

ЛЕГОЧНЫЙ КРОВОТОК У ЗДОРОВЫХ ДЕТЕЙ 11—13 ЛЕТ ПО ДАННЫМ ИМПЕДАНСНОЙ ЗОНАЛЬНОЙ РЕОПЛЕТИЗМОГРАФИИ

В последние годы внимание физиологов и клиницистов привлекает сравнительно новый бескровный метод изучения легочного кровообращения — импедансная реоплетизмография [3]. Достоинством метода является возможность получить в физиологических условиях объективную информацию о таком трудно доступном отделе кровообращения, как малый круг и правый желудочек.

В настоящее время наиболее совершенной модификацией метода является тетраполярная реоплетизмография [12]. Ее преимущества перед биполярным вариантом состоят в более точном измерении импеданса, стабильной калибровке и равномерном распределении силовых линий высокочастотного поля в межэлектродном пространстве [4]. Благодаря этому увеличались метрологические возможности метода, повысилась точность измерений и чувствительность к пульсации глубоко расположенных сосудов [7]. Тетраполярная схема положена в основу работы реоплетизмографа РПГ-202. Теоретические основы реоплетизмографии были разработаны давно [5, 13].

Метод состоит в графической регистрации изменения полного электрического сопротивления (импеданса) в зависимости от кровенаполнения исследуемого органа при прохождении через него тока высокой частоты. Полученная кривая называется объемной реоплетизмограммой (РПГ), а ее первая производная — дифференциальной РПГ, которая отражает изменение скорости кровенаполнения сосудов. В период систолы сердца амплитуда РПГ увеличивается пропорционально увеличению кровенаполнения исследуемой области, при этом электрическое сопротивление снижается.

К недостаткам метода следует отнести отсутствие унифицированной аппаратуры и единой схемы анализа реограмм, что затрудняет получение сопоставимых результатов. Серьезные трудности возникают при количественной оценке реограмм, так как до сих пор нет теоретического обоснования строгой количественной зависимости между электрическим импедансом и объемным кровотоком [3].

Несмотря на то, что становление метода реоплетизмографии еще не закончено, он широко применяется для изучения гемодинамики малого круга кровообращения как здоровых [1], так и больных детей с различной легочной патологией [9]. При этом большинство исследователей пользуются методикой [8], отражающей суммарный легочный кровоток. Однако для клинициста, занимающегося легочной патологией, весьма важными являются данные о кровотоке в различных зонах легких, поскольку они позволяют осуществить топическую диагностику локальных процессов.

Известно несколько реографических методик изучения регионарного кровотока в легких [2, 10, 11]. Все они позволяют проводить лишь качественную оценку зонального легочного кровотока. Его количественная оценка возможна лишь по методу сегментарной бронхоспиррореографии [6], имеющему, однако, ограниченное применение из-за сложности.

Целью нашей работы была количественная оценка некоторых показателей, отражающих кровоток в различных зонах легких у здоровых детей.

Методика. Исследовано 48 здоровых детей (мальчиков — 27, девочек — 21) в возрасте от 11 до 13 лет. С помощью реоплетизмографа РПГ-202 объемную и дифференциальную реоплетизмограммы записывали на шестиканальном самописце Н-338 синхронно с ЭКГ и сейсмокардиограммой. Скорость движения диаграммной ленты была

50 мм/с, калибровочный сигнал для объемной РПГ составлял 0,1 Ом, для дифференциальной — 1 Ом/с. Исследование проводили в горизонтальном положении и при задержке дыхания на спокойном выдохе. Для записи сейсмокардиограммы использовали сейсмоприемник.

Электроды накладывали на грудную клетку по [11]. Исследовали нижние и средние зоны легких; верхние зоны, учитывая размеры грудной клетки у детей, не исследовали. Мы использовали систему электродов В. М. Большова, А. А. Цветкова и И. Горски, состоящую из двух пар круглых электродов, вставленных один в другой (рис. 1). Вокруг внутренних (измерительных) электродов расположены наружные (токовые). При этом между измерительными электродами создается однородное электрическое поле, а влияние переходной зоны «электрод — ткань» нивелируется. Электроды фиксировали на грудной клетке резиновым бинтом, кожу перед их наложением протирали спиртом.

Мы определяли следующие показатели: 1) $Q-a$ — период напряжения миокарда и время распространения пульсовой волны от сердца до исследуемой зоны легких; 2) Интервал $a-b$ — фаза быстрого наполнения (соответствует фазе быстрого изгнания); 3) Интервал $b-c$ — фаза медленного наполнения (короче фазы медленного изгнания на интервал $c-d$); 4) Интервал $a-d$ — период наполнения исследуемой зоны (соответствует периоду изгнания); 5) Реографический систолический индекс (РСИ) — отражает силу сердечных сокращений и эластичность сосудов, $РСИ = c - c_1$ (мм) / калибр (мм); 6) Амплитуда дифференциальной реоплетизмограммы ($A_{диф}$) — характеризует скорость изменения кровенаполнения исследуемой зоны легкого, $A_{диф} =$

$$= \left[\frac{A_{диф}(\text{мм}) \cdot 1 \text{ Ом/с}}{10 \text{ мм}} \right] (\text{Ом/с}); \quad 7) \text{ Максимальная скорость быстрого наполнения}$$

(МСБН) — характеризует скорость наполнения крупных сосудов и уровень их тонуса,

$$МСБН = \left[\frac{b - b_1(\text{мм}) \cdot 0,1 \text{ Ом}}{\text{калибр}(\text{мм}) \cdot a - b(c)} \right] (\text{Ом/с}); \quad 8) \text{ Средняя скорость медленного наполнения}$$

(ССМН) — характеризует наполнение средних и мелких сосудов и уровень их тонуса,

$$ССМН = \left[\frac{c_1 - e(\text{мм}) \cdot 0,1 \text{ Ом}}{\text{калибр}(\text{мм}) \cdot b_1 - e(c)} \right] (\text{Ом/с}), \quad (\text{рис. 2}).$$

Длительность интервалов $Q-a$, $a-b$, $b-c$ и $a-d$ легко вычислить, зная цену одного деления, равную 0,02 с. Период наполнения определяется от начала подъема дифференциальной кривой. Иногда на ее восходящем колене встречается характерная ступенька (рис. 3). В этом случае началом периода наполнения является точка a_1 , а его конец определяется по наиболее низкой точке на дифференциальной кривой или по проекции на нее точки Л на сейсмокардиограмме (легочный компонент II тона).

Амплитудные и временные величины показателей подвергнуты статистической обработке на электронно-вычислительной машине ЕС-1022 по общепринятой методике с определением $M \pm m$, $\pm \sigma$ и p .

Результаты и их обсуждение. Как видно из табл. 1, временные интервалы (период напряжения миокарда, фазы быстрого и медленного наполнения, период наполнения исследуемой зоны) у мальчиков и девочек практически одинаковы. Амплитудные показатели (реографический систолический индекс и амплитуда дифференциальной кривой) в нижних зонах обоих легких у мальчиков достоверно выше, чем у девочек ($p < 0,01$), в средних зонах эти показатели несколько выше у девочек, однако различие это не достоверно.

Скоростные показатели быстрого и медленного наполнения в нижних зонах обоих легких были выше у мальчиков, а в средних зонах эти показатели оказались одинаковыми у детей обоего пола.

При сравнительном анализе показателей интенсивности кровотока (табл. 2) в симметричных зонах обоих легких и отдельно в средней и нижней зонах каждого легкого оказалось, что реографический систолический индекс и амплитуда дифференциальной кривой в обеих зонах справа выше, чем слева. Эти же показатели в средних зонах легких были выше, чем в нижних. Наиболее информативными мы считаем реографический систолический индекс, амплитуду дифференциальной кривой, среднюю скорость медленного наполнения и максимальную скорость быстрого наполнения.

В качестве иллюстрации в табл. 3 приведены результаты зональ-

ной реоплетизмографии Саши П. (11 лет) после резекции нижней доли левого легкого по поводу бронхоэктатической болезни.

Из табл. 3 следует, что амплитудные и скоростные показатели у этого ребенка в нижней зоне слева значительно снижены, что отражает состояние тонуса и кровенаполнение сосудов в оперированном легком. Средняя зона левого легкого после операции подвергалась перерастяжению, поэтому амплитудные показатели ее снижены.

Выводы. Показатели импедансной зональной реоплетизмографии представляют интерес для понимания условий кровотока в мелких, средних и крупных сосудах легких, а также отражают сократительную способность миокарда правого желудочка.

Интенсивность кровотока у здоровых детей в правом легком больше чем в левом, а в средних зонах легких больше, чем в нижних.

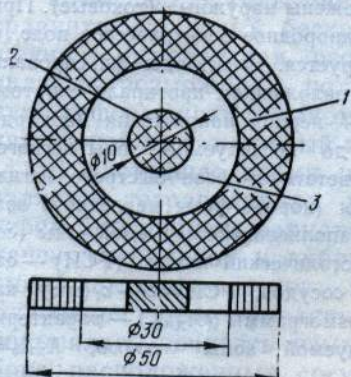


Рис. 1. Система круглых электродов.

1 — токовый электрод, 2 — измерительный электрод, 3 — изоляция.

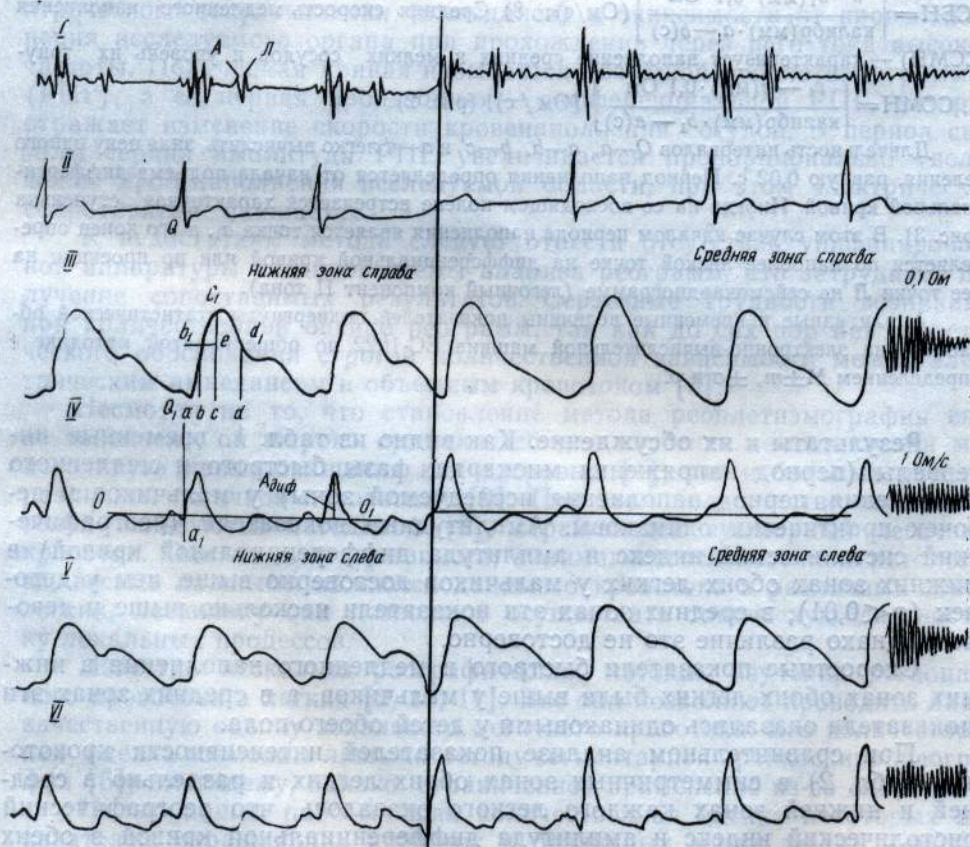


Рис. 2. Зональная реоплетизмография легких.

I — СКГ (сейсмокардиограмма); А — аортальный, Л — легочный компонент II тона; II — ЭКГ; III — реоплетизмограмма (РПГ) объемная нижней и средней зон справа; IV — РПГ дифференциальная нижней и средней зон справа; А_{диф} — ее амплитуда; 0—0₁ — нулевая линия; V — РПГ объемная нижней и средней зон слева; VI — РПГ дифференциальная нижней и средней зон слева. Q—a — период напряжения; a—b — фаза быстрого наполнения; b—c — фаза медленного наполнения; a—d — период наполнения; b—b₁ — амплитуда быстрого наполнения; c—c₁ — максимальная амплитуда РПГ; c₁—e — амплитуда медленного наполнения.

Изученные показатели могут быть использованы для диагностики локальных процессов и в качестве нормативов при исследовании детей с различной легочной патологией.

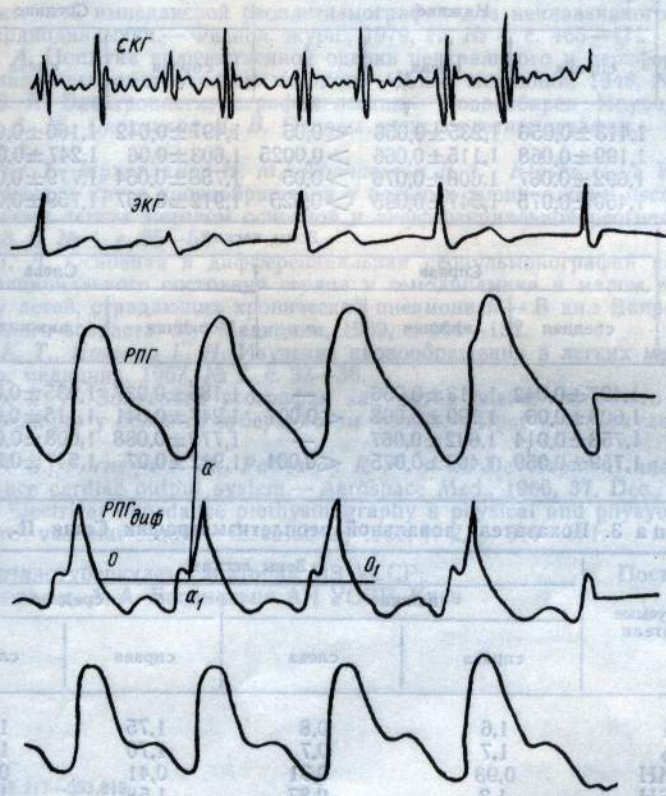


Рис. 3. Определение длительности периода наполнения исследуемой зоны легкого по дифференциальной кривой.

Таблица 1. Средние показатели ($M \pm m$) легочного кровотока у здоровых детей

Показатели	Пол	Зоны легких			
		Нижние		Средние	
		справа	слева	справа	слева
Q-a	М	$0,10 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,003$	$0,09 \pm 0,004$	$0,10 \pm 0,002$
	Д	$0,10 \pm 0,005$	$0,10 \pm 0,004$	$0,10 \pm 0,004$	$0,10 \pm 0,003$
a-b	М	$0,07 \pm 0,004$	$0,06 \pm 0,003$	$0,07 \pm 0,003$	$0,06 \pm 0,002$
	Д	$0,07 \pm 0,003$	$0,06 \pm 0,002$	$0,06 \pm 0,003$	$0,06 \pm 0,003$
b-c	М	$0,10 \pm 0,003$	$0,09 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,003$	$0,09 \pm 0,004$
	Д	$0,10 \pm 0,003$	$0,10 \pm 0,004$	$0,12 \pm 0,004$	$0,09 \pm 0,004$
a-d	М	$0,31 \pm 0,005$	$0,30 \pm 0,004$	$0,32 \pm 0,006$	$0,30 \pm 0,005$
	Д	$0,31 \pm 0,005$	$0,29 \pm 0,006$	$0,32 \pm 0,005$	$0,32 \pm 0,005$
РСИ	М	$1,40 \pm 0,005$	$1,24 \pm 0,006$	$1,50 \pm 0,04$	$1,20 \pm 0,04$
	Д	$1,20 \pm 0,07$	$1,12 \pm 0,07$	$1,60 \pm 0,06$	$1,25 \pm 0,04$
А _{диф}	М	$1,70 \pm 0,07$	$1,60 \pm 0,08$	$1,75 \pm 0,06$	$1,80 \pm 0,09$
	Д	$1,50 \pm 0,07$	$1,55 \pm 0,09$	$1,75 \pm 0,06$	$1,90 \pm 0,07$
ССМН	М	$0,52 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,03$	$0,55 \pm 0,03$	$0,52 \pm 0,02$
	Д	$0,42 \pm 0,02$	$0,47 \pm 0,03$	$0,56 \pm 0,03$	$0,56 \pm 0,03$
МСБН	М	$1,20 \pm 0,07$	$1,25 \pm 0,06$	$1,34 \pm 0,05$	$1,28 \pm 0,05$
	Д	$1,11 \pm 0,06$	$1,10 \pm 0,05$	$1,44 \pm 0,07$	$1,29 \pm 0,05$

М — мальчики ($n=27$), Д — девочки ($n=21$). Q-a — период напряжения миокарда; a-b — фаза быстрого наполнения; b-c — фаза медленного наполнения; a-d — период наполнения зоны легкого; РСИ — реографический систолический индекс; А_{диф} — амплитуда дифференциальной кривой; ССМН — средняя скорость медленного наполнения; МСБН — максимальная скорость быстрого наполнения.

Таблица 2. Сравнительная характеристика интенсивности кровотока в различных зонах легких у здоровых детей

Показатели	Пол	Зоны легких					
		Нижние			Средние		
		справа	слева	p	справа	слева	p
РСИ	М	1,413±0,056	1,235±0,056	<0,05	1,497±0,042	1,186±0,037	<0,001
(M±m)	Д	1,199±0,068	1,115±0,066	>0,0025	1,603±0,06	1,247±0,041	<0,001
Адиф	М	1,692±0,067	1,608±0,076	>0,05	1,758±0,064	1,779±0,088	—
(M±m)	Д	1,460±0,075	1,547±0,095	>0,025	1,912±0,067	1,759±0,059	<0,05

Показатели	Пол	Зоны легких					
		Справа			Слева		
		средняя	нижняя	p	средняя	нижняя	p
РСИ	М	1,497±0,042	1,413±0,056	—	1,186±0,037	1,235±0,056	—
(M±m)	Д	1,603±0,06	1,199±0,068	<0,001	1,247±0,041	1,115±0,066	>0,025
Адиф	М	1,758±0,014	1,692±0,067	—	1,779±0,088	1,608±0,076	>0,025
(M±m)	Д	1,759±0,059	1,460±0,075	<0,001	1,912±0,07	1,547±0,95	<0,001

Таблица 3. Показатели зональной реоплетизмографии Саши П., 11 лет

Исследуемые показатели	Зоны легких			
	нижние		средние	
	справа	слева	справа	слева
РСИ	1,6	0,8	1,75	1,1
Адиф	1,7	0,7	1,70	1,4
ССМН	0,93	0,31	0,41	0,41
МСБН	1,3	0,87	1,58	1,75

L. L. Vinitzky

THE PULMONARY BLOOD FLOW IN HEALTHY CHILDREN AGED 11-13 FROM DATA OF IMPEDANCE ZONAL RHEOPLETHYSMOGRAPHY

Impedance zonal rheoplethysmography was used for studying the pulmonary blood flow in 48 healthy children (27 boys and 21 girls). Volume and differential rheoplethysmograms were taken by means of tetrapolar rheoplethysmograph RPG-202 synchronously with the ECG and seismocardiography. Round electrodes were put above lower and middle zones of the lungs. Following indices were defined: period of the myocardium tension, phases of high and slow inflation, period of the lung inflation, rheographic systolic index, amplitude of differential curve, middle rate of slow inflation, maximum rate of high inflation. The studied indices showed the state of the blood flow in the lungs, average and large vessels of the lungs and contractility of the myocardium of the right ventricle. These data may be used for examining children with different lungs' pathology. Described methods are recommended for diagnostic of local pathological processes in the lungs.

Republican Antituberculous Sanatorium for Children,
Ministry of Public Health, Ukrainian SSR; A. A. Bogomoletz
Institute of Physiology, Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev

Список литературы

1. Асмоловская Л. В. Применение реографии для изучения легочного кровообращения у здоровых и больных пневмонией детей.— *Вопр. охраны материнства и детства*, 1971, № 10, с. 6—10.
2. Баткин И. З. Взаимоотношение вентиляции и перфузии при ограниченной форме хронической пневмонии (по данным реографии).— *Терапевт. арх.*, 43, № 12, с. 85—89.