

CAPÍTULO 6

Avaliação do Tamanho e Função do Ventrículo Esquerdo

A avaliação do volume, da massa e da função mecânica do VE, como bomba ou como músculo, requeria o uso de métodos como o cateterismo cardíaco, com os riscos, desconfortos e despesas relacionadas a este procedimento. Além disto, é impraticável o estudo rotineiro ou seriado dos pacientes com a freqüência necessária para a avaliação de efeitos de drogas, momento cirúrgico, técnicas cirúrgicas, ou mesmo para o melhor conhecimento da história natural de certas cardiopatias. A ecocardiografia surge como um método não-invasivo, capaz de fornecer dados valiosos a respeito do tamanho e da função sistólica e diastólica do VE, sem apresentar os mesmos inconvenientes do cateterismo cardíaco.

Este capítulo analisa os diversos métodos de avaliação da função do VE, tanto de sua função sistólica (como bomba ou como músculo) quanto de sua função diastólica (relaxamento e distensibilidade).

AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO SISTÓLICA DO VE

Determinação do Volume da Cavidade Ventricular Esquerda

Eco Uni e Bidimensional

A cavidade ventricular esquerda, sob um ponto de vista geométrico, pode ser comparada grosseiramente a um elipsóide de revolução, isto é, a figura geométrica obtida quando uma elipse gira em torno do seu eixo maior, como mostra a Fig. 6.1.(1,2) O volume deste elipsóide pode ser calculado pela seguinte fórmula:(1)

$$V = \frac{4 \pi}{3} \cdot \frac{d1}{2} \cdot \frac{d2}{2} \cdot \frac{L}{2}$$

onde V = volume, d1 = diâmetro menor no sentido ântero-posterior, d2 = diâmetro menor no sentido lateral e L = diâmetro maior ou longitudinal.

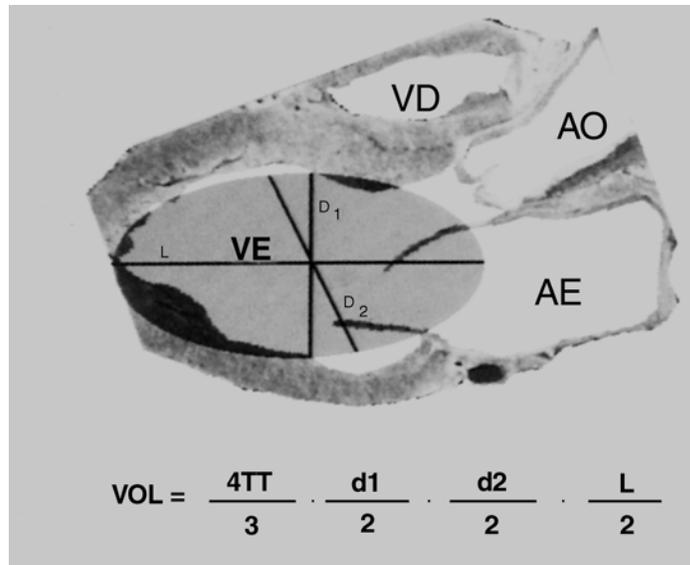


Fig. 6.1 - A cavidade ventricular esquerda é considerada como um elipsóide de revolução, cujo volume pode ser determinado sabendo-se os seus diâmetros no sentido ântero-posterior (d_1), no sentido lateral (d_2) e no sentido longitudinal (L).

Utilizando-se da angiocardigrafia biplana, com imagem da cavidade ventricular esquerda na projeção ântero-posterior e lateral, pode-se medir d_1 e d_2 , além de L , mas o volume desta cavidade pode ser calculado a partir de angiocardigramas obtidos em apenas um plano, já que o diâmetro menor é semelhante em todos os planos,(3,4) ou seja, $d_1 = d_2$.

Portanto

$$V = \frac{4 \pi}{3} \cdot \frac{d_1}{2} \cdot \frac{d_1}{2} \cdot \frac{L}{2}$$

ou,

$$V = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot L}{6}$$

Quando utilizamos a ecocardiografia unidimensional, é possível apenas a obtenção do diâmetro menor no sentido ântero-posterior (d_1), não sendo possível medir d_2 ou L . Contudo, como no VE normal o diâmetro longitudinal (L) é aproximadamente o dobro do diâmetro menor,(3,5) ou seja $L = 2 d_1$, podemos escrever a equação acima da seguinte forma:

$$V = \frac{\pi \cdot d1^2 \cdot 2 d1}{6}$$

$$V = \frac{\pi \cdot d1^3}{3}$$

$$V = 1,047 \cdot d1^3$$

ou, aproximadamente:

$$V = d1^3$$

Assim, pode-se ter uma estimativa do volume da cavidade ventricular esquerda, conhecendo-se apenas o diâmetro menor em um único plano. No Cap. 2 foi visto que pela ecocardiografia pode-se conhecer este diâmetro, tanto durante a sístole quanto na diástole, sendo seu valor comparável àquele obtido pela angiocardiografia.(6-8) Logo, partindo-se das medidas ecocardiográficas unidimensionais do diâmetro diastólico (D) e sistólico (S), calcula-se os volumes diastólico (Vd) e sistólico (Vs), simplesmente elevando-se ao cubo estes diâmetros.(9,10)

$$Vd = D^3$$

$$Vs = S^3$$

O volume de ejeção (Vej) pode ser então calculado:

$$Vej = Vd - Vs$$

ou seja;

$$Vej = D^3 - S^3$$

E a fração de ejeção (FE):

$$FE = \frac{Vd - Vs}{Vd} \cdot 100$$

ou seja;

$$FE = \frac{D^3 - S^3}{D^3} \cdot 100$$

O débito cardíaco poderia ser avaliado grosseiramente multiplicando-se o volume de ejeção pela frequência cardíaca.

Este método de obtenção do volume do VE, apenas elevando ao cubo uma única medida, é a forma mais simples de avaliar este parâmetro, além de ser necessário apenas o eco unidimensional. Diversos autores mostraram inicialmente a boa correlação entre os volumes diastólico, sistólico, de ejeção e fração de ejeção, obtidos pelo eco unidimensional com os medidos pela angiocardiografia.(6,7,9-15) No entanto, uma boa correlação não significa necessariamente que seja possível obter fielmente o volume ventricular esquerdo pela ecocardiografia unidimensional.(9,12) Feigenbaum et al.(9) comparando o método ecocardiográfico com o angiocardiográfico encontraram erros na avaliação pelo ecocardiograma de +110 ml a -103 ml para o volume diastólico, +102 ml a -105 ml para o volume sistólico e + 58 ml a -105 ml para o volume de ejeção.

A determinação pelo eco unidimensional do volume ventricular esquerdo é baseada em diversas suposições, que nem sempre são verdadeiras:

1. Supõe-se que o VE se assemelhe a um elipsóide de revolução. Na realidade, esta é uma forma geométrica muito simplista para a cavidade ventricular. O volume ocupado pelos músculos papilares não é levado em consideração. Quando o volume diastólico estiver aumentado, o VE se assemelhará mais a uma esfera do que a um elipsóide.(5,16) Além disto, o aspecto do VE na diástole não é o mesmo que na sístole; no final desta, a aparência é de um cone truncado, cuja forma para a obtenção de seu volume seria totalmente diferente do elipsóide (Fig. 6.2).

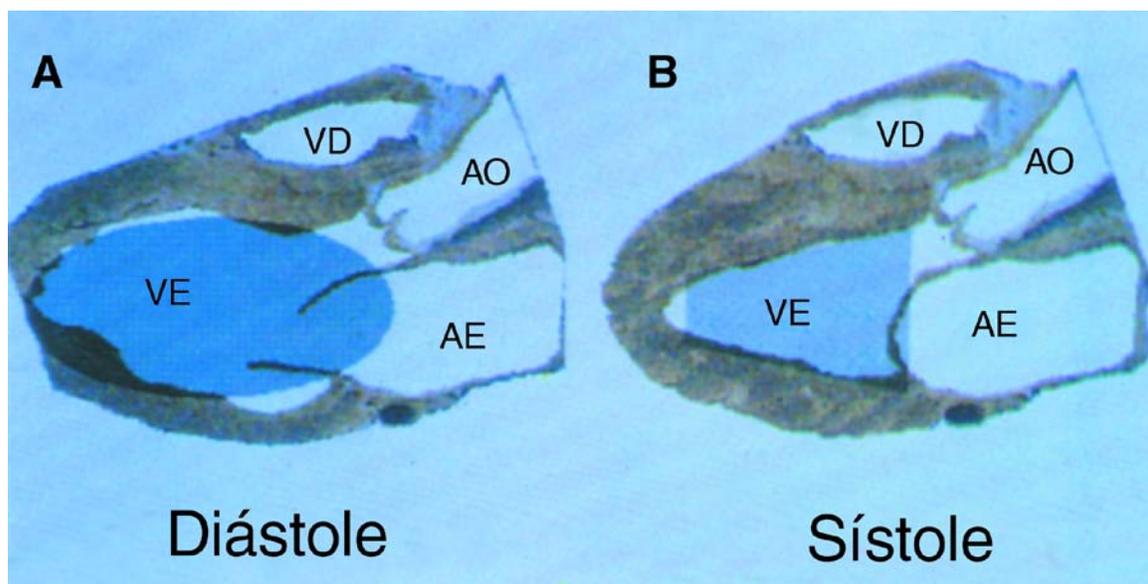


Fig. 6.2 - Muito embora o VE se assemelhe a um elipsóide de revolução na diástole (A), seu aspecto na sístole é mais semelhante a um cone truncado(B).

2. Supõe-se que a região do VE estudada pelo eco unidimensional seja representativa de toda a cavidade ventricular. Esta é uma suposição real na maioria das cardiopatias, porém, a lesão coronariana aterosclerótica produz áreas localizadas de hipo ou de acinesia, que poderão falsear os dados ecocardiográficos, pois a região estudada não mais estaria indicando a cavidade ventricular global.(14,17) Naturalmente as alterações segmentares da contração ventricular pouco alterariam a obtenção do volume diastólico, ficando mais prejudicada a determinação do volume sistólico.(18)

3. Supõe-se que D e S sejam valores acurados do diâmetro menor do VE. Como visto anteriormente, há boa correlação entre estas medidas ecocardiográficas e as obtidas pela angiocardiografia.(6,8) Porém a reprodutibilidade destas medidas em um mesmo indivíduo não é tão boa em corações dilatados como nos que têm tamanho normal. Quando o VE está dilatado, pode-se cometer erro de mais ou menos 4 mm na avaliação de seu diâmetro menor. Nos corações normais, há uma tolerância de aproximadamente 20⁰ entre as diversas angulações do transdutor na parede torácica que reproduzem a mesma medida, enquanto que nos pacientes com dilatação do VE, a mínima angulação do transdutor produz uma medida completamente diferente. Mesmo com a técnica padronizada para o registro do diâmetro interno do VE, é bem possível que não se esteja medindo exatamente o mesmo diâmetro em indivíduos diferentes, devido a variações na orientação do VE dentro do tórax ou mesmo da geometria ventricular.(17) O eco bidimensional nos mostra, com freqüência que o diâmetro menor do VE medido pelo eco unidimensional nem sempre corresponde à medida real. A Fig. 6.3 demonstra como em certos indivíduos o eixo longitudinal do VE está angulado em relação à parede torácica, de modo que o coração se posiciona na imagem ecocardiográfica como se estivesse com a "ponta para a frente". Qualquer medida que se faça do diâmetro menor do VE pelo eco uni neste caso será sempre oblíqua ao plano onde realmente deveria ser realizada, isto é, perpendicular ao eixo longitudinal.

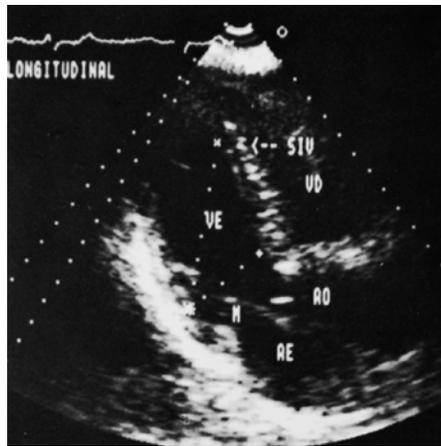


Fig. 6.3 - Certos corações possuem a "ponta para frente", o que torna qualquer tentativa de medir a cavidade do VE muito difícil. O feixe ultra-sônico irá penetrar sempre oblíquo a cavidade do VE, o que dará falso aumento cavitário.

4. Supõe-se que o diâmetro maior L seja o dobro do diâmetro menor D . Isto é verdadeiro nos corações de tamanho normal, porém, como o VE tende a ficar mais esférico quando está dilatado, a relação entre L e D torna-se diferente. Nos corações pequenos $L > 2 D$ e nos dilatados $L < 2 D$, como mostra a Fig. 6.4.(19) Logo, o método de se elevar ao cubo do diâmetro menor do VE para se obter o seu volume só seria válido para corações de tamanho normal, onde $L = 2 D$, do contrário ele estaria superestimando os volumes das cavidades dilatadas e subestimando os das pequenas.(12) Portanto, há necessidade de um fator de correção para as cavidades grandes e pequenas.

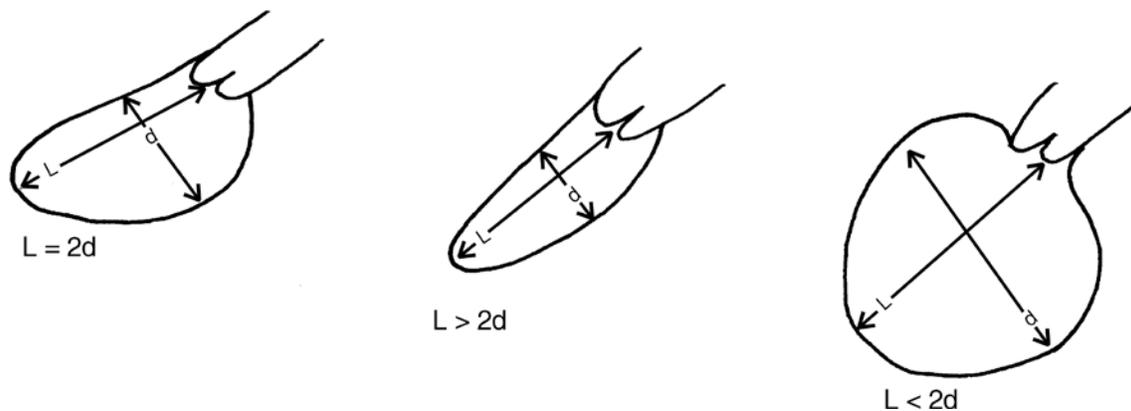


Fig. 6.4 - Variação da relação entre o diâmetro menor (d) e o diâmetro maior (L) da cavidade ventricular esquerda dependendo do tamanho desta cavidade. Quando o VE tem tamanho normal $L = 2d$. nas cavidades pequenas $L > 2d$ e nas dilatadas $L < 2d$.

Fortuin et al.(6) usaram uma equação de regressão para cálculo do volume em cavidades dilatadas:

$$Vd = 59 D - 153$$

$$Vs = 47 S - 120$$

Teichholz et al.(19) estimaram a relação constante entre D e L em angiocardiógramas de cavidades ventriculares de diversos tamanhos, chegando a uma fórmula "corrigida" para o cálculo do volume ventricular, que poderia portanto ser utilizada para cavidades de qualquer tamanho:

$$Vd = D^3 \cdot \left(\frac{7}{2,4 + D} \right)$$

$$Vs = S^3 \cdot \left(\frac{7}{2,4 + S} \right)$$

5. Supõe-se que a relação entre D e L não varie da diástole para sístole. Porém, a contração ventricular produz um encurtamento de 25-35% do diâmetro menor, contra apenas 10% do maior em corações normais,(5) alterando a relação entre D e L, que não é levado em consideração para o cálculo do volume (Fig. 6.5).

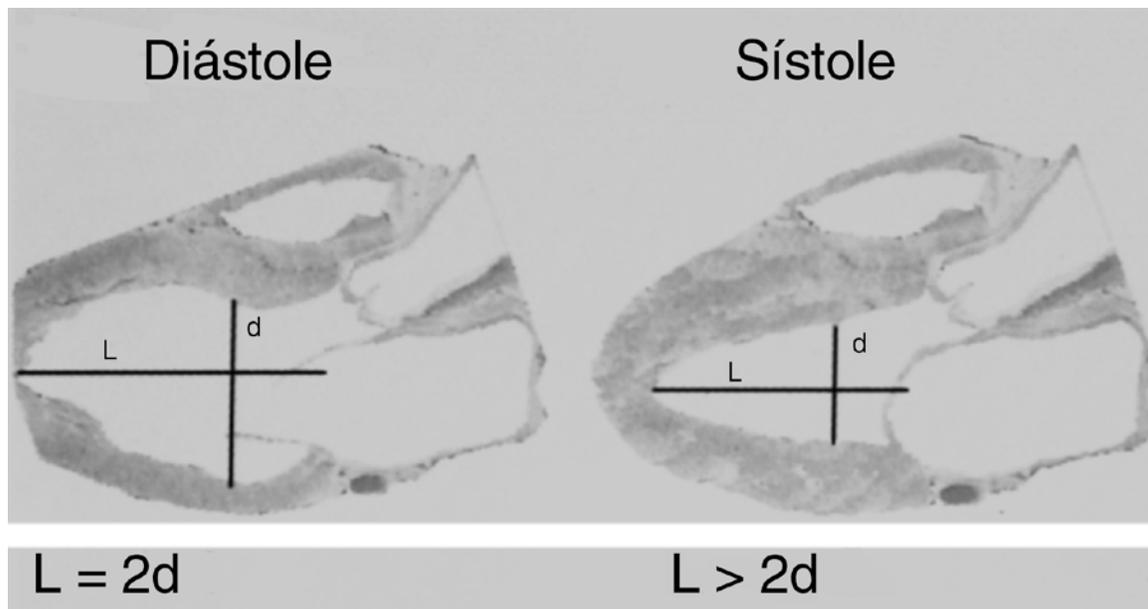


Fig. 6.5 - A diminuição do volume sistólico da cavidade do VE durante a ejeção se deve mais à redução do diâmetro menor do que a do diâmetro maior. Mesmo que a relação entre o diâmetro menor (d) e o diâmetro maior (L) seja de $L = 2d$ na diástole, tal relação não persiste na sístole, quando $L > 2d$.

Deve-se reconhecer que a avaliação do volume do VE pela ecocardiografia unidimensional elevando-se ao cubo o diâmetro menor é bastante falha, e este método é o menos acurado entre todos os realizáveis, utilizando-se de dados conseguidos pelo eco bidimensional. Os diâmetros diastólico e sistólico obtidos com o eco uni já são dados importantes para indicarem o tamanho da cavidade ventricular;(20) a extrapolação deste diâmetro único para dados volumétricos deve ser vista cautelosamente, além de desnecessária para qualquer efeito prático.

Algo que dificulta a análise da função de bomba do VE pelo eco unidimensional é a presença de doença coronária com anormalidades localizadas apenas em certas áreas das paredes ventriculares. A região avaliada pelo eco unidimensional pode apresentar contração e diâmetros normais, enquanto que em uma outra região há importante hipocinesia e mesmo dilatação (Fig. 6.6). Neste caso, o eco irá indicar erroneamente uma função sistólica normal do VE. Quando as regiões basais da parede inferior ou do septo interventricular estiverem hipocinéticas com o restante do VE contraindo normalmente, o eco ira mostrar uma função sistólica bastante diminuída, o que pode não ser o caso.

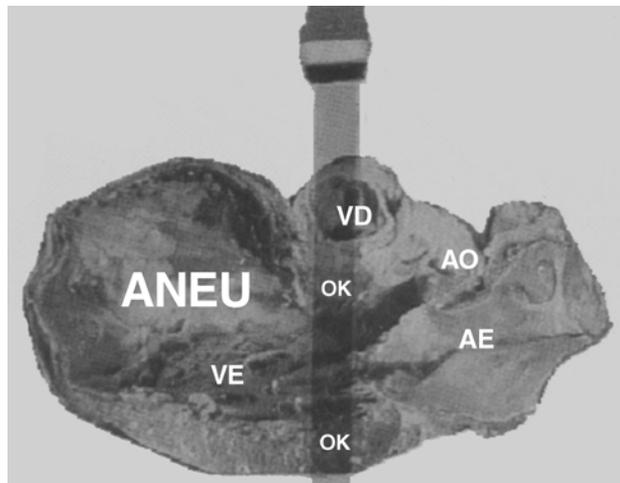


Fig. 6.6 - A função do VE analisada pelo eco unidimensional considera as regiões basais por onde passa o feixe como indicadora do estado de todo o VE. Em certas situações isto não é verdadeiro. A função avaliada em um paciente com aneurisma ou anormalidade contrátil que não envolva as regiões basais será superestimada.

Sem dúvida alguma, a avaliação do volume do VE é muito mais acurada quando se utilizam métodos cujos dados são conseguidos com o ecocardiograma bidimensional.(21-23) Com este, é possível obter não apenas o diâmetro no sentido ântero-posterior da cavidade do VE, como também no sentido látero-medial, além do diâmetro maior longitudinal.

Praticamente são utilizados dois métodos principais na obtenção do volume do VE pelo eco bidimensional. O primeiro também usa como princípio básico o conceito de que a cavidade ventricular esquerda se assemelha a um elipsóide de revolução e as fórmulas matemáticas utilizadas são aquelas que dão o volume desta figura geométrica. O segundo método utiliza a regra de Simpson para determinação de volume de figuras geométricas não uniformes.

A primeira destas formas foi derivada do modo pelo qual é feito o cálculo do volume do VE na angiocardiografia. Os dois métodos angiocardiográficos mais freqüentemente utilizados usam o modelo do elipsóide de revolução. São eles o método comprimento-diâmetro e o área-comprimento.(1)

O método comprimento-diâmetro pela ecocardiografia bidimensional utiliza a fórmula já vista:

$$V = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{d1}{2} \cdot \frac{d2}{2} \cdot \frac{L}{2}$$

onde V = volume, d1 = diâmetro menor no sentido ântero-posterior, d2 = diâmetro menor no sentido látero-medial e L = diâmetro maior ou longitudinal.

O diâmetro maior ou longitudinal (L) pode ser obtido no corte apical de quatro câmaras correspondendo à distância medida do endocárdio no ápice do VE até o centro do plano formado pela valva mitral fechada. Os diâmetros menores (d1 e d2) são medidos no corte transverso ao nível dos músculos papilares (Fig. 6.7).

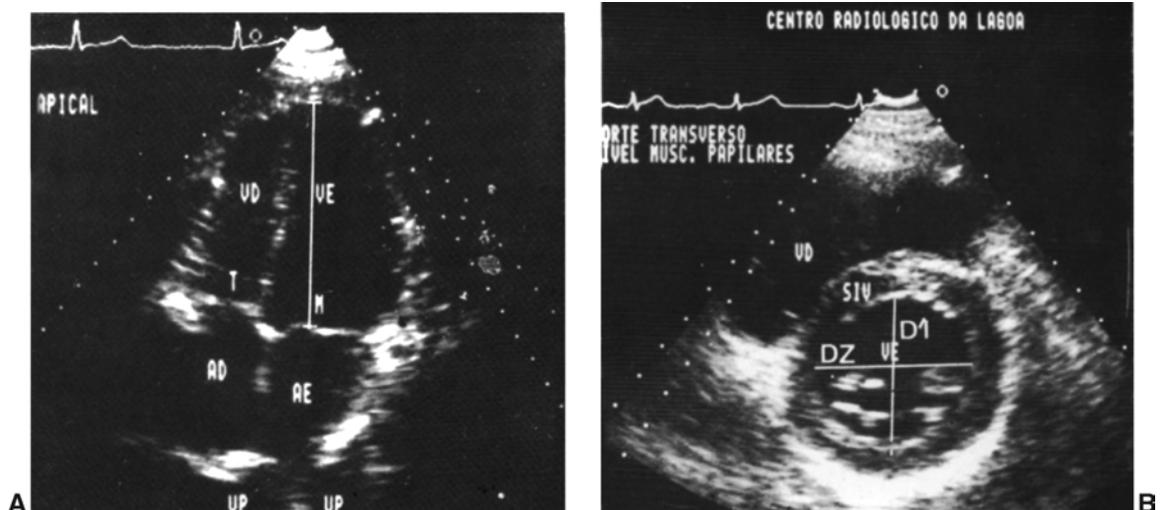


Fig. 6.7 - Obtenção do diâmetro maior do VE (L) em um corte apical de quatro câmaras (A) e dos diâmetros menores ântero-posterior (d1) e látero-medial (d2) em um corte transverso ao nível dos músculos papilares (B).

Este método de avaliação do volume ventricular mostra boa correlação quer quando comparado em estudos experimentais com o volume da cavidade do VE do cão,(24) quer em estudos comparando com o volume obtido pela angioventriculografia.(25)

O método área-comprimento deriva da observação de Dodge et al.(1) de que a correlação entre o volume medido pela angiocardiografia e o volume do VE em autópsias era bem melhor quando os diâmetros menores d1 e d2 fossem obtidos matematicamente do que quando medidos diretamente no ventriculograma. Isto se deve principalmente à variação destes diâmetros dependendo do local onde se mede. Ora, tendo duas projeções ventriculográficas ortogonais, o diâmetro menor em cada projeção pode ser calculado sabendo-se a área do VE e seu eixo maior, já que a área de um elipsóide de revolução é dada pela seguinte fórmula:

$$A = \pi \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{D}{2}$$

onde A = área, L = diâmetro maior e D = diâmetro menor.

O diâmetro menor D pode então ser calculado:

$$D = \frac{4 A}{\pi L}$$

Este diâmetro então é calculado, em vez de medido diretamente, para duas projeções ortogonais. Tal experiência da angiocardiografia é extrapolada para a ecocardiografia no método área-comprimento de determinação do volume do VE.(26) Deste modo obtemos dois cortes ortogonais como o apical de quatro câmaras e o apical de duas câmaras. Tendo a área da cavidade ventricular esquerda nos dois planos (A1 e A2) assim como o diâmetro maior (L1 e L2) como visto na Fig. 6.8, calcula-se o volume:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot L1 \cdot \left(\frac{4A1}{\pi L1}\right) \cdot \left(\frac{4A2}{\pi L2}\right)$$

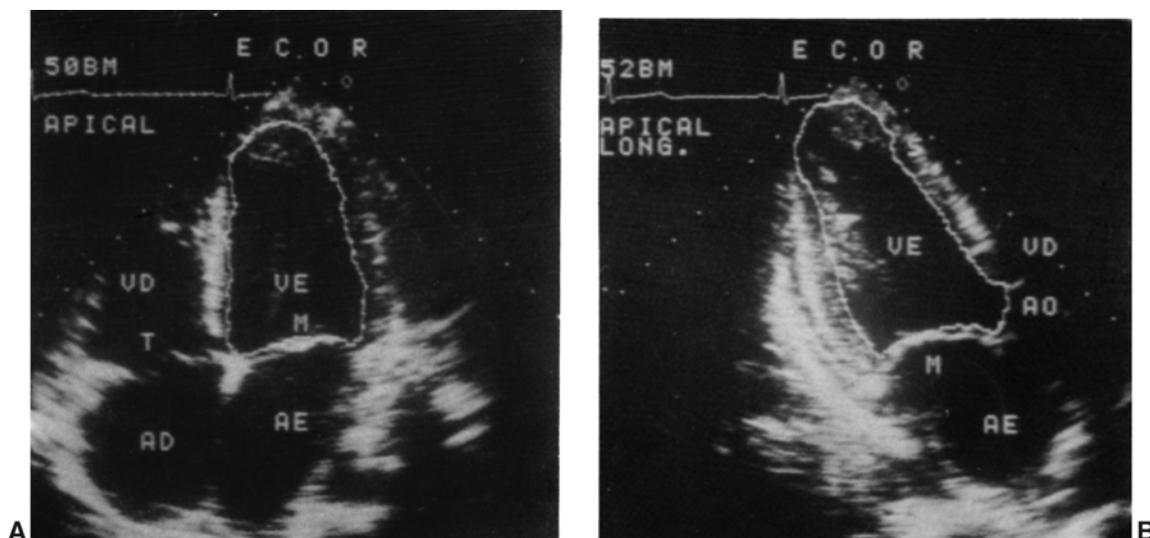


Fig. 6.8 - Medida da área do VE em dois planos ortogonais. Em A, a área é medida planimetrando o endocárdio do VE em um corte apical de quatro câmaras, e em B esta área é medida em um corte apical longitudinal do VE.

Pode-se também estimar o volume com a utilização apenas de um plano de corte, o apical de quatro câmaras, neste caso usa-se a seguinte fórmula:

$$V = \frac{8 (A)^2}{3 \pi L}$$

sendo A a área do VE neste corte e L o eixo maior.

O método área-comprimento biplano que utiliza cortes ortogonais é bem mais fiel do que quando utilizado apenas um único plano.(26)

É importante que não se inclua os músculos papilares no contorno da planimetria da área da cavidade do VE.

A técnica que mostra melhor correlação para a avaliação do volume do VE é a baseada no método de Simpson(24) que preconiza que o volume de um sólido pode ser calculado subdividindo este sólido, ao longo de um eixo, em diversos segmentos com espessura e área conhecidas. O volume de cada segmento é calculado multiplicando-se sua área pela sua espessura, e o volume do sólido será a soma dos volumes de todos os segmentos (Fig. 6.9). Este método será tanto mais sensível quanto em maior número de segmentos for dividido o sólido. Na prática, pode-se medir o volume de VE dividindo esta cavidade em 3 segmentos com a espessura de cada um deles igual a 1/3 do diâmetro maior (L) medido no corte apical. A área de base de cada segmento é medida por planimetria de cortes transversais ao nível da valva mitral (A1), dos músculos papilares (A2) e abaixo dos músculos papilares (A3).

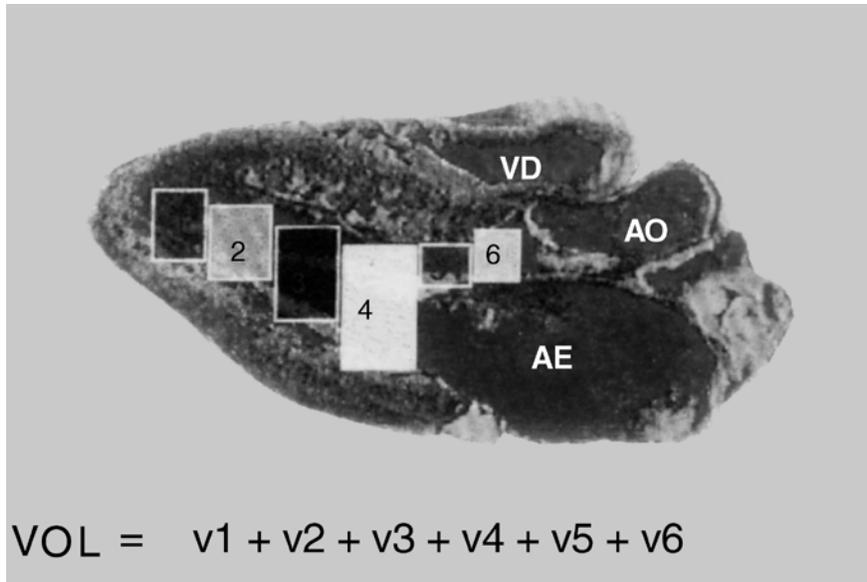


Fig. 6.9 - O método de Simpson calcula o volume da cavidade do VE considerando que ela seja formada por diversos segmentos com espessura e área transversa conhecidas. O volume de cavidade será igual à soma dos diversos volumes dos segmentos (vide texto).

O volume então será:

$$V = \left(\frac{A1 + A2}{2} \right) \cdot \frac{L}{3} + \left(\frac{A2 + A3}{2} \right) \cdot \frac{L}{3} + \frac{1}{3} A3 \cdot \frac{L}{3}$$

Este método não requer o pressuposto de que o VE se assemelha a um elipsóide de revolução. Na verdade, ele é acurado mesmo quando há grande distorção na forma da cavidade ventricular, como por exemplo nos aneurismas ventriculares.

Estudos comparativos entre as diversas técnicas de avaliação ecocardiográfica do volume do VE mostram que a mais fiel de todas é a que utiliza o método de Simpson,(24,26) mesmo assim há sempre uma tendência de subestimar o volume da cavidade do VE quando calculado pelo eco ao ser comparado com a angioventriculografia.(27,28) Uma razão para esta subestimação do volume do VE pela ecocardiografia está na medida da área do VE pela angio, onde o limite externo da cavidade é aquele traçado pelo contraste, incluindo as trabeculações, já que o contraste penetra por entre elas. No ecocardiograma, o limite externo é a própria trabeculação, tendo em vista que o ultra-som irá refletir-se nelas. Uma outra causa é o aumento da espessura dos ecos provenientes do endocárdio das paredes septal e lateral do

VE devido à pobre resolução lateral do método e, portanto, estas paredes aparentam diminuir a cavidade do VE. Como visto no Cap. 1, a resolução lateral está na dependência do ganho do sistema e, portanto, quando se avaliar a área da cavidade do VE deve-se usar o menor ganho possível.

Volume de Ejeção, Fração de Ejeção

Conhecendo-se o volume diastólico e o volume sistólico do VE pelos diferentes métodos expostos acima, é possível saber o seu volume de ejeção e fração de ejeção.(27)

O volume de ejeção se obtém subtraindo o volume sistólico do volume diastólico e, obviamente, há uma melhor correlação com os outros métodos invasivos quando estes volumes são calculados pelo método de Simpson (Fig. 6.10). (24,26)

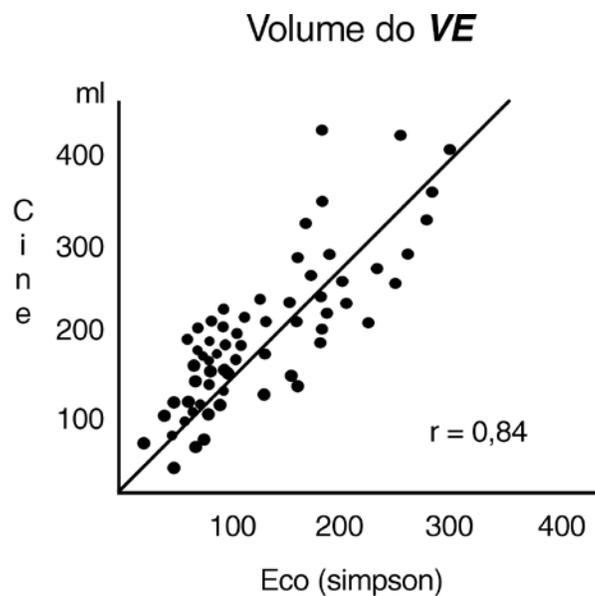


Fig. 6.10 - Correlação entre os volumes cavitários obtidos pela ecocardiografia (método de Simpson) e a angioventriculografia. (Folland, E.D. *et al.* Circulation, 60:760, 1979.)

A fração de ejeção é obtida dividindo-se o volume de ejeção pelo volume diastólico, multiplicando-se então o resultado por 100.

A fração de ejeção pode ser também avaliada, se anormal ou não, de uma forma indireta, analisando a separação entre o ponto E da mitral e o ponto mais posterior do septo interventricular no eco unidimensional.(29) Quando a fração de ejeção é normal, esta distância é menor que 6 mm, e quando está diminuída a distância aumenta consideravelmente (Fig. 6.11). Esta é uma forma

bastante prática e rápida de se avaliar a fração de ejeção, sendo bastante incomum encontrarmos falsos resultados, porém, somente pode ser utilizado quando a patologia existente não afeta primariamente o movimento da valva mitral. Em pacientes com regurgitação aórtica, a separação ponto E-septo pode estar aumentada, embora a função do VE seja boa.(30) Isto é devido ao jato da regurgitação aórtica que incide sobre o folheto anterior da mitral empurrando-o para longe do septo. Na nossa experiência (31) este sinal não deve ser utilizado também em pacientes com doença coronária, onde uma anormalidade localizada da contração ventricular esquerda afetando apenas o septo interventricular, pode provocar um aumento da distância E-septo em pacientes com função global do VE normal. Somente o aumento da cavidade do VE, mas com boa função sistólica, não é o bastante para afastar o ponto E do septo.(29)

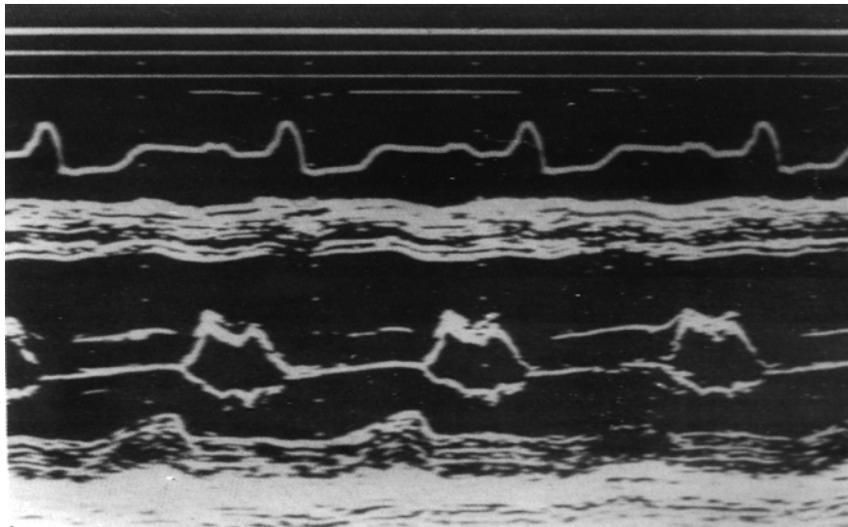
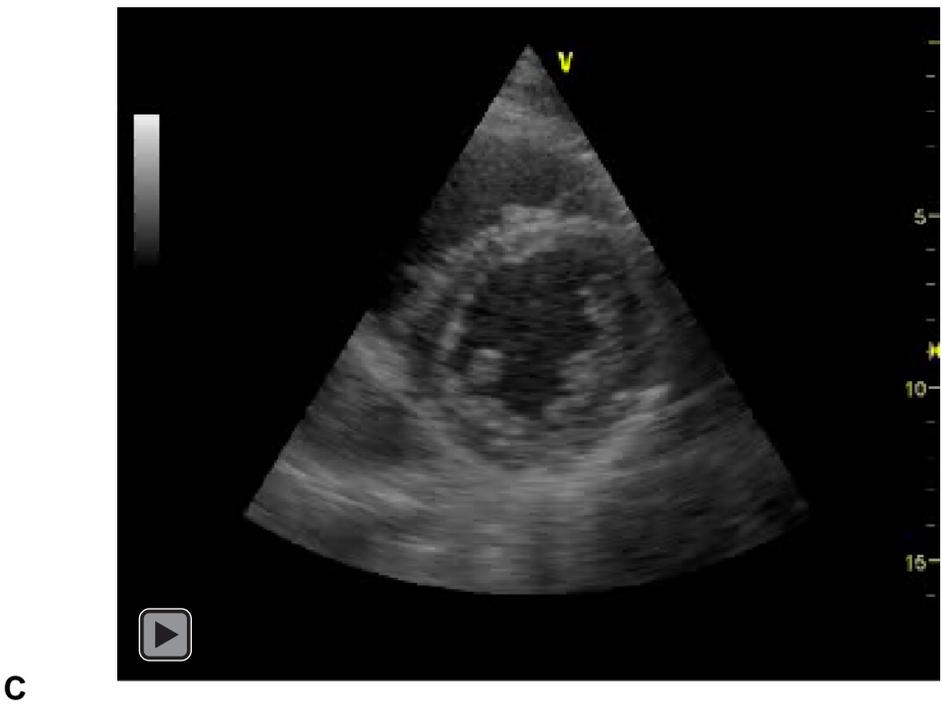
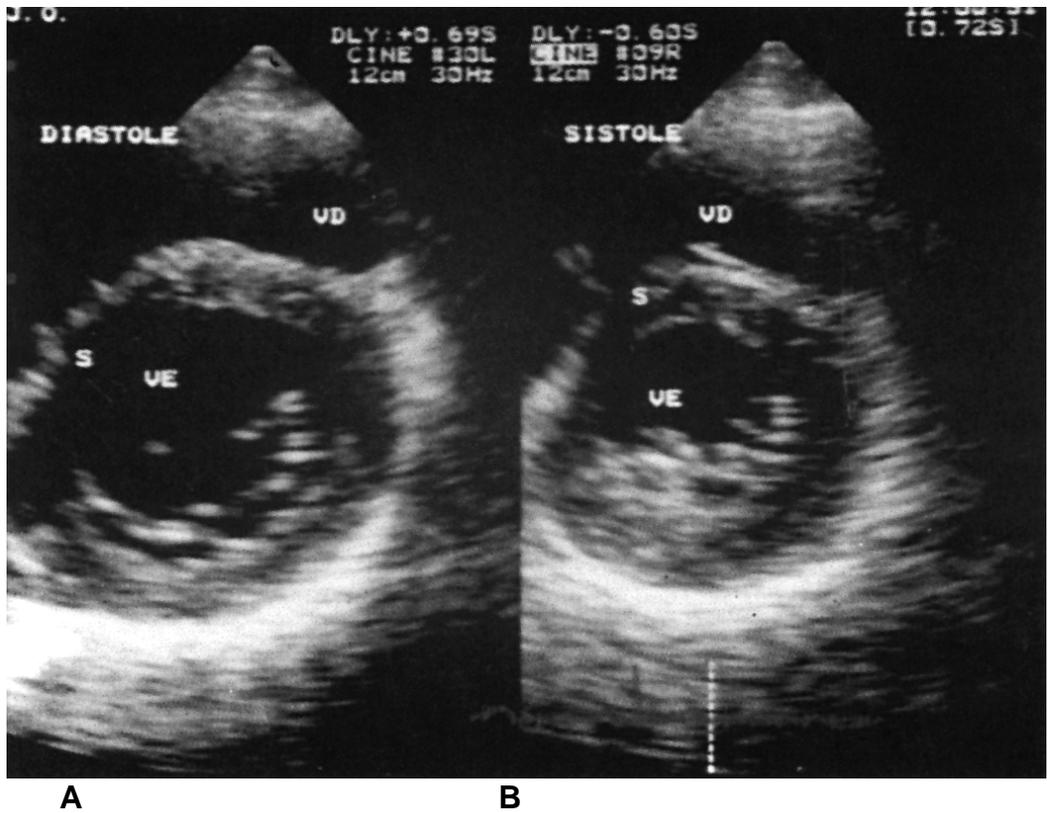


Fig. 6.11 - Quando há diminuição da função ventricular esquerda, com queda da fração de ejeção, há um aumento da separação entre o ponto E da valva mitral e o septo interventricular.

Na realidade, a melhor forma de avaliar a fração de ejeção do VE é a análise subjetiva feita por um ecocardiografista experiente, observando-se a contratilidade das paredes e a diminuição da cavidade durante a sístole em imagens bidimensionais do VE em diversos planos como visto na Fig. 6.12.(32,33). Esta análise subjetiva, quando comparada com os outros métodos quantitativos como o de Simpson, mostrou ter melhor correlação com a angiocardiografia (33).





D



E

Fig. 6.12 - Avaliação subjetiva da função do VE analisando o deslocamento e o espessamento das paredes na diástole (A) e na sístole (B). Função normal (C), leve a moderada diminuição da função sistólica global (D), grave disfunção (E).

Percentagem de Encurtamento Sistólico do Diâmetro Ventricular Esquerdo (%ΔD)

A %ΔD indica o grau de diminuição do diâmetro menor do VE com a contração ventricular:

$$\% \Delta D = \frac{D - S}{D} \cdot 100$$

onde D e S são os diâmetros diastólico e sistólico, respectivamente.

Seu valor normal é de $37 \pm 6\%$ (24 a 52%).

No coração normal, cerca de 80% do volume de ejeção se devem ao encurtamento do diâmetro menor e apenas 20% ao encurtamento do diâmetro maior.(34) Portanto, o encurtamento sistólico do diâmetro menor é o principal responsável pela diminuição volumétrica da cavidade ventricular esquerda e pela fração de ejeção, existindo uma boa correlação entre esta fração e a %ΔD, (6,35) como visto na Fig. 6.13. A fração de ejeção pode ser calculada a partir da %ΔD, usando-se da seguinte fórmula: 6

$$FE = 1,3 \cdot \% \Delta D + 25$$

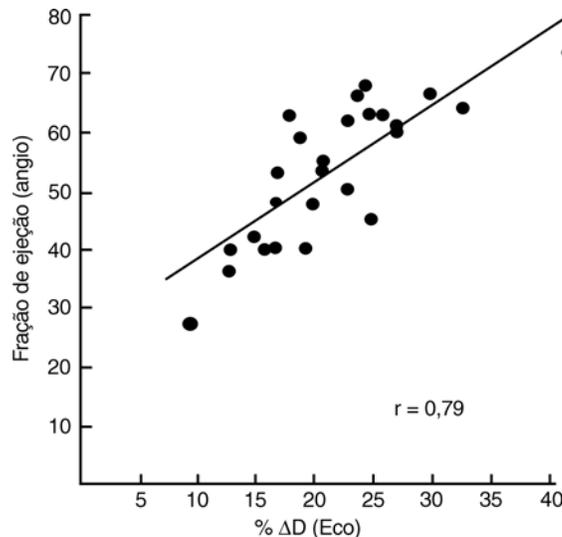


Fig. 6.13 - Correlação entre a medida ecocardiográfica da percentagem de encurtamento sistólico do diâmetro ventricular esquerdo (% ΔD) e a fração de

ejeção medida pela angiocardiografia (Fortuim. N.J. et al. Circulation, 44:575, 1971.)

Contudo, o cálculo ecocardiográfico da FE não oferece nenhuma vantagem acima da avaliação simples da % Δ D.(11)

Fortuin et al.(11) mostraram ser possível separar coração com função ventricular esquerda anormal dos normais, utilizando-se da % Δ D. Stack et al.(36) notaram a mesma possibilidade em pacientes portadores de cardiopatia aterosclerótica, estando a % Δ D mais freqüentemente anormal quanto maior o número de vasos coronarianos obstruídos.

A % Δ D parece ser um parâmetro sensível para demonstrar modificações da função ventricular esquerda como as que ocorrem, por exemplo, após o uso de digital(37) ou álcool.(38) A % Δ D independe da freqüência cardíaca ou da idade do paciente.(39)

Porcentagem de Espessamento Sistólico da Parede Posterior do VE (% EPP)

A % EPP indica o grau de aumento da espessura da parede posterior do VE que ocorre com a contração ventricular. É calculada partindo-se dos valores da espessura diastólica (EDP) e sistólica (ESP) desta parede:

$$\% \text{ EPP} = \frac{\text{ESP} - \text{EDP}}{\text{EDP}} \cdot 100$$

Seu valor normal é de $97 \pm 37\%$ (50 a 200%).

Estudos angiocardiógráficos mostraram que o espessamento sistólico das paredes do VE avaliado separadamente do seu deslocamento para dentro da cavidade ventricular durante o período de ejeção é responsável aproximadamente pela metade do trabalho cardíaco.(40) Dodge et al.(41) demonstraram que apenas o espessamento das paredes é responsável por cerca de 50% do volume de ejeção do VE, portanto, pode-se de alguma forma avaliar a fração de ejeção deste ventrículo pela % EPP.(40,42) Como mostra a Fig. 6.14, uma % EPP menor que 60% indica uma fração de ejeção inferior a 0,50.

A % EPP aumenta com a diminuição da pressão aórtica (pós-carga), mas é pouco influenciada pela pré-carga.(43) Este índice da função ventricular é mais sensível que a primeira derivada de pressão (dP/dt) para avaliar as modificações que ocorrem no VE com a isquemia.(44)

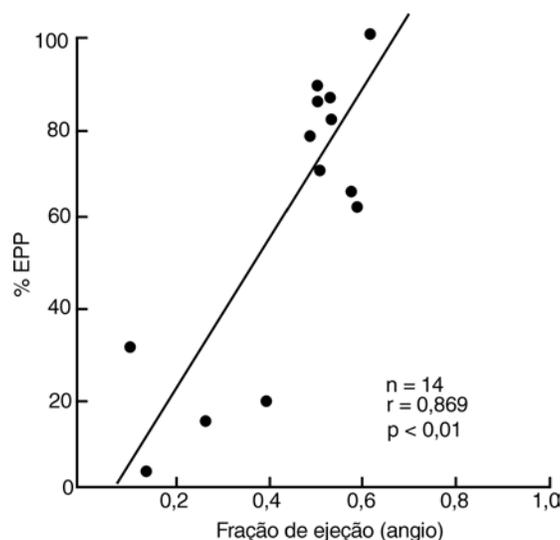


Fig. 6.14 - Correlação entre a medida ecocardiográfica da porcentagem de espessamento sistólico da parede posterior do ventrículo esquerdo (%EPP) e a fração de ejeção obtida pela angiocardiografia (Troy, B.L. *et al.* *Circulation*, 45:602, 1972.)

Velocidade Sistólica Média (VSMP) e Máxima (VSMÁx) da Parede Posterior do VE

Acreditava-se inicialmente que a VSMP e VSMÁx seriam indicadoras da velocidade de contração circunferencial do VE (Vcf).(45) Contudo, como visto no Cap. 2, o movimento da parede posterior deste ventrículo é o somatório de dois deslocamentos diferentes, o da parede posterior se contraindo, mais o deslocamento de todo o coração para a frente durante a ejeção. Talvez, esta seja a causa da pobre correlação entre estas medidas e a fração de ejeção, ou mesmo com a Vcf.(14,46) A VSMP e a VSMÁx tendem a superestimar a função ventricular,(47) além de não indicarem a função global do VE, quando existe lesão segmentar deste ventrículo, como na doença coronariana.(47-49) A VSMP e a VSMÁx não são capazes de separar pacientes com função ventricular anormal dos normais, na maioria das vezes.(46) É possível que estas velocidades sejam úteis para a avaliação, em um mesmo paciente, de modificações na função ventricular que ocorrem após o uso de drogas,(50,51) ou para o estudo da evolução natural de uma cardiopatia.(49,52-54) Loodbrook *et al.*(47) não acreditam que a VSMP e a VSMÁx sejam úteis nem mesmo para esta avaliação seqüencial em um indivíduo, devido à variação espontânea encontrada nestas medidas, quando estudadas em dias consecutivos. Portanto, o estudo das velocidades sistólicas média e máxima da parede posterior do VE tem uma importância limitada para a avaliação da função ventricular esquerda.

Velocidade Média de Contração Circunferencial do Ventrículo Esquerdo (Vcf)

A Vcf obtida pela angiocardiografia é utilizada como índice da função ventricular esquerda, do tipo mais relacionado às propriedades mecânicas do músculo cardíaco do que a função da bomba do VE.(5,55,56) Esta velocidade pode também ser calculada pela ecocardiografia. (11,14,38,46,47,57,58)

A velocidade média da contração circunferencial é a variação da circunferência (c) da cavidade ventricular esquerda durante a sístole, dividida pelo tempo em que esta variação ocorreu (Δt). Partindo-se dos respectivos diâmetros diastólico (D) e sistólico (S), a circunferência interna do VE pode ser determinada durante a diástole ($c_d = \pi D$) e durante a sístole ($c_s = \pi S$).

A Vcf será dada então pela fórmula:

$$V_{cf} = \frac{c_d - c_s}{\Delta t}$$

ou:

$$V_{cf} = \frac{\pi D - \pi S}{\Delta t}$$

Deste modo, pode-se obter a Vcf em cm/s, porém o seu valor será variável de acordo com o tamanho da cavidade ventricular: maior para as cavidades grandes e menor para as pequenas. Portanto, para que se possa comparar valores de Vcf entre indivíduos, independente do tamanho do VE, é necessário normalizar esta medida, dividindo-se pela circunferência diastólica, obtendo-se conseqüentemente valores em uma unidade arbitrariamente denominada de circunferência por segundo (cir/s):

$$V_{cf} = \frac{\frac{\pi D - \pi S}{\Delta t}}{\pi D}$$

ou

$$V_{cf} = \frac{\pi (D - S)}{\pi D \Delta t} = \frac{D - S}{D \cdot \Delta t}$$

O Δt corresponde ao tempo de ejeção e pode ser obtido pelo pulso carotídeo, realizado juntamente com o ecocardiograma, ou diretamente do traçado ecocardiográfico, correspondendo ao intervalo entre a abertura e o fechamento da valva aórtica.(39,59) A maioria dos autores prefere medir o Δt diretamente do ecocardiograma do VE,(11,46,47,60) ou da valva mitral.(54) No ecocardiograma do VE, o Δt corresponde ao tempo decorrido do início ao ápice do movimento sistólico do endocárdio da parede posterior,(11) ou então ao intervalo entre a onda R do eletrocardiograma ao ápice sistólico do endocárdio da parede posterior, menos 0,05 s, referente ao período de pré-ejeção.(46,47,60) No ecocardiograma da valva mitral, o Δt é medido como o tempo decorrido entre o fechamento (ponto C) e a abertura (ponto D) da valva mitral, sem se fazer correção para o período de pré-ejeção.(57) O valor normal da V_{cf} em adultos encontra-se acima de 0,91 circ/s.

Estudos que comparam a V_{cf} medida pela ecocardiografia com os valores obtidos pela angiocardiografia revelaram a ótima correlação entre os dois métodos, conforme a Fig. 6.15.(14,46,57)

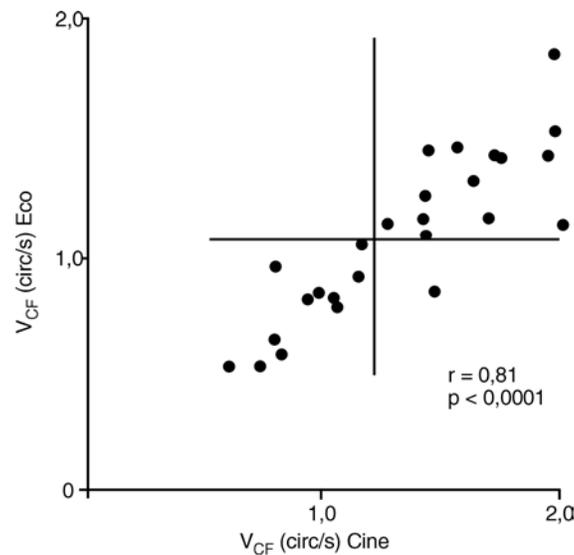


Fig. 6.15 - Correlação entre a medida ecocardiográfica e angiocardiográfica da velocidade média de contração circunferencial de ventrículos esquerdo (V_{cf}). (Cooper, R.H. *et al.* *Circulation*, 46:914, 1972.)

Diversos autores mostraram ser a medida ecocardiográfica da Vcf capaz de diferenciar a função ventricular esquerda normal da anormal.(11,14,46)

Embora a determinação da Vcf esteja na dependência da visualização ecocardiográfica de apenas uma parte do septo e da parede posterior, e não sendo representativa de todo o VE quando existir lesão segmentar, a Vcf aparentemente continua sendo um bom índice da função ventricular esquerda, mesmo quando houver problemas localizados da contração ventricular, como na doença coronariana aterosclerótica.(61) Isto porque geralmente a diminuição do movimento de uma parede na doença coronariana é compensada com um aumento deste movimento nas paredes não lesadas.(62)

Sempre que se fizer medidas seriadas da Vcf em um mesmo indivíduo, deve-se levar em consideração que a frequência cardíaca altera seu valor, sendo tanto maior quanto maior esta frequência.(58) Modificações da pré-carga não parecem afetar a Vcf,(63) porém o aumento da pós-carga diminui esta velocidade.(58) A Vcf correlaciona-se inversamente com a idade.(39)

Intervalos Sistólicos do Ventrículo Esquerdo

Os intervalos sistólicos de VE são de certa utilidade para o estudo da função ventricular.(64) Assim, as medidas do tempo de ejeção (TE), do período de pré-ejeção (PPE), da sístole eletromecânica (SEM) e do período de contração isovolumétrica (PCIV) são obtidas geralmente no estudo fonomecanocardiográfico. Ocasionalmente, há dificuldade de se fazer um bom traçado fonocardiográfico ou do pulso carotídeo para a análise destes intervalos. A ecocardiografia é um outro método não-invasivo capaz de fornecer os mesmos dados.(59,65,66)

O TE é medido no ecocardiograma da valva aórtica e corresponde ao tempo entre a abertura e o fechamento desta valva (Fig. 6.16).(59,65) A SEM é o intervalo de tempo entre a onda Q do eletrocardiograma e o fechamento da valva aórtica, e o PPE é obtido subtraindo-se o TE da SEM.(59,65) A relação PPE/TE pode também ser calculada.

As medidas ecocardiográficas dos intervalos sistólicos quando comparadas com aquelas obtidas através da fonomecanocardiografia feita simultaneamente mostraram ótima correlação entre os dois métodos, com valores praticamente idênticos.(59) A insuficiência cardíaca produz um aumento do PPE e diminuição do TE, com conseqüente aumento da relação PPE/TE.(64)

O PCIV corresponde ao intervalo entre o fechamento da mitral (ponto C) e a abertura da valva aórtica⁶³ e encontra-se prolongado na insuficiência cardíaca.

Os intervalos sistólicos do VE medidos pelo ecocardiograma têm os mesmos valores normais que aqueles obtidos pelo método fonomecanocardiográfico, assim como sofrem as mesmas variações com a idade, sexo e frequência cardíaca.(39,64) Eles não oferecem nenhuma vantagem sobre os outros parâmetros de avaliação ecocardiográfica da função ventricular esquerda.

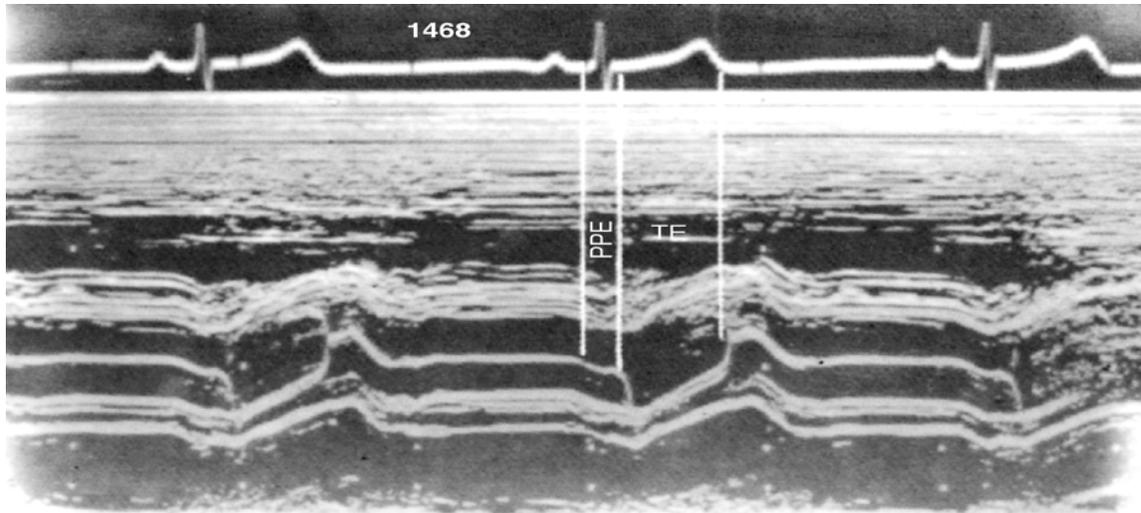


Fig. 6.16 - Medidas do período de pré-ejeção (PPE) e do tempo de ejeção (TE) do ventrículo esquerdo obtidas no ecocardiograma da valva aórtica.

Massa Ventricular Esquerda

A massa do VE pode ser estimada em indivíduos vivos através da angiocardiografia(1,67) e mais recentemente pela ecocardiografia. (10,42,68,69) Sua determinação ecocardiográfica se baseia na obtenção de dados volumétricos do VE e está sujeita às mesmas críticas vistas para a avaliação do volume da cavidade ventricular esquerda, não havendo unanimidade em sua aceitação como um método que mostre boa correlação com a massa anatômica (70).

A massa do VE é obtida calculando-se o volume de todo o VE (incluindo-se as paredes e a cavidade), e deste volume subtrai-se aquele da cavidade ventricular esquerda. O valor encontrado torna-se correspondente ao volume das paredes ventriculares e quando multiplicado por 1,05 (densidade do miocárdio)(71) obtém-se a massa ventricular esquerda em gramas.

Bennett utiliza a seguinte fórmula(68) derivada do método do cubo para análise volumétrica ao eco unidimensional:

$$\text{Massa}_{\text{VE}} = ((2 \text{ EDP} + D)^3 - D^3) \cdot 1,05$$

onde EDP = espessura diastólica da parede posterior do VE e D = diâmetro diastólico da cavidade ventricular esquerda.

O limite máximo normal da massa ventricular esquerda medida desta forma é de 294 g para os homens e 198 g para as mulheres,(72) ou ainda, quando correlacionado a superfície corporal, o limite máximo é de 134 g/m² para os homens e 110 g/m² para as mulheres.(73)

Devereux et al.(74) encontraram melhores correlações da massa do VE medida pela ecocardiografia unidimensional e a anatomia patológica quando a

avaliação da espessura das paredes e da cavidade é feita pela convenção Penn(75) na qual a espessura das interfaces endocárdicas não são incluídas nas medidas das paredes e são incluídas nas medidas cavitárias. Estas medidas são feitas durante a onda R do ECG.

A fidelidade da avaliação da massa do VE por este método pode ser diminuída consideravelmente quando houver evidência de sobrecarga volumétrica do VE, aneurismas do VE ou hipertrofia septal assimétrica.

Naturalmente o eco bidimensional permite avaliar mais acuradamente o volume do VE e o método de Simpson ou o da área-comprimento são os mais indicados. Conforme visto acima, pode-se calcular o volume da cavidade do VE por este método assim como o volume de todo o VE, desde que se inclua as paredes dentro da região planimetrada. O volume ocupado pelas paredes ventriculares será, portanto, a diferença entre o volume de todo o VE e o da cavidade ventricular. Este volume quando multiplicado pela densidade do miocárdio dará a massa ventricular.

ESTRESSE MERIDIONAL DAS PAREDES DO VE NO FINAL DA SÍSTOLE

O estresse meridional telessistólico das paredes do VE pode ser definido como a força que atua no plano equatorial do ventrículo, na direção do eixo apico-basal em uma unidade de área de parede ventricular esquerda. É uma medida da verdadeira pós-carga do VE. Seu cálculo é realizado com a seguinte fórmula(76,77) :

$$\sigma = 1.35 \cdot \frac{PAS \cdot S}{4 \cdot ESPS (1 + ESPS / S)}$$

onde σ = estresse meridional, PAS= pressão arterial sistólica no final da sístole, S= diâmetro sistólico do VE e ESPS= espessura sistólica da parede posterior do VE.

O valor normal é de $64.8 \pm 19.5 \times 10^3 \text{ dyn/cm}^2$.

RELAÇÃO ESTRESSE / ENCURTAMENTO OU ESTRESSE / COMPRIMENTO

Estes dois métodos independem da pós-carga já que a incorporam na análise da contratilidade. Basicamente se constroi uma linha de regressão em que se correlaciona o estresse (ou somente a pressão sistólica) no final da sístole, medidos em diferentes níveis produzidos pela infusão de fenilefrina, com a $\% \Delta D$ ou, simplesmente, com o diâmetro sistólico do VE. Com o aumento do estresse, a $\% \Delta D$ e o diâmetro sistólico diminuem linearmente. A inclinação da linha de regressão ou o seu deslocamento indicam o estado de contratilidade do VE(78).

ECO TRANSESOFÁGICO

O melhor corte para análise da função sistólica do VE através da ecocardiografia transesofágica é o transgástrico transverso ao nível dos músculos papilares(79,80,81). As paredes do VE, aí visualizadas, podem ser divididas em 6 segmentos (Fig. 6.17): os septos anterior e posterior; as paredes anterior, antero-lateral, postero-lateral e posterior. Cada uma destas regiões deve ser pesquisada tendo em vista a motilidade destas paredes mas, principalmente, observando-se o seu grau de espessamento sistólico. O tamanho da cavidade do VE e a sua função global podem ser também avaliados. Uma observação subjetiva e qualitativa, feita por um ecocardiografista com experiência, oferece dados precisos que freqüentemente tornam dispensáveis os dados quantitativos na prática diária.

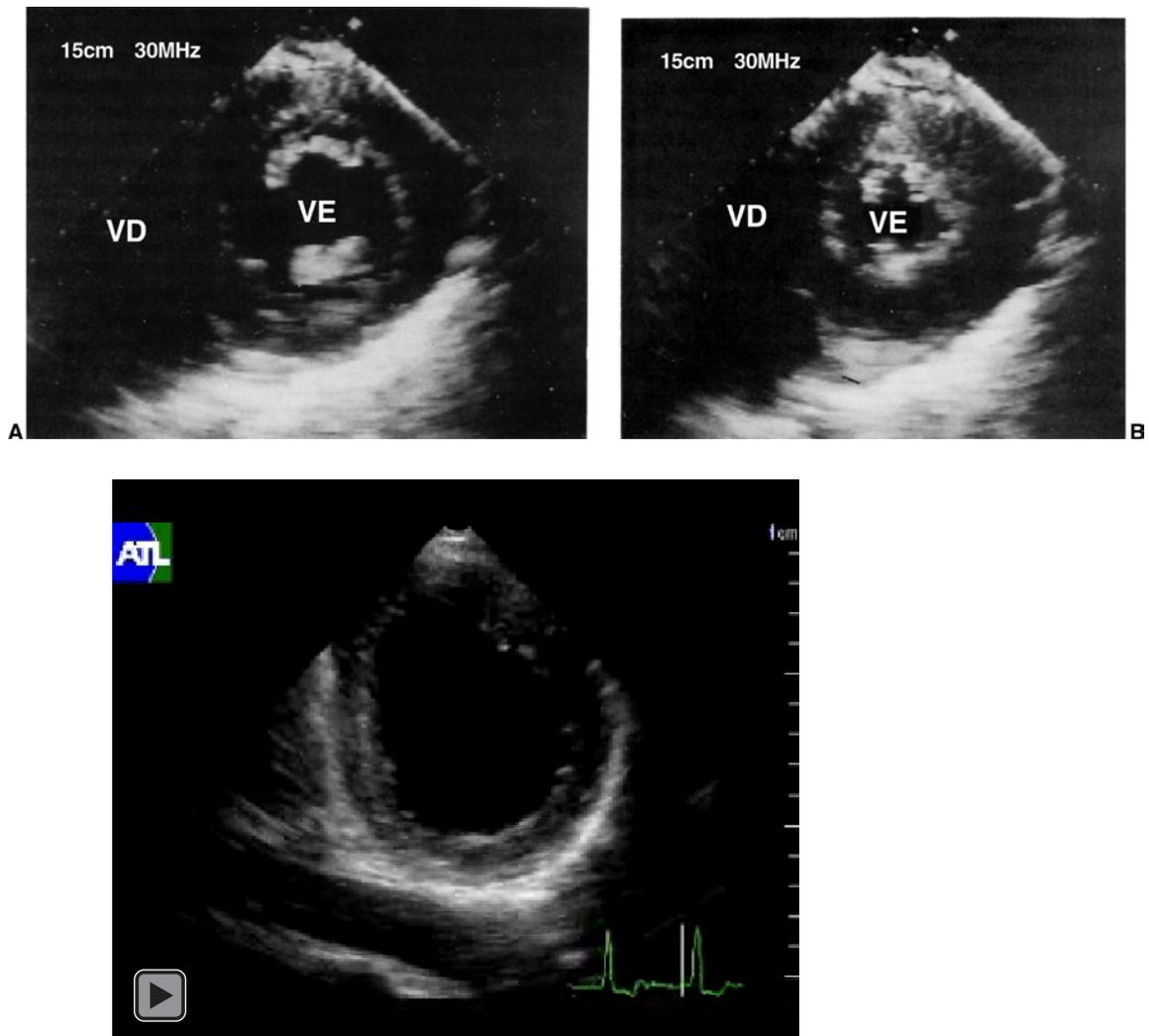


Fig. 6.17 - Corte transverso transgástrico do VE para análise da função sistólica. (A) Diástole. (B) Sístole. (C) Filme

Embora a definição do endocárdio, e portanto a avaliação dos diâmetros cavitários, seja melhor feita pela ecocardiografia transesofágica, esta não é melhor do que o eco transtorácico quando os métodos de área-comprimento ou o de Simpson são utilizados para determinação dos volumes do VE (82) e da fração de ejeção. Isto se deve à dificuldade de se obter o eixo longo do VE ao eco transesofágico, visto que a distância mitral-ápice está quase sempre encurtada em um corte de quatro câmaras, já que o feixe ultra-sônico raramente atinge o verdadeiro ápice.

Do mesmo modo que o visto anteriormente, a massa do VE pode ser calculada pelo eco transesofágico utilizando-se o corte transversal ao nível dos músculos papilares obtido através dos cortes transgástricos(83).

ECO DOPPLER

A ecocardiografia Doppler avalia basicamente a função de bomba do coração através da determinação do volume de ejeção e, portanto, do débito cardíaco, quando este volume é multiplicado pela frequência cardíaca.

Volume de Ejeção e Débito Cardíaco

É importante que fique bem compreendido que o Doppler mede a velocidade e não o fluxo volumétrico de sangue. Isto é, com o Doppler obtemos a distância percorrida pelo sangue em um determinado tempo, a unidade é portanto m/s. Para a obtenção do volume de ejeção estamos interessados no fluxo volumétrico, ou seja, no volume de sangue que passa por um certo local em um determinado tempo, a unidade é portanto ml/s.

No Capítulo 5 vimos como é possível chegar ao fluxo volumétrico partindo-se do conhecimento da velocidade do sangue. Sabemos que o volume de sangue que passa por um vaso é igual à distância percorrida pela coluna líquida multiplicada pela área transversa do vaso. Ou seja, forma a figura geométrica de um cilindro; utilizamos, portanto, a fórmula de obtenção do volume de um cilindro que é:

$$\text{Vol} = \text{área da base do cilindro} \times \text{altura do cilindro}$$

A área da base do cilindro, isto é, a área transversa do vaso, pode ser facilmente medida pelo eco, havendo duas formas de se conseguir esta dado. A primeira é simplesmente por planimetria da luz arterial. Esta forma tem os problemas relativos a pouca resolução lateral do ecocardiograma, o que produz ecos que se intrometem na luz da artéria junto à sua parede lateral e medial e, portanto, há tendência a subestimar a área interna da artéria. A segunda forma é matemática. Sabendo-se o diâmetro, obtemos o raio (r) do vaso e pressupondo que ele seja circular, pode-se obter a área (A) deste círculo ($A = \pi r^2$). Este método para obtenção da área da luz do vaso é melhor que o primeiro

pois somente está envolvida a resolução axial do eco na medida do diâmetro e, como vimos no Cap. 1, esta é bastante satisfatória.

O comprimento do cilindro, isto é, a distância percorrida pelo sangue em um determinado tempo, é obtida com a medida de velocidade pelo Doppler. Se conhecemos a velocidade do sangue e o tempo em que ele permaneceu nesta velocidade, calculamos a distância percorrida simplesmente multiplicando a velocidade pelo tempo. Isto naturalmente só é verdade quando a velocidade é constante. A velocidade do sangue que é ejetado do VE é variável devido ao caráter pulsátil da circulação neste local, portanto para saber a distância percorrida é necessário integrar a curva de velocidade, ou seja, obter a área sob a curva. Como a planimetria para se obter esta área é bastante trabalhosa nos aparelhos que não dispõem de programas automáticos para isto, é possível uma avaliação grosseira supondo-se que a curva de velocidades no vaso seja semelhante a um triângulo cuja área é calculada como sendo a $2/3$ do produto de sua base pela altura.(84) Logo, a distância percorrida (em cm) é igual a $2/3$ do produto da velocidade máxima da curva (em cm/s) pelo tempo desde o início até o fim da curva (em s).

Conhecendo-se portanto a área transversa do vaso e a integral da curva de velocidades, obtemos o fluxo volumétrico (em ml) simplesmente multiplicando estas duas medidas.

Embora o débito cardíaco possa ser medido analisando o fluxo volumétrico através da mitral, ou então da tricúspide ou pulmonar, a metodologia mais difundida avalia o fluxo na raiz aórtica .(85-87)

O volume de ejeção do VE é obtido a partir de um fluxograma Doppler da raiz aórtica com o transdutor situado na região supra-esternal e apontado para a aorta ascendente ou, mais freqüentemente, com o transdutor na região apical e, com a imagem bidimensional de um corte de cinco câmaras, posicionando o volume de amostragem na região logo abaixo das cúspides aórticas, equidistante das paredes e o mais perto possível da valva aórtica. Após isto, desloca-se ligeiramente o transdutor e o volume de amostragem enquanto se escuta o sinal de áudio à procura dos sons de maior freqüência. Quando se encontra estes sons agudos e sibilantes, sabemos que estamos medindo as maiores velocidades neste local e então é feito o registro do fluxograma, tomando porém o cuidado de manter o volume de amostragem no centro da via de saída, equidistante do septo interventricular e da base do folheto anterior da mitral, local em que se encontra a velocidade média na via de saída (88). Caso o volume de amostragem esteja muito junto do septo, a velocidade medida será maior o que poderá superestimar o volume de ejeção em aproximadamente 15% (88). Este fluxograma é planimetrado ou obtém-se a integral da curva diretamente do aparelho. É importante que se faça a planimetria das velocidades máximas do espectro, isto é, pela parte externa da curva (Fig. 5.68) e não das velocidades médias que corresponde à zona central, mais densa. A razão disto é que a velocidade média pode ser influenciada por velocidades baixas quando o volume de amostragem captar também o movimento das paredes cardíacas ou da aorta.

Após o registro do fluxograma, obtém-se a área transversa do anel aórtico. A medida da área da aorta é feita em um corte paraesternal longitudinal, obtendo-se o diâmetro preferencialmente onde a aorta é mais estreita, bem no anel valvar, imediatamente abaixo da inserção das cúspides (Fig. 5.67). A razão da preferência de se medir no anel valvar se deve à reprodutibilidade desta medida, bem melhor do que nos outros locais, além da característica do perfil das velocidades nesta região como descrito abaixo. Naturalmente só é possível medir este diâmetro com o auxílio do eco bidimensional. Pelas razões já explicadas, a área transversa da aorta é deduzida pelo seu raio ($A = \pi r^2$) e não por planimetria. Não se deve utilizar a área da valva aórtica usando-se a distância entre as cúspides porque esta área não é constante em condições homodinâmicas diferentes,(89) já que modifica significativamente com o volume de ejeção do VE.

Tendo a área transversa da aorta e a integral da curva de velocidades da raiz aórtica, chega-se ao volume de ejeção do VE multiplicando estes dois valores. O débito cardíaco será igual ao volume de ejeção multiplicado pela frequência cardíaca.

A correlação entre o débito cardíaco medido pelo Doppler e aquele avaliado por termodiluição ou pelo método de Fick é muito boa (Fig. 6.18),(90,91) porém há certas limitações teóricas deste método que precisam ser conhecidas:

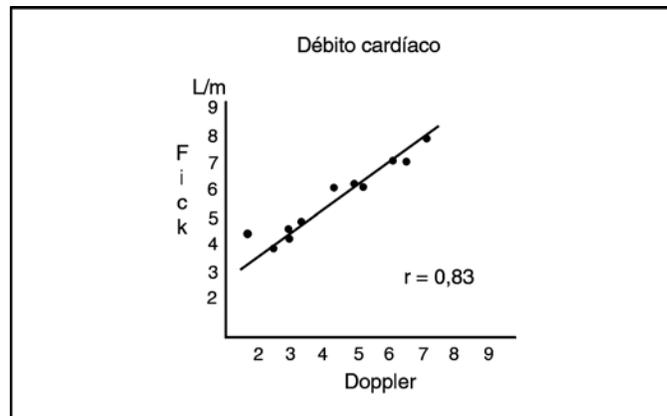


Fig. 6.18 - Correlação entre o débito cardíaco avaliado pelo Doppler e o analisado pelo método de Fick. (Magnin, P.A. *et al.* *Circulation*, 63:388, 1981).

1. Sendo a aorta uma estrutura elástica, seu diâmetro é variável durante a sístole e isto não é levado em consideração.

2. Na realidade, o anel aórtico não é perfeitamente circular e, portanto, a área pode não ser deduzível perfeitamente por πr^2 .

3. A medida certa do diâmetro aórtico é muito importante, já que no cálculo da área o raio é elevado ao quadrado, potencializando qualquer erro cometido nesta medida.

4. O perfil das velocidades na aorta não é reto. Devido à aceleração do sangue e a diminuição do diâmetro encontrado da via de saída do VE, a região do anel valvar é o local onde o perfil das velocidades é o mais reto, porém, mesmo aqui há maior velocidade de fluxo junto ao septo interventricular (88). A forma do cajado aórtico modifica este perfil de modo que há maior velocidade junto à curvatura interna na aorta ascendente e junto à curvatura externa na aorta descendente com perfil intermediário na aorta transversa.(85) A velocidade que obtemos na aorta ascendente portanto não é representativa de toda a secção transversa deste vaso, provavelmente ela é maior que a velocidade média real. A que mais representa a velocidade média é a obtida no centro da via de saída do VE (88). Devido a isto, é preferível obter o fluxo logo abaixo das cúspides aórticas e não na aorta ascendente.

5. O fluxo coronariano não é levado em consideração. Provavelmente esta não é uma causa de erro importante já que este fluxo é preferencialmente diastólico.

6. Não há como se ter certeza de que o ângulo formado entre o feixe ultra-sônico e o fluxo sangüíneo esteja em menos de 20^0 . Como sabemos, ângulos maiores levam a erros consideráveis na medida da velocidade.

Embora com todas estas limitações, a avaliação do volume de ejeção e do débito cardíaco pelo Doppler é mais fiel do que aquelas que utilizam o eco uni ou bidimensional. O erro encontrado nas medidas do débito cardíaco pelo Doppler quando comparadas com as obtidas por outros métodos (termodiluição, Fick, corantes) não é mais significativo do que o erro visto quando estes outros métodos são comparados entre si.

As limitações vistas acima não influenciam a análise de variação do débito cardíaco em um mesmo indivíduo, quer por intervenção terapêutica quer por progressão da patologia. Este método é excelente para denotar melhora ou piora do débito em um mesmo indivíduo.(90) Nesta situação o diâmetro aórtico, a dilatação sistólica da aorta, o perfil das velocidades e o ângulo feixe-fluxo, não são tão importantes, já que apresentam variações insignificantes entre duas ou mais avaliações. Assim, pode-se utilizar então apenas a integral do fluxograma aórtico para denotar modificação do débito cardíaco.

Na ausência de *shunts*, o débito cardíaco pode ser também obtido pela avaliação do volume de ejeção do VD, que é calculado medindo-se a área da câmara de saída do VD, logo abaixo das cúspides pulmonares, e a integral das velocidades nesta região (Fig. 5.69). Ao contrário do débito através da aorta na qual a área da via de saída pode ser considerada constante independente do fluxo, no cálculo do volume de ejeção do VD, em um mesmo indivíduo em

condições diferentes de fluxo, se torna necessário avaliar a área da câmara de saída em cada situação de débito, já que ela aumenta com o fluxo (92)

A avaliação do débito cardíaco utilizando-se o fluxo mitral é mais complicada(93). Os problemas relativos à esta metodologia são os seguintes: 1) o perfil das velocidades no anel mitral não aparenta ser perfeitamente reto (94). A integral das velocidades máximas, quer seja obtida no anel ou na ponta dos folhetos, superestima a velocidade média através da valva. 2) o fluxo mitral não mantém uma mesma direção durante a diástole. No início ele dirige-se para o ápice do VE, mas depois orienta-se para a parede postero-lateral(95). 3) a área e o diâmetro do anel mitral variam bastante durante a diástole, em média 26%, aumentando gradativamente durante este período(96) (Fig. 6.19). 4) o anel mitral não permanece no mesmo local espacial na diástole. Toda a base do coração retorna em direção posterior ao longo da diástole, e, portanto, a posição do volume de amostragem em relação ao anel varia constantemente. Embora haja alguns trabalhos na literatura mostrando a eficácia deste método para análise do débito, devido aos problemas relatados acima preferimos avaliar o fluxo na via de saída do VE.

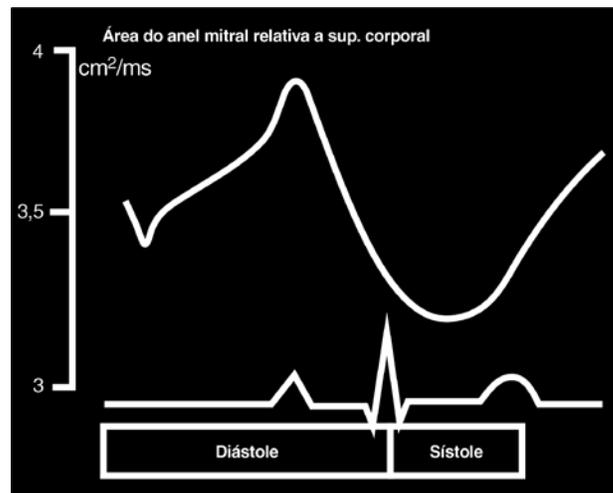


Fig. 6.19 - Variação da área do anel mitral durante um ciclo cardíaco.

Partindo-se de um exame transesofágico, é bastante difícil alinhar com o fluxo da via de saída do VE, porém o corte basal transversal que passa pelo tronco da artéria pulmonar permite um alinhamento paralelo com o fluxo pulmonar, e o débito cardíaco pode ser aí pesquisado colocando-se o volume de amostragem e obtendo-se o diâmetro arterial o mais perto possível da valva pulmonar.

Velocidade de elevação da pressão do VE

A avaliação da velocidade de elevação da pressão do VE ($\Delta P/\Delta t$) é um método capaz de analisar a função sistólica desta câmara em pacientes com

regurgitação mitral (97,98). Nesta situação, o fluxograma Doppler da regurgitação mitral é um indicador instantâneo da diferença de pressão entre o VE e o AE, assim como da velocidade com que esta diferença está se acentuando no início da sístole. Sua medida é efetuada simplesmente verificando-se o tempo necessário (em milissegundos) para a velocidade do jato de regurgitação mitral ir de 1 m/s a 3 m/s, o que corresponde ao tempo de elevação do gradiente VE-AE de 4 a 36 mmHg (Fig.6.20). Portanto:

$$\Delta P/\Delta t = \frac{36 - 4}{\Delta t} = \frac{32}{\Delta t} \cdot 1000 \text{ mmHg/s}$$

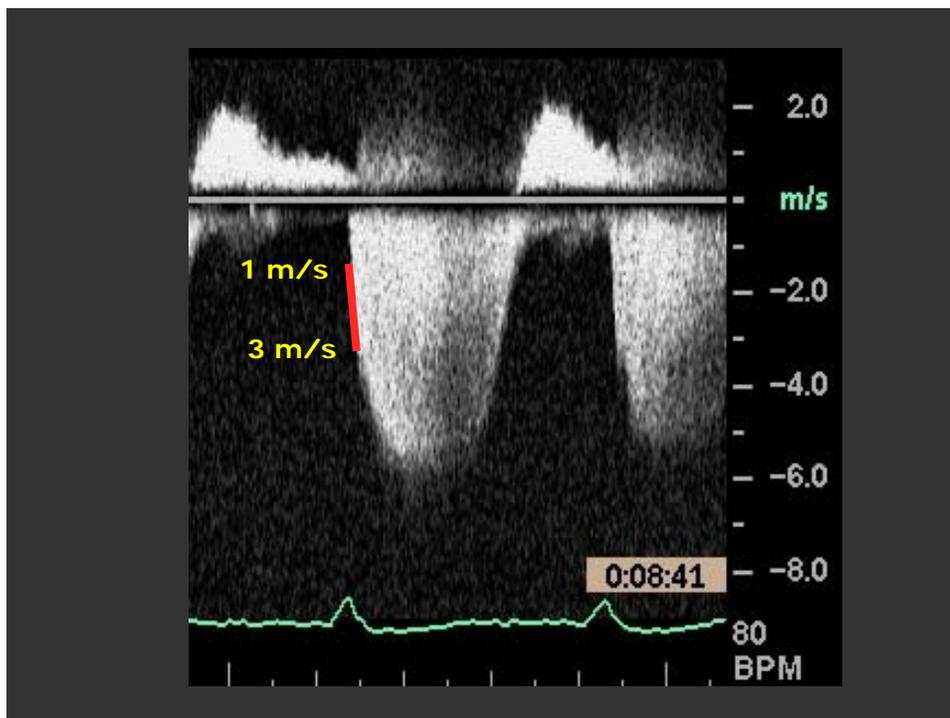


Fig. 6.20 - Cálculo do $\Delta P/\Delta t$ a partir de um fluxograma de regurgitação mitral. Calcula-se o tempo entre as velocidades de 1 m/s e 3 m/s (vide texto).

Além do estado de contratilidade do VE, o $\Delta P/\Delta t$ depende da pré-carga e da frequência cardíaca, mas não da pós-carga. Este método considera que a pressão no interior do AE não modifica significativamente durante a fase de pré-ejeção em que as velocidades da regurgitação são medidas, isto é, que o aumento do gradiente VE-AE não sofra interferência por aumento da pressão no interior do AE, sendo indicador exclusivo do aumento da pressão no VE. Esta consideração pode ser real nas regurgitações crônicas, onde o AE é grande e complacente; nas agudas, como por exemplo em casos de rotura de cordoalhas, a pressão no AE aumenta muito durante a sístole e portanto a $\Delta P/\Delta t$ medida

pelo Doppler não será uma indicadora da velocidade de elevação da pressão do VE.

Primeira derivada da pressão ventricular esquerda (dp/dt)

A dp/dt do VE pode ser estimada usando-se de uma curva de pressão ventricular construída partindo-se da curva de gradiente VE-AE em pacientes com regurgitação mitral como visto acima. Se a pressão no AE pode ser desprezada, então a derivada da elevação do gradiente é nada mais do que a dp/dt (99).

Fluxo venoso pulmonar

A onda X em um fluxo venoso pulmonar esta na dependência do relaxamento atrial, além do rebaixamento do assoalho do AE devido à tração dada pelo VE que contrai. Quando a função contrátil do VE está deteriorada, o fluxo nas veias pulmonares se modifica devido à menor tração do assoalho atrial. Frequentemente há diminuição, ou mesmo desaparecimento da onda X (100) (Fig. 6.21).

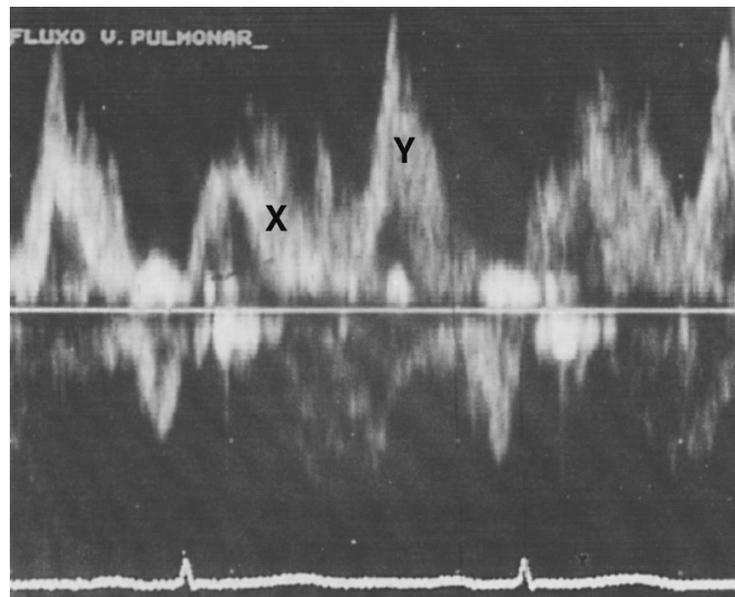


Fig. 6.21 - Diminuição da onda X em um fluxo venoso pulmonar obtido pelo eco transesofágico devido à disfunção contrátil do VE e conseqüente redução sistólica do deslocamento do assoalho do AE.