

# Методы исследования и особенности системы дыхания у детей

Функция внешнего дыхания, имеющая целью осуществление легочного газообмена, представляет собой комплекс нескольких физиологических механизмов, тесно связанных между собой. Эта взаимосвязь является динамичным процессом, предполагающим адекватные сдвиги каждого из звеньев всей системы под влиянием изменения любого из них. Клиническая физиология дыхания условно разделяет единую систему функции внешнего дыхания на несколько этапов. Основные из них: легочная вентиляция, распределение воздуха в легких, альвеолярно-капиллярная диффузия, легочный кровоток и его отношение к вентиляции.

Указанные динамические процессы зависят от анатомических условий, в которых они протекают, в частности от статических легочных объемов, которые в физиологических условиях определяются главным образом антропометрическими и конституциональными особенностями индивидуума.

Анатомо-физиологические особенности дыхательной системы  
у детей в разные возрастные периоды:

К моменту рождения ребенка морфологическое строение еще не совершенно. Интенсивный рост и дифференцировка дыхательных органов продолжаются в течение первых месяцев и лет жизни. Формирование органов дыхания заканчивается в среднем к 7 годам, и в дальнейшем увеличиваются только их размеры. Все дыхательные пути у ребенка имеют значительно меньшие размеры и более узкие просветы, чем у взрослого.

Основные особенности строения дыхательной системы у детей.

У детей раннего возраста нос и носоглоточное пространство малых размеров, короткие, уплощенные из-за недостаточного развития лицевого скелета. Раковины толстые, носовые ходы узкие, нижний формируется только к 4 годам. Пещеристая ткань развивается к 8—9 годам.

Особенностями гортани у детей являются: ее узкий просвет, множество нервных рецепторов, легко возникающий отек подслизистого слоя, что может привести к тяжелым нарушениям дыхания.

Трахея является продолжением гортани. Она широкая и короткая, каркас трахеи состоит из 14—16 хрящевых колец, которые соединены фиброзной перепонкой вместо эластичной замыкающей пластины у взрослых.

Трахея ребенка очень подвижна, что наряду с меняющимся просветом и мягкостью хрящей иногда приводит к щелевидному спадению ее на выдохе

(коллапс) и является причиной экспираторной одышки или грубого храпящего дыхания (врожденный стридор). Симптомы стридора обычно исчезают к 2 годам, когда хрящи становятся более плотными.

К моменту рождения бронхиальное дерево сформировано. Но активная моторика бронхов недостаточна из-за слабого развития мышц и мерцательного эпителия. Незаконченная миелинизация блуждающего нерва и недоразвитие дыхательной мускулатуры способствуют слабости кашлевого толчка у маленького ребенка; скапливающаяся в бронхиальном дереве инфицированная слизь закупоривает просветы мелких бронхов, способствует ателектазированию и инфицированию легочной ткани.

функциональной особенностью бронхиального дерева маленького ребенка является недостаточное выполнение дренажной, очистительной функции.

У ребенка, как и у взрослых, легкие имеют сегментарное строение. Основной структурной единицей является ацинус, но терминальные его бронхиолы заканчиваются не гроздью альвеол, как у взрослого, а мешочком (*sacculus*). Из «кружевных» краев последнего постепенно формируются новые альвеолы, число которых у новорожденного в 3 раза меньше, чем у взрослого. Увеличивается диаметр каждой альвеолы (0,05 мм у новорожденного, 0,12 мм в 4 —5 лет, 0,17 мм к 15 годам). Параллельно нарастает жизненная емкость легких. Межуточная ткань в легком ребенка рыхлая, богата сосудами, клетчаткой, содержит очень мало соединительнотканых и эластических волокон. В связи с этим легкие ребенка первых лет жизни более полнокровны и менее воздушны, чем у взрослого. Недоразвитие эластического каркаса легких способствует как возникновению эмфиземы, так и ателектазированию легочной ткани.

В связи с особенностями грудной клетки диафрагма играет у маленького ребенка большую роль в механизме дыхания, обеспечивая глубину вдоха. Слабостью ее сокращений частично объясняется крайне поверхностное дыхание новорожденного. Основными функциональными физиологическими особенностями органов дыхания являются: поверхностный характер дыхания; физиологическая одышка (тахипноэ), нередко неправильный ритм дыхания; напряженность процессов газообмена и легкое возникновение дыхательной недостаточности.



Глубина дыхания, абсолютный и относительный объемы одного дыхательного акта у ребенка значительно меньше, чем у взрослого. При крике объем дыхания увеличивается в 2 — 5 раз. Абсолютная величина минутного объема дыхания меньше, чем у взрослого, а относительная (на 1 кг массы тела) — значительно больше.

Частота дыхания тем больше, чем моложе ребенок, компенсирует малый объем каждого дыхательного акта.

Газообмен у детей осуществляется более энергично, чем у взрослых, благодаря богатой васкуляризации легких, скорости кровотока, высокой диффузионной способности. В то же время функция внешнего дыхания у маленького ребенка нарушается очень быстро из-за недостаточных экскурсий легких и расправления альвеол.

Частота дыхания ребенка новорожденного — 40 — 60 в 1 мин, годовалого — 30 — 35, 5 — 6 лет — 20 — 25, 10 лет — 18 — 20, взрослого — 15 — 16 в 1 мин.

В развитии легких можно выделить следующие периоды:

- 1) от рождения до 2 лет, когда происходит интенсивный рост альвеол;
- 2) от 2 до 5 лет, когда интенсивно развивается эластическая ткань, формируются бронхи с перибронхиальными включениями легочной ткани;
- 3) от 5 до 7 лет окончательно формируются функциональные способности легких;
- 4) от 7 до 12 лет, когда происходит дальнейшее увеличение массы легких за счет созревания легочной ткани.

Объем легких уже дышавших новорожденных составляет 70 см<sup>3</sup>, к 15 годам объем их увеличивается в 10 раз и у взрослых - в 20 раз. Общий рост легких происходит главным образом за счет увеличения объема альвеол, тогда как число последних остается более или менее постоянным.

Наибольшие трудности исследования вентиляционной функции легких (ВФЛ) возникают у детей первых четырех лет жизни, так как они не могут выполнять традиционные дыхательные маневры и обследоваться методом стандартной спирографии.

Клиническое значение оценки ВФЛ у детей дошкольного возраста состоит: в уточнении этиологии рецидивирующего кашля и повторного бронхообструктивного синдрома, дифференциальной диагностике бронхиальной астмы, в ранней диагностике респираторных нарушений при атопическом дерматите.

Динамическая оценка ВФ необходима при бронхолегочной дисплазии (БЛД) и муковисцидозе с целью улучшения контроля за клиническим течением заболеваний. Исследовательские цели обосновывают изучение изменений ВФЛ по мере роста и развития респираторной системы.

Тем не менее, исследование легочной функции у детей дошкольного возраста осуществимо. В тоже время необходимо учитывать ряд важных особенностей, присущих этому возрасту. Для детей этого возраста характерен короткий период внимания, когда они могут сконцентрироваться на исследовании и выполнить его адекватно. Оценка ВФЛ требует большой подготовительной работы и тренировки до исследования и тесного доброжелательного взаимодействия с медицинским работником во время исследования. Важным является соблюдение безопасности и гигиенических требований.

Условия проведения исследований должны быть строго стандартизированы.

Спирометрия может выполняться у детей не моложе 5 лет. Большинство детей, начиная с возраста 9 лет способны выполнить удовлетворяющий тем же критериям, которые применимы у взрослых пациентов, однако для детей до 9 лет необходимо соблюдать некоторые правила. Желательно, чтобы специалист, обследующий ребенка, имел опыт выполнения функциональных исследований у детей. В кабинете должна быть очень доброжелательная атмосфера, можно использовать игрушки, соответствующие возрасту маленьких пациентов. Перед началом исследования ребенку следует объяснить в доступной манере, что он должен делать. Хорошие результаты дает применение визуальной «обратной связи» (изображение свечей или других картинок на дисплее спирометра, меняющихся при выполнении Ребенком форсированного выдоха).

Даже если первые попытки были неудачными, продолжение исследования в большинстве случаев позволяет ребенку привыкнуть к обстановке и лучше выполнить дыхательный маневр. Во время тестирования исследователь должен внимательно наблюдать за ребенком для своевременного устранения утечки воздуха и контроля за правильностью выполнения дыхательного маневра. Для детей Младшего возраста преждевременным завершением маневра форсированного выдоха считается прекращение маневра на уровне более 10% от пиковой скорости выдоха. ФЖЕЛ и форсированные экспираторные потоки, полученные в таком маневре, не должны использоваться для анализа.

В идеале, при проведении спирометрии ребенку достаточно получить 2 приемлемых кривых поток-объем, в которых ФЖЕЛ и ОФВ1 отличаются не более чем на 0,1 л, или 10% от максимальных значений. Но даже при получении единственной кривой, удовлетворяющей техническим требованиям, она может использоваться для анализа, однако в протоколе исследования должно быть отражено число технически удовлетворительных маневров и степень воспроизводимости результатов. Как и у взрослых, у детей для анализа выбирают кривую с максимальными значениями ФЖЕЛ и ОФВ1.

У детей моложе 6 лет не должны использоваться должны величины, применяемые у взрослых пациентов. В литературе предложены несколько различных уравнений для расчета должных величин у детей этого возраста.

в 1994г Р.Ф.Клемент и Н.А.Зильбер разработали в нашей стране сводную систему должных величин показателей спирометрии для лиц моложе 18 лет.



Количественную оценку функциональных показателей производят путём сопоставления их с нормативами, разработанными в зависимости от типа применяемой аппаратуры. Ввиду значительной variability показателей в пределах однородных возрастно-половых групп в качестве нормативов принято использовать должные величины, которые рассчитывают с учетом основного обмена, одной или нескольких антропометрических характеристик (длина и масса тела) обследуемых. В связи с тем, что легочные объёмы с длиной тела коррелируют более тесно, чем с возрастом или массой тела, при расчете должных величин показателей вентиляции рекомендуют пользоваться уравнениями регрессии, рассчитанными по длине тела.

Вследствие значительных индивидуальных различий, обусловленных воздействием внутренних и внешних факторов (эмоциональный тонус, температура окружающей среды, атмосферное давление и др.), для большинства вентиляционных показателей патологическими обычно считают лишь отклонения, превышающие  $\pm 15$ — $20\%$  от должных.

## Традиционные методы оценки внешнего дыхания у детей.

С этой целью у пациентов старше 4 лет широко используются пневмотахометрия, спирометрия, а также различные тесты на выявление бронхиальной гиперреактивности (чаще всего – с дозированной физической нагрузкой, реже – с метахолином, гистамином, ингаляциями сухого и холодного воздуха, аллергенов) и бронхолитические пробы для выявления обратимости вентиляционных нарушений. Данные методики хорошо стандартизированы, высоковоспроизводимы, но требуют хорошей кооперации с пациентом для правильного выполнения дыхательных маневров, что ограничивается возрастом обследуемых детей.

Исследования ФВД проводят в условиях относительного покоя, спустя 1,5 - 2 ч после приема пищи. Объективно оценить показатели ФВД можно у детей старше 6 лет, так как более младшие пациенты не способны методически правильно выполнять глубокий форсированный выдох. Для достижения кооперации с ребенком можно пригласить в кабинет одновременно несколько детей и начать исследование с пациента, которому эта процедура знакома. Нередко присутствие родителя помогает провести обследование ребенка.

Определение легочных объемов является необходимой частью исследования функции внешнего дыхания при решении любой из поставленных перед функциональной диагностикой задач. Прежде всего оно позволяет, хотя и грубо, судить о размерах функционирующей поверхности легочных мембран, о наличии и степени ограничительных (рестриктивных) процессов в легких, а также о степени их вздутия (гиперинфляции).

Самым распространенным из-за простоты обследования является метод, в основе которого лежит регистрация кривой поток—объем форсированного выдоха жизненной емкости легких (ФЖЕЛ). Сам форсированный выдох является функциональной нагрузкой, поэтому между попытками необходимо выдерживать паузы, особенно это касается пациентов с обострением бронхиальной астмы. В зависимости от отклонения показателей кривой поток-объем (КПО) от нормальных значений устанавливаются нарушения бронхиальной проводимости и их степень. При обострении бронхиальной астмы может регистрироваться снижение ФЖЕЛ; обычно этот показатель после ингаляционной пробы с бронхолитиком увеличивается вплоть до нормальных величин. В тех случаях, когда у ребенка с бронхиальной астмой после ликвидации обострения, да к тому же при нескольких визитах, регистрируется снижение ФЖЕЛ, этому пациенту требуется более углубленное функциональное обследование с определением структуры общей емкости легких (ОЕЛ).

Вопрос об обратимости обструкции дыхательных путей и для подбора бронхолитика решается при проведении тестов с ингаляционными бронхолитиками (бронходилататорами). Для правильной оценки теста, если пациент получает бронхолитики, их необходимо до начала исследования отменить:

В2-агонисты короткого действия или антихолинергические препараты — за 6 ч;

В2-агонисты длительного действия — за 24 ч.

Если пациент госпитализируется по экстренным показаниям и ему уже назначались бронхолитические препараты, обязательно в протоколе указывают, на фоне действия какого лекарства выполнено функциональное исследование. До настоящего времени нет единого подхода в оценке бронходилатационного ответа у детей. Многолетняя практика показывает, что наиболее приемлема оценка по абсолютному приросту объема форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ1).

С учетом воспроизводимости абсолютного значения ОФВ1 его прирост на 190 мл и более можно оценивать как положительный ответ на ингаляцию бронходилататора. При положительном тесте с бронхолитиком в заключения можно указать полностью или частично обратима обструкция на основании нормализации показателей кривой поток—объем.

При исходном исследовании функции легких у детей важно обращать внимание на воспроизводимость показателей: разница между максимальным и минимальным значением показателей ОФВ1 и ФЖЕЛ не должна превышать 5%.



В некоторых случаях при наличии минимальных нарушений бронхиальной проходимости все показатели после ингаляции бронхолитика достигают границ нормы, а прирост ОФВ1 составляет менее 190 мл. Тогда при условии налаженного сотрудничества пациента и врача, а также удовлетворительной воспроизводимости кривой поток—объем при исходном исследовании такой тест можно оценить как положительный.

Инструментом динамического контроля бронхиальной астмы у детей является пикфлоуметрия. Стойкое снижение пиковой скорости выдоха (ПСВ) и/или увеличение суточного разброса показателей (снижение утреннего значения относительно вечернего более чем на 20%) весьма информативно для диагностики бронхиальной обструкции в ходе мониторинга состояния больного. Высокая вариабельность ПСВ – объективный критерий тяжести и нестабильности состояния при бронхиальной астме, коррелирующий с гиперреактивностью дыхательных путей. График ПСВ позволяет врачу на основании суточных колебаний этого показателя контролировать эффективность проводимой терапии и своевременно вносить в нее коррективы.

Обычно пикфлоуметрия становится возможной у детей старше 5 лет. Ориентировочные нормы показателей ПСВ в зависимости от роста, возраста и пола приведены в специальных таблицах-номограммах. В качестве индивидуальной нормы рекомендовано принимать усредненное наилучшее значение ПСВ для данного пациента в периоде ремиссии заболевания (при хорошем самочувствии). Наиболее информативно измерение утренних и вечерних показателей ПСВ, а в случаях приема бронхолитических препаратов – до и после их применения.

**Проведение провокационных проб** с метахолином (гистамином) обычно показано у детей с длительной ремиссией бронхиальной астмы, в некоторых случаях (при нормальных показателях ФВД) — для установления степени тяжести болезни, поскольку имеется связь степени гиперреактивности бронхов с тяжестью течения болезни. Смена положительного ответа на ингаляцию провокационного агента на отрицательный после проведенного лечения, или снижение степени гиперреактивности бронхов, несомненно, свидетельствует об эффективности назначенной терапии. При хронических неспецифических воспалительных заболеваниях легких почти у половины больных определяется гиперреактивность бронхов, однако степень ее обычно бывает низкой, гораздо реже — средней.

Исследование бронхиальной гиперреактивности с бронхоконстрикторами (ацетилхолином, метахолином, гистамином) следует проводить лишь при наличии специально обученного персонала и оснащении кабинета всем необходимым для ликвидации индуцированного бронхоспазма.

**Тест с дозированной физической нагрузкой** широко применяется у детей при заболеваниях бронхолегочной системы. Тестирование проводится на велоэргометре из расчета 1 Вт на 1 кг массы тела при частоте педалирования 60—70 в 1 минуту, можно также использовать беговую дорожку, в этом случае нагрузка устанавливается в зависимости от возраста ребенка. Большинство исследователей оценивают тест как положительный при снижении величины ОФВ1 на 10% после физической нагрузки. Как показали исследования, имеется прямая корреляционная зависимость между частотой возникновения посленагрузочного бронхоспазма и тяжестью течения бронхиальной астмы. Кроме того, посленагрузочный бронхоспазм чаще диагностируется у пациентов, предъявляющих жалобы на одышку при физической активности.

Диагностика рестриктивных вентиляционных нарушений возможна лишь при определении структуры общей емкости легких (ОЕЛ) методом общей плетизмографии или методом разведения инертного газа (чаще гелия) в закрытой системе. Этими приборами должны оснащаться крупные диагностические центры и пульмонологические стационары.

В отличие от взрослых, примерно у 13% больных ХНЗЛ детей при исследовании ФВД нарушения вентиляционной функции легких отсутствуют. Это объясняется высокими компенсаторными способностями детского организма, продолжающимся развитием бронхолегочной системы в период жизни до 8 лет, тогда как формирование ХНЗЛ происходит в основном в первые 3 - 4 года жизни. Однако у этих пациентов можно обнаружить нарушения распределения вентиляции и перфузии и неравномерность вентиляционно-перфузионных отношений в легких.

# ИМПУЛЬСНАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ

Импульсная осциллометрия - метод оценки проходимости ДП на основе параметров импульсного сопротивления. Специальное приспособление (громкоговоритель) генерирует поток форсированных (навязанных) осцилляции с частотой колебаний от 5 до 35 Гц, которые накладываются на спонтанное дыхание пациента и через измерительную часть устройства попадают в дыхательный тракт.

В отображенном выдыхаемом потоке измеряются давление (P) и объемная скорость (V) осцилляции воздушного потока, отношение которых представляет собой общий дыхательный импеданс:  $Z_{rs} = P/V'$ , отражающий общее дыхательное сопротивление. Составляющие общего дыхательного импеданса  $Z_{rs}$ : резистивное сопротивление - резистанс ( $R_{rs}$ ) - характеризует неэластическое фрикционное сопротивление ДП, реактивное сопротивление - реактанс ( $X_{rs}$ ) - представляет сумму эластического сопротивления и инерционного сопротивлений. В изучаемом диапазоне частот резистанс ( $R_{rs}$ ) имеет обратную зависимость от частоты осцилляции, уменьшаясь от 5 до 35 Гц. В реактансе ( $X_{rs}$ ) - эластическая часть представлена отрицательными значениями, а инерционная - положительными величинами.

Точка перехода реактанса из отрицательных величин в положительные называется

резонансной частотой ( $F_r$ )



Достоинство метода заключается в том, что он не требует выполнения форсированного выдоха. Он напоминает метод перекрытия потока, однако физический смысл импульсной осциллометрии другой. Метод позволяет диагностировать бронхиальную обструкцию без активного участия пациента, требует только спокойного дыхания. Данная интересная опция может быть включена как в спирометрию, так и в бодиплетизмографию.

Импульсная осциллометрия подразумевает измерение общего сопротивления дыхательной системы поступающему воздушному потоку. С этой целью подается воздушный поток непостоянного (импульсного, осциллирующего) давления – проще говоря, воздух поступает порциями с частотой от 5 до 35 раз в секунду, что значительно выше привычной для человека частоты дыхания.

Учитывается и вычисляется ряд параметров, которые даже по названиям создают прямую аналогию с электротехникой и механикой: дыхательный импеданс (конечный, искомый показатель), реактанс, фрикционное сопротивление (обусловленное трением), эластичное и инерционное сопротивление (легочных тканей, воздухопроводных путей, грудной клетки, самого воздушного потока).

Результаты отражаются графически и позволяют в статике и динамике оценивать функциональное состояние бронхиального дерева и всей дыхательной системы в целом.

Метод ИОМ предназначен для измерения общего сопротивления дыхательной системы воздушному потоку, оценки проходимости бронхов, выявления преимущественной локализации анатомических аномалий и деформаций, дифференциальной диагностики рестриктивных и обструктивных проблем. Все это имеет большое значение в диагностике любых бронхообструктивных заболеваний, т.е. таких патологических процессов и состояний, при которых по тем или иным причинам сужается воздухопроводный просвет. Кроме того, характер процедуры и неограниченная возможность повторной диагностики делают ИОМ незаменимым методом оценки динамики и терапевтической эффективности назначаемого лечения.

В отличие от многих аналогичных методов, которые при той же (или даже меньшей) информативности являются для пациента изнурительными и сложными, импульсная осциллометрия уникальна по простоте и скорости выполнения. От пациента требуется, фактически, лишь одно: дышать, причем дышать не в каких-либо замысловатых режимах и темпах, а с самой обычной частотой и привычной для него интенсивностью. Все остальное, в том числе математические вычисления и представление результатов, делается автоматически. Каких-либо болевых или иных дискомфортных ощущений ИОМ не вызывает, что и делает ее применимой в самых разных ситуациях и выборках.

Продолжительность исследования не превышает одной минуты.



Основной модуль  
для Vyntus PNEUMO  
и Vyntus IOS

Дополнительный  
модуль  
окружающей  
среды

Регулируемый в трех проекциях  
кронштейн для удобства  
пациента

Vyntus IOS

Высокоточный  
пневмотахометр  
с подогревом





**Будь  
Здоров!**

**Спасибо за внимание!**

