у 3-месячных 18.7 мг%, в 1 год – 13.8 мг%, у взрослых – 10.2 мг%.

Кроветворение до 12 лет происходит в костном мозгу всех костей, с 12-летнего возраста – только в губчатом веществе плоских костей и эпифизах трубчатых костей, а в диафизах трубчатых костей костный мозг заменяется жировым мозгом не имеющим кроветворной функции.

У здоровых людей соотношение между плазмой и форменными элементами колеблется незначительно (55% плазмы и 45% форменных элементов). У детей раннего возраста процентное содержание форменных элементов несколько выше.

Количество форменных элементов крови также имеет свои возрастные особенности. По мере взросления детей в их крови повышается количество эритроцитов и гемоглобина, а количество лейкоцитов снижается. Так, количество эритроцитов (красные кровяные клетки) у новорожденного составляет 4,3-7,6 млн. на 1 мм³ крови, к 6 месяцам количество эритроцитов снижается до 3,5-4,8 млн. на 1 мм³, у детей 1 года – до 3,6-4,9 млн. на 1 мм³ и к 13-15 годам достигает уровня взрослого человека (4-5 млн. в 1 мм³). Надо подчеркнуть, что содержание форменных элементов крови имеет и половые особенности, например, количество эритроцитов у мужчин составляет 4,0-5,1 млн. на 1 мм³, а у женщин – 3,5-4,5 млн. на 1 мм³.

Осуществление эритроцитами дыхательной функции связано с наличием в них гемоглобина, являющегося переносчиком кислорода. Содержание гемоглобина в крови измеряется либо в абсолютных величинах, либо в процентах. За 100% принято наличие 16,7 г гемоглобина в 100 мл крови. У взрослого человека обычно в крови содержится 60-80% гемоглобина. Причем содержание гемоглобина в крови мужчин составляет 80-100%, а у женщин – 70-80%. Содержание гемоглобина зависит от количества эритроцитов в крови, питания, пребывания на свежем воздухе и других причин.

Содержание гемоглобина в крови также меняется с возрастом. В крови новорожденных количество гемоглобина может варьировать от 110% до 140%, при этом до 6 месяцев у детей в крови утробный гемоглобин HbF 17-24 г%, к 5-6-му дню жизни этот показатель снижается. К 6 месяцам количество гемоглобина составляет 70-80%. Затем к 3-4 годам количество гемоглобина увеличивается до 70-85%, т.н. щелочно-устойчивый 11-12 г%, в 6-7 лет отмечается замедление в нарастании содержания гемоглобина, с 8-летнего возраста вновь нарастает количество гемоглобина и к 13-15 годам составляет 70-90%, т.е. достигает показателя взрослого человека, т.н. HbA «взрослый» – 12-16 г%. Снижение числа эритроцитов ниже 3 млн. и количества гемоглобина ниже 60% свидетельствует о наличии анемического состояния (малокровия).

Малокровие, или **анемия** – резкое снижение гемоглобина крови и уменьшение количества эритроцитов. Различного рода заболевания и особенно неблагоприятные условия жизни детей и подростков приводят к малокровию. Оно сопровождается головными болями, головокружением, обмороками, отрицательно сказывается на работоспособности и успешности обучения. Кроме того, у малокровных учащихся резко снижается сопротивляемость организма, и они часто и длительно болеют.

Первейшей профилактической мерой против малокровия оказываются правильная организация режима дня, рациональное питание, богатое минеральными солями и витаминами, строгое нормирование учебной, внеклассной, трудовой и творческой деятельности, чтобы не развивалось переутомление, необходимый объем суточной двигательной активности в условиях открытого воздуха и разумное использование естественных факторов природы.

Одним из важных диагностических показателей, свидетельствующих о наличии воспалительных процессов и других патологических состояний, является

скорость оседания эритроцитов. С возрастом этот показатель изменяется. У новорожденных скорость оседания эритроцитов низкая (от 2 до 4 мм/ч). У детей до 3 лет величина СОЭ колеблется в пределах от 4 до 12 мм/ч. В возрасте от 7 до 12 лет величина СОЭ не превышает 12 мм/ч. У мужчин она составляет 1-10 мм/ч, у женщин – 2-15 мм/ч.

Другим классом форменных элементов являются *лейкоциты* – белые кровяные клетки. Важнейшей функцией лейкоцитов является защита от попадающих в кровь микроорганизмов и токсинов. По форме, строению и функции различают разные типы лейкоцитов. Основные из них: лимфоциты, моноциты, нейтрофилы. Лимфоциты образуются в основном в лимфатических узлах. Они вырабатывают антитела и играют большую роль в обеспечении иммунитета. Нейтрофилы вырабатываются в красном костном мозге: они играют основную роль в фагоцитозе. Способны к фагоцитозу и моноциты – клетки, образующиеся в селезенке и печени.

Количество лейкоцитов и их соотношение изменяются с возрастом.

У новорожденного лейкоцитов значительно больше, чем у взрослого человека (до 20 тыс. в 1 мм³ крови). В первые сутки жизни число лейкоцитов возрастает (происходит рассасывание продуктов распада тканей ребенка, тканевых кровоизлияний, возможных во время родов) до 30 тыс в 1 мм³ крови. Начиная со вторых суток число лейкоцитов снижается и к 7-12-му дню достигает 10-12 тыс. Кроме того, было выявлено, что чем меньше возраст ребенка, тем больше незрелых форм лейкоцитов содержит его кровь. Такое количество лейкоцитов сохраняется у детей первого года жизни, после чего оно снижается и к 13-15 годам достигает величин взрослого человека (4-8 тыс.).

Существует определенное соотношение между разными типами лейкоцитов, выраженное в процентах, так называемая лейкоцитарная формула. При патологических состояниях изменяется как общее число лейкоцитов, так и лейкоцитарная формула. Лейкоцитарная формула в первые годы жизни ребенка характеризуется повышенным содержанием лимфоцитов и пониженным числом нейтрофилов. Соответственно у них снижена фагоцитарная функция и наблюдается высокая восприимчивость к инфекционным заболеваниям. Затем количество нейтрофилов повышается, а лимфоцитов снижается до взрослого уровня к периоду полового созревания. К 5-6 годам количество этих форменных элементов выравнивается, после этого процент нейтрофилов растет, а процент лимфоцитов понижается. Малым содержанием нейтрофилов, а также недостаточной их зрелостью объясняется большая восприимчивость детей младших возрастов к инфекционным болезням. К тому же фагоцитарная активность нейтрофилов у детей первых лет жизни наиболее низкая.

Тромбоциты (кровяные пластинки) – самые мелкие из форменных элементов крови. Количество их варьирует от 200 до 400 тыс. в 1 мм³ (мкл). Днем их больше, а ночью меньше. После тяжелой мышечной работы количество кровяных пластинок увеличивается в 3-5 раз.

Образуются тромбоциты в красном костном мозге и селезенке. Основная функция тромбоцитов связана с их участием в свертывании крови. Нормальное функционирование кровообращения, препятствующее как кровопотере, так и

свертыванию крови внутри сосуда, достигается определенным равновесием двух существующих в организме систем – свертывающей и противосвертывающей. Свертывание крови у детей в первые дни после рождения замедленно, особенно это заметно на 2-й день жизни ребенка. С 3-го по 7-й день жизни свертывание крови ускоряется и приближается к норме взрослых. У детей дошкольного и школьного возраста время свертывания крови имеет широкие индивидуальные колебания. В среднем начало свертывания в капле крови наступает через 1-2 мин, конец свертывания – через 3-4 мин.

Во время физиологической беременности *системы гемостаза матери и плода* функционируют относительно автономно, при этом плацента оказывает лишь опосредованное влияние на обе системы гемостаза. Если система гемостаза матери характеризуется явлениями физиологической гиперкоагуляции, то аналогичная система у плода имеет все признаки гипокоагуляции. В период внутриутробного развития в прокоагулянтном звене системы гемостаза плода происходят выраженные изменения. Первые белки-прокоагулянты появляются у плода на 12-й неделе онтогенеза, а фибриноген удается обнаружить еще раньше (на 5-й неделе). Способность крови эмбриона к свертыванию появляется на 12-й неделе развития. В период 12-24 нед активность факторов II, VII и X составляет всего 20-23 %, а фактора IX— 14-40% от аналогичных показателей взрослых. На сравнительно низком уровне находятся также и показатели агрегации тромбоцитов.

Система гемостаза новорожденного характеризуется также признаками гипокоагуляции. Это касается как плазменного, так и клеточного звена данной системы. Только в постнатальном периоде наблюдается постепенное увеличение показателей свертывающей системы крови и ее приближение к параметрам взрослого.

Кислотно-основное состояние крови.

Кислотно-основное состояние (КОС) крови плода характеризуется всеми признаками физиологического метаболического ацидоза. Ацидоз обусловлен накоплением в организме плода недоокисленных продуктов обмена веществ, прежде всего углеводов. Ацидоз отражает также особенности газообмена в антенатальном периоде развития.

Ацидоз плода имеет метаболический характер. О метаболическом характере ацидоза свидетельствует отсутствие повышения показателей парциального давления CO_2 (P_{CO_2}) при значительном накоплении кислых продуктов обмена веществ (ВЕ). Это подтверждается также изменениями показателей буферной системы крови, что находит свое выражение в снижении щелочных резервов крови (ВВ, SB, общее содержание CO_2).

Состояние физиологического метаболического ацидоза отражает в основном преобладание в организме плода процессов анаэробного гликолиза при котором энергии выделяется меньше, чем при аэробном, однако этого вполне достаточно для внутриутробной жизни.

По мере приближения срока родов у *плода нарастает физиологический метаболический ацидоз*, в связи с чем повышается возбудимость мезэнцефалического ядра тройничного нерва, ретикулярной формации и

некоторых других центров гомеостаза. Это в свою очередь приводит к резкому повышению возбудимости всех центральных структур регуляции дыхательной системы плода, включая и бульбарный дыхательный центр. Так создаются важнейшие предпосылки к первым внеутробным дыхательным движениям. Таким образом, состояние физиологического метаболического ацидоза плода не свидетельствует о его патологии. Оно является выражением весьма своеобразного физиологического состояния плода и его адаптации к внутриутробному существованию.

Возраст, лет	Гематокрит, %		Количество эритроцитов, $\times 10^{12}/л$		Концентрация гемоглобина, г/л	
	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.	муж.
3-6	31,0-40,5	31,0-39,5	3,5-5,0	3,9-5,0	100-140	104-140
7-12	32,5-41,5	32,5-41,5	3,5-5,0	3,9-5,0	110-146	110-146
13-16	33,0-43,5	34,5-47,5	3,5-5,0	4,1-5,5	110-150	116-160
17-19	32,0-43,5	35,5-48,5	3,5-5,0	4,1-5,6	110-150	120-160
20-29	33,0-44,5	38,0-49,0	3,5-5,0	4,2-5,6	110-150	130-170
30-39	33,0-44,0	38,0-49,0	3,5-5,0	4,2-5,6	112-150	130-170
40-49	33,0-45,0	38,0-49,0	3,6-5,1	4,0-5,6	112-150	130-170
50-59	34,0-46,0	37,5-49,5	3,6-5,1	3,9-5,6	112-150	126-170
60-65	33,0-45,5	34,0-49,5	3,5-5,2	3,9-5,3	110-154	124-168
Старше 65	31,5-45,0	30,0-49,5	3,4-5,2	3,1-5,2	110-156	120-160

В эритроцитах содержатся особые вещества антигены, или *агглютиногены*, а в белках плазмы *агглютинины*, при определенном сочетании которых происходит склеивание эритроцитов – *агглютинация*. Одним из наиболее существенных агглютиногенов, для возрастной физиологии, является резус-фактор. Он содержится у 85% людей (резус-положительные), у 15% этого фактора в крови нет (резус-отрицательные). При переливании резус-положительной крови резус-отрицательному человеку в крови появляются резус-отрицательные антитела, и при повторном переливании резус-положительной крови могут наступить серьезные осложнения в виде агглютинации. Резус-фактор в особенности важно учитывать при беременности. Если отец резус-положительный, а мать резус-отрицательная, кровь плода будет резус-положительная, так как это доминантный признак. Агглютиногены плода, поступая в кровь матери, вызовут образование антител (агглютининов) к резус-положительным эритроцитам. Если эти антитела через плаценту проникнут в кровь плода, наступит агглютинация и плод может погибнуть. Поскольку при повторных беременностях в крови матери увеличивается количество антител, опасность для детей возрастает. В таком случае либо женщине с резус-отрицательной кровью вводят заблаговременно антирезус гаммаглобулин, либо только что родившемуся ребенку производят заменное переливание крови.

Сердце представляет собой полый мышечный орган, расположенный слева в

грудной клетке. Формирование сердца у эмбриона начинается со 2-й недели пренатального развития, а его развитие в общих чертах заканчивается уже к концу 3-й недели. На ранних стадиях эмбриогенеза сердце однополостное, позже закладываются последовательно перегородки предсердий, желудочков, клапаны. До рождения кровь, обогащенная кислородом через плаценту и нижнюю полую вену попадает в правое предсердие, затем в правый желудочек или через **овальное отверстие** в левое предсердие. Из правого желудочка кровь поступает в легочной ствол, а оттуда, через артериальный (**боталлов**) проток, в дугу аорты. К моменту рождения ребенка его сердце уже имеет четырехкамерную структуру, сразу после рождения овальное отверстие и боталлов проток закрываются, зарастая соединительной тканью.

Размер сердца и его масса изменяются с возрастом, рост веса и объема сердца следует за ростом массы тела. У детей сердце относительно больше, чем у взрослых. Его масса составляет примерно 0,63-0,80% массы тела, а у взрослого человека – 0,48-0,52%. Наиболее интенсивно растет сердце на первом году жизни: к 8 месяцам масса сердца увеличивается вдвое, к 3 годам утраивается, к 5 годам увеличивается в 4 раза, а в 16 лет – в 11 раз. Масса сердца у мальчиков в первые годы жизни больше, чем у девочек. В 12-13 лет наступает период усиленного роста сердца у девочек, и его масса становится больше, чем у мальчиков. К 16 годам сердце девочек вновь начинает отставать в массе от сердца мальчиков.

Так, вес сердца у эмбриона весом 1 г – 10 мг, в момент рождения – 20 г, в 2-3 года – 50 г, в 9-10 лет – 110 г, в 13-14 лет – 200 г, у взрослых ~ 200-300 г (у спортсменов ~ до 500 г). Рост предсердий в течение первого года жизни опережает рост желудочков, затем они растут почти одинаково, и только после 10 лет рост желудочков начинает обгонять рост предсердий.

Форма и положение сердца в грудной клетке в процессе постнатального развития также изменяется. У новорожденного сердце шаровидной формы и расположено значительно выше, чем у взрослого. Различия по этим показателям ликвидируются только к 10-летнему возрасту.

Основными гемодинамическими показателями сердечно-сосудистой системы являются частота сердечных сокращений и систолический объем. **Частота сердечных сокращений** в норме у взрослого человека составляет 75 ударов в 1 мин. Выраженное в детстве преобладание симпатических влияний на сердце обуславливает высокую частоту сердечных сокращений в состоянии покоя (у новорожденных 120-150 уд/мин, в 5-6 лет – 90-100 уд/мин, в 10 лет – 80-90 уд/мин). Противоположные влияния парасимпатического (блуждающего) нерва на сердце постепенно нарастают, вызывая дальнейшее снижение ЧСС в состоянии покоя (в 13-14 лет – 70-80 уд/мин, у взрослых – 60-80 уд/мин).

Тоны сердца – высокочастотные колебания (до 1000 Гц), возникающие при работе сердца и регистрируемые на поверхности грудной клетки. Основные тоны I и II, дополнительные – III, IV и V. Возникновение I тона – его низкочастотной части, связано с началом сокращения миокарда. Высокочастотные колебания большей интенсивности происходят вследствие закрытия дву- и трехстворчатых клапанов. Конечная часть I тона отражает открытие клапанов аорты и легочной артерии. По времени I тон совпадает с зубцом 5 ЭКГ. Закрытие клапанов аорты и

легочной артерии обуславливает возникновение II тона. Нередко регистрируется расщепление II тона, указывающее на физиологический асинхронизм в работе правого и левого желудочков. Появление II тона совпадает с окончанием зубца Г ЭКГ. У более чем 50% здоровых людей регистрируется III тон в виде слабых низкочастотных колебаний, связанных со звуковыми явлениями фазы быстрого наполнения. IV тон выявляется реже. Его происхождение связано с систолой предсердий. V тон не слышен и может быть зарегистрирован фонокардиографом как низкочастотные колебания (1–2 осцилляции) через 0,3 с после начала II тона. Происхождение V тона не выяснено.

Количество крови, выбрасываемое желудочками за одно сокращение, называют ударным, или *систолическим объемом*. Небольшие размеры сердца детей и слабость сердечной мышцы определяют малый систолический объем крови (20-30 мл). Количество крови, выбрасываемое в аорту сердцем новорожденного при одном сокращении, всего 2,5 см³. К первому году оно увеличивается до 10 мл, к 7 годам – до 20-25 мл, а к 12 годам – до 35-40 мл, у взрослых достигает 60-80 мл.

Минутный объем крови у 4-11-летних детей примерно в 2 раза меньше, чем у взрослых (2.8-3.0 и 4.5-5.0 л/мин).

Возраст	ЧСС, уд/мин	СО, мл
Новорожденные	120-150	2,5
1 год	100-110	10
5-6 лет	90-100	25-30
10 лет	80-90	35-40
13-14	70-80	40-50
Взрослые	0-80	60-80

Морфологические и функциональные изменения в сердце в процессе его постнатального развития определяют возрастные особенности биоэлектрических процессов в сердце детей и подростков. Их электрокардиограмма имеет специфические отличия до 13-16 лет, далее все основные показатели ЭКГ приближаются к ЭКГ взрослого человека.

Иногда в подростковом возрасте возникают обратимые нарушения в деятельности сердечно-сосудистой системы, связанные с перестройкой эндокринной системы. У подростков могут наблюдаться учащение сердечного ритма, одышка, спазмы сосудов, нарушения показателей ЭКГ и многие другие.

Сердце имеет три оболочки: внутренняя, эндокард (концентрические слои толстых эластических волокон), внешняя, эпикард (поперечнополосатые мышечные волокна с синцитием), средняя (эластические пластины с гладкомышечными волокнами). Старееющее сердце характеризуется развитием субэпикардальной жировой ткани, утолщением эндокарда, огрублением клапанов с нарушением их смыкания, морфологическими изменениями мышечных волокон, приводящих к изменению механических свойств. С возрастом в тканях сердца откладывается сердечный коллоид – метаболически

инертные гликопротеиновые комплексы. В гипертрофированных сердцах эти отложения более выражены.

Еще одним важным показателем сердечно-сосудистой системы является артериальное давление. Оно представляет собой переменное давление, под которым кровь находится в кровеносном сосуде. Величина давления определяется работой сердца, количеством крови, поступающим в сосудистую систему, интенсивностью ее оттока на периферию, сопротивлением стенок сосудов, вязкостью крови, эластичностью сосудов. Наиболее высокое давление – в аорте. По мере продвижения крови по сосудам давление ее снижается. Наиболее заметно снижается давление в артериолах и капиллярах.

Во время систолы желудочков кровь с силой выбрасывается в аорту, давление крови при этом наибольшее. Это наивысшее давление называют систолическим. В фазе диастолы (расслабления) сердца артериальное давление понижается и становится диастолическим.

В плечевой артерии человека систолическое давление составляет 110-125 мм рт.ст., а диастолическое – 60-85 мм рт.ст. Кровяное давление у детей ниже, чем у взрослых, что связано с большей эластичностью магистральных сосудов. Чем меньше ребенок, тем у него больше капиллярная сеть и шире просвет кровеносных сосудов, а, следовательно, и ниже давление крови.

В последующие периоды, особенно в период полового созревания рост сердца опережает рост кровеносных сосудов. Это отражается на величине кровяного давления, иногда наблюдается так называемая юношеская гипертония, когда нагнетательная сила сердца встречает сопротивление со стороны относительно узких кровеносных сосудов, а масса тела в этот период значительно увеличивается. Такое повышение давления, как правило, носит временный характер. Однако юношеская гипертония требует осторожности при дозировании физической нагрузки. После 50 лет максимальное давление обычно повышается до 130-145 мм рт. ст.

Кровообращение плода имеет свои особенности, связанные, прежде всего с тем, что до рождения кислород поступает в организм плода через плаценту и так называемую пупочную вену. Пупочная вена разветвляется на два сосуда, один питает печень, другой соединяется с нижней полую вену. В результате в нижней полую вену происходит смешение крови, богатой кислородом, с кровью, прошедшей через печень и содержащей уже продукты обмена. Через нижнюю полую вену смешанная кровь попадает в правое предсердие. Далее кровь проходит в правый желудочек и затем выталкивается в легочную артерию, меньшая часть крови течет в легкие, а большая часть через боталлов проток попадает в аорту. Наличие боталлова протока, соединяющего легочную артерию с аортой, является второй специфической особенностью в кровообращении плода. В результате соединения легочной артерии и аорты оба желудочка сердца нагнетают кровь в большой круг кровообращения. Кровь с продуктами обмена возвращается в материнский организм через пупочные артерии и плаценту. Таким образом, циркуляция в организме плода смешанной крови, его связь через плаценту с системой кровообращения матери и наличие боталлова протока являются основными особенностями кровообращения плода. У новорожденного

ребенка связь с материнским организмом прекращается и его собственная система кровообращения берет на себя все необходимые функции. Боталлов проток теряет свое функциональное значение и вскоре зарастает соединительной тканью.

Немало информации несет знание скорости кругооборота крови. Скорость течения крови с возрастом замедляется, что связано с увеличением длины сосудов, а в более поздние периоды со значительным снижением эластичности кровеносных сосудов. Более частые сердечные сокращения у детей также способствуют большей скорости движения крови. При небольшой длине кровеносного русла в детском организме время кругооборота крови ускорено. У новорожденного ребенка кровь совершает полный кругооборот, т.е. проходит большой и малый круги кровообращения, за 12 с, у 3-летних – за 15 с. В результате урежения ЧСС и увеличения длины сосудов происходит замедление кругооборота крови (в 13-14 лет – 16 с, в 17-18 лет – 18 с, у взрослых – 20-22 с).

Возрастные особенности регуляции кровообращения. К моменту рождения ребенка в сердечной мышце достаточно хорошо выражены нервные окончания симпатических и парасимпатических нервов. В раннем детском возрасте (до 2-3 лет) преобладают тонические влияния симпатических нервов на сердце, о чем можно судить по частоте сердечных сокращений (у новорожденных до 140 ударов в минуту). Тонус центра блуждающего нерва в этом возрасте низок. Первые признаки влияния блуждающего нерва на сердечную деятельность обнаруживаются в 3-4-месячном возрасте. В этом возрасте можно вызвать рефлекторное замедление сердечного ритма, надавливая на глазное яблоко. В первые годы жизни ребенка формируются и закрепляются тонические влияния блуждающего нерва на сердце. В младшем школьном возрасте роль блуждающего нерва значительно усиливается, что проявляется в снижении частоты сердечных сокращений.

Органы дыхания обеспечивают важнейшие для жизнедеятельности организма процессы – поступление O_2 в легкие при вдохе, газообмен в легких и выделение из организма CO_2 и других веществ с выдыхаемым воздухом.

Дыхательные пути – полость носа, гортань, трахея, бронхи. Легкие – парные органы, покрытые серозной оболочкой и образованные мягкой эластичной тканью ячеистого строения. Ввиду отрицательного давления в плевральных полостях легкие находятся в расправленном состоянии, принимая конфигурацию стенки грудной клетки.

Легкие и воздухоносные пути начинают развиваться у эмбриона на 3-4-й неделе из мезодермальной мезенхимы. К 16-17 неделе определяется железистое строение легкого при выраженной дольчатости, после 6 месяцев образуются альвеолы. В 6 месяцев поверхность альвеол начинает покрываться белково-липидной выстилкой – сурфактантом. Его наличие является необходимым условием нормальной аэрации легких после рождения. При недостатке сурфактанта после попадания в легкие воздуха альвеолы спадаются, что приводит к тяжелым расстройствам дыхания и без лечения.

В пренатальном периоде развития легкие плода находятся в спавшемся состоянии, имеют плотную консистенцию и слабо развитую эластическую ткань.

Легкие плода как орган внешнего дыхания не функционируют. Но они не находятся в спавшем состоянии, альвеолы и бронхи плода заполнены жидкостью. У плода, начиная с 11-й недели, появляются периодические сокращения инспираторных мышц – диафрагмы и межреберных мышц.

В конце беременности дыхательные движения плода занимают 30-70% всего времени. Частота дыхательных движений обычно увеличивается ночью и по утрам, а также при увеличении двигательной активности матери. Дыхательные движения необходимы для нормального развития легких. После их выключения развитие альвеол и увеличение массы легких замедляется. Помимо этого дыхательные движения плода представляют собой своего рода подготовку дыхательной системы к дыханию после рождения.

Рождение вызывает резкие изменения состояния дыхательного центра, расположенного в продолговатом мозгу, приводящие к началу вентиляции. Первый вдох наступает, как правило, через 15-70 сек. после рождения. Основными условиями возникновения первого вдоха являются:

1) повышения в крови гуморальных раздражителей дыхательного центра, CO₂, H⁺ и недостатка O₂;

2) резкое усиление потока чувствительных импульсов от рецепторов кожи (холодовых, тактильных), проприорецепторов, вестибулорецепторов, активирующих ретикулярную формацию ствола мозга, которая повышает возбудимость нейронов дыхательного центра;

3) устранение источников торможения дыхательного центра. Раздражение жидкостью рецепторов, расположенных в области ноздрей, сильно тормозит дыхание (рефлекс ныряльщика). Поэтому сразу после появления головы плода акушеры удаляют с лица слизь и околоплодные воды.

Таким образом, возникновение первого вдоха является результатом одновременного действия ряда факторов. С первым вдохом новорожденного легкие расправляются и устанавливается ритмическое дыхание, частота которого колеблется от 40 до 60 в циклов минуту. Механизм первого вдоха новорожденного связан с гуморальным действием на нервные клетки дыхательного центра диоксида углерода, растворенного в крови, повышение которого наблюдается при нарушении плацентарного кровообращения, и последующей рефлекторной реакции нервных клеток центра.

Начало вентиляции легких сопряжено с началом функционирования малого круга кровообращения. Кровоток через легочные капилляры резко усиливается. Легочная жидкость всасывается из легких в кровеносное русло, часть жидкости всасывается в лимфу.

Размеры альвеол у новорожденных втрое меньше, чем у взрослых. Рост альвеол продолжается до 24-28 лет. Окончательная дифференцировка бронхиального дерева происходит к 7 годам. Дыхательная поверхность – 24-100 м², альвеол – 375 млн., бронхиол – 200 тыс., ветвлений бронхов – 8 тыс.

У детей младшего возраста спокойное дыхание – диафрагмальное. Это связано с особенностями строения грудной клетки. Ребра расположены под большим углом к позвоночнику, поэтому сокращение межреберных мышц менее эффективно изменяет объем грудной полости. Энергетическая стоимость дыхания

ребенка гораздо выше, чем у взрослого. Причина – узкие воздухоносные пути и их высокая аэродинамическая сопротивляемость, а также низкая растяжимость легочной ткани. Дыхание у детей частое и поверхностное, легочная ткань мало растяжима, грудная клетка конусовидной формы и имеет малую экскурсию. Из-за неглубокого дыхания и сравнительно большого объема «мертвого пространства» (120-150 мл) эффективность дыхания детей невелика; из альвеолярного воздуха в кровь переходит меньше кислорода и много его оказывается в выдыхаемом воздухе; кислородная емкость крови у детей составляет 13-15 об%, у взрослых 19-20 об%.

Другой отличительной особенностью является более интенсивная вентиляция легких в пересчете на килограмм массы тела с целью удовлетворения высокого уровня окислительных процессов и меньшая проницаемость легочных альвеол для O_2 и CO_2 .

Так, частота дыхания у новорожденных составляет 42-46 цикла в минуту, дыхательный объем – 16 мл, минутный объем дыхания – 720 мл/мин.

У детей 5-8-летнего возраста частота дыхания снижается и достигает 25-22 циклов в минуту, дыхательный объем – 160-240 мл, а минутный объем дыхания – 3900-5350 мл/мин.

У подростков частота дыхания колеблется от 16 до 22 циклов в минуту, дыхательный объем – от 330 до 450 мл, минутный объем дыхания – от 6000 до 7700 мл/мин. Эти величины наиболее близки к уровню взрослого человека (ЧД – 10-14 ц/мин).

До 10-11 лет отмечается недостаточность произвольной регуляции дыхания, что отражается на речевой функции детей.

Наибольшие морфофункциональные изменения в легких охватывают возрастной период до 7-8 лет. В этом возрасте отмечается интенсивная дифференцировка бронхиального дерева и увеличение количества альвеол. Рост легочных объемов связан также с изменением диаметра альвеол. В период с 7 до 12 лет диаметр альвеол увеличивается вдвое, к взрослому состоянию – втрое. Общая поверхность альвеол увеличивается в 20 раз.

Таким образом, развитие дыхательной функции легких происходит неравномерно. Наиболее интенсивное развитие отмечается в возрасте 6-8, 10-13, 15-16 лет. В эти возрастные периоды преобладает рост и расширение трахеобронхиального дерева. Кроме того, в это время наиболее интенсивно протекает процесс дифференцировки легочной ткани, который завершается к 8-12 годам. Критические периоды для развития функциональных возможностей системы дыхания наблюдаются в возрасте 9-10 и 12-13 лет.

Жизненная емкость легких в 4 года – 1.0-1.2 л, в 7 лет – 1.8-2.0 л, в 9-10 лет – 2.0-2.2 л, у взрослых – 2.7-6.0 л. Величина максимальной вентиляции легких у детей достигает всего 50-60 л/мин (у нетренированных взрослых – 100-140 л/мин, у спортсменов – 200 л/мин и более).

Прекращение прироста функциональных показателей дыхания происходит в женском организме в 17-18 лет, в мужском – в 19-20 лет.

На протяжении первого года жизни у детей преобладает грудной тип дыхания, в возрасте 3-7 лет начинает формироваться брюшной тип. Уже с

возраста 7-8 лет начинают проявляться половые различия в показателях внешнего дыхания: у мальчиков ниже частота дыхания, больше глубина дыхания, ЖЕЛ, МОД, дыхание более экономично.

Этапы созревания регуляторных функций легких делятся на три периода: 13-14 лет (хемотрецепторный), 15-16 лет (механорецепторный), 17 лет и старше (центральный). Отмечена тесная связь формирования дыхательной системы с физическим развитием и созреванием других систем организма. Интенсивное развитие скелетной мускулатуры в возрасте 12-16 лет сказывается на характере возрастных преобразований дыхательной системы подростка. В частности, у подростков с высокими темпами роста часто отмечается отставание развития органов дыхания. Внешне это проявляется в форме отдышки даже при выполнении небольших физических нагрузок. Такие дети жалуются на быструю утомляемость, имеют низкую мышечную работоспособность, избегают занятий с интенсивными физическими упражнениями. Для них рекомендуется постепенное увеличение занятий физической культурой под контролем врача. В отличие от них, у подростков, занимающихся спортом, годовые прибавки роста меньше, а функциональные возможности легких выше. Но в целом развитие органов дыхания у подавляющей части детей несет на себе «отпечатки цивилизации». Низкая двигательная активность ограничивает подвижность грудной клетки. Дыхание в этом случае поверхностное, а его физиологическая ценность невелика. Необходимо учить детей правильному и глубокому дыханию, что является необходимым условием сохранения здоровья, расширения возможности адаптации к физическим нагрузкам.

С возрастом уменьшается относительный вес легких, характеризующийся исчезновением части альвеолярных перегородок и превращения группы альвеол в одну крупную, легкое эмфизематозное.

Лимфатическая система образует дополнительное к кровеносному сосудистое русло. На периферии замкнута, открывается центрально, в крупные вены шеи. Выполняет следующие функции: очистительная, эвакуаторная, барьерная, иммунозащитная, депонирующая, лимфопоэтическая.

В первые годы жизни лимфатические капилляры шире, их резорбционная поверхность больше, чем у взрослых. Это определяется необходимостью поглощения из основного вещества тканей белка в больших количествах, чем у взрослых.

Основные структуры узлов формируются к 12 годам. В процессе строения изменяется численность и размеры лимфатических узлов.

Адаптация к мышечной работе в разном возрасте

По мере роста и развития сердечно-сосудистой системы изменяются и ее реакции у детей и подростков на физическую нагрузку. Возрастные особенности этих реакций отчетливо проявляются как при постановке специальных функциональных проб, направленных на выявление состояния сердечно-сосудистой системы, так и в процессе выполнения физических упражнений, общественно полезного, производительного труда.

На динамическую физическую нагрузку дети и подростки реагируют повышением частоты сердечных сокращений, максимального артериального давления (ударного объема). Дети дошкольного и младшего школьного возраста отличаются при физических нагрузках быстрым вработыванием и быстрым восстановлением. В этом возрасте характерна малая выраженность устойчивого состояния и быстрое развитие утомления. В этом возрасте дети легче переносят нагрузки аэробного характера и мало адаптированы к анаэробной работе. Кислородная стоимость работы из-за несовершенства двигательных навыков и недостаточной координации движений выше, чем у взрослых. Неэффективное дыхание, малая величина систолического объема крови, низкая кислородная емкость крови не обеспечивают должного удовлетворения кислородного запроса.

Чем младше дети, тем в большей мере, даже наименьшую физическую нагрузку, они реагируют повышением частоты пульса, меньшим увеличением ударного объема, обеспечивая примерно одинаковый прирост минутного объема.

Дети и подростки, систематически занимающиеся физической культурой, постоянно выполняющие общественно полезные работы при строгом нормировании физических нагрузок, тренируют сердце, повышают его функциональные возможности.

Оптимальные систематические занятия физическими упражнениями совершенно необходимы растущему организму, ускоряя темпы созревания всех органов и систем организма, ускоряя развитие физических качеств. У юных спортсменов быстрее разворачиваются функции дыхания и сердцебиения, ускоряется повышение минутного объема дыхания и минутного объема кровотока. В возрасте 9-10 лет у девочек повышение МОК обеспечивается большим нарастанием ЧСС, а у мальчиков – преимущественным ростом систолического объема крови. Минутный объем сердца тренированные дети и подростки по сравнению со своими нетренированными сверстниками обеспечивают за счет увеличения ударного объема и в меньшей степени за счет частоты сердечных сокращений. Проявляется и другая примечательная особенность: время восстановления гемодинамических показателей у тренированных учащихся короче, чем у нетренированных. В ответ на большую нагрузку у тренированных школьников 15 лет количество крови, выбрасываемое за 1 мин, достигает такого объема, которое позволяет обеспечить кислородом работающие органы. При большой нагрузке особенно ярко проявляются различия в реакциях сердечно-сосудистой системы тренированного и нетренированного школьника.

У юных спортсменов (16-18 лет) после дозированной физической нагрузки (20 приседаний за 30 с или 60 подскоков) частота сердечных сокращений увеличивается на 60-70%, максимальное артериальное давление повышается на 25-30%, а минимальное снижается на 20-25%; пульс возвращается к исходной частоте через 1,0-1,5 мин. Такая реакция расценивается как благоприятная. На аналогичную нагрузку нетренированные подростки реагируют повышением частоты сердечных сокращений на 100%, максимального артериального давления на 30-40% и снижением минимального на 10-15%; пульс возвращается к величинам до нагрузки через 2-3 мин после ее завершения.

Важная роль, которую выполняет сердце в организме, диктует необходимость применения профилактических мер, способствующих его нормальной функции, укрепляющих его, предохраняющих от заболеваний, которые вызывают органические изменения клапанного аппарата и самой сердечной мышцы. Занятия физической культурой и трудом в пределах возрастных границ допустимых физических нагрузок – наиважнейшая мера укрепления сердца.

Для оценки общей работоспособности детей рекомендуется использовать адаптированный тест PWC_{170} с выполнением одной нагрузки вместо двух. Используют на шагивание на скамейку высотой 12-45 см в течение 2-5 минут при поддержании пульса на уровне 140-160 уд/мин. Величину физической работоспособности рассчитывают по формуле:

$$PWC_{170} = W \cdot \frac{170 - ЧСС_0}{ЧСС_1 - ЧСС_0},$$

где $ЧСС_0$ – пульс в покое; $ЧСС_1$ – пульс при работе; W - мощность работы, рассчитываемая по формуле:

$$W = p \cdot h \cdot n \cdot 1,2,$$

где p – масса тела (кг); h – высота ступеньки (м); n – скорость шагов; 1,2 – поправочный коэффициент на спуск.

Возрастная динамика показателей работоспособности

<i>Возраст, лет</i>	<i>Высота ступеньки, см</i>	<i>Пульс в покое, уд/мин</i>	<i>PWC_{170}, кгм/мин</i>
3-4	12-14	100-110	125-150
4-5	16-18	96-106	195-240
6-7	20-25	94-100	290-300
8-9	25-35	94-100	310-390
10-12	25-35	84-90	390-490
13-14	35-45	82-86	500-600
15-16	35-45	76-86	750-850

Литература.

1. Безруких М.М., Сонькин В.Д., Фарбер Д.А. Возрастная физиология: физиология развития ребенка. М., 2003.
2. Ермолаева Ю.А. Возрастная физиология. – М., 2001.
3. Сапин М.Р., Брыксина З.Г. Анатомия, физиология детей и подростков. – М.: Академия, 2002.
4. Светличная Н.К. Лекции по возрастной физиологии. – Т., 2008.
5. Сологуб А.С., Солодкова Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. – М., 2005.