



Padrões de Hipertrofia e Geometria do Ventrículo Esquerdo pela Ecocardiografia Transtorácica

Patterns of Left Ventricular Hypertrophy and Geometry by Chest Echocardiography

Paulo Roberto Pinto Ferreira Filho¹

¹. Médico Cardiologista e Ecocardiografista do Hospital Esperança, Recife-PE, Brasil; Especialista em Cardiologia SBC e Ecocardiografia DIC/SBC.

RESUMO

A hipertrofia do ventrículo esquerdo é o aumento do seu índice de massa. Exerce valor preditivo independente na morbimortalidade, assim, sua prevenção (ou regressão) é um parâmetro importante dos objetivos terapêuticos das cardiopatias. Os padrões de geometria do ventrículo esquerdo são: normal, remodelamento concêntrico, hipertrofia concêntrica e hipertrofia excêntrica. A Fórmula Anatômica ou de Devereux é a mais recomendada para o cálculo da massa miocárdica. O índice de espessura relativa das paredes (ERP) possui 0,42 como valor do ponto de corte da normalidade. Pelos métodos lineares, o índice de massa do VE possui pontos de corte diferentes, dependendo da equação usada para o cálculo de massa: se for utilizada a fórmula de Penn, os valores normais são iguais ou abaixo de 134g/m² para homens, e 110 para mulheres. No entanto, se a massa do VE for calculada pela Fórmula Anatômica ou de Devereux, mais recomendada, os valores normais são iguais ou abaixo de 115g/m² para homens, e 95 para mulheres. Porém, pelo método bidimensional, os valores são: 102g/m² para o sexo masculino, e 88g/m² para o feminino. Quanto aos padrões de geometria do ventrículo esquerdo, há hipertrofia, quando o índice de massa exceder o normal. Será concêntrica, se a ERP for maior que 0,42 e excêntrica, se menor ou igual a esse valor. Denomina-se remodelamento concêntrico à condição na qual câmara ventricular esquerda cursa com ERP > 0,42 e índice de massa miocárdica normal.

Descritores: Hipertrofia Ventricular Esquerda, Disfunção Ventricular Esquerda, etiologia, Ventriculos do Coração/anatomia & histologia, Ecocardiografia

SUMMARY

Left ventricular hypertrophy (LVH) is the increase of the mass index. It carries predictive value independently on mortality, therefore, its prevention (or regression) is an important parameter of therapeutic goals of heart diseases. The patterns of left ventricular geometry are: normal, concentric remodeling, concentric hypertrophy and eccentric hypertrophy. The anatomical formula (Devereux's formula) is more recommended for the calculation of myocardial mass. The index of the relative wall thickness (RWT) has 0.42 as normal cutoff value. By linear methods, the mass index of the left ventricle has different cut-off points, depending on the equation used to calculate the mass: if the Penn formula is used, the normal values are equal or less than 134 g/m² for men, and 110 for women. However, if the mass of the left ventricle is calculated by the anatomic formula (Devereux), which is more recommended, the normal values index are equal or less than 115 g/m² for men and 95 for women. But, by two-dimensional method, the values are 102 g/m² for men and 88 g/m² for women. Regarding the geometric patterns of left ventricular, there is hypertrophy when the mass index exceeds the normal. It will be concentric if the RWT is greater than 0.42, and eccentric if it is less or equal to this value. It is called concentric remodeling to the condition in which the left ventricular chamber works with RWT > 0.42 and normal myocardial mass index.

Descriptors: Hypertrophy, Left Ventricular; Ventricular Dysfunction Left/etiology; Heart Ventricles/ anatomy & histology; Echocardiography

Instituição: Hospital Esperança. Recife-PE – Brasil

Correspondência: Avenida Conselheiro Rosa e Silva, nº 707, apto 3002, Aflitos 52020-220 Recife-PE – Brasil Telefone: 55 (81) 9282-5005 paulopinto@cardiol.br

Recebido em: 25/12/2011 - **Aceito em:** 26/02/2012



Introdução

A hipertrofia do ventrículo esquerdo (HVE) é definida como aumento da massa ventricular, ou do índice de massa do ventrículo esquerdo (VE), o qual é calculado corrigindo-se o valor da massa, em gramas (g), pela área de superfície corpórea, em metros quadrados (m²)¹.

A prevalência de HVE depende dos critérios de classificação e das características da população, ocorrendo desde 3% da população de normotensos, até 75%, em casos de pacientes hipertensos².

A ecocardiografia foi uma das primeiras modalidades de imagem usadas clinicamente para a determinação da massa do ventrículo esquerdo (VE). Em estudos epidemiológicos com hipertensos e doenças valvulares, a presença de hipertrofia do ventrículo esquerdo (HVE) associou-se com pior prognóstico, e a sua regressão tornou-se um objetivo da terapêutica. A massa do VE pode ser determinada por meio de diversas fórmulas ecocardiográficas³.

O aumento da massa do VE é um fator de risco importante para o desenvolvimento da queda da fração de ejeção e o surgimento de insuficiência cardíaca. Além disso, a massa do VE é um parâmetro importante dos objetivos terapêuticos do tratamento de hipertensão e insuficiência cardíaca. Com o aumento da experiência, a ecocardiografia tridimensional em tempo real será o modo padrão para a estimativa do volume e da massa do VE⁴.

A hipertrofia do ventrículo esquerdo é um parâmetro de gravidade na cardiopatia hipertensiva, de acordo com a II Diretriz Brasileira de Cardiopatia Grave da Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), definida por parâmetros de massa ventricular esquerda, acima de 163g/m² em homens, e 121g/m² em mulheres, e que não regride com o tratamento, ou disfunção ventricular esquerda sistólica, com fração de ejeção < 40% ao ecocardiograma⁵.

Além disso, a HVE exerce valor preditivo independente na morbidade e mortalidade. No estudo de Framingham, para cada 50g/m² extras na massa miocárdica, havia um risco relativo para mortalidade de 1,73, mesmo em pessoas sem doença cardiovascular. Esse risco era independente da pressão arterial, do tratamento vigente e de outros fatores de risco cardiovascular. Em concordância, uma metanálise, de 2.001, mostrou que os pacientes com aumento da massa ventricular esquerda apresentam risco, pelo menos duplicado, para evento cardiovascular e morte, independentemente, de outros fatores de risco⁶.

Estudos epidemiológicos têm verificado que indivíduos que apresentam espessamento relativo da parede miocárdica (por exemplo, remodelamento concêntrico) estão expostos a um maior risco de eventos cardiovasculares⁷. Um acompanhamento sistemático por 10 anos revelou eventos cardiovasculares de 30% em pacientes com hipertrofia concêntrica do VE, 25% naqueles com hipertrofia excêntrica, 15% nos portadores de remodelamento concêntrico e 9% nos indivíduos com massa e geometria esquerda normais⁸.

Há associação entre HVE e arritmias ventriculares complexas, possível fator predisponente de morte súbita em hipertensos, mesmo sem evidências de doença coronariana angiográfica².

A hipertrofia miocárdica é uma resposta adaptativa do coração diante da prática de exercícios físicos, ou de situações patológicas, como hipertensão arterial sistêmica (HAS), diabetes e obesidade⁹. Ou seja, a hipertrofia miocárdica surge como uma resposta adaptativa, muitas vezes inadequada, que ocorre na HAS, diabetes e obesidade, devido à sobrecarga de pressão e ou volume.

O aumento do retorno venoso, e assim da pré-carga, eleva o estresse diastólico da parede. Disso resulta um aumento dos sarcômeros em série e do raio da cavidade ventricular esquerda. O volume aumentado do VE gera aumento do estresse sistólico da parede. A espessura do VE aumenta para normalizar o efeito sistólico da parede (lei de Laplace). Essa hipertrofia é caracterizada como excêntrica.

Em hipertensos, o aumento das catecolaminas e, portanto, do débito cardíaco e da pressão arterial fazem com que haja elevação da pós-carga. O aumento do estresse da parede, nesse caso, induz ao aumento dos sarcômeros em paralelo, e conseqüente aumento da espessura das paredes. Esse aumento é bem mais significativo do que o observado na sobrecarga de volume, e essa hipertrofia é caracterizada como concêntrica².

Em outras palavras, a elevação crônica do estresse miocárdico por sobrecarga de pressão, como na hipertensão ou estenose aórtica, causa hipertrofia do miocárdio à custa de aumento do espessamento das paredes. Não há aumento marcante do tamanho total do coração, e as paredes espessadas ocupam maior parte da cavidade.

Nos casos de regurgitação mitral, o tamanho cardíaco aumenta pela dilatação das cavidades, com pouca modificação na espessura das paredes¹⁰.

Ou seja, a hipertrofia do VE é tipicamente caracte-



rizada como concêntrica, excêntrica ou fisiológica. Aumentos na massa do VE podem ocorrer com aumento das cavidades e espessuras, relativamente, normais (hipertrofia excêntrica), como as que ocorrem diante de lesões valvulares regurgitantes, ou secundária ao aumento predominante da espessura das paredes do VE, com diâmetros cavitários, relativamente normais, como observadas nas sobrecargas de pressão da hipertensão arterial sistêmica³.

Então, caracterizam-se as cardio(mio)patias:

- A miocardiopatia dilatada possui aumento da massa do VE devido à dilatação do VE com espessura normal da parede.
- A cardiopatia hipertensiva resulta em hipertrofia concêntrica do VE, na qual até a parede posterior do VE encontra-se espessada e, frequentemente com alteração do relaxamento diastólico.
- A miocardiopatia restritiva geralmente apresenta-se com hipertrofia concêntrica do VE.
- A miocardiopatia hipertrófica cursa, quase sempre, com hipertrofia do VE assimétrica. O padrão septal é o mais frequente, o apical pode passar despercebido e, mesmo nas formas atípicas, geralmente a espessura da parede posterior está preservada¹¹.

Na maioria dos casos, a HVE apresenta espessamento do septo interventricular (SIV) e da parede posterior (PP) de maneira proporcional. Em cerca de 10% dos casos, a HVE manifesta-se ao ecocardiograma como uma forma assimétrica, pelo maior espessamento do SIV, em relação à PP, sem outros estigmas de cardiomiopatia hipertrófica¹⁰.

Segundo Suaide Silva et al.², o espessamento septal desproporcional existe em 6 a 18% dos pacientes hipertensos e, em estudos isolados, houve a ocorrência em até 50% dos casos, geralmente associados com hipertensão grave e insuficiência renal. Apesar de a relação da espessura do septo/espessura da parede posterior (ES/EP) ser maior do que 1,3, os achados ecocardiográficos são diferentes daqueles apresentados por portadores de cardiomiopatia hipertrófica. A maior parte dos portadores de espessamento desproporcional do septo interventricular (SIV) não possui espessamento das demais paredes ou distribuição extensa da hipertrofia assimétrica das paredes do ventrículo esquerdo (VE), o que é característica da cardiomiopatia hipertrófica.

É possível a inclusão de estruturas do ventrículo direito (VD) que colaboram no espessamento da porção média do SIV, já que a musculatura do ventrículo direito pode estar espessada em casos de cardiopatia hiperten-

siva. A HVE no hipertenso é acompanhada por alterações da perfusão miocárdica, mesmo antes da disfunção sistólica. São elas: isquemia subendocárdica, redução da reserva do fluxo coronariano e aumento da resistência vascular coronariana².

No tocante à diferenciação da forma fisiológica e patológica da HVE, Feigenbaum et al.³ assim se expressam: Há uma forma fisiológica de hipertrofia observada em atletas de alta performance. Geralmente, corresponde a uma adaptação fisiológica à custa do crescimento proporcional de paredes e dimensão cavitária. Espessura parietal acima de 13mm é incomum em hipertrofias fisiológicas. A hipertrofia miocárdica do atleta regride de forma rápida quando a atividade física vigorosa é interrompida. A espessura parietal acima de 15mm geralmente associa-se à hipertensão importante, cardiomiopatia hipertrófica ou processo infiltrativo³.

Ainda sobre a HVE fisiológica (*o coração do atleta*), a Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), por meio de diretriz de 2.009, coloca que o treinamento físico prolongado e intenso, frequentemente, associa-se a modificações estruturais cardíacas, como aumentos da cavidade do VE, da espessura das paredes e da massa miocárdica. Duas formas morfológicas do coração de atleta podem ser distinguidas: resistência ou isotônica, e de força ou isométrica. Alguns autores focam nas formas do exercício praticado, distinguindo dinâmico, estático ou misto. Atletas de exercício dinâmico demonstram hipertrofia excêntrica do VE, sem modificação da ERP. Já em atletas de exercício estático ou isométrico é mais característica a hipertrofia concêntrica do VE, caracterizada pelo aumento da ERP. Muitos atletas praticam exercício misto e fundem padrões estáticos e dinâmicos. A função sistólica do VE mantém-se normal.

O estudo da função subendocárdica distingue a hipertrofia dos atletas e hipertensos. A velocidade sistólica do movimento do anel mitral (onda S), obtida pelo Doppler tecidual, com valor < 9,0cm/s, revela que a hipertrofia não é fisiológica. Os índices de deformação miocárdica (*strain/strain rate*) parecem ser a técnica ideal para essa diferenciação, por não estarem sujeitos ao efeito de tracionamento dos tecidos adjacentes. Trabalhos mostram que a redução do *strain* e *strain rate*, no segmento basal da parede septal, apresenta correlação direta com a pressão arterial média^{9,12}.

Alguns fatores, como idade, sexo, obesidade e raça exercem influência na determinação da massa ventricular esquerda.



Gardin et al.¹³ verificaram que, após ajustes com outras covariáveis, a idade foi associada à massa ventricular esquerda, em um estudo comunitário envolvendo 6.000 homens e mulheres acima de 65 anos¹³.

Embora os homens possuam uma massa miocárdica superior àquela mensurada em mulheres, estas têm demonstrado respostas hipertróficas mais acentuadas do que eles em sobrecargas de pressão, como, por exemplo, em casos de estenose aórtica.

A obesidade é associada à hipertrofia excêntrica do VE secundária à dilatação da cavidade.

A prevalência e a gravidade da HAS são maiores em afro-americanos, do que em brancos, assim como a presença de HVE².

De acordo com uma metanálise de 80 estudos (com 3.767 pacientes), publicada por Bombig et al.¹⁴, em artigo da Revista Brasileira de Hipertensão, no ano de 2.008, intitulado *Regressão da hipertrofia ventricular esquerda e terapia anti-hipertensiva*, a redução da HVE reduz morbimortalidade cardiovascular, e as classes de anti-hipertensivos mais eficazes em reduzir a HVE são, em ordem: bloqueadores dos receptores da angiotensina (BRA), bloqueadores dos canais de cálcio (BCa) e os inibidores da enzima conversora de angiotensina (IECA). Seguidos, com pouca regressão significativa da massa ventricular esquerda, dos diuréticos e, finalmente, os betabloqueadores (BB), destacando-se que fatores individuais, e idiopáticos também estão envolvidos com as variações da massa ventricular esquerda¹⁴.

As dimensões do VE, volumes e espessura das paredes são frequentemente estimados de modo visual. Entretanto, qualitativamente, o tamanho e as funções possuem uma variabilidade interobservador significativa. Assim, os valores quantitativos devem ser mensurados, especialmente, quando diferentes observações sugerem graus de disfunção ventricular diversos¹⁵.

Para o cálculo da massa ventricular esquerda, podemos utilizar a modalidade bidimensional (modo bi ou 2D) e o modo monodimensional (modo M). Esta modalidade permite definir melhor as bordas endocárdicas devido à melhor resolução e, por sua simplicidade, tem sido usada nos estudos epidemiológicos, em todo o mundo. O modo M parece subestimar a massa em cerca de 20g. O modo M anatômico (formação de imagens digitais de diversos planos do bidimensional) não foi ainda validado em estudos clínicos.

As dimensões do eixo curto e a espessura das paredes do VE são medidas de maneira mais acurada com a

utilização da ecocardiografia em modo M orientada por imagens em 2D. A principal vantagem da ecocardiografia em modo M é sua alta resolução temporal, que facilita o reconhecimento da mobilidade do endocárdio.

As dimensões e a espessura das paredes do VE são medidas desde a margem anterior de uma das interfaces até a margem anterior da outra interface de interesse (recomendações da Sociedade Americana de Ecocardiografia - SAE) para obter medidas com acurácia ótima¹⁶.

De maneira concordante, autores do Echo Manual, 2.006, afirmam que, no laboratório da *Mayo Foundation for Medical Education and Research*, as dimensões do VE são habitualmente realizadas pelo modo-M, guiado pelo modo bi, no nível dos músculos papilares do VE, usando o eixo curto do VE, da margem (*trailing edge*) do SIV à margem (*leading edge*) da PP.E, quando não há anormalidades regionais da contratilidade, as dimensões do VE, no nível dos músculos papilares, podem ser utilizadas para o cálculo da fração de ejeção do VE¹⁷.

Além de ter sido o primeiro método validado, as medidas derivadas do modo-M são de simples execução, embora os erros de mensuração possam ser elevados ao cubo. Distorções por angulação inapropriada do feixe ultrassônico, na obtenção das imagens, podem causar diferenças significativas no cálculo da massa miocárdica. Até mesmo mudanças de decúbito e das condições de volume circulatório podem alterar a medida da massa miocárdica².

A quantificação dos volumes do VE depende das medidas precisas dos comprimentos, dos diâmetros e das áreas das secções transversais do ventrículo, além das suposições geométricas dos modelos matemáticos. Os cortes ecocardiográficos bidimensionais, que reduzem as dimensões do VE, produzem uma subestimação do comprimento do VE; já os cortes transversais oblíquos superestimarão a área da secção transversal da câmara¹⁶.

Mathias Jr et al.¹ afirmavam, já na primeira edição de seu livro que, para obtenção das medidas lineares do VE deve-se usar a janela paraesternal, no nível da ponta das cúspides da valva mitral. E, pela maior frequência de repetição de pulsos, o modo M apresenta excelente resolução temporal e complementa o modo bi na elucidação de estruturas como trabéculas adjacentes à parede posterior (PP) ou falsos tendões próximos ao septo interventricular (SIV).

Medidas acuradas são obtidas quando há alinhamento do cursor do modo M, de forma perpendicular, em

relação ao eixo maior do VE. A medição pelo modo bidimensional evita o problema comum de imagens paraesternais oblíquas, que resultam em superestimação nas dimensões das cavidades e espessura.

Quando o ângulo entre a linha do modo M e o plano perpendicular do eixo maior do VE for maior do que 30 graus, as medidas devem ser feitas pelo modo bidimensional.

As medidas obtidas tanto pelo modo M, quanto pelo modo 2D, são definidas pela interface entre o sangue e o miocárdio, de acordo com as normas da SAE.

O diâmetro diastólico final, o sistólico final do VE e as espessuras miocárdicas são aferidos no plano paraesternal longitudinal, de maneira perpendicular ao eixo principal do ventrículo.

O final da diástole é representado pelo quadro de maior dimensão da cavidade do VE, ou imediatamente após o fechamento da valva mitral, ou pelo primeiro quadro do complexo QRS.

O final da sístole é representado pelo quadro com menor dimensão da cavidade do VE, ou àquele que precede a abertura da valva mitral¹.

Existem três convenções para a obtenção das medidas do VE, vejamos:

As recomendações iniciais (*standart* ou padrão) realizam as medições do VE no início do complexo QRS ou pico da onda R, incluindo as bordas do septo interventricular e excluindo a borda epicárdica da parede posterior. A Convenção de Penn (Universidade da Pensilvânia) desenvolveu um critério, no qual nenhuma borda endocárdica é incluída na medida das espessuras parietais, ficando consideradas como parte da cavidade ventricular esquerda. As medidas são obtidas no pico da onda R.

A Sociedade Americana de Ecocardiografia propôs outra convenção (Convenção da ASE), na qual as bordas endocárdicas são incluídas nas medidas (borda a borda). Utiliza as medidas no início do complexo QRS, sendo a convenção mais aceita e usada.

Estudos demonstraram diferença de 15% em homens e de até 18% em mulheres no cálculo da massa miocárdica pelas Convenções de Penn e ASE, com variabilidade intraobservador de 5%. Alguns autores sugerem reprodutibilidade superior com o emprego da convenção de ASE.²

A seguir, ilustrações de realizações adequadas das medidas do VE:¹⁵

O ventrículo esquerdo (VE) possui forma simétrica, com dois eixos curtos bastante semelhantes e um eixo

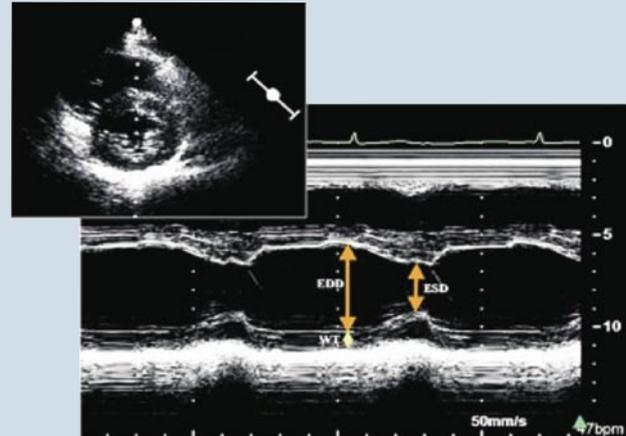


Figura 1: Diâmetros do VE e espessuras parietais são medidos no final da diástole e final da sístole pelo modo bi ou monodimensional, na janela paraesternal, eixo curto preferivelmente, em vários ciclos cardíacos. EDD= end diastolic diameter; ESD= end systolic diameter; wt= wall thickness.

Devereux et al¹⁵.

longo (da base do anel mitral até o ápice). Nos cortes longitudinais o ápice aparece discretamente arredondado. Assim, a metade apical do ventrículo é mais cilíndrica; conseqüentemente, o ventrículo parece circular nos cortes transversais.

Suposições sobre a forma do VE são utilizadas para desenvolver fórmulas do cálculo dos volumes ventriculares a partir das dimensões lineares (modo M), das áreas da secção transversal (eco bidimensional) ou dos volumes tridimensionais (3D). A geometria utilizada no cálculo dos volumes do VE varia de formas oriundas do modo M (cubo, Teichholz) mais simples, até formas cilíndricas semi-elipsoides complexas¹⁶.

Em resumo, os volumes do VE são geralmente obtidos de fórmulas que adaptam a forma daquela cavidade a figuras geométricas primárias. Métodos que calculam a massa utilizando o modo M são baseados na teoria geométrica de que o VE tem uma forma elipsoide com relação eixo longo/eixo curto de 2:1. Por meio do modo 2D, os modelos de área-comprimento e o elipsoide truncado são acurados e reproduzíveis.

A fórmula cubada para o cálculo dos volumes pode ser usada em ventrículos normais. Entretanto, à medida que o ventrículo dilata, torna-se mais esférico, isto é, o aumento nos diâmetros do eixo curto são maiores do que o aumento do comprimento da cavidade. A fórmula do cubo superestima os volumes em ventrículos dilatados².



O fator de correção de Teichholz reflete melhor o volume para ventrículos deformados¹⁸.

Para calcular o volume (V) pela fórmula cúbica eleva-se ao cubo o diâmetro do ventrículo, (V=DIVE³), em diástole e sístole, sequencialmente (volume diastólico e sistólico final).

A Fórmula de Teichholz possui um fator de correção geométrico, e pode ser utilizada em cavidades de quaisquer tamanhos:

$$V = 7 \times \text{DIVE}^3 / 2,4 + \text{DIVE}$$

Já pelo modo bidimensional, destaca-se o método de Simpson, no qual os volumes ventriculares são medidos a partir de planos ortogonais (quatro e duas câmaras), e o VE é dividido em cilindros de alturas semelhantes. A fração de ejeção é calculada para cada cilindro e a média total das frações isoladas de cada um representa a fração de ejeção global. É o meio mais adequado para cálculo dos volumes (e, portanto da fração de ejeção do VE), quando existem alterações da contratilidade segmentar ou da geometria do VE¹.

Esse método não assume uma forma geométrica predefinida para a cavidade. É o preferido para calcular os volumes. Exemplos são mostrados na sequência:^{15,17}

As ilustrações do cálculo de volume, no modo 2D, por meio de três métodos: da área-comprimento, elipsóide-truncado e biplanar dos discos (Simpson) são mostradas adiante:

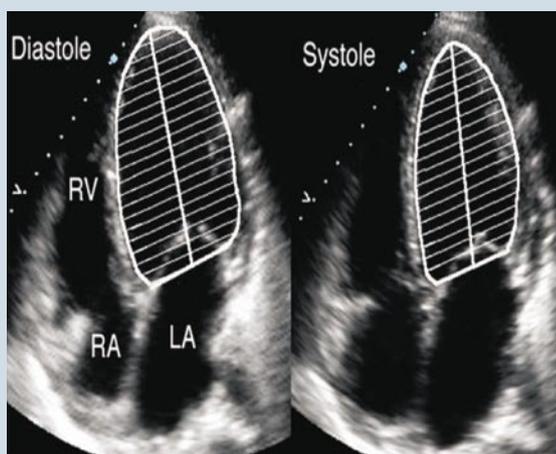


Figura 2: Volume ventricular esquerdo através do método de Simpson. RV = right ventricle; RA = right atrium; LA = left atrium

Plappert et al¹⁸.

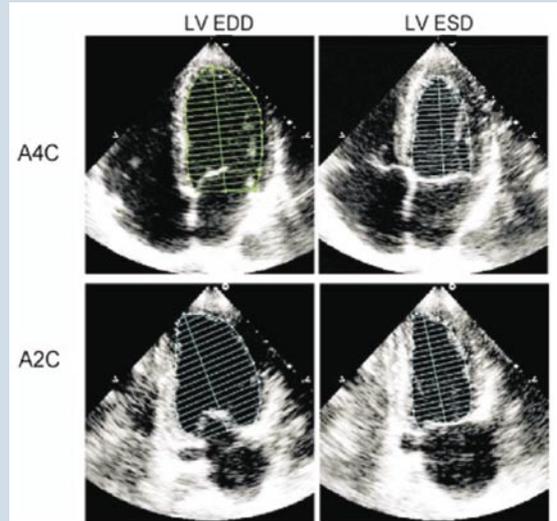


Figura 3: Medições em modo 2D para cálculos de volume usando o método biplanar dos discos (modificado da regra de Simpson) em apical quatro câmaras (A4C) e apical duas câmaras (A2C) no final da diástole e da sístole. Os músculos (mm.) papilares foram excluídos da cavidade nos traçados.

LV = Left Ventricle; EDD = End Diastolic Diameter ESD = End Systolic Diameter

Devereux et al¹⁵.

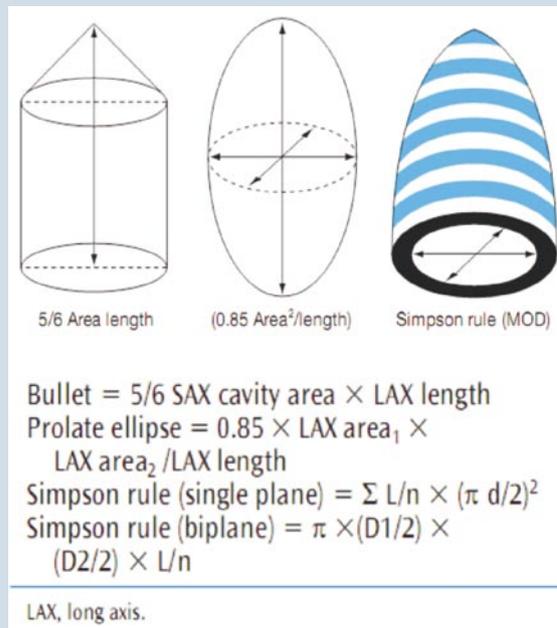


Figura 4: Cálculo de volume, no modo 2D, através de três métodos: da área-comprimento, elipsóide-truncado e biplanar dos discos (Simpson).

Plappert et al¹⁸.



Os dados tridimensionais do volume podem ser obtidos em tempo real ou com o eletrocardiograma interligado. A análise pelo ecocardiograma 3D possui maior correlação com as informações da ressonância magnética do coração, com menor variação interobservador¹⁸.

As fórmulas empregadas para o cálculo da massa miocárdica do VE são variações do mesmo princípio e, mesmo utilizando qualquer modalidade como modo M, bi ou tridimensional, o cálculo é baseado na subtração do volume da cavidade do VE do volume contido no epicárdio ventricular, a fim de se obter o volume do músculo. Esse volume resultante é então convertido em massa miocárdica, multiplicando-se pela densidade do miocárdio^{2,9}.

Desde cedo, a metodologia para a determinação da massa do VE foi baseada no modo M, com a medida da espessura do septo interventricular (ES), da parede posterior (EP) e da dimensão interna da cavidade do VE, no final da diástole (DDVE). Os cálculos do modo M assumem uma geometria ventricular predefinida, e sua acurácia diminui em situações nas quais a forma do VE é anormal^{3,11}.

A grande aceitação das medidas obtidas com o modo-M deve-se ao fato de que este método é relativamente simples e foi o primeiro validado, embora os erros de mensuração possam ser elevados ao cubo^{2,9}.

A massa do VE pode ser calculada pelo modo M, pela fórmula do cubo ou de Teichholz para os volumes. O volume da cavidade do VE é subtraído do volume da cavidade com o músculo cardíaco, e multiplicado pela gravidade específica do miocárdio (1.055g/cm³), para adquirir a massa em gramas¹⁵.

A Fórmula de Troy (a primeira utilizada) multiplica os valores obtidos pela densidade miocárdica (aproximadamente 1,05).

$$\text{Massa do VE (g)} = 1,05 \\ \{[(ES + EPP + DDVE)3 - DDVE3]\}$$

Posteriormente, surgiu a Fórmula de Penn, que empregou a Convenção de Penn, a qual foi testada e o resultado publicado em 1.981, com comprovação de necropsia, envolvendo 28 indivíduos. Nesse cálculo, o fator corretor para a gravidade específica do músculo cardíaco foi 1,04, e subtraiu-se 13,6g da fórmula anterior:

$$\text{Massa do VE (g)} = 1,04 \\ \{[(ES + EPP + DDVE)3 - DDVE3] - 13,6g\}$$

A equação proposta pela Sociedade Americana de Ecocardiografia (SAE) considera a densidade do miocár-

dio igual a 1,04 e não subtrai o valor de 13,6:

$$\text{Massa do VE (g)} = 1,04 \\ \{[(ES + EPP + DDVE)3 - DDVE3]\}$$

Devereux et al.¹⁵, em estudos envolvendo necropsia de 52 pacientes, propuseram outra equação. A Fórmula anatómica ou de Devereux passou a ser recomendada para o cálculo da massa miocárdica, e a validação com achados de necropsia atingiu boa correlação (r= 0,9). Essa equação já era a adotada pelo Manual de Ecocardiografia.

$$\text{Massa do VE (g)} = 0,8 \\ \{1,04 \{[(ES + EPP + DDVE)3 - DDVE3]\} + 0,6g\}$$

Uma determinação mais acurada da massa ventricular esquerda pode ser obtida pelo modo 2D, pois a geometria assume a forma mais parecida com a cavidade e paredes em foco, e não de uma esfera. Adicionalmente, a média das espessuras parietais não é determinada por meio de um único ponto no SIV e na PP. Essas medidas são calculadas, no modo-bi, pela obtenção das áreas ocupadas pelo endo e epicárdio, no eixo curto do VE³.

Os dois métodos para o cálculo da massa do VE, pelo modo 2D, são o da área-comprimento e o do elipsoide truncado. Ambos os métodos necessitam do eixo curto do VE, no nível dos mm Papilares e da imagem apical de quatro câmaras do VE, no final da diástole. Além disso, o volume das paredes do VE pode ser obtido pela subtração do volume intracavitário do VE (a partir do endocárdio) do volume do VE inteiro, incluindo as paredes do SIV (com o epicárdio), pelo método biplanar de Simpson. A massa miocárdica do VE é o produto desse volume resultante pela gravidade específica do músculo cardíaco, 1.04 ou 1.05g/mL. O cálculo é obtido, automaticamente, após a inclusão das variáveis, pois as fórmulas estão embutidas no *software* do equipamento ultrassonográfico.

A massa do VE pode ser estimada pelas dimensões cavitárias e espessuras das paredes do VE, como descrito acima, pelo bi ou M-mode.

Todas as medidas realizadas no final da diástole (no pico da onda R) estão em centímetros⁴.

A massa do VE pode ser determinada de maneira teórica com o uso da ecocardiografia em 2D ou em 3D. Calcula-se o volume total do ventrículo (paredes + câmara) a partir das delimitações da borda do epicárdio e, em seguida subtrai-se desse valor o volume determinado pela delimitação das bordas do endocárdio. O resultado des-



sa subtração é multiplicado pela densidade específica do miocárdio, conforme mostrado a seguir: Massa do VE = 1,06 (volume total – volume da câmara)

Mas a definição do epicárdio obtida, raramente é adequada para uso nessa abordagem. Em vez disso, calcula-se a espessura média das paredes a partir da área de secção transversal do epicárdio (A_1) e do endocárdio (A_2), obtida em um corte transversal feito no nível dos músculos papilares. Calcula-se o raio transversal b conforme mostrado a seguir: $b = \sqrt{A_2/\pi}$

Então, a espessura média das paredes t é igual a: $t = \sqrt{A_2/\pi} - b$

E a área da secção transversal do miocárdio (A_m) nesse corte transversal é $A_m = A_1 - A_2$

A massa do miocárdio é calculada a partir dessas medidas mais o comprimento L do VE, calculado desde o nível do plano transversal até a base (d) e daquele mesmo nível até o ápice (a), de tal modo que $d + a = L$. utilizando-se a fórmula da área-comprimento, tem-se:

$$\text{Massa do VE} = 1,05 \{ [5/6 A_1 (a + d + t)] - [5/6 A_2 (a + d)] \}^{18}$$

A seguir, métodos para o cálculo da massa do VE são explicados:¹⁵

Em suma, pelo modo bidimensional, os métodos validados, no documento de recomendações para quanti-

2-D LVM=5/6 x
 {[(Sax total area x (LAX cavity length + 1.0 cm)] - (SAX cavity area x LAX cavity Length)}

Figura 6: A massa ventricular esquerda (*left ventricular mass = LVM*) é calculada usando áreas a partir do corte paraesternal transversal (SAX total area) e da altura do apical em 4 câmaras (LAX cavity length).

Plappert et al¹⁸.

A_1 A_2 A_m $b = \sqrt{\frac{A_2}{\pi}}$ $t = \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} - b$
 $A_m = A_1 - A_2$

$LV \text{ Mass (AL)} = 1.05 \{ [5/6 A_1 (a + d + t)] - [5/6 A_2 (a + d)] \}$
 $LV \text{ Mass (TE)} = 1.05 \times \{ (b+t)^2 [2/3 (a+1) + d - \frac{d^2}{3(a+t)^2}] - b^2 [2/3 a + d - \frac{d^2}{3a^2}] \}$

Figura 5: Os dois métodos para a estimação da massa do VE, baseados nas fórmulas da área-comprimento e do elipsoide truncado, a partir do eixo curto (esquerda) e apical quatro câmaras (direita) com modo bidimensional, na qual A_1 é a área total do VE; A_2 , a área da cavidade do VE, A_m , a área miocárdica, a é o maior ou semimaior eixo do mais amplo raio axial menor até o ápex, b é o raio do eixo curto (calculado previamente pela área da cavidade do eixo curto) e d é eixo semimaior truncado do mais amplo diâmetro do eixo curto até o plano do anel mitral. Assumindo área circular, o raio (b) é computado e a espessura média das paredes (t) derivada do epicárdio do eixo curto e áreas cavitár.

Devereux et al¹⁵.

figação do VE da SAE, em conjunto com a Sociedade Europeia de Cardiologia, para a medida da massa miocárdica, são baseados na fórmula área-comprimento e no modelo do elipsoide truncado.

Durante a execução do exame, recomenda-se seguir alguns cuidados: reduzir a translação do coração, ao máximo, obtendo as imagens com o paciente no final da expiração; ajustar as imagens na profundidade mínima necessária, utilizar a frequência mais alta do transdutor, segunda harmônica e colorização das imagens, evitando encurtar a região do ápice e favorecer a visualização das bordas endocárdicas.

A fórmula da massa do VE pela área-comprimento é:

Massa do VE (g) = 1,05
{[5/6 A1 (a + d + t)] - [5/6 A2 (a + d)]}

Pelo método do elipsoide truncado é:



$$\text{Massa do VE (g)} = 1,05 \{ (b+t)^2 [2/3 (a+1) + d - d3/3(a+t)^2] - b2 [2/3 (a+d) - d3/32] \}$$

Diante de anormalidades regionais extensas da parede do VE, como, por exemplo, áreas fibróticas secundárias a múltiplos infartos, o método de Simpson pode ser utilizado, embora ele seja dependente da definição adequada do endocárdio e epicárdio do VE, o que pode ser considerado fator limitante. A maioria dos ecocardiografistas obtém essa medida no final da diástole e exclui os músculos papilares do traçado da área miocárdica.

A avaliação da massa miocárdica pelo exame transesofágico apresenta alta acurácia e as medidas das paredes obtidas dessa técnica são superiores, em média, 6g/m² em relação às obtidas na técnica transtorácica².

As imagens harmônicas em 3D são as mais acuradas para a determinação do volume e da massa do VE⁴.

Para a indexação da massa ventricular esquerda com a área da superfície corporal, os relatórios necessitam do sexo, peso e altura do paciente. A fórmula de Dubois & Dubois pode ser empregada:¹

$$\text{ASC (m}^2\text{)} = (0,0001) \times (71,74) \times [\text{peso (Kg)}]^{0,425} \times [\text{altura (cm)}]^{0,725}$$

A correção da massa do VE com a superfície corporal, pela fórmula de Dubois, reduz a variabilidade para o tamanho corporal e para o sexo. Levy et al.¹⁹ e Ganau et al.²⁰ propuseram correções baseadas apenas na altura, permitindo avaliar corretamente obesos hipertensos, já que o índice de superfície corpórea subestima os valores diante do sobrepeso.

São utilizados índices de análise do padrão das hipertrofias, pois a geometria e o tipo de hipertrofia fornecem informações acerca da fisiopatologia da doença e sobre o prognóstico, que são independentes da medida absoluta da massa miocárdica. Salienta-se que a medida isolada da massa do VE também é um preditor importante de eventos cardiovasculares.

Vejam alguns índices para avaliação das hipertrofias:

- Índice de espessura relativa da parede;
Valor normal (VN): 0,34 ± 0,07 (homens) e 0,35 ± 0,08 (mulheres).
- Relação volume diastólico final do VE / massa miocárdica total.

- Espessamento relativo da parede do VE em diástole representa a relação entre o raio da cavidade do VE e a espessura diastólica da parede posterior: VN: 3 ± 0,7

A relação da espessura das paredes do VE com o diâmetro dessa cavidade é uma reconhecida medida de hipertrofia.

O índice de espessura relativa da parede (ERP) é o mais utilizado e diferentes pesquisadores demonstraram que, no VE normal ou compensado, a ERP aumenta em proporção direta à elevação da pressão arterial sistólica, constituindo o que se chama hipertrofia apropriada ou adaptada^{2,9}.

A disfunção sistólica associa-se a menor valor do espessamento relativo da parede; já a sobrecarga crônica de pressão resulta em aumento da espessura da parede com pouca modificação do raio da câmara (portanto, maior ERP).

Como calcular matematicamente a ERP? Segundo a maior parte dos autores^{1,9,15,16,18}, o índice é o resultado do dobro da espessura da parede posterior, dividido pelo valor do diâmetro diastólico do VE:

$$\text{ERP} = 2\text{EP} / \text{DDVE}$$

A ERP pode ainda ser obtida, com menos recomendações, pelo resultado da divisão entre o valor da soma da ES com a EPP pelo DDVE:

$$\text{ERP} = \text{ES} + \text{EP} / \text{DDVE}$$

O índice de espessura relativa da parede (ERP) pode ser medido, principalmente por duas vezes a parede posterior do VE dividido por diâmetro diastólico do VE, ou septo interventricular + parede posterior do VE dividido por diâmetro diastólico do VE. É recomendável utilizar a medida da parede posterior do VE, já que a assimetria septal pode ocorrer em número relativamente alto de pacientes².

Finalmente, calculada a ERP, que valores adotar como normais?

Feigenbaum et al.³ afirmam que a ERP >0,45 representa um marcador para hipertrofia patológica do VE.³

De forma concordante, oriundo de Devereux et al.¹⁵, Ganau et al.²⁰, lemos:

O ponto de corte para considerar que a ERP está aumentada é 0,44 ou 0,45 de forma independente da fórmula empregada para seu cálculo^{2,9}.



No entanto, os comitês da SAE e da Sociedade Europeia de Ecocardiografia sugeriram 0,42 como ponto de corte¹⁵.

Analogamente, *The Echocardiographers' Guide* registra: "se a ERP for maior que 0.42 define o diagnóstico de hipertrofia por sobrecarga de pressão."¹⁸ (Tradução do autor).

Mathias Jr et al.¹ colocam o valor normal como igual ou inferior a 0,425¹.

Quanto à determinação dos pontos de corte, considera-se a massa miocárdica do VE uma variável biológica distribuída em curvas normais ou distorcidas. Há o diagnóstico de HVE, nos casos que estão no extremo direito de distribuição, como naqueles além de dois desvios padrão em uma amostra de indivíduos normais².

Limites de referência e padrões de geometria do VE são expostos a seguir:³ (Tabela 1 e Figura 7)

Observemos em diretriz:⁹

todos lineares, encontram-se nas tabelas a seguir:⁹ (Tabelas 2 e 3)

"É considerado normal o índice de massa ventricular

Tabela 2: Limites de referência pelos métodos lineares.

Sexo	Convenção ASE (Fórmula de Penn) Valores normais		Convenção ASE (Fórmula de Devereux ou anatômica) Valores normais	
	MVE	IMVE	MVE	IMVE
Masculino	≤ 294 g	≤ 134 g/m ²	≤ 224 g	≤ 115 g/m ²
Feminino	≤ 198 g	≤ 110 g/m ²	≤ 162 g	≤ 95 g/m ²

ASE - Sociedade Americana de Ecocardiografia; IMVE - Índice de massa ventricular esquerda; MVE - Massa ventricular esquerda.

Camarozano et al.⁹.

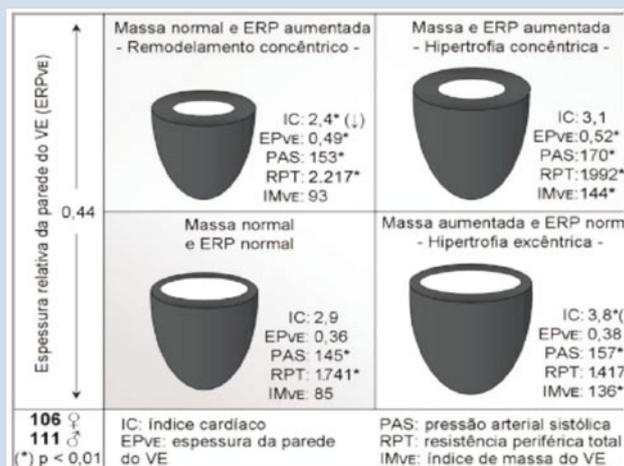
Tabela 1: Representação esquemática da geometria normal e diferentes padrões de HVE. M = mulher / H = homem

Padrão Geométrico	Índice de Massa VE	ERP
Normal	Normal	Normal
Remodelamento Concêntrico	≤ 100 (M) ≤ 131 (H)	≥ 0,45
Hipertrofia Concêntrica	> 100 (M) > 131 (H)	≥ 0,45
Hipertrofia Excêntrica	> 100 (M) > 131 (H)	< 0,45

Feigenbaum et al.³.

Porém, os limites de referência mais atuais, pelos mé-

Figura 7: Espessura relativa da parede do VE. Pacientes com massa ventricular normal podem apresentar remodelamento concêntrico ou geometria normal, enquanto pacientes com aumento da massa apresentam hipertrofia concêntrica ou excêntrica.



Feigenbaum et al.³.



Tabela 3: Valores de referência para massa ventricular esquerda do VE em método linear (modo-M). VE= ventrículo esquerdo / SC= superfície corpórea

		Valor Referências	Aumento Discreto	Aumento moderado	Aumento importante
Homens	Massa VE (g)	88 – 224	225 – 258	259 - 292	>292
	Massa / SC g/m ²	49 – 115	116 – 131	132 - 148	> 148
Mulheres	Massa VE (g)	67 – 162	163 – 186	187 - 210	> 210
	Massa / SC g/m ²	43 – 95	96 – 108	109 - 121	> 122

Suaide Silva et al.²

Tabela 4: Referência para o método bidimensional – limites e valores para a massa e a geometria do VE. VE= ventrículo esquerdo / SC= superfície corpórea

		Valor Referências	Aumento Discreto	Aumento moderado	Aumento importante
Homens	Massa VE (g)	96 - 200	201 – 227	228 - 254	>254
	Massa / SC g/m ²	50 - 102	103 – 116	117 - 130	> 130
Mulheres	Massa VE (g)	66 - 150	151 - 171	172 - 182	>192
	Massa / SC g/m ²	44 - 88	89 – 100	101 - 112	>112

Devereux et al.¹⁵

menor ou igual a 95 em mulheres, ou 115g/m² em homens. Acima desses valores é considerado que o indivíduo apresenta hipertrofia ventricular¹.

Otto C Schuwaegler¹¹ em sua publicação, aceita os referidos valores para a massa do VE pelo método 2D, e registra:

Homens= 96 a 200g.

Mulheres= 66 a 150g.

Índice de massa do VE (massa do VE pelo método 2D indexada à superfície corpórea):

Homens = 50 a 102g/m²

Mulheres = 44 a 88g/m²¹¹

Então, para o método bidimensional temos:¹⁵ (Tabela 4)

E, de modo esquemático e simples, observamos uma ilustração do documento ASE de 2.005, que resume esse assunto: (Figura 8)

Pacientes com massa ventricular normal podem apresentar tanto remodelamento concêntrico (se a ERP > 0,42), quanto, geometria normal (ERP ≤ 0,42).

Pacientes com aumento da massa do VE podem apresentar hipertrofia de padrão concêntrico (ERP > 0,42) ou excêntrico (ERP ≤ 0,42). Esses parâmetros são adequados para as medições lineares¹⁵.

Nesta pesquisa, o padrão de hipertrofia mista do VE não foi encontrado. Na prática é referido diante do VE com aumento da massa à custa tanto do aumento dos diâmetros cavitários, quanto da espessura das paredes. Porém, foi revisado que o volume aumentado do VE, nas hipertrofias excêntricas, gera aumento do estresse sistólico da parede. E a espessura do VE aumenta para normalizar o efeito sistólico da parede (Lei de Laplace).

Percebe-se maior coerência no cálculo da ERP pela soma das espessuras do septo interventricular e da pa-

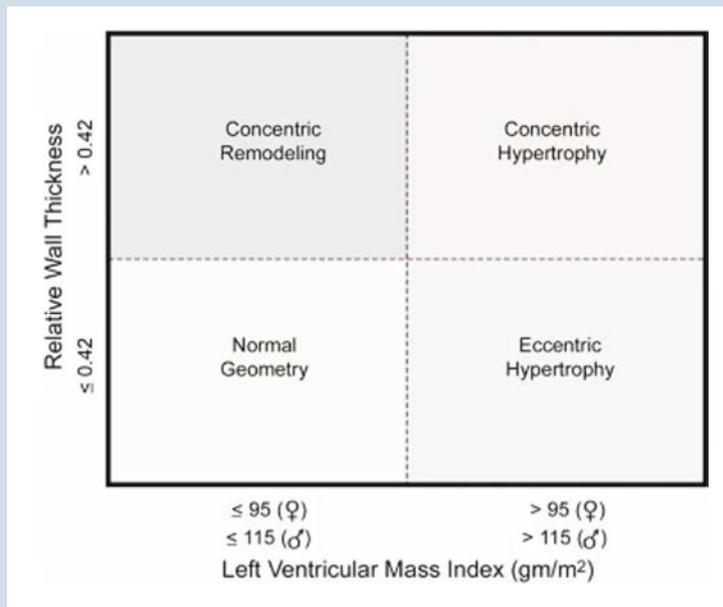


Figura 8: Quadro esquemático sobre os padrões de hipertrofia e geometria ventricular esquerda.

Devereux et al.¹⁵

de 2.005, provavelmente, contém a Fórmula de Penn. Quanto aos mais modernos, talvez a solução seja a informação direta do fabricante, representante ou *application* da máquina. Ou, a realização do cálculo matemático pelo próprio ecocardiografista em um *exame de teste* e sua posterior reprogramação.

Referências

1. Mathias Jr.W. Manual de ecocardiografia. Barueri(SP): Manole; 2007. p. 39-43.
2. Suaide Silva CE. Ecocardiografia, princípios e aplicação prática. Rio de Janeiro: Revinter; 2007. p.727-42.
3. Feigenbaum H, Armstrong WF, Ryan T. Feigenbaum's Echocardiography. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.p.139-80.
4. Oh JK, Seward, JB, Tajik, A.J. The Echo

rede posterior do VE dividido pelo diâmetro diastólico do VE, pois a HVE, com espessamento septal desproporcional (com preservação da parede posterior), poderia ser incoerentemente classificada como excêntrica, caso a ERP fosse calculada por $2EP/DDVE$ (seria inferior a 0,42).

Em toda a revisão foi encontrada a denominação da *parede posterior*, apesar de que, segundo a última publicação sobre a nomenclatura dos segmentos regionais do VE (ASE 2005), aquela recebe a alcunha de *parede inferolateral*.

Importante destacar que os valores adotados para a determinação de HVE não dependem da escolha ou preferência do examinador, e sim da fórmula embutida no *software* para o cálculo da massa do VE no aparelho de ecocardiografia ou no sistema de laudo! Assim, admitindo que as medidas sejam feitas de acordo com as publicações da ASE de 2005, se a massa foi obtida a partir da Equação de Penn, os valores são os clássicos 134 e 110, e se foi calculada pela Fórmula Anatômica ou de Devereux, mais recomendada, os pontos de corte são os novos 115 e 95g/m², para homens e mulheres, respectivamente. Então, como saber a fórmula utilizada para o cálculo da massa do VE? Equipamentos e *softwares* lançados antes

- Manual. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006. p. 110-9.
5. Dutra OP, Besser HW, Tridapalli H, Leiria TLL; Sociedade Brasileira de Cardiologia. II Diretriz brasileira de cardiopatia grave. Arq Bras Cardiol. 2006;**87**(2):223-32.
6. Vakili BA, Okin PM, Devereux RB. Prognostic implications of left ventricular hypertrophy. Am Heart J. 2001;**141**(3):334-41.
7. Verdecchia P. Adverse prognosis significance of concentric remodeling of the left ventricle in hypertensive patients with normal ventricular mass. J Am Coll Cardiol. 1995;**25**(4):871-8.
8. Koren MJ, Devereux RB. Relation of left ventricular mass and geometry to morbidity and mortality in uncomplicated essential hypertension. Ann Intern Med. 1991;**114**(5):345-52.
9. Camarozano A, Rabischoffsky A, Maciel BC, Brindeiro Filho D, Horowitz ES, Pena JLB, et al.; Sociedade Brasileira de Cardiologia. Diretrizes das indicações da ecocardiografia. Arq Bras Cardiol. 2009;**93**(6 -supl 3):e265-e302.
10. Kisslo JA, Adams DB, Leech GI. Essentials of echocardiography :learn the basics – heart muscle disease. California:University of California/ Medi Cine Productions; 1988.
11. Otto CM, Schuwaegler RG. Ecocardiografia : guia essencial. Rio de Janeiro: Elsevier; 2009.
12. Baltabaeva A, Marciniak M, Bijmens B, Moggridge J, He FJ, Antonios T F, et al. Regional left ventricular deformation and geometry analysis provides insights in myocardial remodelling in mild to moderate hypertension. Eur J Echocardiogr. 2008;**9**(4):501-8.
13. Gardin JM, Arnould A, Gottdiener JU, Wong ND, Fried LP, Klopferstein HS, et al.. Left ventricular mass in the elderly. The Cardiovascular Health Study. Hypertension. 1997;**29**(5) :1095-103.
14. Bombig P, Povoia R.. Regressão da hipertrofia ventricular esquerda e a terapia anti-hipertensiva. Rev Bras Hipertens. 2008;**15**(2):90-3.



15. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellika PA, et al. Recommendations for Chamber Quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, Developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a Branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr.* 2005;**18**(12):1440-63.
16. Otto CM. Fundamentos de ecocardiografia clínica. Rio de Janeiro: Elsevier; 2005. p. 115-43.
17. Oh J K, Seward JB, Tajik A. The Echo Manual. 3rd.ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 2006. p.110-9.
18. Martin G, Sutton SJ, Plappert T. The Echocardiographers' guide. London: Informa Healthcare; 2006. p. 35-42.
19. Levy D, Garrison RJ, Savage DD, Kannel WB, Castelli WP. Prognostic implications of echocardiographically determined left ventricular Mass in the Framingham Health Study. *N Eng J Med.* 1990;**322**:1551-66.
20. Ganau A, Devereux RB, Roman MJ, de Simone G, Pickering TG, Saba PS, et al. Patterns of left ventricular hypertrophy and geometric remodeling in essential hypertension. *J Am Coll Cardiol.* 1992;**19**(7):1550-8.