

# Função Ventricular Sistólica Esquerda nas Cardiopatias Congênitas

Vitor C. Guerra, Samira M.B. Leal, José L. Andrade

**Instituições:**

Instituto do Coração  
InCor - HC - FMUSP

**Correspondência:**

Av. Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 44  
São Paulo - SP  
CEP 05403-000

**Descritores:**

Cardiopatias congênitas, Função ventricular,  
Ventrículo esquerdo.

Os efeitos hemodinâmicos das malformações cardíacas congênitas levam a uma sobrecarga crônica do ventrículo esquerdo (VE), o qual responde com hipertrofia, distribuindo assim a sobrecarga de trabalho a uma massa miocárdica maior<sup>1</sup>.

O coração fetal normalmente cresce pelo aumento do número de células (hiperplasia) e pelo aumento do tamanho das células (hipertrofia). Quando o feto aproxima-se do termo, as atividades mitóticas diminuem e o crescimento miocárdico ocorre primariamente por hipertrofia<sup>2</sup>.

No final da vida fetal e no pós-natal o crescimento do coração ocorre primariamente como resposta a fatores hemodinâmicos, embora fatores nervosos e neuro-humorais possam ter papel importante<sup>3-5</sup>.

O fechamento do canal arterial e do forame oval ao nascimento separa o sangue venoso pulmonar oxigenado do sangue venoso sistêmico pobre em oxigênio. Logo após o nascimento o débito do VE aumenta 25%, enquanto o débito do ventrículo direito (VD) diminui 30%. A perda da circulação placentária aumenta a resistência sistêmica, a pós-carga e a pressão ventricular esquerda. A expansão dos pulmões e o aumento da pressão arterial de oxigênio (PO<sub>2</sub>) reduz a resistência vascular pulmonar, reduzindo então a pós-carga do VD.

O desenvolvimento do VE pode ser considerado como uma combinação da hipertrofia gerada pela sobrecarga volumétrica e pressórica, o que resulta em um aumento da massa ventricular esquerda em quatro vezes, quando comparada com o aumento da massa ventricular direita. Em crianças, o aumento do peso do VE excede o peso do VD por volta de um mês de vida. A maior parte das cardiopatias congênitas levam a uma sobrecarga volumétrica e pressórica ao VE.

## SÍSTOLE VENTRICULAR

Com base no modelo proposto por Wiggers<sup>6</sup>, o início do ciclo cardíaco ocorre quando há despolarização ventricular no eletrocardiograma, havendo ativação do VE com contração e aumento da pressão ventricular (sístole precoce). A valva aórtica permanece fechada até que a pressão ventricular supere a pressão aórtica. Portanto durante todo este período, não há fluxo

através das valvas mitral e aórtica. O volume ventricular permanece quase constante, caracterizando a fase de contração isovolumétrica. Com a progressão da ativação ventricular, a pressão do ventrículo esquerdo aumenta até exceder a pressão aórtica. Após a abertura da valva aórtica, ocorre a ejeção ventricular e o volume ventricular diminui (período de ejeção ventricular).

### O ECOCARDIOGRAMA NA ANÁLISE DA FUNÇÃO SISTÓLICA DO VENTRÍCULO ESQUERDO NAS CARDIOPATIAS CONGÊNITAS

A avaliação da função ventricular nas cardiopatias congênitas esteve por muitos anos baseada em dados obtidos pela radiologia, pelo eletrocardiograma e por métodos invasivos, como o cateterismo cardíaco.

O aparecimento da ecocardiografia foi um marco na cardiologia pediátrica. Além da grande contribuição para o diagnóstico anatômico das malformações cardíacas, o método contribuiu para a avaliação da função sistólica ventricular pela visualização não invasiva, em tempo real, da movimentação e espessamento das paredes ventriculares.

A técnica de *Doppler* complementou de forma importante a análise da função sistólica.

Mais recentemente novas técnicas estão sendo usadas, como o ecocardiograma sob estresse farmacológico, o *Doppler* tecidual e a ecocardiografia tridimensional.

O modo M permite uma avaliação regional e não uma avaliação global da performance ventricular esquerda.

O modo bidimensional permite estimar a função global do ventrículo esquerdo, mesmo na presença de alguma anormalidade segmentar. Entretanto, muitos métodos derivados do modo bidimensional levam em conta a geometria ventricular, o que diminui a acurácia do método, principalmente nas cardiopatias congênitas, nas quais nem sempre o ventrículo mantém a forma geométrica usual.

Por outro lado, o *Doppler* avalia o fluxo sanguíneo intracardíaco, permitindo uma estimativa da performance ventricular global, independente da geometria ventricular.

A maior parte dos dados ecocardiográficos são obtidos na fase de ejeção ventricular. Estas medidas avaliam a função de bomba do ventrículo e são influenciadas pela pré-carga, pós-carga e pela contratilidade do ventrículo.

### MEDIDAS PARA AVALIAR O ENCURTAMENTO

A medida do encurtamento do ventrículo esquerdo tem sido avaliada como um indicador da eficiência do ventrículo como bomba. A extensão do encurtamento pode ser obtida usando-se tanto o modo M (medida linear), como o modo bidimensional (medida de área) e tridimensional (medida volumétrica).

### FRAÇÃO DE ENCURTAMENTO

É um dos métodos mais simples e o mais fácil de ser utilizado pelo modo M para avaliar a função sistólica do ventrículo esquerdo. (Figura 1) Corresponde a porcentagem de alteração no diâmetro do ventrículo que ocorre com a sístole ventricular. É calculada usando a seguinte equação:

$$D\% = \frac{DDVE - DSVE}{DDVE} \times 100$$

onde AD% = Fração de encurtamento; DDVE = diâmetro diastólico de VE; DSVE = diâmetro sistólico do VE.

Na população pediátrica as medidas obtidas através do modo M devem ser normalizadas para o peso e superfície corpórea (vide Tabelas 1 e 2)<sup>7</sup>. As fórmulas utilizadas para cálculo da superfície corpórea são:

$$\frac{4 \times \text{PESO} + 7}{90 + \text{PESO}} \text{ OU } \frac{\text{PESO}}{\text{ESTATURA}}$$

O valor normal da fração de encurtamento varia entre 28 % a 44 % (média de 36 %). Este é um índice que independe da idade e da frequência cardíaca, mas é dependente da pré e pós-carga.

Em crianças com cardiopatias congênitas com sobrecarga volumétrica como as lesões com shunt da esquerda para a direita, a fração de encurtamento aumenta com o aumento da sobrecarga de volume<sup>8-9</sup>. Quando ocorre falência ventricular, observa-se o retorno aos valores normais da fração de encurtamento ou até uma diminuição.

Em crianças com cardiopatias que aumentam a pós-carga, como as lesões obstrutivas do ventrículo esquerdo (estenose aórtica, coarctação de aorta, interrupção de arco aórtico), a fração de encurtamento também aumenta, até que ocorra insuficiência cardíaca, quando então se observa uma diminuição de seus valores<sup>10</sup>.

**TABELA 1- VALORES NORMAIS DAS ESTRUTURAS CARDÍACAS AO MODO M PARA RECÉM-NASCIDOS COM PESO DE 2 A 4KG<sup>7</sup>**

Peso kg	PAVD	DDVD	SID	SIS	DDVE	DSVE	PPVED	PPVES	AP	AO	AE
2.0	1.3	4.0	2.1	2.4	15.0	9.7	1.9	2.8	6.2	6.9	8.3
	2.4	8.4	3.5	4.4	17.1	11.0	2.7	4.5	9.3	8.2	11.5
	3.5	12.8	4.7	6.4	19.2	12.3	3.5	6.2	12.4	9.5	14.7
2.5	1.4	4.0	2.1	2.4	15.0	9.2	2.2	2.9	6.8	7.4	8.5
	2.5	8.4	3.5	5.0	18.1	11.7	3.2	5.0	11.0	8.8	12.1
	3.6	12.8	4.7	7.6	21.1	14.2	4.2	7.1	15.2	10.2	15.6
3.0	1.4	4.1	2.3	2.5	15.1	9.2	2.4	3.1	7.0	7.5	9.4
	2.5	8.5	3.6	5.1	18.2	11.7	3.5	5.1	11.0	9.1	12.6
	3.6	12.9	4.9	7.7	21.3	14.2	4.6	7.1	15.0	10.7	15.8
3.5	1.5	4.1	2.3	2.5	15.4	9.5	2.5	3.3	8.0	7.5	10.2
	2.6	8.6	3.7	5.3	18.8	11.9	3.6	5.4	11.2	9.3	13.2
	3.7	13.1	5.1	8.1	22.2	14.3	4.7	7.5	14.4	11.1	16.2
4.0	1.5	4.1	2.4	2.6	16.5	10.2	2.6	3.5	9.3	7.6	10.5
	2.6	8.6	3.8	5.4	19.9	12.7	3.7	5.7	12.5	9.6	13.7
	3.7	13.1	5.2	8.2	23.3	15.2	4.8	7.9	15.7	11.6	16.9

AE= diâmetro do átrio esquerdo; AO= diâmetro da aorta; AP= diâmetro da artéria pulmonar; DDVD= diâmetro do VD em diástole; DDVE= diâmetro do VE em diástole; DSVE= diâmetro do VE em sístole; PAVD= parede anterior do VD; PPVED= parede posterior do VE em diástole; PPVES= parede posterior do VE em sístole; SID= septo interventricular em diástole; SIS= septo interventricular em sístole.

## FRAÇÃO DE EJEÇÃO

Com base nas medidas dos volumes sistólico e diastólico do ventrículo esquerdo pode-se estimar o volume de ejeção e a fração de ejeção.

O volume ventricular esquerdo pode ser calculado utilizando-se vários métodos. Em crianças o plano ecocardiográfico preferido é o apical eixo longitudinal, por incluir as três referências anatômicas (ápice, valva mitral e a valva aórtica)<sup>11</sup>.

Os mais variados modelos geométricos tem sido usados para calcular o volume do ventrículo esquerdo. O modelo que apresenta maior acurácia e o mais usado é o método de Simpson modificado, ou o modelo dos discos, no qual

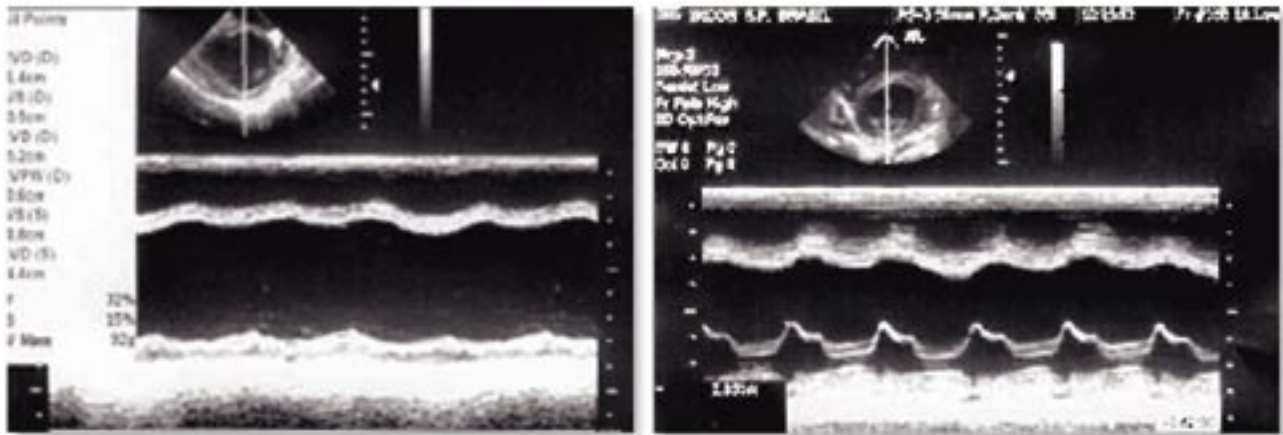
o volume é obtido pela soma dos volumes de vinte cilindros iguais. A grande vantagem deste método é que independe da geometria ventricular (*Figura 2*).

Silverman *et al.*<sup>11</sup> estudaram vinte crianças com cardiopatias congênitas para calcular o volume do ventrículo esquerdo. Vários métodos ecocardiográficos, incluindo o Simpson, tiveram uma boa correlação com os dados obtidos pela angiografia para estimar o volume diastólico final ( $r = 0,96$  a  $0,97$ ). O volume sistólico final calculado pelo ecocardiograma bidimensional também se aproximou do obtido pela angiografia ( $r = 0,88$  a  $0,92$ ). Neste mesmo trabalho também foi

**TABELA 2- VALORES NORMAIS DAS ESTRUTURAS CARDÍACAS AO MODO M PARA CRIANÇAS ATÉ 18ª COM SUPERFÍCIE CORPÓREA DE 0,25m a 2,0m<sup>7</sup>**

PESO kg	PAVD	DDVD	SID	SIS	DDVE	DSVE	PPVED	PPVES	AP	AO	AE
0.25	1.4	4.2	2.4	2.5	16.4	10.2	2.6	3.7	9.6	8.0	10.5
	2.6	8.7	3.8	5.2	20.	13.2	3.6	5.7	12.8	10.4	14.0
	3.8	13.2	5.2	7.9	23.6	16.2	4.6	7.7	16.0	12.8	17.5
0.275	1.4	4.2	2.4	2.6	17.0	10.4	2.7	3.9	9.6	8.6	11.5
	2.6	8.7	3.8	5.4	21.2	13.6	3.8	5.9	13.6	11.1	15.1
	3.8	13.2	5.2	8.2	25.4	16.8	4.9	7.9	17.6	13.6	18.7
0.30	1.6	4.2	2.5	3.0	18.0	10.8	2.8	4.2	10.3	9.0	11.5
	2.7	8.7	3.9	5.8	22.9	14.8	4.1	6.3	14.5	11.3	15.3
	3.8	13.2	5.3	8.6	25.8	18.8	5.4	8.4	18.7	13.6	19.1
0.35	1.6	4.3	2.5	3.0	19.0	10.8	2.8	4.4	11.0	10.0	12.0
	2.7	8.8	3.9	5.8	23.6	14.8	4.1	6.6	15.0	12.0	16.3
	3.8	13.3	5.3	8.6	27.2	18.8	5.4	8.8	19.0	14.0	20.6
0.40	1.6	4.4	2.6	3.2	21.0	12.0	2.9	4.5	11.5	10.9	13.0
	2.7	8.9	4.1	6.2	26.0	16.1	4.2	6.8	15.4	12.9	16.3
	3.8	13.4	5.6	9.2	31.0	20.1	5.5	9.1	19.3	14.9	20.6
0.45	1.65	4.5	2.6	3.3	22.0	13.0	3.1	5.0	12.8	11.9	13.8
	2.75	9.0	4.2	6.3	27.1	17.0	4.6	7.3	17.2	14.1	17.8
	3.85	13.5	5.8	9.3	32.1	21.0	6.1	9.6	21.6	16.3	21.8
0.50	1.65	4.8	2.7	3.5	23.4	14.0	3.1	5.2	13.6	12.2	14.5
	2.75	9.3	4.3	6.6	29.0	18.0	4.6	7.5	18.3	14.9	18.7
	3.85	13.8	5.9	9.7	34.6	22.0	6.1	9.8	23.0	17.7	22.9
0.55	1.65	5.0	3.1	3.7	25.6	15.0	3.3	5.7	14.6	12.6	15.3
	2.75	9.5	4.6	6.8	31.0	19.3	4.8	8.0	19.6	15.2	19.7
	3.85	14.0	6.1	9.9	36.4	23.6	6.3	10.3	24.6	17.8	24.1
0.60	1.7	5.2	3.3	3.8	26.0	15.4	3.3	5.7	15.3	12.8	16.1
	2.8	9.6	4.8	6.9	31.6	19.9	4.8	8.0	20.3	15.6	20.1
	3.9	14.0	6.3	10.0	37.2	24.4	6.3	10.3	25.3	18.4	24.1
0.65	1.7	5.5	3.3	3.8	27.2	15.7	3.4	5.8	15.4	13.2	16.1
	2.8	9.9	4.8	6.9	33.2	20.4	4.9	8.2	20.4	16.2	20.8
	3.9	14.3	6.3	10.0	39.2	25.1	6.4	10.6	25.4	19.2	25.5
0.70	1.7	5.7	3.5	4.2	27.4	16.1	3.5	6.1	15.8	13.5	16.2
	2.8	10.1	5.0	7.2	33.9	21.3	5.2	8.7	20.8	16.9	21.2
	3.9	14.5	6.5	10.2	40.4	26.5	6.9	11.3	25.8	20.3	26.2
0.80	1.7	5.8	3.6	4.4	29.6	17.7	3.6	6.2	15.8	14.5	16.5
	2.8	10.5	5.2	7.5	35.8	22.7	5.7	9.1	20.8	17.9	22.5
	3.9	15.2	6.8	10.6	42.0	27.7	7.8	12.0	25.8	21.3	28.5
0.90	1.7	6.4	3.8	4.9	31.0	18.0	3.7	6.8	16.7	15.1	17.0
	2.8	11.0	5.6	8.3	37.1	23.6	5.9	9.5	22.5	18.7	23.2
	3.9	15.6	7.4	11.7	43.2	29.2	8.1	12.2	28.3	22.3	29.4
1.00	1.7	6.4	4.0	5.1	31.7	18.6	3.7	6.8	17.8	16.3	19.2
	2.8	11.2	5.8	8.4	38.5	24.4	5.9	9.5	24	19.9	25
	3.9	16.0	7.6	11.7	45.3	30.2	8.1	12.2	30.2	23.5	30.8
1.10	1.8	7.4	4.3	5.4	32.5	19.6	3.9	7.0	17.8	17.5	19.5
	2.9	11.8	6.2	9.0	39.4	25.2	6.3	10.3	24	20.9	25.2
	4.0	16.2	8.1	12.6	46.3	30.8	8.7	13.6	30.2	24.3	30.9
1.20	1.8	7.6	4.7	5.4	35.5	21.5	4.0	7.6	18.3	17.5	20.9
	2.9	12.4	6.5	9.0	41.7	27.1	6.6	10.7	24.3	21.0	26.0
	4.0	17.2	8.3	12.6	47.9	32.7	9.2	13.8	30.3	24.5	31.1
1.30	1.9	8.5	4.8	5.4	35.8	21.5	4.3	8.1	18.8	17.5	21.7
	3.0	13.5	6.6	9.0	42.4	27.1	6.9	11.0	24.6	21.7	27.3
	4.1	18.5	8.4	12.6	49.0	32.7	9.5	13.9	30.4	25.9	32.9
1.40	1.9	9.0	4.9	5.8	37.3	22.0	4.3	8.5	21.4	17.9	22.8
	3.0	14.0	6.7	9.2	43.3	27.6	6.9	11.5	26.8	22.7	28.2
	4.1	19.0	8.5	12.6	49.3	33.2	9.5	14.5	32.2	27.5	33.6
1.50	1.9	10.0	5.2	5.8	39.0	22.5	4.9	8.5	21.8	18.2	23.7
	3.1	15.6	7.4	9.5	45.4	28.6	7.7	12.0	27.4	23.6	29.9
	4.3	21.2	9.6	13.2	51.8	34.7	10.5	15.5	33.0	29.0	36.1
1.75	1.9	10.3	5.6	5.8	36.8	23.4	5.1	9.5	22.5	18.2	23.8
	3.1	16.5	8.0	9.8	46.8	29.8	8.1	12.8	28.5	24.4	30.4
	4.3	22.7	10.4	13.8	54.8	36.2	11.1	16.1	34.5	30.6	37.0
2.00	1.9	11.5	6.8	6.5	45.4	25.6	5.1	9.6	23.5	23	23.7
	3.1	17.5	9.3	10.3	53.4	34.4	8.1	14.2	29.5	27.4	32.5
	4.3	23.5	11.8	14.1	61.4	43.2	11.1	18.8	35.5	31.8	41.3

AE= diâmetro do átrio esquerdo; AO= diâmetro da aorta; AP= diâmetro da artéria pulmonar; DDVD= diâmetro do VD em diástole; DDVE= diâmetro do VE em diástole; DSVE= diâmetro do VE em sístole; PAVD= parede anterior do VD; PPVED= parede posterior do VE em diástole; PPVES= parede posterior do VE em sístole; SID= septo interventricular em diástole; SIS= septo interventricular em sístole.



**Figura 1. A=** Frações de ejeção(32%) e de encurtamento(15%) pelo Modo M de paciente com 1 ano e 2 meses de idade, 9 kg, com miocardiopatia dilatada apresentando dilatação importante de VE (52 mm). Valor normal corrigido pela SC entre 21 mm e 31mm; **B=** distância do ponto E ao septo interventricular de 21,5mm.

estudado o volume de ejeção que apresentou boa correlação com a angiografia ( $r = 0,92$  a  $0,95$ ). Entretanto, a correlação com a fração de ejeção foi baixa ( $r = 0,68$  a  $0,82$ ). A explicação para isto seria a influência da frequência cardíaca dos pacientes, uma vez que esta variável foi significativamente diferente no ecocardiograma e na angiografia.

**DISTÂNCIA DO PONTO E AO SEPTO INTERVENTRICULAR**

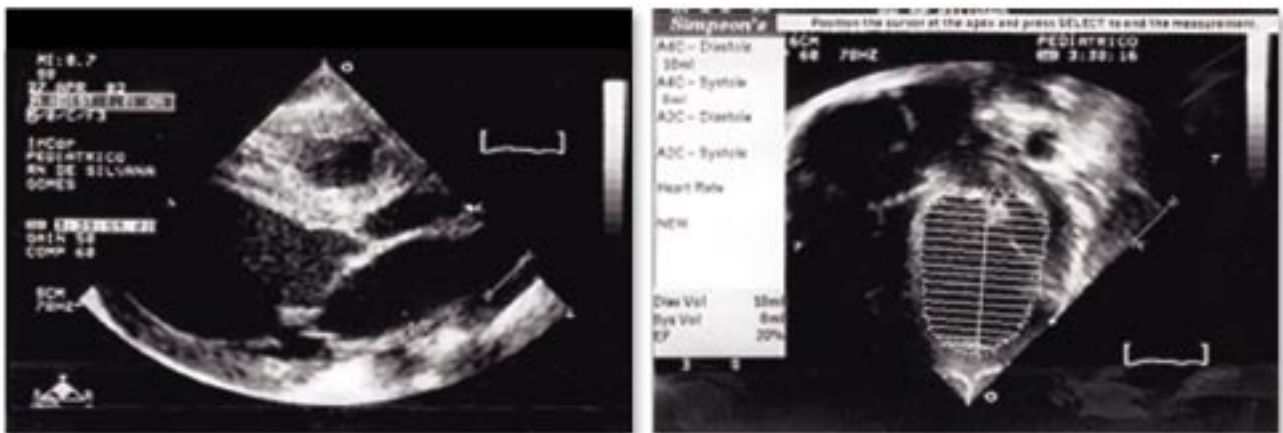
Outra forma de se estimar a fração de ejeção do VE é pela medida da distância do ponto E da valva mitral ao ponto mais posterior do septo interventricular (Figura 2).

Em pacientes adultos normais, essa distância é menor que 4 mm e naqueles pacientes com

doença coronariana é inversamente relacionada a fração de ejeção<sup>12</sup>.

O estudo feito por Engle *et al.*<sup>12</sup> em crianças normais (idade variando de 1 dia a 15 anos) mostrou uma distância de 2,5mm do ponto E ao septo. Esta distância pode ser indexada ao tamanho do VE dividindo-se a distância medida pelo diâmetro diastólico do VE. Em crianças normais, esta relação foi de  $0,08 \pm 0,06$ .

Naquelas crianças com sobrecarga volumétrica por lesões de shunt da esquerda para a direita, a relação encontrada foi semelhante àquelas normais. Entretanto, em crianças com miocardiopatia dilatada, a relação entre o ponto E ao septo e o diâmetro do VE foram significativamente maiores ( $16,5 \text{ mm} \pm 5,1 \text{ mm}$ ,  $0,39 \pm 0,09$  respectivamente).



**Figura 1. Recém-nascido de 3 dias de vida com Estenose aórtica crítica: A=** paraesternal longitudinal mostrando a dilatação e fibrose endocárdica do VE ; **B=** cálculo pelo método de Simpson da fração de ejeção mostrando disfunção sistólica importante.



Portanto, a distância do ponto E ao septo é um método simples e com boa acurácia para avaliar aqueles ventrículos esquerdos com disfunção sistólica, salvo em lesões que alterem a movimentação da valva mitral, como na estenose mitral ou na insuficiência aórtica importante.

### VELOCIDADE MÉDIA DO ENCURTAMENTO CIRCUNFERENCIAL DA FIBRA (Vcf):

É a variação da circunferência da cavidade ventricular esquerda durante a sístole, dividida pelo tempo em que ocorreu esta variação. É calculada através da seguinte fórmula:

$$Vcf = \frac{DDVE - DSVE}{DDVE \times TEJVE}$$

O tempo de ejeção ventricular (TEJVE) geralmente é medido pelo modo M ou pelo *Doppler* através da valva aórtica. Os valores normais são de  $1,5 \pm 0,04$  circ/seg para recém-nascidos e crianças até dois anos de idade e  $1,3 \pm 0,03$  circ/seg para crianças de 2 a 10 anos<sup>14-15</sup>. Com o aumento da idade há uma diminuição da velocidade de encurtamento circunferencial, o que reflete uma variação deste índice com a frequência cardíaca e a pós-carga ventricular.

A medida da Vcf corrigida pela frequência cardíaca pode ser calculada usando-se a seguinte fórmula:

$$Vcf = \frac{DDVE - DSVE}{DDVE \times TEJVEC}$$

Onde:

$$Vcf = \frac{TEJVEC - TEJVE}{\sqrt{\text{INTERVALO R-R}}}$$

O valor normal para a Vcf corrigido pela FC é de  $0,98 \pm 0,07$  circ/s<sup>16</sup>. Nos recém-nascidos (até 10 dias) o valor normal é de  $1,28 \pm 0,22$  circ/s, e nas crianças maiores é de  $1,08 \pm 0,14$  circ/s. Como a Vcf é maior nos recém-nascidos do que nas crianças maiores, mesmo após a correção pela frequência cardíaca, a diminuição do valor deste índice com a idade provavelmente reflete o aumento progressivo da pós-carga com a idade<sup>17</sup>.

Em crianças com cardiopatias que levam a uma sobrecarga volumétrica do VE, a velocidade de encurtamento circunferencial é significativamente maior que o normal. Este aumento ocorre provavelmente pelo aumento no diâmetro diastólico do VE como também pelo aumento do seu encurtamento. Portanto, é de se esperar que em cardiopatias como comunicação interventricular grande, canal arterial de importante repercussão ou insuficiências mitral ou aórtica importantes ocorram uma Vcf maior. O contrário sugere uma disfunção sistólica do VE.

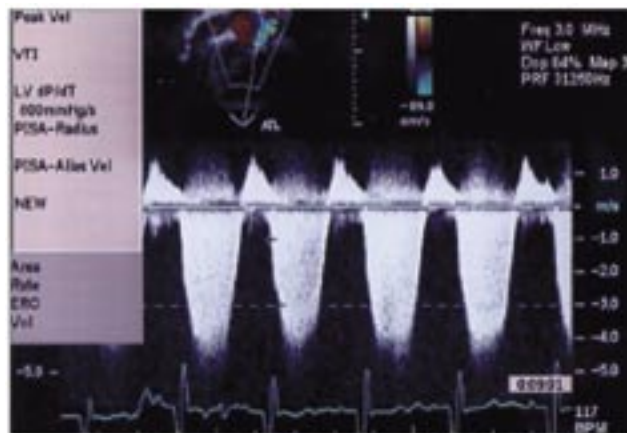
Em lesões de pequena repercussão, geralmente este índice é próximo do normal<sup>17</sup>.

### A dp/dt

A alteração pressórica que ocorre no VE durante a sístole ventricular pode ser calculada com o *Doppler* contínuo na vigência de regurgitação da valva mitral.

A dp/dt ecocardiográfica é um indicador instantâneo da diferença de pressão entre o ventrículo e átrio esquerdos (VE – AE), assim como da velocidade com que esta diferença está se acentuando no início da sístole.

Sua medida é feita verificando-se o tempo necessário (em milissegundos) para a velocidade do jato de regurgitação mitral ir de 1 m/seg a 3 m/seg, o que corresponde a elevação do gradiente VE – AE de 4 mmHg para 36 mmHg (*Figura 3*).



**Figura 3:** Cálculo da dp/dt (800mmg/seg) pelo Doppler contínuo pelo jato de regurgitação da valva mitral em um paciente de 4 anos com miocardiopatia restritiva e disfunção sistólica de VE (FE de 52% e D de 25%).

A dp/dt depende do estado de contratilidade do VE, da pré-carga e da frequência cardíaca. Os valores normais para crianças não estão definidos, para pacientes adultos é  $> 1200 \text{ mmHg/s}^{18}$ .

Como é um índice relacionado a fase de ejeção ventricular, quando há alguma lesão obstrutiva na via de saída do VE, há uma diminuição da dp/dt, o que limita o seu uso nessas cardiopatias.

### ESTRESSE DE PAREDE

A sístole do VE é determinada por uma interação complexa de quatro variáveis: o estado de contração do miocárdio, o comprimento da fibra miocárdica no final da diástole, a pós-carga do ventrículo e a massa miocárdica.

Os índices da fase de ejeção (fração de ejeção, fração de encurtamento e a velocidade de contração circunferencial) não consideram estas variantes da sístole.

A pressão sistólica do VE e a resistência vascular sistêmica são geralmente usadas como medidas da pós-carga do VE. Entretanto, a pressão sistólica final é determinada por outras variáveis como o volume, resistência vascular e a frequência de ejeção. A resistência vascular é derivada matematicamente da relação entre o fluxo e a pressão periférica. Portanto, não tem uma relação direta com a pós-carga do VE.

A melhor medida para a pós-carga do VE é a tensão sistólica na parede ventricular. Para permitir comparações entre corações com espessuras e diâmetros diferentes, a tensão sistólica da parede é expressa como a tensão medida por unidade de área miocárdica ou estresse de parede.

O estresse meridional das paredes do VE é definido como a força que atua no plano equatorial do ventrículo, na direção do eixo ápico-basal em uma unidade de área de parede ventricular esquerda.

É uma medida que independe do comprimento da fibra e pode ser calculada por uma fórmula validada pela angiografia<sup>19</sup> e posteriormente pela ecocardiografia<sup>20</sup>.

$$\text{ESTRESSE DE PAREDE (g/cm)} = \frac{0,334P \times \text{DSVE}}{\text{EPPVE} \left[ 1 + \left( \frac{\text{EPPVE}}{\text{DSVE}} \right) \right]}$$

Onde: P – pressão do VE (pressão arterial medida pelo manguito).

DSVE – diâmetro sistólico do VE.

EPPVE – espessura da parede posterior do VE

O estresse circunferencial da parede é a força por unidade de área ao longo da circunferência do VE em um eixo transversal, sendo teoricamente mais próximo da velocidade de encurtamento circunferencial da fibra.

A fórmula foi primeiramente validada pela angiografia<sup>21</sup> e posteriormente pela ecocardiografia<sup>22</sup>.

$$\text{ESTRESSE DE PAREDE (g/cm}^2\text{)} = 1,35P \times \frac{r}{\text{EPPVE}} \left[ 1 - \left( \frac{2r}{L} \right) \right]$$

Onde: P – pressão do VE (pressão arterial medida pelo manguito).

r – diâmetro sistólico do VE dividido por 2 (cm)

EPPVE – espessura da parede posterior do VE

L - comprimento do VE no eixo longitudinal.

Como o estresse meridional não requer a medida do eixo longitudinal, o cálculo se torna mais simplificado, tornando-se mais fácil a sua utilização.

O estresse de parede ventricular esquerda varia continuamente durante a sístole, de acordo com a variação da pós-carga. Estudos recentes sugerem que o pico de estresse sistólico é um determinante do grau de hipertrofia ventricular, o qual por sua vez é determinante do consumo de O<sub>2</sub><sup>19</sup>. Foi demonstrado também que o pico de estresse de parede geralmente ocorre no terço inicial da sístole e não no pico de pressão ventricular esquerda, o qual ocorre geralmente próximo do início da sístole<sup>21</sup>.

Estudos também mostraram que o final da ejeção ventricular ocorre quando a força miocárdica

alcança o valor isométrico para o comprimento da fibra miocárdica. O estresse final é portanto o fator limitante da ejeção<sup>22</sup>.

Em crianças, devido a dificuldade técnica para o registro do pulso carotídeo, uma medida indireta pode ser feita através da medida do pulso axilar. Colan *et al.*<sup>23</sup>, usando esta técnica em trinta crianças com idades variando de 1 dia a 48 meses, encontraram valores para o estresse de parede final de  $37 \pm 10 \text{ g/cm}^2$ .

### ÍNDICE DE PERFORMANCE MIOCÁRDICA

A avaliação quantitativa da função ventricular pode ser realizada através do índice de performance miocárdica (IPM)<sup>24</sup>.

Trata-se de um índice obtido pelo *Doppler* e que avalia simultaneamente desempenhos sistólico e diastólico, sendo calculado pela soma dos tempos de contração e relaxamento isovolumétricos dividido pelo tempo de ejeção total (*Figura 4*).

Em um estudo<sup>25</sup> realizado em 152 crianças normais (idade variando de 3 a 18 anos) e em outro grupo de 45 pacientes portadores de Anomalia de Ebstein da valva tricúspide (idade variando de 1 semana a 52 anos), o valor encontrado para crianças normais foi de  $0,35 \pm 0,03$  para o VE e de  $0,32 \pm 0,03$  para o VD. Naqueles pacientes com Anomalia de Ebstein ambos os

ventrículos tiveram aumento no IPM quando comparado com o grupo de crianças normais ( $0,42 \pm 0,09$  para o VE e  $0,49 \pm 0,2$  para o VD, com  $p < 0,001$ ).

O uso do IPM em cardiopatias congênicas parece ser útil, uma vez que não se considera as distorções geométricas que ocorrem nos ventrículos.

### ECOCARDIOGRAMA SOB ESTRESSE FARMACOLÓGICO

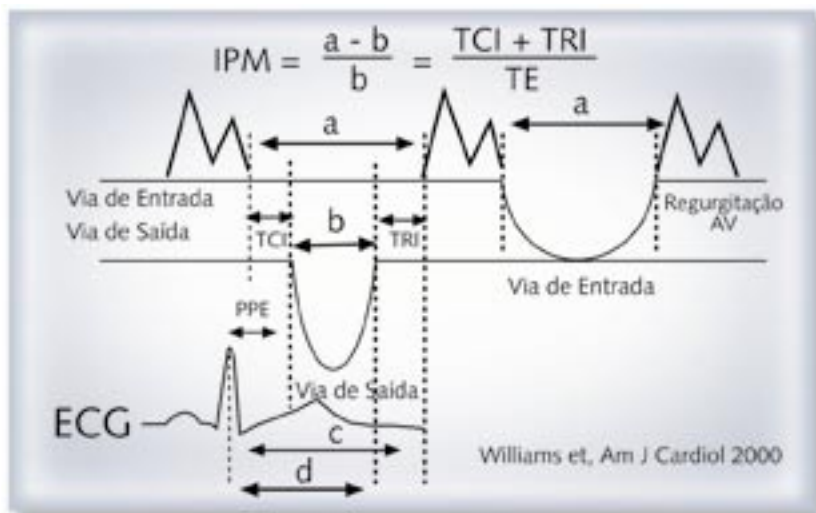
A acurácia diagnóstica da ecocardiografia sob estresse, particularmente na população adulta, através da avaliação das anormalidades temporárias do espessamento e da motilidade do miocárdio já foi demonstrada nas últimas duas décadas.

Na população pediátrica os primeiros trabalhos foram feitos por Pahl *et al.*<sup>25</sup> em pacientes portadores de Doença de Kawasaki. Neste trabalho foram estudadas 16 crianças (idade variando de 6 anos a 16 anos) que tinham passado da fase aguda da doença. Os autores observaram dois pacientes com alteração de contratilidade em segmentos que correlacionavam com as lesões vistas em estudos angiográficos.

Em um grupo mais heterogêneo, pacientes no pós-operatório de Cirurgia de Jatene, transplantes cardíacos e com dislipidemia, Kimballe *et*

*al.*<sup>30</sup> demonstraram que as crianças têm boa tolerabilidade ao exame, não apresentando maior quantidade de efeitos colaterais quando comparados com a população adulta. Ressaltaram também a importância do ecocardiografista pediátrico estar mais familiarizado com a análise da contratilidade segmentar.

Em nossa instituição foi demonstrada a exequibilidade do método, assim como a acurácia diagnóstica para detecção de anormalidades decorrentes da doença coronariana pós-transplante cardíaco em crianças no pós-operatório tardio<sup>28</sup> (*Figura 5*).



**Figura 4:** Desenho esquemático para cálculo do IPM. TCI: tempo de contração isovolumétrica; TRI: tempo de relaxamento isovolumétrico; TE: tempo de ejeção; PPE: período pré-ejeção.





**Figura 5:** Ecocardiograma sob estresse com dobutamina de paciente de 6 anos de idade com transplante cardíaco, apresentando alteração da contratilidade segmentar em região septal (seta); a angiografia comprovou a lesão obstrutiva em artéria coronária descendente anterior.

**DOPPLER TECIDUAL**

Trata-se de uma técnica relativamente nova, que permite avaliar de uma forma qualitativa a velocidade de movimentação do miocárdio, tanto na sístole quanto na diástole<sup>29</sup>, complementando outras técnicas ecocardiográficas para análise da função ventricular.

O Doppler Tecidual (DT) foi desenvolvido a partir das diferenças físicas existentes entre a movimentação do músculo cardíaco e a do sangue. A movimentação do miocárdio se faz com velocidades muito baixas (4 a 15 cm/s), quando comparadas ao sangue (40 a 150cm/s), produzindo também sinais com amplitudes cem vezes maior que o sangue. A substituição do filtro utilizado pelo Doppler convencional por outro tipo de filtro, permite a aquisição dos sinais do miocárdio e o cálculo instantâneo da velocidade de movimentação em qualquer ponto do miocárdio. Os aparelhos mais recentes já incorporaram

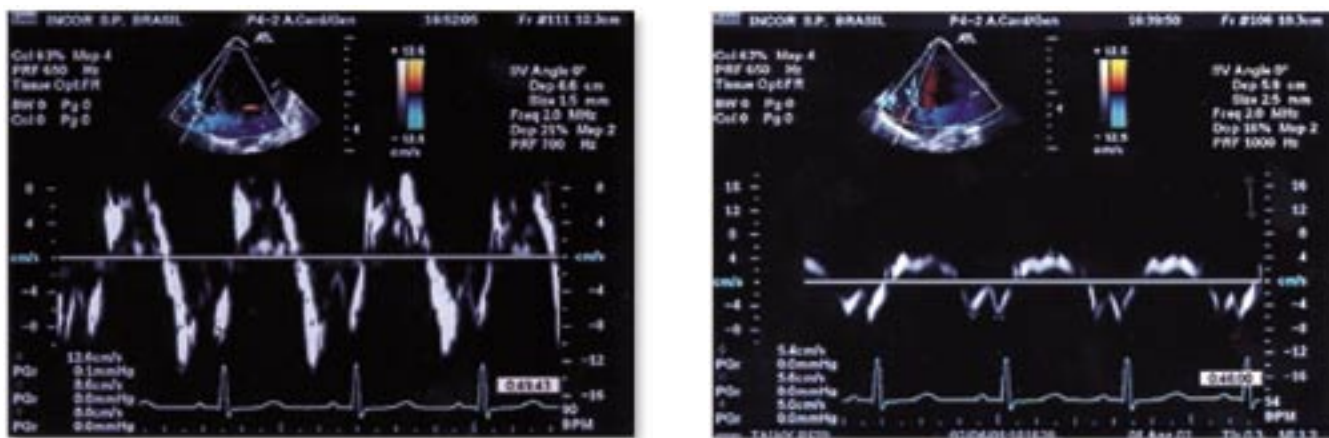
esta técnica e devem ser usados para a aquisição das velocidades miocárdicas. A frequência do transdutor deve ser entre 2,5 a 4 MHz.

Para a análise do DT colorido, a amostra do Doppler deve ser ajustada ao segmento a ser analisado. Após a aquisição da imagem e digitalização, é feita a análise *off-line*<sup>30</sup>.

O DT pulsátil, ao contrário do DT colorido, permite uma melhor resolução temporal além de quantificar a velocidade de pico do miocárdio (o DT colorido avalia a velocidade média). A amostra de volume deve ser pequena (1,5mm) e deve ser avaliada nos planos apical 4 e 2 câmaras, na região do anel mitral lateral, septal, anterior e inferior.

O registro espectral mostra uma onda sistólica (S) e duas ondas diastólicas (E e A) (Figura 6).

Região	Onda S	Onda E	Onda A	rel E/A
Lateral	10.6 ± 2.3	13.3 ± .3	1.3 ± 2.9	1.5 ± .6
Septal	9.9 ± 1.7	1.5 ± 2.6	9.5 ± 2.4	1.0 ± .7
Anterior	9.2 ± 1.8	11.7 ± 3.4	10.3 ± 2.9	1.2 ± .7
Posterior	10.4 ± 2.5	4.3 ± 3.6	11.6 ± 2.6	1.3 ± .7



**Figura 6:** Doppler Tecidual de paciente com 2 anos, 12 kg, apresentando miocardiopatia dilatada com FE = 40%. **A=** DT da parede anterior do VD com velocidade 8,8 cm/s; **B=** DT da parede septal do VE com velocidade de 5 cm/s.

A aplicação clínica do DT para avaliação da sístole tem sido demonstrada por vários autores na população adulta. Os valores normais para os segmentos basais estão relacionados a seguir:

Rychik *et al.*<sup>31</sup> estudaram 30 crianças normais (idade média 7 anos ± 5 anos) e determinaram as velocidades miocárdicas em parede posterior do ventrículo esquerdo e anel mitral (*vide Tabela*).

Região	Onda S	Onda E	Onda A	rel E/A
Anel mitral	6.7 ± 1.2	12.1 ± 3.0	6.8 ± 1.9	1.9 ± 0.5
Parede posterior	5.9 ± 1.2	11.7 ± 2.8	4.5 ± 2.0	3.2 ± 2.5

Entretanto, novos estudos com pacientes com cardiopatias congênitas ainda devem ser realizados

para melhor correlação deste método de avaliação da função ventricular na população pediátrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. Fuji AM; *Perinatology. Semin Perinatol* 1992;16: 147-154 .
02. Anversa P, Olivetti G, Loud AV. Morphometric study of early postnatal development in the left and right ventricular myocardium of the rat, *Circ Res* 1980; **46**:495-502.
03. Deskin R, Mills E, Whitmore WL, Seidler FJ, Slotkin TA. Maturation of the sympathetic neurotransmission in the rat heart, *J Pharmacol Exp Ther* 1980; **215**: 342-7.
04. Turley K, Vlahakes GJ, Harrison MR, Messina L, Hanley F, Uhlrig PN et al. Intrauterine cardiothoracic surgery: The fetal lamb model; *Ann Thorac Surg* 1982; **34**:422-6.
05. Penny DJ; *The basics of ventricular function. Cardiol Young* 1999;**9**:210-23.
06. Wiggers CJ. Studies on the duration of consecutive phases of the cardiac cycle. *Am J Physiol* 1921, **56**, 415-38.
07. Kampmann C, Wierhorf CM, Wenzel A, Stolz G, Betancor M, Wippermann CF. Normal values of M mode echocardiographic measurements of more than 2000 healthy infants and children in central Europe. *Heart* 2000;**83**:667-2.
08. Pacileo G, Piscane C, Russo MG, Zingale F, Auricchio U, Vosa et al. Left ventricular mechanics after closure of ventricular septal defect; Influence of size of the defect and age at surgical repair, *Cardiol Young*, 1998, **8**:320-8.
09. Baylen C, Meyer RA, Korfhagen J, Benzing G 3rd, Bubb ME, Kaplan S. Left ventricular performance in the critical ill newborn premature with PDA and pulmonary disease, *Circulation* 1977; **55**: 182-8.
10. Borow KM, Colan SD, Neumann BSA. Altered left ventricular mechanic in patients with valvular aortic stenosi and coarctation of the aorta: effects on systolic performance and late outcome; *Circulation* 1985; **72**:515-522.
11. Siverman NH, Ports TA, Snider AR, Schiller NB, Carlsson E, Heilbron DC. Determination of the left ventricular volume in children: Echocardiographic and angiographic comparisons, *Circulation* 1980; **62**:548-57.
12. Massie BM, Schiller NB, Ratshin RA, Parmley WN. Mitral-septal separation: A new echocardiographic index of left ventricular function, *Am J Cardiol* 1977; **39**:1008.
13. Engle SJ, DiSessa TG, Perloffit K, Isabel-Jones J, Leighton J, Gross K et al. Mitral valve E point to ventricular septal separation in infants and children, *Am J Cardiol* 1983; **52**: 1084-7.
14. Sahn DJ, Deeley WJ, Hagan AD, Friedman WF. Echocardiographic assessment of left ventricular performance in normal newborns. *Circulation* 1974;**49**:232-6.
15. Sahn DJ, Vaucher Y, Williams DE, Allen HD, Goldberg SJ, Friedman WF. Echocardiographic detection of large left to right shunts and cardiomyopathies in infants and children. *AM J Cardiol* 1976;**38**:73-9.
16. Colan SD, Borow KM, Newmann A. Left ventricular end systolic wall stress-velocity of fiber shortening relation: A load independent index of myocardial contractility. *J Am Coll Cardiol* 1984; **4**: 715-24.
17. Rowland DG, Gutgesell HP. Noninvasive assessment of myocardial contractility, preload, and afterload in healthy newborns infants. *Am J Cardiol* 1995; **75**: 818-21.
18. Chung N, Nishimura RA, Holmes DR Jr, Tayik AJ. Measurement of left ventricular dp/dt by simultaneous Doppler echocardiography and cardiac catheterization. *J Am Soc Echocardiogr* 1992; **5**:147-52.
19. Grossman W, Jones D, McLaurin LP. Wall stress and patterns of hipertrophy in the human left ventricule. *J Clin Invest* 1975; **56**:56-74.
20. Keichek N, Wilson J, Sutton MSJ, Plappert TA, Goldberg S, Herschfeld JW. Noninvasive determination of left ventricular end systolic stress: validation of the method and initial application. *Circulation* 1982; **65**:99-108.
21. Gault JH, Ross J Jr, Braunwald E. Contractile state of the left ventricle in man: instantaneous tension-velocity-length relations in patients with and without disease of the left ventricular myocardium. *Cir Res* 1988; **22**:451-63.
22. Quinones MA, mokotoff DM, Nouri S, Winters WI Jr, Miller RR. Noninvasive quantification of left ventricular waal stress: validation of method and application to assessment of chronic pressure overload, *Am J Cardiol* 1980; **45**: 782-90.
23. Colan SD, Borow KM, Mac Pherson D, Sanders SP. Use of the indirect axillary pulse tracing for noninvasive determination of ejection time, upstroke time, and left ventricular wall stress throughout ejection in infants and young chidren, *Am J Cardiol* 1984; **53**:1154-8.
24. Tei C. New non-invasive index for combined systolic and diastolic ventricular function. *J Cardiol* 1995; **26**: 135-6.
25. Eidem BW, Tei C, O'Leary PW, Celta F, Seward JB. Nongeometric quantitative assessment of right and left ventricular function: myocardial performance index in normal children and patients with Ebstein anomaly, *J Am Soc Echocardiogr* 1998;**11**:849-56.
26. Pahl E, Seghal R, Chrystolf D, Neches WH, Webb CL, Duffiy CE et al. Feasibility of exercise stress echocardiography for the folow up children with coronary involviment secondary to Kawasaki. *Circulation* 1995; **91**:122-8.
27. Kimball J, Witt SA, Daniels SR. Dobutamine stress echocardiography in the assessment of suspected myocardium ischemic in children and young adults. *Am J Cardiol* 1997; **79**:380-4.
28. Arruda ALM, Guerra VC, Leal SMB, Andrade JL, Soares AM, Mathias Jr W et al. Ecocardiografia sob estresse pela Dobutamina Atropina (ESDA) na avaliação de doença coronariana pós transplante em crianças - experiência inicial. *Arq Bras Cardiol* 2002; **79**(supl.3): 67.
29. McDicken WN, Sutherland GR. Color Doppler velocity imaging to the myocardium. *Ultrasound Med Biol* 1992; **18**:651-4.
30. Sutherland GR, Stewart MJ, Groundstroen KW, Moran CM, Fleming et al. Color Doppler myocardial imaging: a new technique for the assessment of myocardial function. *J Am Soc Echo* 1994;**7**:441-58.
31. Rychik J, Tian ZY. Quantitative assessment of myocardial tissue velocities in normal children with Doppler tissue imaging. *Am J Cardiol* 1996;**77**:1254-7.