

CAPÍTULO 5

Ecocardiograma Doppler Normal

Na maioria dos aparelhos de ecocardiografia Doppler existentes atualmente, a investigação do fluxo sanguíneo é feita com o auxílio de uma imagem ecocardiográfica bidimensional para melhor posicionamento do volume de amostragem do Doppler pulsátil. O local onde está sendo obtido o volume de amostragem é indicado na imagem bidimensional como um marco situado ao longo da linha de um cursor. Este marco pode ser posicionado em qualquer local da imagem, quer por deslocamento em profundidade ao longo da linha do cursor, quer por movimento em lateralidade de toda a linha. Embora o Doppler possa ser realizado com apenas o sinal de áudio ou com o ecocardiograma unidimensional servindo como guia, a disponibilidade de um eco bidimensional muito facilita a obtenção do registro do fluxo em questão.

Notem que para se ter a melhor imagem ecocardiográfica uni ou bidimensional é necessário que o feixe ultra-sônico esteja perpendicular às estruturas demonstradas, enquanto que o melhor registro de fluxo pelo Doppler é aquele em que o feixe está paralelo à direção do fluxo. Naturalmente, nem sempre a posição do transdutor para se obter a melhor imagem ecocardiográfica é também a melhor para se obter o fluxo.

Deve-se colocar o volume de amostragem o mais paralelo possível à direção provável do fluxo sanguíneo no local investigado. Esta direção provável é inferida pela imagem bidimensional. Por exemplo, se desejarmos estudar o fluxo na raiz aórtica, obtemos uma imagem bidimensional desta região pela via supra-esternal e colocamos o volume de amostragem no interior da luz da aorta ascendente, equidistante e paralelo às paredes da artéria, local onde se supõe não apenas que esteja o maior fluxo como também que a direção do fluxo esteja paralela ao feixe ultra-sônico (Fig. 5.1). Reparem que a melhor imagem da raiz aórtica se obtém com o transdutor na região para-esternal, porém, nesta situação, o feixe está perpendicular à direção provável do fluxo sanguíneo no interior do vaso e, portanto, não serviria para a realização do Doppler.

A imagem bidimensional apenas nos oferece a localização das estruturas anatômicas por onde passa o fluxo sanguíneo. A velocidade máxima deste fluxo nem sempre está onde suspeitamos que esteja pelo eco bidimensional, logo, após o posicionamento inicial do volume de amostragem guiado pelo eco bidimensional, é necessário reposicioná-lo tendo agora como guia o sinal de áudio ou o próprio registro do Doppler, a fim de captar a maior velocidade do fluxo.

O tamanho do volume de amostragem pode ser modificado, não devendo ser tão grande a ponto de incluir movimento das paredes adjacentes ou fluxo de uma região contígua à examinada, nem tão pequeno que torne difícil a localização de um jato de alta velocidade.

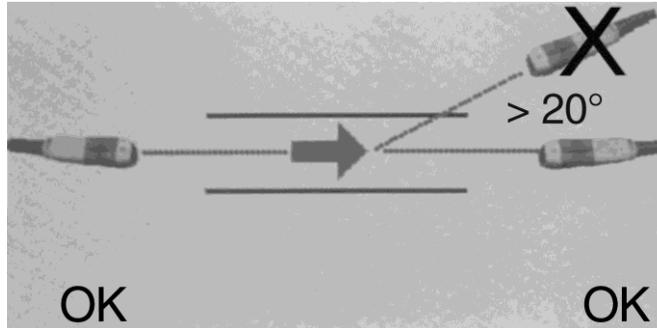


Fig. 5.1 - O feixe ultra-sônico deve ficar ao longo da direção presumível do fluxo que se deseja investigar, ou no máximo com um ângulo menor que 20 graus deste.

Rotineiramente o Doppler pulsátil é realizado. Quando a velocidade do fluxo está além da capacidade de análise deste método, muda-se para o Doppler contínuo.

O fluxograma Doppler, isto é, o registro das curvas de velocidade de fluxo, pode ser feito em papel contínuo como o eco unidimensional, ou pode ser fotografado diretamente da tela do monitor, após congelamento da imagem. Junto ao fluxograma está uma derivação eletrocardiográfica para referência do ciclo cardíaco. Há também escalas de tempo (no sentido horizontal) e velocidade (no sentido vertical) incluídas no traçado.

Como visto no Cap. 1, quando o fluxo se faz em direção ao local onde se situa o transdutor, sua demonstração no fluxograma Doppler será um registro que está acima do eixo horizontal indicativo de fluxo zero. Quando a direção do fluxo se afasta do transdutor, sua demonstração está abaixo do eixo horizontal. Quanto maior a velocidade mais o registro se afasta do eixo horizontal, quer acima ou abaixo dele. Quando o fluxo é laminar, o registro é formado por uma faixa estreita de pontos, sem muita dispersão. Havendo turbulência do fluxo sanguíneo há alargamento desta faixa com maior dispersão dos pontos.

Este capítulo mostra as características normais do fluxo sanguíneo através das valvas, cavidades cardíacas, artérias e veias proximais ao coração.(1-9)

FLUXO MITRAL

O melhor fluxo mitral se consegue com o transdutor no ápice do VE,

tendo um corte apical de quatro câmaras ao eco bidimensional como referência. O volume de amostragem é colocado na cavidade ventricular esquerda, junto à borda livre dos folhetos da valva mitral, no meio e anterior ao seu plano de abertura (Fig. 5.2). Nesta situação, quando a valva se abre e o sangue sai do AE para o VE, o fluxo se faz em direção ao transdutor.

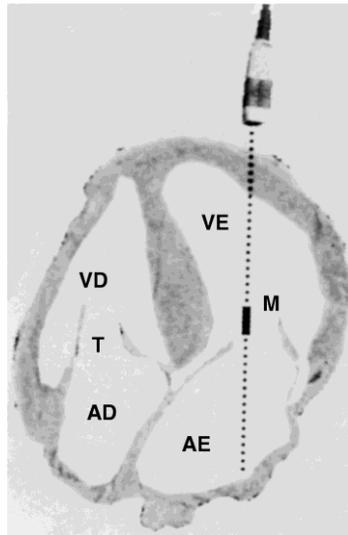


Fig. 5.2 - O fluxo mitral é melhor demonstrado partindo-se de um corte apical de quatro câmaras em que se posiciona o volume de amostragem bem anterior aos folhetos mitraes, de modo que fique no interior da cavidade ventricular esquerda, na frente e no meio do orifício mitral.

O fluxo mitral normal apresenta dois picos durante a diástole, o que configura um M (Fig. 5.3). O primeiro pico mostra a velocidade do fluxo na protodiástole, durante a fase de enchimento rápido e passivo do VE que ocorre logo após a abertura da valva. Este pico é chamado de **onda E**. O segundo pico é telediastólico e corresponde ao aumento da velocidade de fluxo após a contração atrial esquerda, sendo chamado de **onda A**. Naturalmente a onda A desaparece na fibrilação atrial.

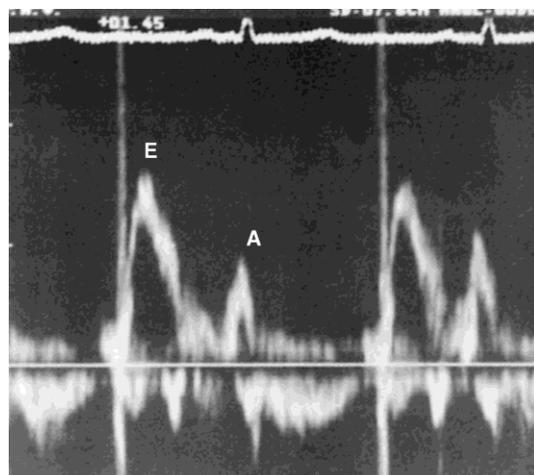


Fig. 5.3 - O fluxo mitral normal é formado por dois picos de velocidades diastólicas. A onda E se deve ao fluxo durante a fase de enchimento rápido do VE e a onda A ao aumento do fluxo transmitral que ocorre com a contração atrial. Note que a onda E normalmente é maior que a onda A.

Em condições normais, com o volume de amostragem situado na ponta dos folhetos, a onda E é maior do que a onda A. À medida que o volume de amostragem é colocado mais posteriormente, no plano do orifício mitral, a onda E e a A diminuem, porém, a redução da onda E é maior que a da A de modo que pode haver inversão do tamanho das ondas neste plano (10) como mostra a Fig. 5.4.

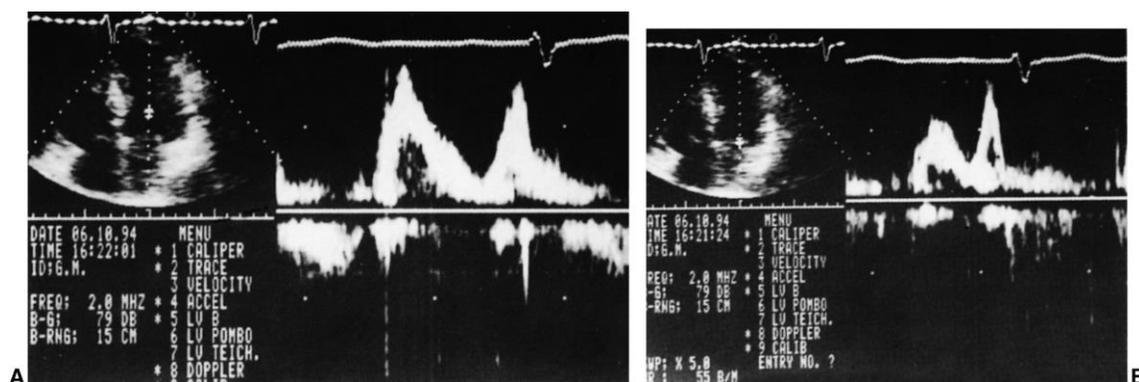


Fig. 5.4 - (A) A investigação mais fiel do fluxo mitral é dada quando o volume de amostragem estiver na ponta dos folhetos quando aberto, ou seja, no interior do VE em frente à mitral. Nesta posição a onda E é maior que a onda A nos normais. (B) Quando o volume de amostragem estiver no plano ou atrás do anel, a onda E pode ser menor que a onda A.

A onda E diminui com a idade enquanto que a onda A aumenta.(7) Isto se deve à diminuição do relaxamento do VE nos mais velhos. Uma maior frequência cardíaca não altera significativamente a onda E porém

aumenta progressivamente a onda A, (11-12) já que a redução do tempo diastólico resulta em um esvaziamento menor do átrio antes da contração atrial e conseqüente maior volume deslocado com esta contração. Um aumento do segmento PR também produz aumento da onda A com redução porém da onda E (13).

Dependendo da posição do volume de amostragem pode-se captar a abertura e o fechamento dos folhetos que surgem como um sinal de alta amplitude dando um som característico, como um estalo, no momento que um dos folhetos passa pelo volume de amostragem (Fig. 5.5). Quando este volume está mais para o interior do VE, apenas o fluxo sangüíneo é notado, sem estalos valvares. Chegando mais junto à mitral, percebe-se também o movimento de abertura da valva com a produção de um sinal de grande amplitude bem no início do fluxo da onda. E (Fig. 5.5A). Aproximando-se mais ainda em direção à mitral nota-se, além do movimento de abertura, o de fechamento, após a onda A (Fig. 5.5B), indicando que o volume de amostragem encontra-se no plano valvar. Se o volume de amostragem estiver mais posterior ao plano do orifício mitral, além do fluxo apenas o movimento de fechamento será demonstrado (Fig. 5.5C).

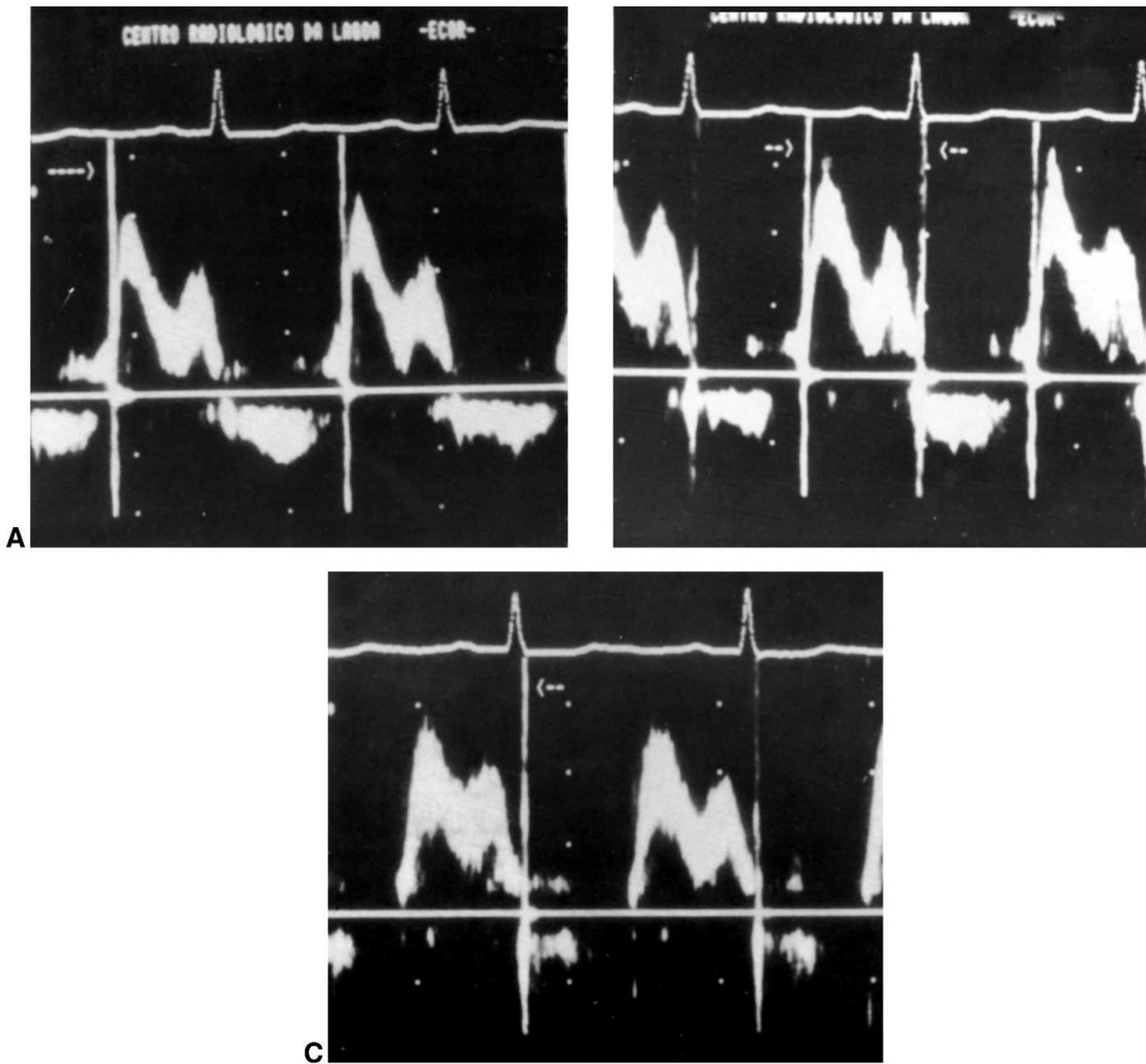


Fig. 5.5 - Fluxo mitral normal com estalido devido à passagem dos folhetos mitraes pela região do volume de amostragem. Em *A*, o volume de amostragem está na frente da valva e apenas o estalido de abertura é demonstrado. Em *B*, ele se encontra bem no plano valvar havendo registro de um estalido de abertura e de fechamento. Em *C*, com o volume de amostragem dentro do AE, atrás da mitral, apenas o estalido de fechamento é visto.

Durante a sístole, não se nota nenhum fluxo importante normalmente nesta região, exceto por velocidades bastante lentas em direção posterior que correspondem àquela pequena porção de sangue que se desloca para fechar a valva (Fig. 5.6), porém, modificando-se o volume de amostragem levemente em direção mediana e anterior registra-se fluxo da via de saída do VE com direção

sistólica posterior, negativa (Fig. 5.7), o que poderia simular uma anormalidade no fluxo mitral.

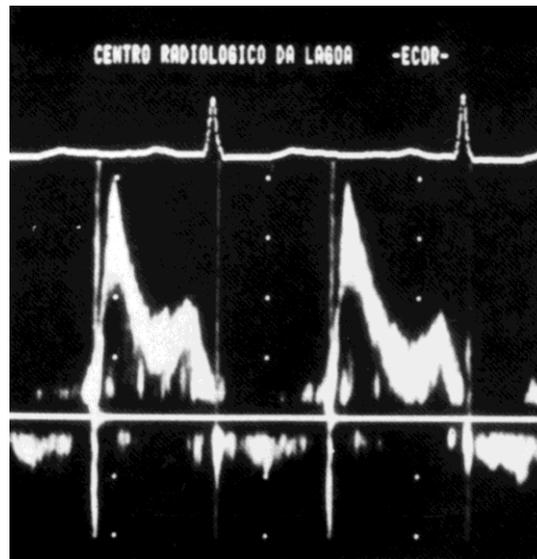


Fig. 5.6 - Fluxo mitral normal. Durante a sístole notam-se discretas velocidades em direção posterior que correspondem ao pequeno fluxo sangüíneo que se desloca para fechar a valva.

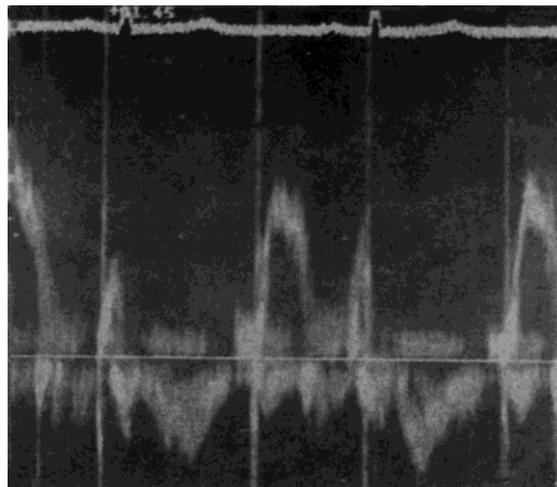


Fig. 5.7 - Fluxo mitral normal sendo demonstrado simultaneamente com o fluxo de via de saída do VE. Durante a sístole nota-se fluxo em direção posterior que se deve ao sangue saindo em direção à aorta.

O fluxo mitral pode ser também obtido através de um eco transesofágico, geralmente com a imagem de quatro câmaras, onde o volume de amostragem é colocado dentro do VE, na ponta dos folhetos (Fig. 5.8).

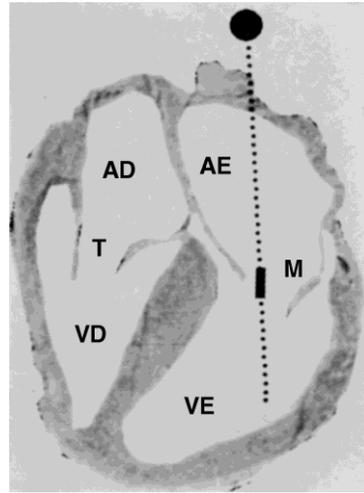


Fig. 5.8 - Posição do volume de amostragem para a avaliação do fluxo mitral ao eco transesofágico.

O fluxograma aí analisado é semelhante ao encontrado através de um corte apical do eco transtorácico, exceto, obviamente, por ter os sentidos invertidos (Fig. 5.9).

A velocidade máxima do fluxo mitral está entre 0,4 - 1,3 m/s não sofrendo variação respiratória importante.(5)

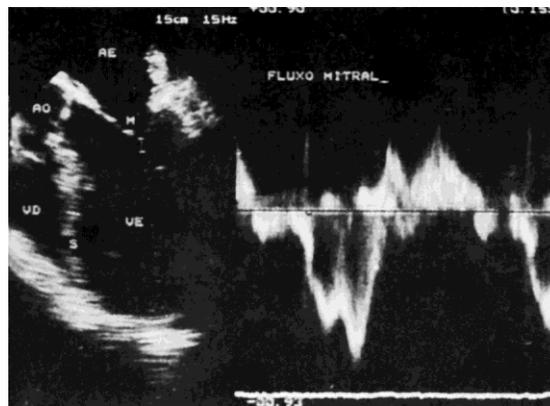


Fig. 5.9 - Fluxo mitral ao eco transesofágico.

FLUXO TRICÚSPIDE

Para detectar o fluxo tricúspide, o transdutor deverá estar localizado preferencialmente no ápice, tendo portanto o corte bidimensional apical de quatro câmaras como referência e colocando-se o volume de amostragem na cavidade ventricular direita, em frente ao plano de abertura dos folhetos tricúspides (Fig. 5.10). É possível também registrar este fluxo utilizando-se o corte transverso da base, ou mesmo o corte paraesternal longitudinal das cavidades direitas, posicionando o volume de amostragem em frente à tricúspide.

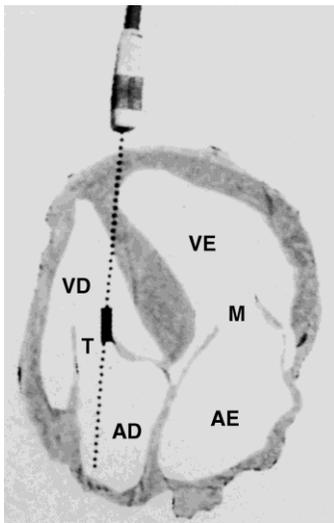


Fig. 5.10 - Posição do volume de amostragem para a análise do fluxo da valva tricúspide. A partir de um corte apical de quatro câmaras, coloca-se o volume de amostragem no interior da cavidade ventricular direita, bem em frente aos folhetos da valva.

Semelhante à mitral, o fluxo tricúspide tem a forma de um M (Fig. 5.11), sendo também constituído de duas ondas positivas durante a diástole com nenhum ou pouco fluxo durante a sístole. A onda E tem maior amplitude e corresponde à velocidade do fluxo através da tricúspide durante a fase de enchimento rápido, passivo, do VD. A onda A, mais tardia, mostra o aumento da velocidade do fluxo que ocorre com a contração atrial direita.

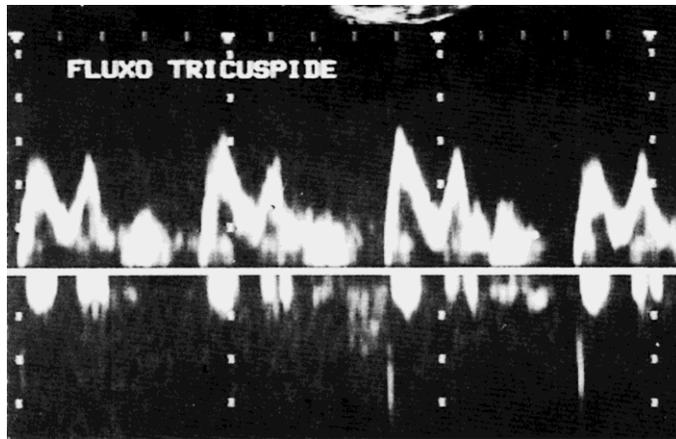


Fig. 5.11 - Fluxo tricúspide normal (vide texto).

A velocidade máxima do fluxo tricúspide em normais é de 0,3 - 0,8 m/s, portanto menor que o fluxo mitral.(5) Em um mesmo indivíduo normal, a velocidade máxima do fluxo tricúspide é sempre menor do que a da mitral, já que o orifício tricúspide é maior. Assim como na mitral, com a idade a onda E diminui, a A aumenta e a relação E/A se reduz indicando menor relaxamento do VD(14), porém, nos primeiros dias de vida, a onda E pode ser menor que a A mostrando redução do relaxamento do VD secundária à sua dominância intra-uterina (15).

Este fluxo sofre nítida variação respiratória, tendo menores velocidades na expiração e maiores durante a inspiração (Fig. 5.12).

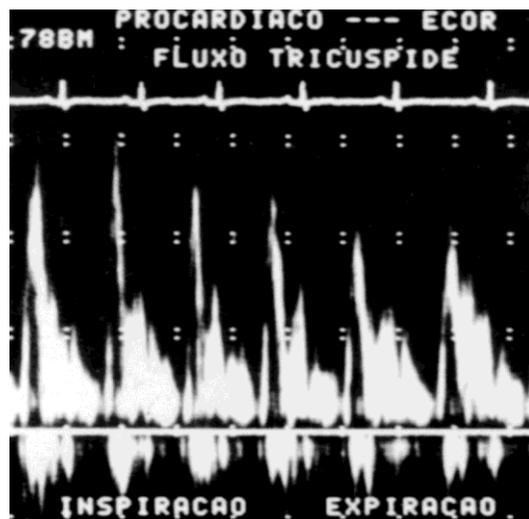


Fig. 5.12 - Fluxo tricúspide normal mostrando variação respiratória. As velocidades de fluxo são menores durante a expiração e maiores na inspiração.

Dependendo da posição do volume de amostragem, pode-se demonstrar a abertura e o fechamento dos folhetos da tricúspide que produzem um sinal de grande amplitude concomitante com um estalo no áudio, semelhante ao visto acima no fluxo mitral. Bem no interior do VD, apenas o fluxo tricúspide é demonstrado. Aproximando o volume de amostragem da valva tricúspide, nota-se a abertura dos folhetos como um sinal bastante forte no início do fluxo diastólico. Com uma maior aproximação demonstra-se também o fechamento dos folhetos. Quando a amostragem está sendo feita imediatamente atrás do plano do orifício valvar, apenas o sinal do fechamento dos folhetos é notado.

Ao eco transesofágico a via de entrada do VD fica oblíqua ao transdutor de modo que o fluxo tricúspide obtido por esta via não representa as verdadeiras velocidades.

FLUXO ATRIAL ESQUERDO

Para o estudo do fluxo atrial esquerdo utiliza-se a imagem do eco bidimensional no corte apical, posicionando o volume de amostragem no interior do AE. Toda a cavidade deve ser investigada, deslocando-se o volume de amostragem para diferentes locais em seu interior.

Dentro do AE, bem afastado da valva mitral, geralmente não se detectam velocidades de fluxo importantes em adultos normais. Em crianças normais, ou quando no adulto há aumento do fluxo através desta câmara, é possível registrar o fluxo nesta cavidade. Assim, o aspecto do fluxograma é semelhante ao visto na valva mitral, embora haja tendência ao aparecimento de um pico da onda A mais acentuado e diminuição do pico da onda E (Fig. 5.13).



Fig. 5.13 - O fluxo no interior do AE geralmente é composto por baixas velocidades, quando é registrado assemelha-se ao fluxo mitral apenas que a onda E geralmente é menor do que a onda A.

Ultimamente tem-se dado importância ao fluxograma da auriculeta esquerda(16-17). Este fluxo é obtido ao eco transesofágico e com o volume de amostragem situado cerca de 1 cm no interior da auriculeta (Fig. 5.14A). Nesta posição registra-se um fluxo durante a sístole atrial dirigido da auriculeta para a cavidade do AE secundário à contração da auriculeta (onda A1), e um fluxo com a diástole atrial, dirigido da cavidade do AE para a auriculeta (onda A2) devido ao relaxamento e possível sucção da auriculeta; durante a sístole ventricular pode ou não haver um outro fluxo para o interior do AE secundário à sucção produzida pelo rebaixamento do assoalho (onda E1), seguido de um outro sistólico em sentido contrário (onda E2), quando o assoalho volta à posição inicial (Fig. 5.14B).

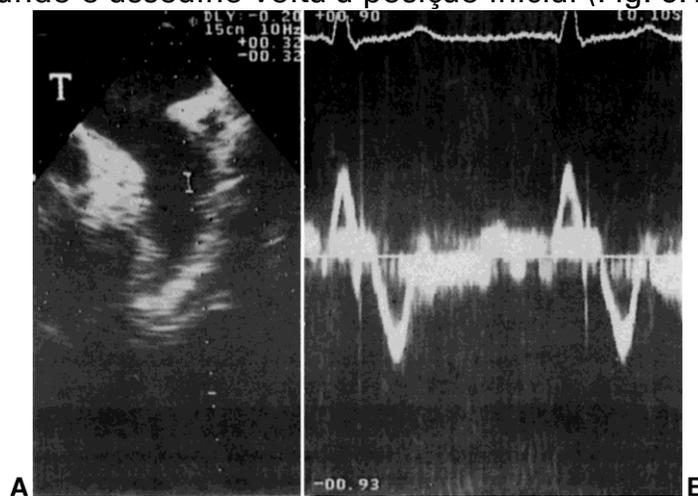


Fig. 5.14 - (A)- Posicionamento do volume de amostragem para a detecção do fluxo na auriculeta esquerda e o fluxo neste local (vide texto).

Quando o paciente encontra-se em fibrilação atrial o fluxo na auriculeta tem um aspecto em dente de serra com amplitude variável (Fig. 5.15) . Matsuzaki et al. (16) mostraram que em pacientes com fibrilação atrial crônica, a complicação com acidente vascular tromboembólico é muito mais freqüente nos que apresentavam velocidades de fluxo na auriculeta relativamente baixas (11 ± 4 cm/s) do que nos que tinham estas velocidades mais elevadas (29 ± 9 cm/s).

A onda A1 normal mede cerca de 46 ± 18 cm/s, a A2 46 ± 17 cm/s, a E1 23 ± 10 cm/s e a onda E2 22 ± 11 cm/s(17)

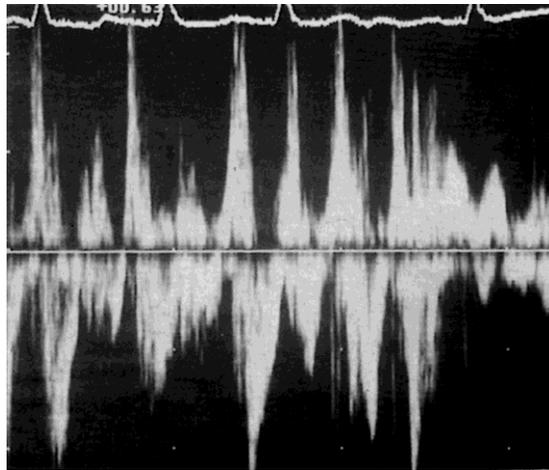


Fig. 5.15 - Fluxo na auriculeta esquerda em um paciente em fibrilação atrial.

FLUXO ATRIAL DIREITO

A imagem bidimensional mais utilizada para o posicionamento do volume de amostragem no interior da cavidade atrial direita é a apical de quatro câmaras, porém, usa-se também a via subxifóide, o corte paraesternal longitudinal das cavidades direitas e o corte transverso da base. Aqui também deve-se analisar todo o interior da cavidade, principalmente quando à procura de um distúrbio de fluxo qualquer. Semelhante ao visto no AE, normalmente não se detecta fluxo de importância nesta cavidade a não ser junto à valva tricúspide. Este fluxo se

assemelha ao visto acima, para a valva tricúspide, e aumenta nitidamente com a inspiração. Nas crianças é possível detectar velocidades de fluxo mais para o interior do AD.

VIA DE SAÍDA DO VE

O melhor posicionamento do volume de amostragem para análise de fluxo na via de saída do VE é obtido com o corte apical de cinco câmaras. Nesta situação a via de saída do VE está paralela ao feixe e, portanto, bastante acessível à investigação pelo Doppler. O volume de amostragem é posicionado bem abaixo das cúspides aórticas, eqüidistante do septo interventricular e da base do folheto anterior da mitral (Fig. 5.16).

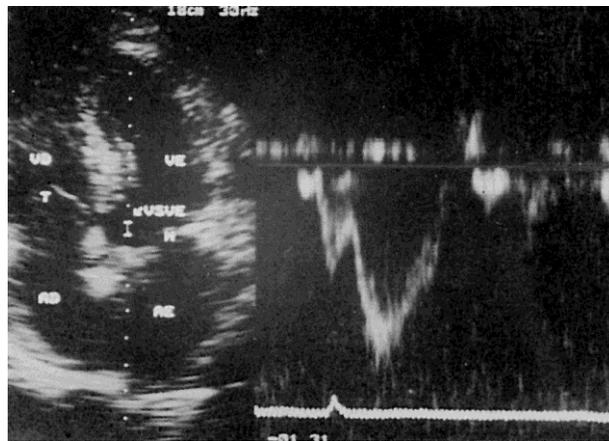


Fig. 5.16 - Posição do volume de amostragem em um corte apical de cinco câmaras para o registro do fluxo na via de saída do VE.

O fluxograma da via de saída do VE mostra uma onda negativa, abaixo da barra horizontal, portanto, em forma de V, durante a sístole (Fig. 5.17). Esta onda tem uma velocidade inicial de descida bastante rápida, o que faz com que ela não seja simétrica, estando o pico mais próximo do início da onda. Este tipo de fluxograma com rápida aceleração inicial é característico dos fluxos sob resistência sistêmica.

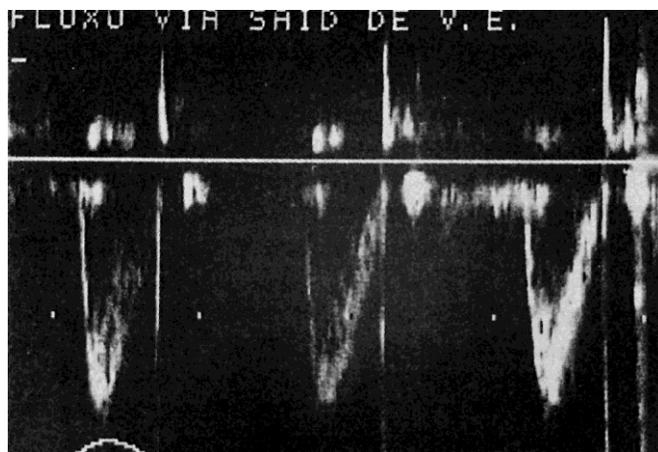


Fig. 5.17 - Fluxograma normal da via de saída do VE. Note que a aceleração no início da ejeção do fluxo é bastante rápida de modo que o pico da ejeção ocorre precocemente.

Durante a diástole, em cerca de 80% dos casos normalmente se detecta um fluxo com pico protodiastólico e outro telediastólico em direção à base do coração, isto é, na mesma direção que o fluxo sistólico(18) (Fig. 5.18).

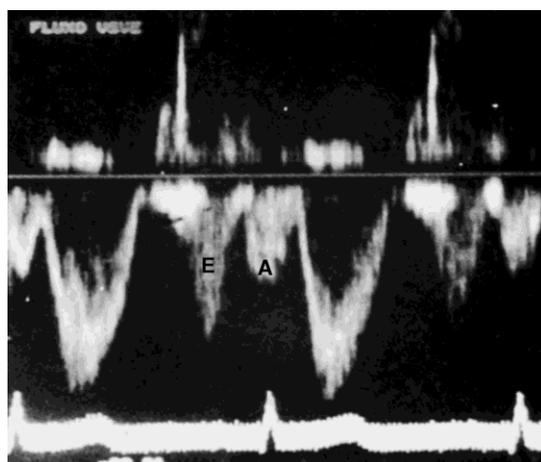


Fig. 5.18 - Fluxo normal da via de saída do VE com dois momentos de fluxo do ápice em direção à base durante a diástole. O primeiro (E) se deve ao sangue que rebate no ápice durante a fase de enchimento rápido do VE e o segundo (A) o que rebate durante a contração atrial esquerda.

Este fluxo corresponde ao sangue que, após o enchimento rápido ventricular e após a contração atrial, atinge o ápice do VE e retorna para as regiões basais (Fig. 5.19). O tamanho destas ondas diminui à medida que o volume de amostragem é dirigido da base para o ápice do VE.

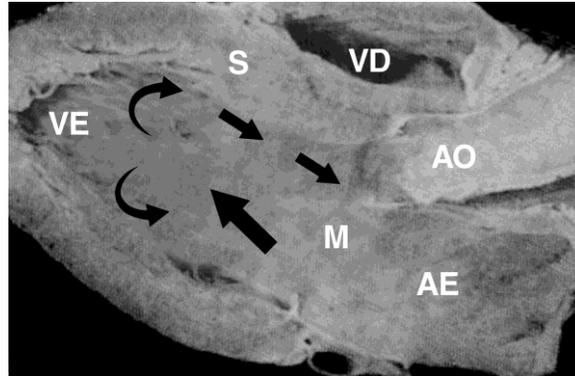


Fig. 5.19 - Os fluxos diastólicos em direção à aorta encontrada na via de saída do VE são devidos ao retorno do sangue para a base após atingir o ápice do VE.

Em condições normais, a velocidade sistólica máxima encontrada na via de saída do VE é de 0,7 - 1,2 m/s. Esta velocidade é cada vez maior à medida que se aproxima da valva aórtica. Ela também varia em um plano transversal ao fluxo, de modo que é maior junto ao septo interventricular do que junto à base do folheto mitral. A velocidade média neste plano está geralmente no centro da via de saída (19).

O fluxo de via de saída do VE pode ser também avaliado com o eco transesofágico utilizando-se um corte de cinco câmaras e posicionando o volume de amostragem na via de saída do VE.

FLUXO VALVAR AÓRTICO, AORTA ASCENDENTE, CROÇA E DESCENDENTE

Este fluxo pode ser obtido utilizando-se o corte apical de cinco câmaras, o supra-esternal longitudinal, como também com o transdutor posicionado na fossa supraclavicular direita, ou mesmo na região paraesternal direita alta, e dirigido inferior, posterior e medianamente. O mais utilizado é o supra-esternal, e o volume de amostragem deve ser posicionado o mais perto possível da valva aórtica, como mostra a Fig. 5.20.

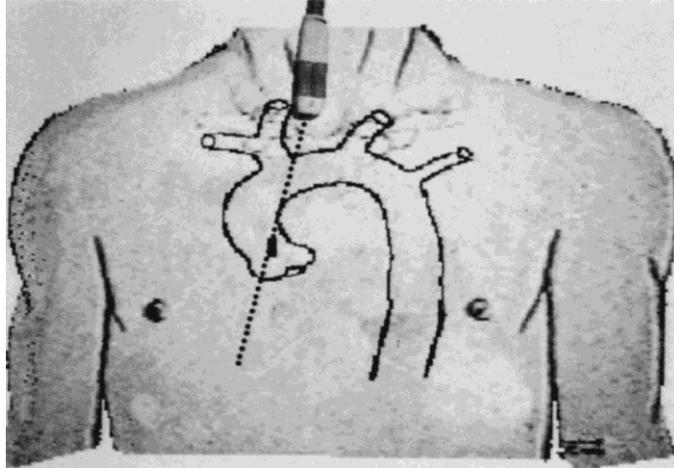


Fig. 5.20 - Posicionamento do volume de amostragem para demonstração do fluxo aórtico. Partindo de um corte supraesternal longitudinal, coloca-se o volume de amostragem na aorta ascendente, equidistante das paredes e o mais próximo possível da valva aórtica.

Exceto quando investigado pela via apical de cinco câmaras, o fluxo aórtico mostra uma onda positiva sistólica, de rápida ascensão, em forma de um V invertido. Aqui também a onda não é simétrica, ocorrendo o pico mais precocemente (Fig. 5.21), o que é uma característica de fluxo sanguíneo de alta resistência.

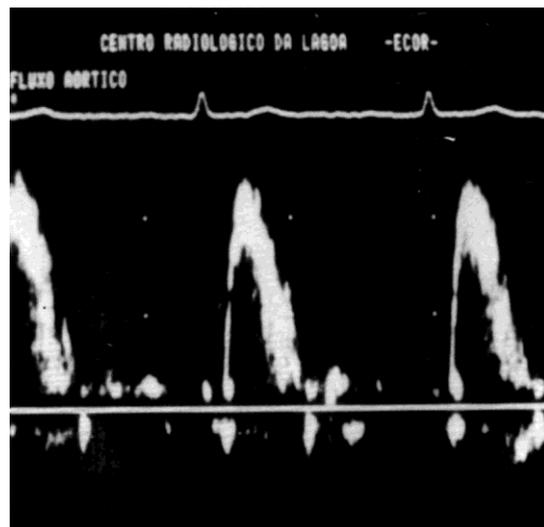


Fig. 5.21 - Fluxo aórtico normal. A fase de ejeção não é simétrica. O pico de ejeção ocorre precocemente indicando alta resistência vascular (sistêmica). Durante a fase de ascensão as hemácias estão todas com velocidades semelhantes (perfil plano) devido à aceleração do sangue.

Naturalmente se utilizarmos o corte apical de cinco câmaras, com o volume de amostragem colocado além das cúspides aórticas, no interior da aorta ascendente (Fig. 5.22) o fluxograma mostrará uma onda negativa, já que o sangue estará se afastando do transdutor.

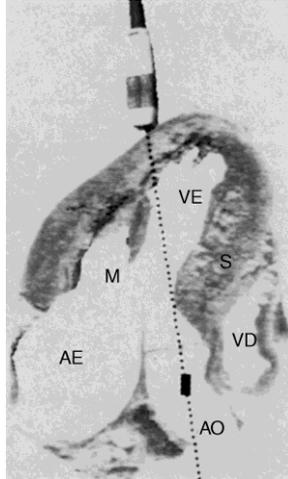


Fig. 5.22 - O fluxo aórtico pode ser obtido também com o transdutor na região apical e o volume de amostragem posicionado na aorta ascendente tendo um corte apical de cinco câmaras como referência.

Nesta posição também é comum registrar picos de alta intensidade e curta duração originários da abertura ou do fechamento das cúspides, semelhantes aos descritos na mitral (Fig. 5.23).

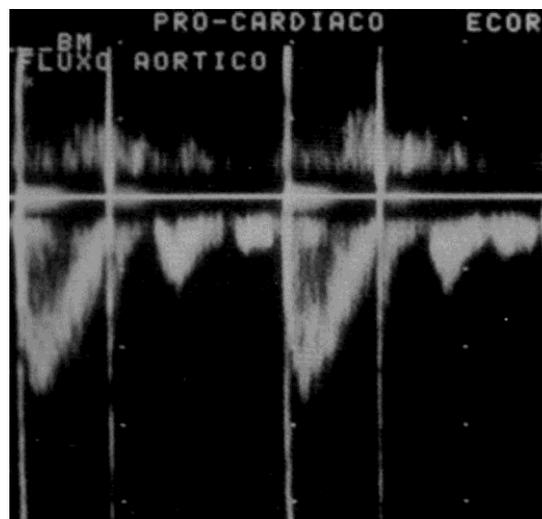


Fig. 5.23 - Fluxograma aórtico obtido a partir do ápice do VE. Dependendo da posição do volume de amostragem pode-se registrar picos de alta intensidade na abertura e/ou fechamento da valva quando as cúspides

passam pela região analisada. O fluxo é composto de velocidades negativas, já que se afastam do transdutor.

No final da ejeção é normal haver uma pequena e discreta turbulência com dispersão dos pontos no registro do fluxo aórtico, o que leva a um alargamento do cume e da curva descendente do fluxograma como mostra a Fig. 5.24; isto é devido à instabilidade secundária à desaceleração do fluxo.

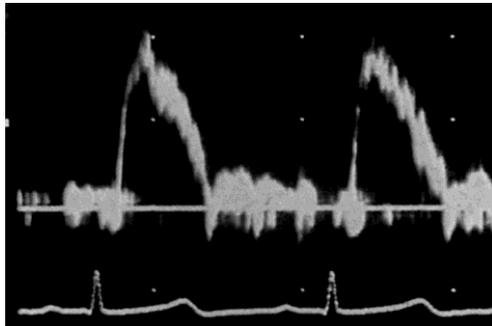


Fig. 5.24 - Normalmente nota-se leve dispersão das velocidades durante a desaceleração do fluxo aórtico (seta).

A velocidade máxima do fluxo sistólico aórtico é de 1,0 a 1,7 m/s.(1) Esta velocidade diminui com a idade, provavelmente devido ao aumento do diâmetro aórtico nos mais velhos.

Durante o terço inicial da diástole nota-se reversão no sentido do fluxo, com a formação de uma onda negativa, que corresponde ao sangue que retorna para fechar a valva aórtica e preencher os seios de Valsalva (Fig. 5.25); logo após este retorno o fluxo aórtico novamente se dirige para a periferia e o fluxograma demonstra velocidades bem lentas durante o restante da diástole.

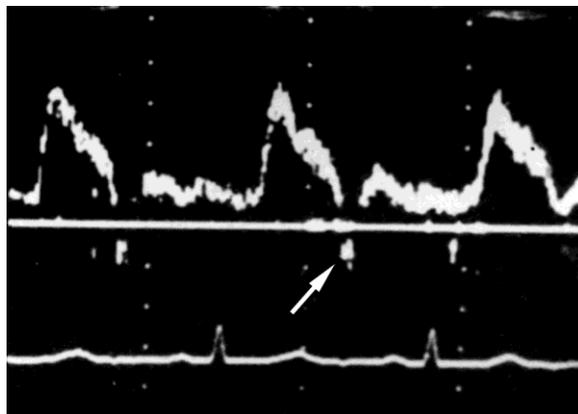


Fig. 5.25 - Fluxograma aórtico normal demonstrando retorno protodiastólico da coluna sangüínea que ocorre devido ao preenchimento pelo sangue do espaço dos seios de Valsalva (*seta*). Logo após, e durante o restante da diástole o fluxo não mais retorna.

Lembrem-se também que devido à curvatura da aorta e o efeito da força centrífuga (Capítulo I) as velocidades de fluxo são maiores junto à curvatura interna (Fig. 5.26A) do que à externa (Fig. 5.26B).

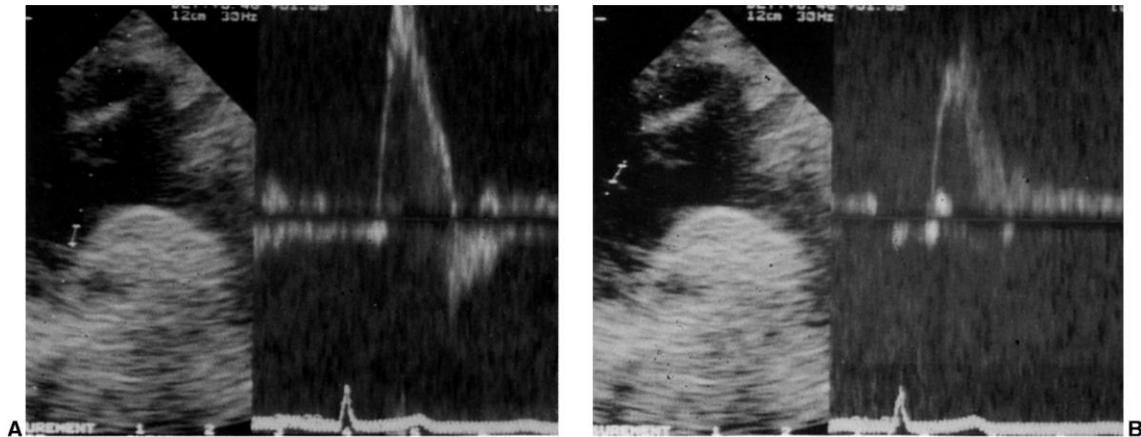


Fig. 5.26 - Fluxo na aorta ascendente junto à curvatura interna (A) e junto à curvatura externa (B). Notem que o pico das velocidades é maior junto à curvatura interna.

Além do fluxo na aorta ascendente, deve-se examinar também a aorta transversa e a descendente, tendo um corte supra-esternal longitudinal como referência. Na aorta transversa o fluxo pode ser predominantemente positivo, negativo ou, mais freqüentemente, apresentar múltiplas ondas, umas positivas outras negativas. Isto se deve à posição do volume de amostragem que geralmente se situa perpendicular à direção do fluxo. Na aorta descendente (Fig. 5.27), o volume de amostragem encontra-se em uma posição tal que o fluxo sangüíneo está se afastando do transdutor durante a sístole, o que produz uma onda sistólica negativa.

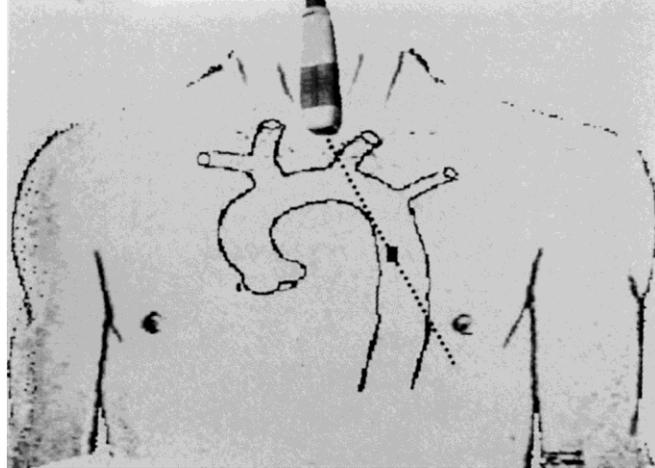


Fig. 5.27 - Posicionamento do volume de amostragem para avaliação do fluxo na aorta descendente a partir de um corte supraesternal longitudinal.

Seu aspecto é semelhante ao descrito no fluxo da aorta ascendente, apenas em direção contrária (Fig. 5.28). Aqui também nota-se o retorno da coluna sangüínea durante o terço inicial da diástole.

O eco transesofágico não se presta para examinar o fluxo valvar aórtico, tendo em vista que o transdutor estará sempre ou perpendicular ou bastante oblíquo à direção do fluxo.

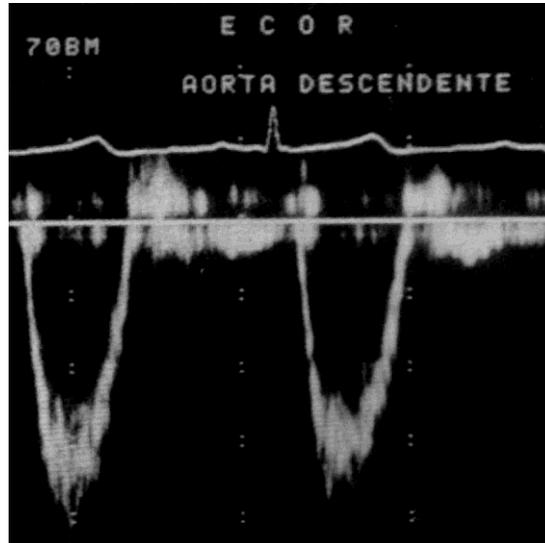


Fig. 5.28 - Fluxo normal obtido na aorta descendente. O aspecto é semelhante ao da aorta ascendente, apenas que em sentido contrário.

FLUXO PULMONAR

Posiciona-se o volume de amostragem dentro da artéria pulmonar, perto das cúspides valvares, utilizando-se o corte transverso da base (Fig. 5.29).

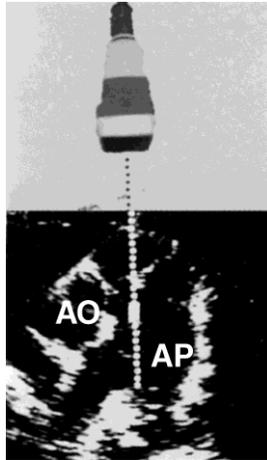


Fig. 5.29 - Posicionamento do volume de amostragem para a detecção do fluxo pulmonar. Usa-se um corte transverso da base como referência, colocando-se o volume de amostragem no centro da artéria pulmonar, logo após as cúspides da valva.

O fluxograma mostra, durante a sístole uma curva negativa com forma semelhante a um V, mais simétrica do que a encontrada no fluxo aórtico, o que é característico de fluxo de baixa resistência. Aqui também é freqüente uma discreta turbulência do fluxo no máximo da ejeção e no final da sístole com alargamento da curva nestes momentos (Fig. 5.30).

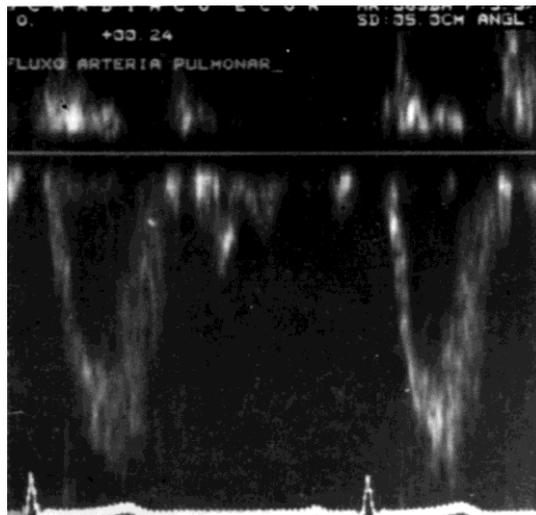


Fig. 5.30 - Fluxograma pulmonar. Aspecto normal. Nota-se que a curva é mais simétrica do que o fluxo aórtico, denotando uma resistência vascular pequena.

A velocidade máxima desta onda é de 0,6 - 1,1 m/s.(5)

Na diástole não se detecta nenhum fluxo importante ou registra-se um fluxo negativo pequeno, junto com a contração atrial e outro durante a fase de enchimento rápido do VD (20), melhor apreciados durante a inspiração (Fig. 5.31). Estes fluxos diastólicos mostram que, devido a baixa resistência da circulação pulmonar, normalmente há abertura ou deslocamento diastólico da valva pulmonar durante o enchimento rápido do VD e com a contração atrial (20).

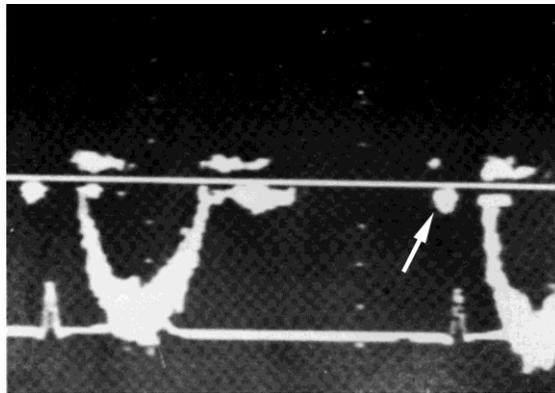


Fig. 5.31 - Fluxograma pulmonar normal mostrando velocidades lentas na artéria durante a contração atrial direita (*seta*).

Se o volume de amostragem estiver muito perto das cúspides pulmonares, haverá registro dos movimentos de abertura e fechamento destas com produção de estalos no sinal de áudio.

Ao eco transesofágico, o fluxo pulmonar pode ser obtido com o volume de amostragem no interior do tronco arterial como mostra a Fig. 5.32. As velocidades serão semelhantes, porém invertidas, em relação ao encontrado ao Doppler transtorácico.

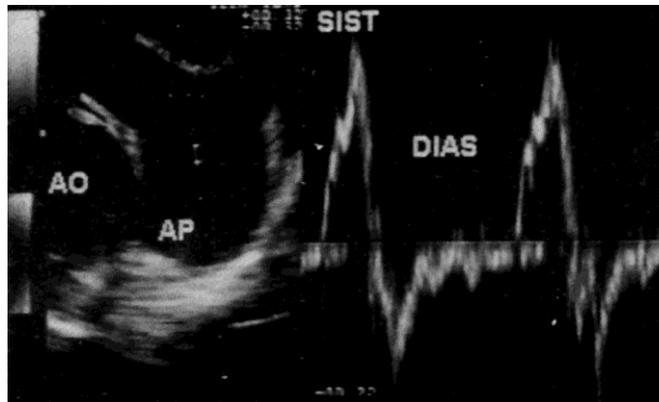


Fig. 5.32 - O fluxo na artéria pulmonar ao eco transesofágico.

CÂMARA DE SAÍDA DO VD

A partir do corte transverso da base, posiciona-se o volume de amostragem na câmara de saída do VD, antes das cúspides da valva pulmonar (Fig. 5.33).

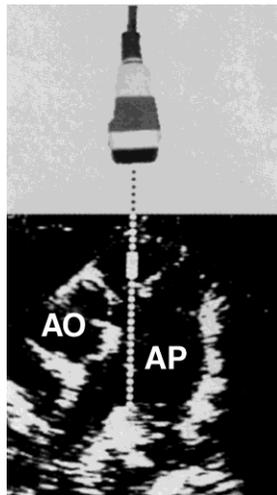


Fig. 5.33 - Posicionamento do volume de amostragem para demonstração do fluxo na câmara de saída do VD. Um corte transverso ao nível da base serve como referência.

O aspecto do fluxograma desta região é também de uma onda negativa em forma de V durante a sístole, como visto para a artéria pulmonar, porém, como na área transversa da câmara de saída do VD é maior do que a da artéria pulmonar, o fluxo nesta região tem uma velocidade menor quando comparado ao da artéria pulmonar (Fig. 5.34). Durante a diástole é comum o registro de uma ou duas pequenas ondas

negativas devido ao sangue que vai de encontro à ponta do VD e retorna para a base entrando na câmara de saída.

Normalmente a velocidade máxima da onda sistólica é de 0,5 - 1,0 m/s.(5)

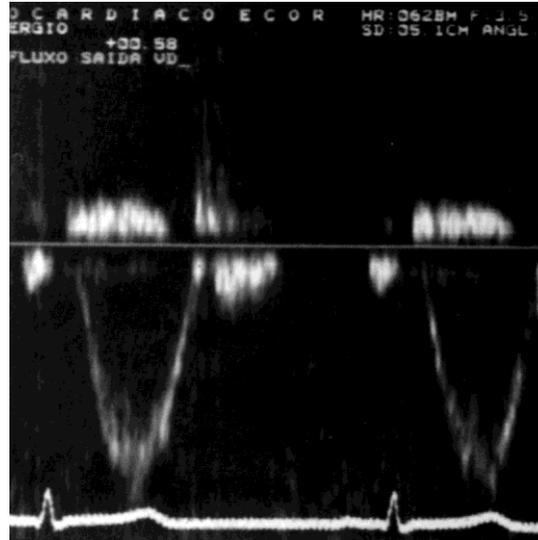


Fig. 5.34 - Fluxograma normal da câmara de saída do VD. Notar sua semelhança com o fluxograma pulmonar.

VEIA CAVA SUPERIOR

O fluxo na veia cava superior pode ser obtido com o transdutor na região supra-esternal, posicionando-se o volume de amostragem bem no centro da luz venosa, aproximadamente a meio caminho entre o início e o final desta veia (Fig. 5.35).

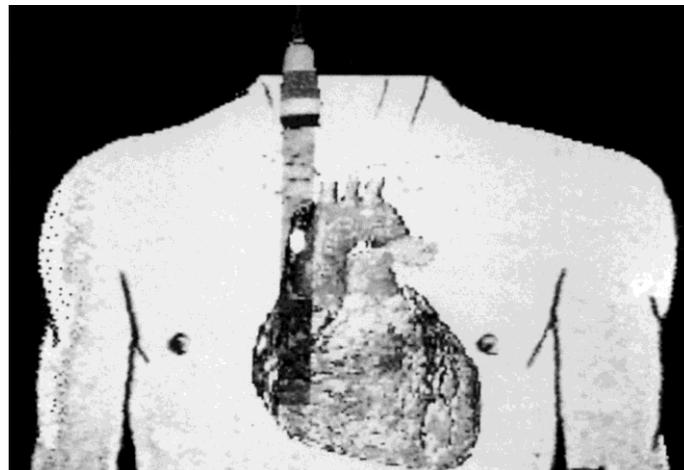


Fig. 5.35 - Posicionamento do volume de amostragem para demonstração do fluxo da veia cava superior. O corte utilizado é o supra-esternal transversal com inclinação do transdutor para direita.

Nesta posição registra-se um fluxograma que é bifásico, com um pico maior durante a sístole (onda X) e um outro na diástole (onda Y), ambos negativos, já que o fluxo em direção ao coração se afasta do transdutor (Fig. 5.36).

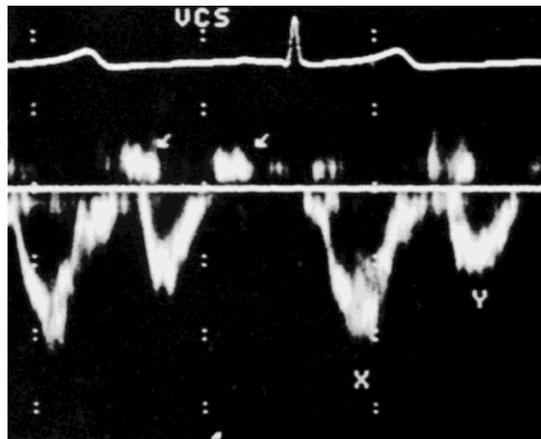


Fig. 5.36 - Fluxograma normal da veia cava superior. Há duas ondas principais sendo a sistólica (X) sempre maior que a diastólica (Y) em condições normais. Notar reversões de fluxo na diástole (*setas*).

Geralmente há duas pequenas ondas positivas, de reversão de fluxo, durante a diástole, uma imediatamente antes da onda Y e outra com a contração atrial (onda A). A onda X é formada pelo aumento do fluxo venoso em direção ao AD, que ocorre durante o relaxamento do átrio como também devido à tração do assoalho da cavidade atrial direita pelo VD em contração. Isto aumenta o volume da cavidade atrial direita facilitando a drenagem das veias cavas. Percentualmente, esta é a mais importante fase do enchimento da cavidade atrial direita e, portanto, a onda X é normalmente maior que a onda Y. O pico da onda X ocorre na mesossístole. A onda Y se deve à abertura da valva tricúspide e à fase de enchimento rápido do VD. A onda de reversão A é formada pela contração atrial que expulsa sangue de volta à veia cava já que não há uma valva entre esta e o AD. Do mesmo modo, a reversão entre X e Y é devido ao retrocesso do assoalho atrial e portanto à diminuição do volume cavitário.

O eco transesofágico não se presta para examinar o fluxo na veia cava superior, já que o transdutor está perpendicular à direção do fluxo.

VEIA SUPRA-HEPÁTICA

O fluxo na veia supra-hepática é uma representação fiel do fluxo na veia cava inferior e bem mais fácil de ser obtido, já que as veias supra-hepáticas estão situadas de tal forma em relação à parede abdominal que facilita o posicionamento do volume de amostragem em uma delas, ficando paralelo à direção do fluxo (Fig. 5.37). A veia cava inferior está perpendicular ao feixe ultra-sônico e, portanto, a análise direta do fluxo sanguíneo nesta veia fica dificultada.

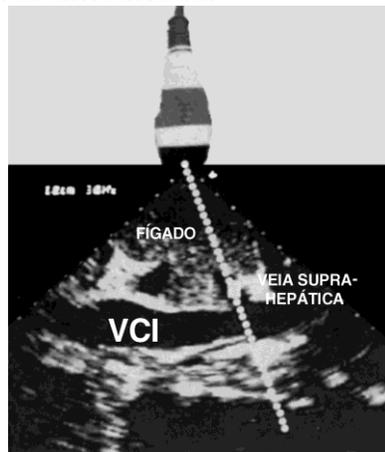


Fig. 5.37 - Posicionamento do volume de amostragem no interior de uma veia supra-hepática tendo um corte subxifóide longitudinal do abdome como referência.

O aspecto do fluxograma é semelhante ao descrito para a veia cava superior exceto que os fluxos positivos de reversão são mais proeminentes (Fig. 5.38).

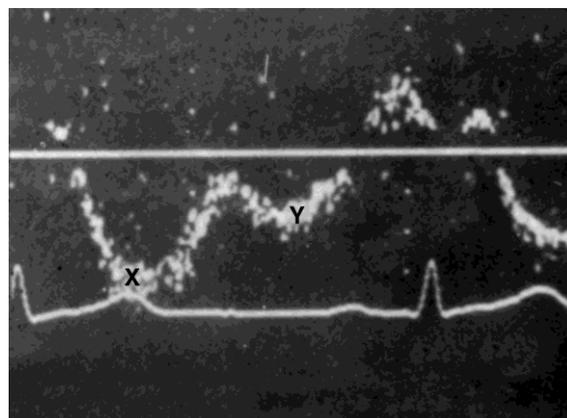


Fig. 5.38 - O fluxo obtido na veia supra-hepática é representação fiel do fluxo da veia cava inferior e se assemelha àquele visto na veia cava superior.

Tanto no fluxo da veia cava superior descrito acima, como mais notadamente no da veia supra-hepática, as ondas X e Y e as ondas de reversão aumentam de amplitude durante a inspiração (Fig. 5.39). As anormalidades encontradas em diferentes patologias são relacionadas aos ciclos respiratórios de modo que é imprescindível a monitorização concomitante destes.(21) A taquicardia diminui a amplitude da onda Y e aumenta a da onda X, e quando pronunciada funde as duas ondas em uma única. A bradicardia aumenta a amplitude da onda Y e ocasionalmente faz com que esta onda se divida em duas.

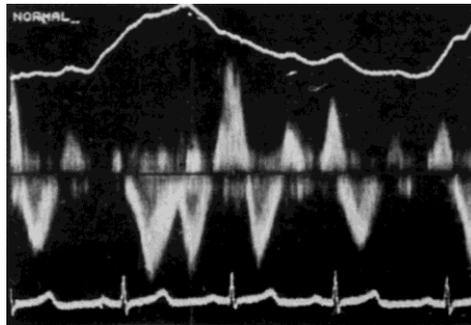


Fig. 5.39 - Variação respiratória notada no fluxo da veia supra-hepática. Durante a inspiração há aumento das ondas X e Y com redução dos retornos.

A velocidade máxima da onda X varia entre 0,3 - 1,5 m/s durante respiração tranquila.(1)

Ocasionalmente este fluxo pode ser também avaliado através do eco transefágico(22) colocando-se o volume de amostragem na entrada das veias supra-hepáticas na veia cava inferior.

VEIAS PULMONARES

O fluxograma nestas veias pode ser obtido pelo eco transtorácico usando-se o corte apical ou o subxifóide de quatro câmaras para o posicionamento do volume de amostragem no interior de uma das veias pulmonares (Fig. 5.40)(6,23-25).

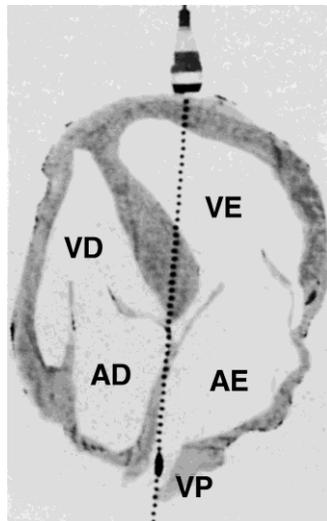


Fig. 5.40 - O fluxo na veia pulmonar é obtido posicionando o volume de amostragem no interior desta veia partindo-se de um corte apical de quatro câmaras.

Normalmente encontram-se nesta região duas, ou ocasionalmente três, ondas positivas indicando fluxo em direção ao transdutor (Fig. 5.41).

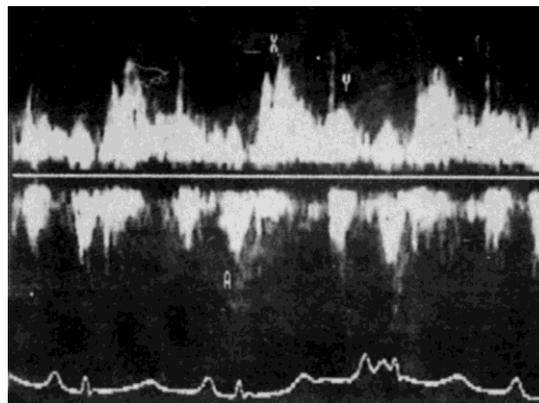


Fig. 5.41 - Fluxo normal na veia pulmonar (vide texto).

Uma delas é sistólica (X) e a outra diastólica (Y), quando há uma terceira onda ela é protossistólica, sendo uma subdivisão da onda X. A onda X se forma devido ao maior fluxo de sangue das veias pulmonares para o AE com a queda de pressão intra-atrial secundária ao relaxamento do átrio esquerdo e à tração do assoalho da cavidade atrial com a contração do VE. Quando há divisão da onda X em duas (X1 e X2) como na Fig. 5.42, a X1 representa o fluxo durante o relaxamento atrial e a X2 aquele devido à tração do assoalho do AE (26).

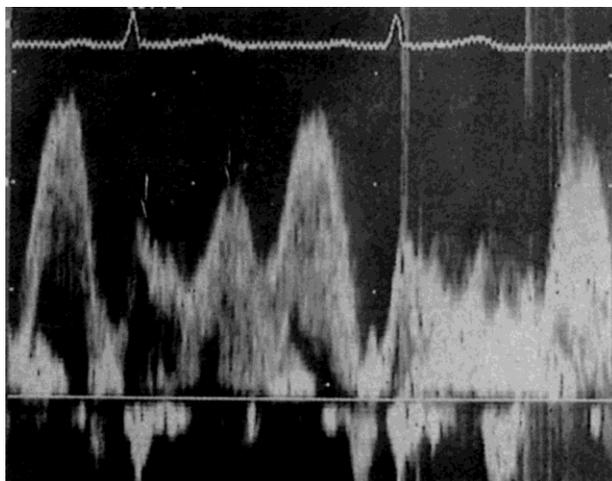


Fig. 5.42 - Fluxo na veia pulmonar. Desdobramento da onda X.

A onda Y depende principalmente do enchimento do VE, já que nesta fase o átrio serve apenas como um condutor de sangue. Mais freqüentemente, o fluxo é contínuo em direção ao AE, porém certos indivíduos apresentam pequena reversão de fluxo que antecede ao QRS, que é devido à contração atrial e conseqüente elevação da pressão no AE acima das veias (26) (onda A) como visto na Fig. 5.43. É importante que o volume de amostragem esteja cerca de 1 cm dentro da veia pulmonar para esta análise, tendo em vista que seu deslocamento para a cavidade atrial reduz o tamanho da onda X (26) e quando muito no interior da veia a onda Y diminui (27).

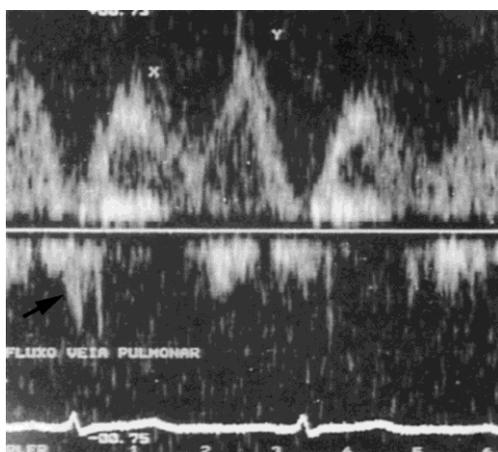


Fig. 5.43 - Demonstração do retorno A (seta) no fluxo venoso pulmonar.

O fluxo das veias pulmonares, principalmente da veia pulmonar superior esquerda é melhor analisado ao eco transesofágico (28) (Fig.5.44).

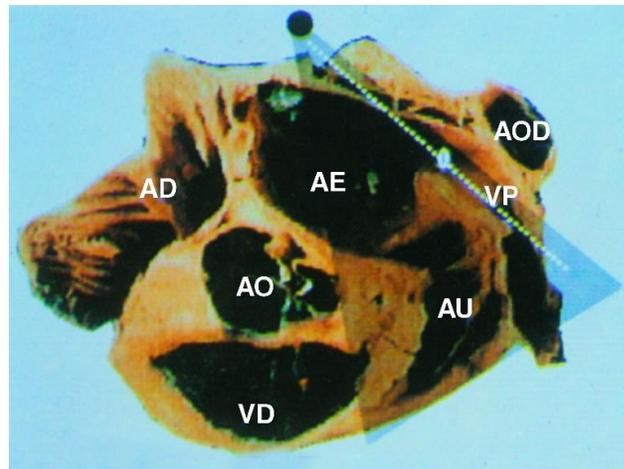


Fig. 5.44 - Localização do volume de amostragem no interior da veia pulmonar superior esquerda para a detecção do fluxo venoso pulmonar ao eco transesofágico.

Com o volume de amostragem situado cerca de 1 cm além da junção entre a veia pulmonar e a cavidade atrial, no interior da veia, obtém-se caracteristicamente o fluxo demonstrado na Fig. 5.45.

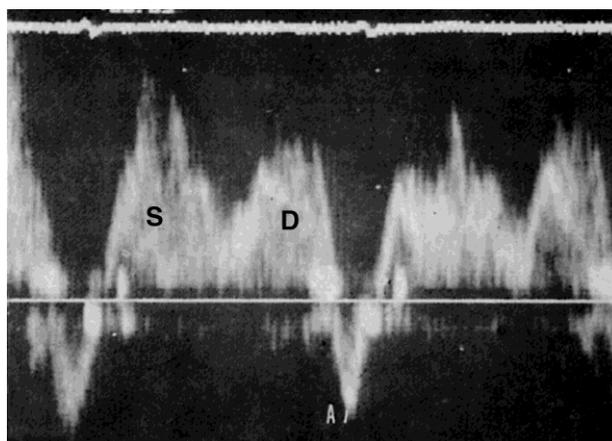


Fig. 5.45 - Fluxo venoso pulmonar obtido na veia pulmonar superior esquerda ao eco transesofágico.

Semelhante ao fluxo do eco transtorácico, vêem-se duas ondas em direção à cavidade atrial, uma sistólica (onda X) e outra diastólica (onda Y) sendo a X geralmente maior do que a Y. A onda X pode estar dividida em duas, uma precoce (X1) e outra tardia (X2) como visto na Fig. 5.46.

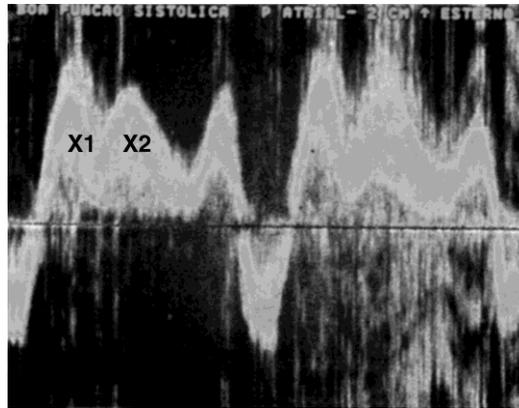


Fig. 5.46 - Divisão da onda X em duas em um fluxo venoso pulmonar ao eco transesofágico.

Mais freqüentemente do que quando analisado pelo eco transtorácico, há uma onda de retorno (onda A) (Fig. 5.47). Esta onda tem dois componentes(29): um antes do QRS que é devido ao aumento da pressão atrial e aparecimento de gradiente AE-veia pulmonar conseqüente à contração atrial, e outro após o QRS devido ao aumento da pressão atrial quando a valva mitral está fechando e empurrando o sangue para dentro do AE. Geralmente os dois componentes estão fundidos e apenas uma onda A surge no fluxograma (Fig. 5.47).

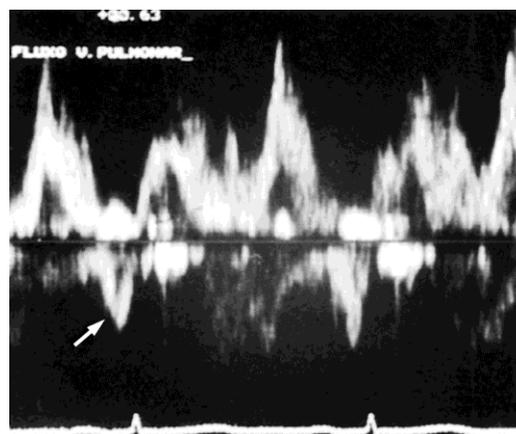


Fig. 5.47 - Fluxo venoso pulmonar. Retorno A.

Quando o paciente estiver em fibrilação atrial esta onda desaparece ou pode surgir apenas o componente de reversão mais tardio, após o QRS (Fig. 5.48).

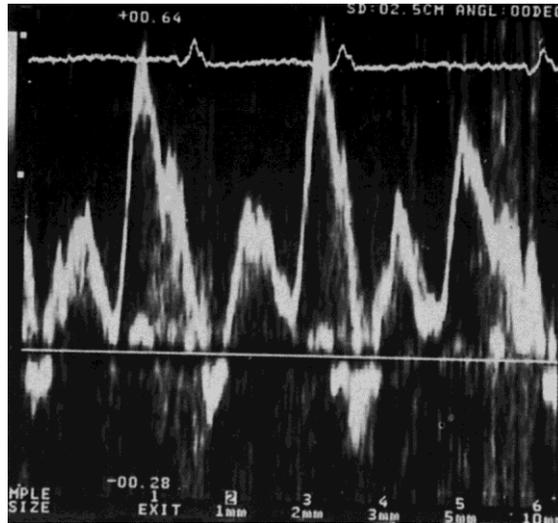


Fig. 5.48 - A onda A é formada por uma porção pré-QRS e outra pós-QRS (vide texto). Em condições normais as duas porções estão unidas. Caso haja fibrilação atrial apenas a porção pós-QRS aparecerá.

Em alguns indivíduos, os dois componentes da onda A podem ser demonstrados, notadamente nos com PR curto (Fig. 5.49).

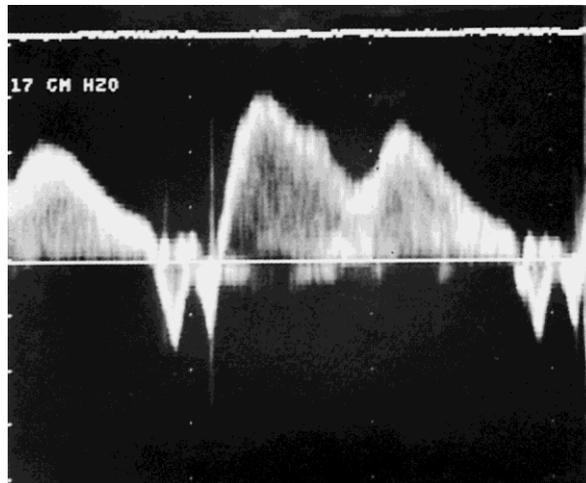


Fig. 5.49 - Onda A bífida pelo desdobramento de seus dois componentes pré e pós-QRS.

Na fibrilação atrial também há diminuição ou mesmo desaparecimento da onda X; já que não há relaxamento do AE, a queda da pressão na cavidade depende apenas do tracionamento do assoalho pela contração do VE(25) (Fig. 5.50).

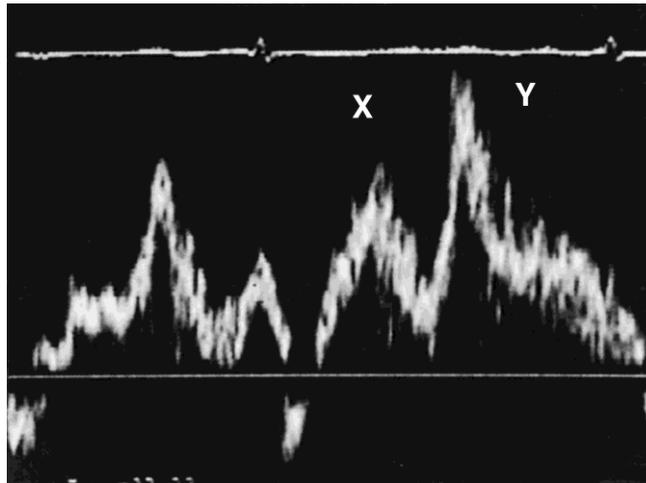


Fig. 5.50 - Redução da amplitude de X na fibrilação atrial.

Nos indivíduos normais, a respiração espontânea tem pouco efeito no fluxograma das veias pulmonares. Nos pacientes em respiração assistida (30) (Fig. 5.51), a maior pressão intratorácica durante a inspiração reduz a onda X nesta fase do ciclo respiratório. A onda A aumenta na expiração. A onda Y pode aumentar no final da expiração.

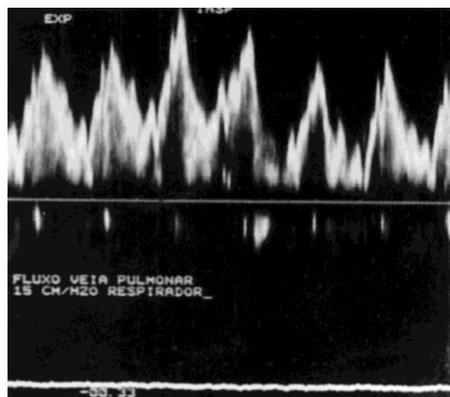


Fig. 5.51 - Variação do fluxo pulmonar na respiração mecânica assistida

Com a redução gradativa e normal do relaxamento do VE com a idade, há uma pequena diminuição da velocidade diastólica Y e aumento de X e do retorno (onda A) (24) de modo que no adulto a onda X normalmente é sempre maior que a onda Y mas nas crianças a onda Y pode ser maior (6,31) (Fig. 5.52).

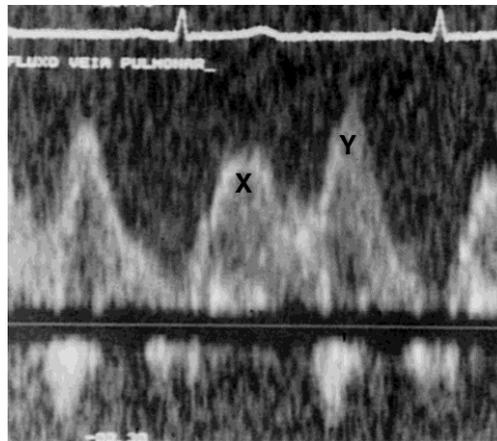


Fig. 5.52 - Nos jovens a onda X pode ser menor do que a Y.

DOPPLER A CORES

O Doppler a cores permite que se integre a imagem bidimensional com os dados de velocidade, orientação espacial, direção e quantidade de fluxo sanguíneo nas cavidades e valvas visualizadas.(32)

O fluxo de entrada do VE é melhor demonstrado com o transdutor colocado no ápice, obtendo-se inicialmente um corte apical de quatro câmaras ou um longitudinal do VE. Durante a diástole nota-se, com a abertura da mitral, o aparecimento de uma coluna sanguínea codificada em vermelho (fluxo que se aproxima do transdutor) passando através da mitral em direção ao ápice do VE (Fig. 5.53).



Fig. 5.53 - Fluxo através da valva mitral. Nota-se uma coluna codificada em vermelho passando através da valva mitral em direção ao ápice do VE. Os

diversos tons de vermelho indicam diferentes velocidades, quanto mais lentas mais intenso é o vermelho.

Este fluxo é bifásico durante a diástole, podendo desaparecer totalmente na mesodiástole e reaparecer depois com a contração atrial. Após atingir o ápice do VE o sangue muda de direção e retorna para a base, o que produz um fluxo codificado em azul em torno da coluna sangüínea principal de entrada (Fig. 5.54).



Fig. 5.54 - Após ir de encontro ao ápice do VE o fluxo de entrada mitral retorna para a base do VE e produz, em torno do fluxo de entrada (em vermelho) um fluxo codificado em azul.

O fluxo de saída do VE é melhor visto no corte apical de cinco câmaras ou no corte apical longitudinal do VE. Na sístole nota-se fluxo codificado em azul saindo pela via de saída do VE em direção à aorta (Fig. 5.55). Como frequentemente este fluxo tem maior velocidade junto ao septo interventricular, neste local ocorre o fenômeno de inversão (*aliasing*) com aparecimento de cor vermelha na região próxima ao septo.



Fig. 5.55 - Fluxo de via de saída do VE. Como este fluxo se afasta do transdutor situado no ápice, ele será codificado em azul. Junto ao septo interventricular a velocidade pode ser maior e ocorrer o fenômeno de *aliasing* com mudança da cor para o vermelho. Notar os diversos tons de azul. Quanto mais lenta a velocidade mais intenso será este azul.

O fluxo de entrada do ventrículo direito é bem demonstrado em um corte paraesternal longitudinal das cavidades direitas. Com a abertura da valva tricúspide, vê-se o aparecimento de uma coluna de fluxo codificada em vermelho passando através da valva e dirigindo-se para a ponta do VD (Fig. 5.56).

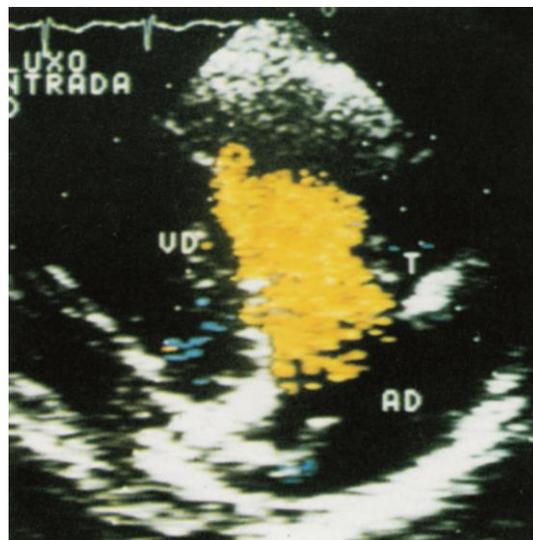


Fig. 5.56 - Fluxo através da valva tricúspide. Há uma coluna codificada em vermelho passando através da valva tricúspide em direção à ponta do VD.

O fluxo de saída do VD é melhor visto no corte transverso da base aparecendo como uma coluna codificada em azul passando pelo infundíbulo em direção à artéria pulmonar (Fig. 5.57).

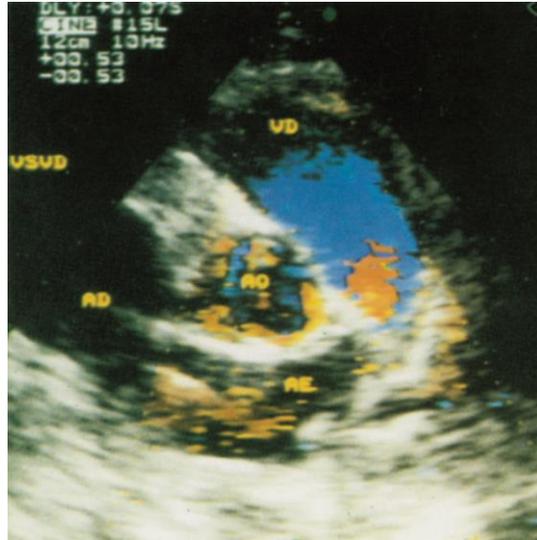


Fig. 5.57 - Fluxo na câmara de saída do VD. Este fluxo é codificado em azul já que se afasta do transdutor. Junto à valva pulmonar ocorreu *aliasing* com o aparecimento da cor vermelha.

Usando-se o corte supra-esternal longitudinal demonstra-se o fluxo na aorta, que apresenta uma codificação vermelha na aorta ascendente e codificação azul na aorta descendente, já que em relação ao transdutor o fluxo na aorta ascendente está se aproximando e na descendente se afastando (Fig. 5.58). Na aorta transversa pode não haver nenhuma codificação de fluxo, ficando aí um espaço preto, tendo em vista que o fluxo nesta região está perpendicular ao transdutor.

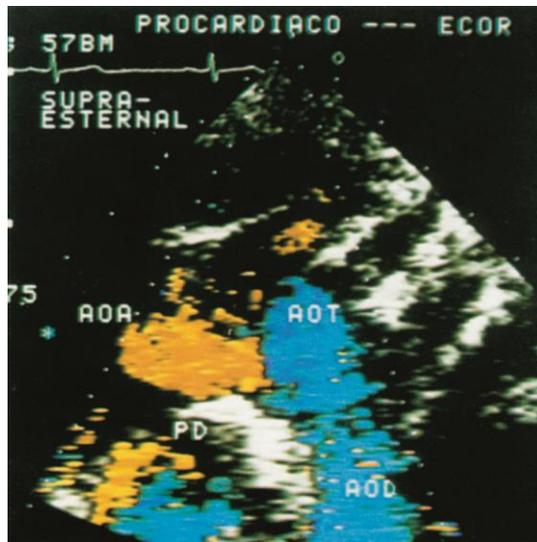


Fig. 5.58 - Com um corte supraesternal longitudinal, nota-se o fluxo na aorta ascendente (AOA) codificado em vermelho e o fluxo na aorta descendente (AOD) codificado em azul. Na aorta transversa (AOT) há uma região aparentemente sem fluxo, já que este se faz transversalmente ao transdutor e, portanto, não é registrado. PD= artéria pulmonar direita.

Com um corte transverso da base demonstrando a artéria pulmonar até a sua bifurcação analisa-se o fluxo nesta artéria, que aparece codificado em azul (Fig. 5.59).

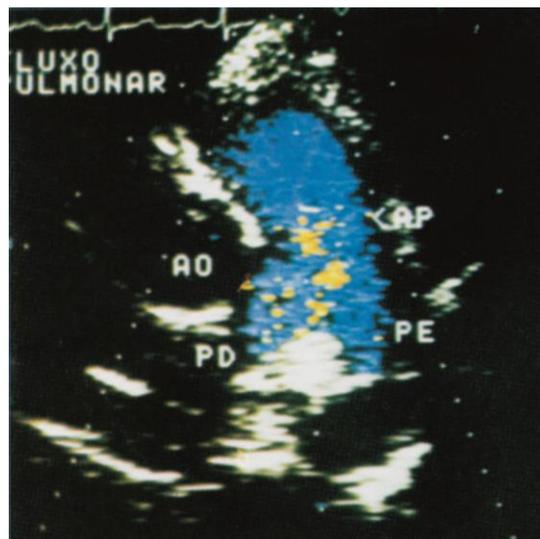


Fig. 5.59 - Fluxo na artéria pulmonar (codificado em azul) obtido em um corte transverso da base.

Ao eco transesofágico o Doppler colorido se presta bastante à investigação do fluxo nas veias pulmonares (Fig. 5.60), artéria pulmonar (Fig. 5.61) e aorta (Fig. 5.62).

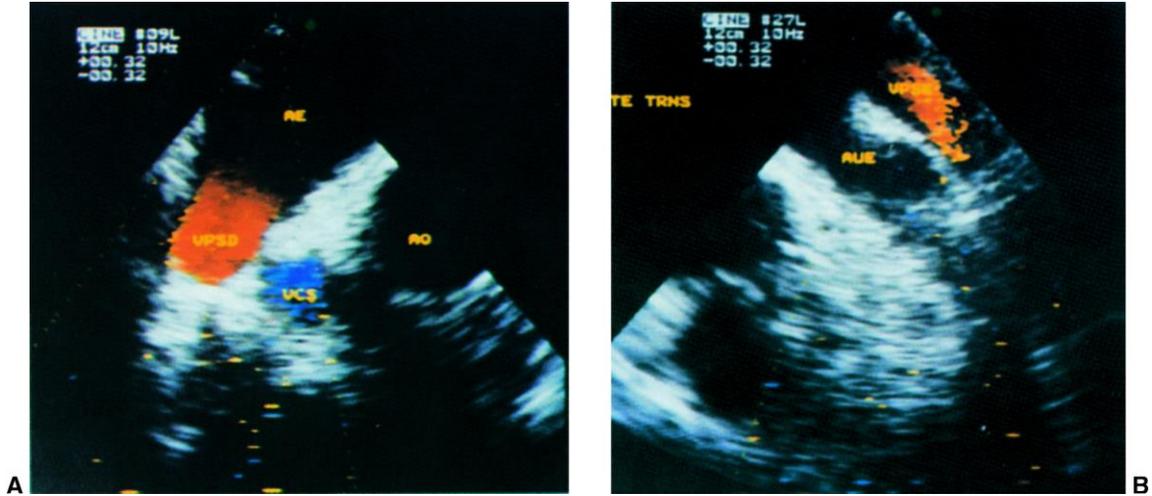


Fig. 5.60 - Fluxo nas veias pulmonares superiores direita (A) e esquerda (B).

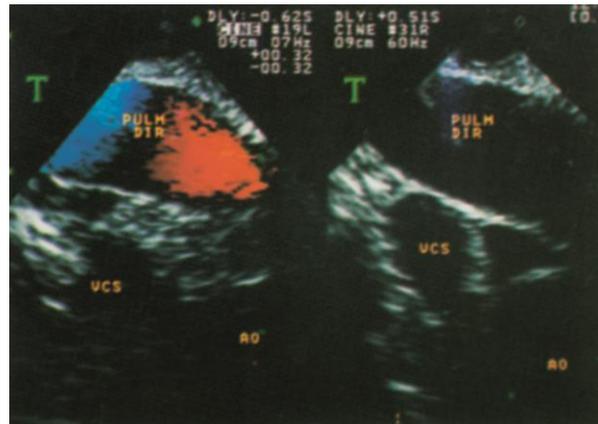


Fig. 5.61 - Fluxo na artéria pulmonar obtido em um corte trasverso com o transdutor no esôfago médio.



Fig. 5.62 - Fluxo na aorta descendente em cortes transverso (A) e longitudinal (B) obtido ao eco transesofágico.

Lembrem-se que no caso das porções proximais da aorta descendente, a reverberação dada pela pleura com conseqüente formação de uma outra imagem aórtica atrás da verdadeira, também produz reverberação de fluxo na falsa imagem aórtica (Fig. 5.63), o que pode trazer confusão diagnóstica.

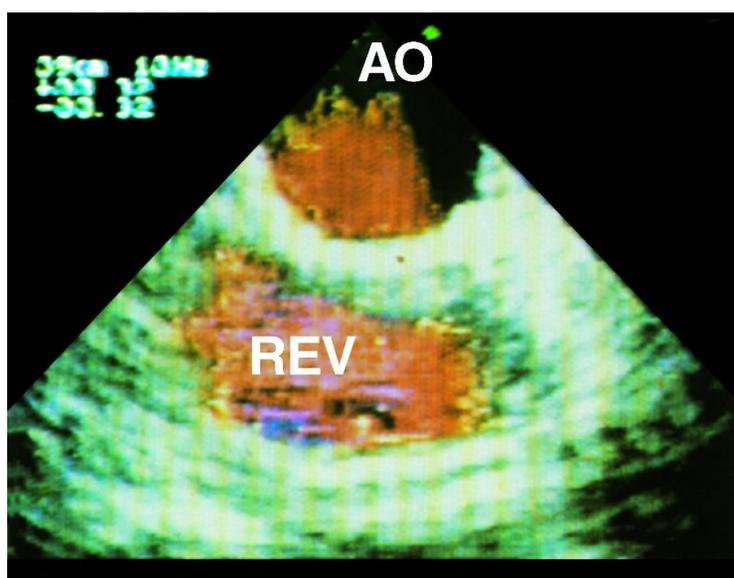


Fig. 5.63 - Reverberação com produção de uma segunda luz aórtica inclusive com reverberação também dos sinais de Doppler e produção de um falso fluxo na luz fictícia.

A ecocardiografia transesofágica tornou possível o registro do fluxo das coronárias tanto a cores como pelo Doppler convencional (33-35). Normalmente o fluxo a cores das regiões proximais da coronária esquerda

mostra fluxo laminar, não turbulento, codificado em vermelho ou azul na dependência do segmento visualizado (Fig. 5.64)



Fig. 5.64 - Fluxo encontrado no tronco e bifurcação da coronária esquerda.

A identificação do fluxo coronariano ao Doppler convencional é mais difícil devido à movimentação da base cardíaca e conseqüente variação da posição do volume de amostragem. Seu fluxograma mostra a presença basicamente de duas ondas, uma sistólica e outra diastólica, sendo esta a mais importante(36) (Fig. 5.65) .

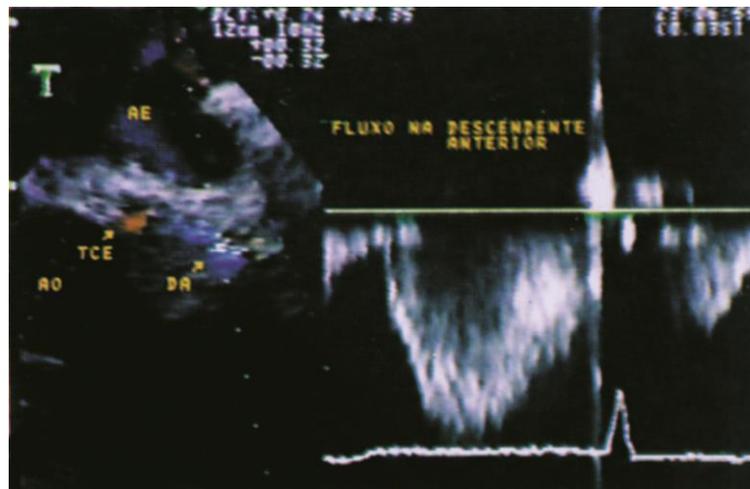


Fig. 5.65 - Ao Doppler pulsado o fluxo no tronco da coronária esquerda é constituído de duas ondas, uma sistólica e uma diastólica. Normalmente a diastólica tem maior amplitude.

CÁLCULO DO FLUXO SANGÜÍNEO VOLUMÉTRICO

É importante notar que embora os ecocardiografistas falem de fluxos quando descrevem os achados do Doppler, na realidade o que se analisa é velocidade do fluxo e não fluxo sanguíneo volumétrico como pode aparentar. Na Fig. 1.61 vemos esta diferença. Supondo que haja um cano despejando líquido em um barril, o que o Doppler mede é a velocidade do líquido no cano em centímetros por segundo e não o volume de líquido que passa pelo cano, este será medido verificando quantos barris foram enchidos na unidade de tempo ou em centímetros cúbicos por segundo. Porém o fluxo volumétrico através do cano pode ser aferido sabendo-se a área transversa deste cano e a velocidade do fluxo. Da mesma forma, para calcular o fluxo volumétrico de sangue que passa em um determinado local é necessário conhecer a área transversa deste local e a velocidade com que o sangue passa por ali. Como o fluxo sanguíneo é pulsátil, esta velocidade terá de ser a velocidade média ou, mais facilmente, a integral de uma curva de velocidades de Doppler.

A Fig. 5.66 mostra que para se conhecer o volume de um cilindro é necessário saber a área da base deste cilindro e seu comprimento (L). O volume é calculado então como $V = \pi R^2 \cdot L$, onde πR^2 corresponde à área do círculo que forma a base. Do mesmo modo, o volume de ejeção do VE pode ser calculado partindo do princípio de que este volume se encontra no interior da aorta após o final da sístole e, portanto, dentro de um cilindro cujo volume é igual à área transversa de sua base, medida logo abaixo das cúspides aórticas, multiplicado pelo seu comprimento. O comprimento do cilindro aórtico corresponde à distância percorrida pelas hemácias que se encontravam na região logo abaixo das cúspides aórticas (base do cilindro) no início da ejeção, e que foram lançadas no interior da aorta com uma velocidade inicialmente crescente e depois decrescente.

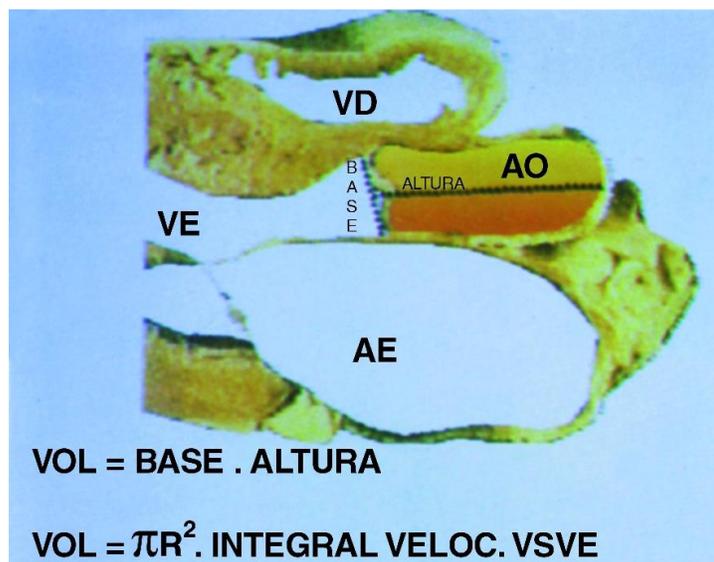


Fig. 5.66 - A aorta pode ser considerada um cilindro cuja altura corresponda ao espaço percorrido pelo sangue que se encontrava ao nível das cúspides aórticas no início da ejeção. O volume de um cilindro é calculado levando em conta a área da base e sua altura.

A distância percorrida por estas hemácias corresponde à altura do cilindro e pode ser calculada integrando-se a curva de velocidade obtida ao Doppler do fluxo sanguíneo da via de saída do VE, logo abaixo das cúspides aórticas. Quando se integra uma curva de velocidades em relação ao tempo, o que se obtém é espaço, que corresponde à distância percorrida por algo que se movesse com as características demonstradas na curva de velocidade/tempo.

Assim o volume de ejeção do VE pode ser calculado do seguinte modo: com um corte bidimensional paraesternal longitudinal do VE, mede-se o diâmetro da via de saída do VE logo abaixo das cúspides aórticas na mesossístole (Fig. 5.67).



Fig. 5.67 - Local onde se mede a via de saída do VE para efeito de cálculo de volume de ejeção do ventrículo esquerdo.

A área deste local será igual, portanto, a πR^2 , sendo R o raio, e, portanto, obviamente a metade do diâmetro obtido. Feito isto, a partir de um corte apical de cinco câmaras, coloca-se o volume de amostragem do Doppler bem abaixo das cúspides aórticas e aí obtém-se um fluxograma da via de saída. Esta curva é então integrada automaticamente pela maioria dos aparelhos (Fig. 5.68) ou então planimetra-se a área interna da curva durante a ejeção, tomando-se o cuidado para delimitar a curva em suas velocidades máximas.

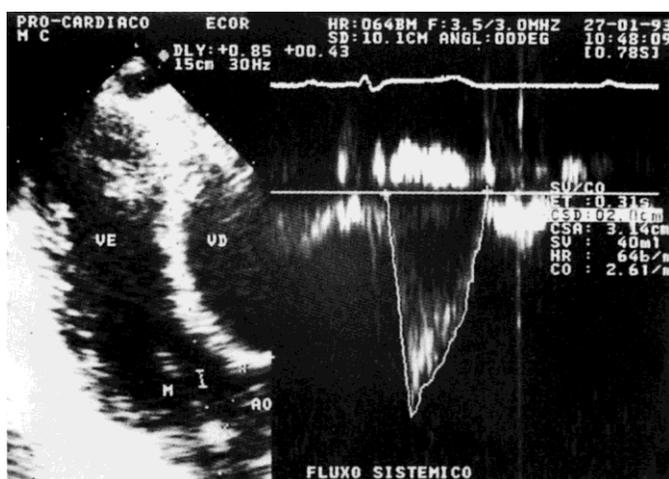


Fig. 5.68 - Planimetria de um fluxo da via de saída do VE para cálculo do volume de ejeção.

O volume de ejeção do VE será então igual à área da via de saída do VE multiplicada pela integral da curva de velocidades neste local.

O volume de ejeção do VD é calculado de modo semelhante. Obtém-se o diâmetro da região da câmara de saída do VD, logo abaixo das cúspides pulmonares (Fig. 5.69), através de um corte bidimensional transverso da base, e o fluxo nesta mesma região. O volume de ejeção do VD será igual à área da câmara de saída do VD vezes a integral da curva de velocidade registrada nesta câmara.

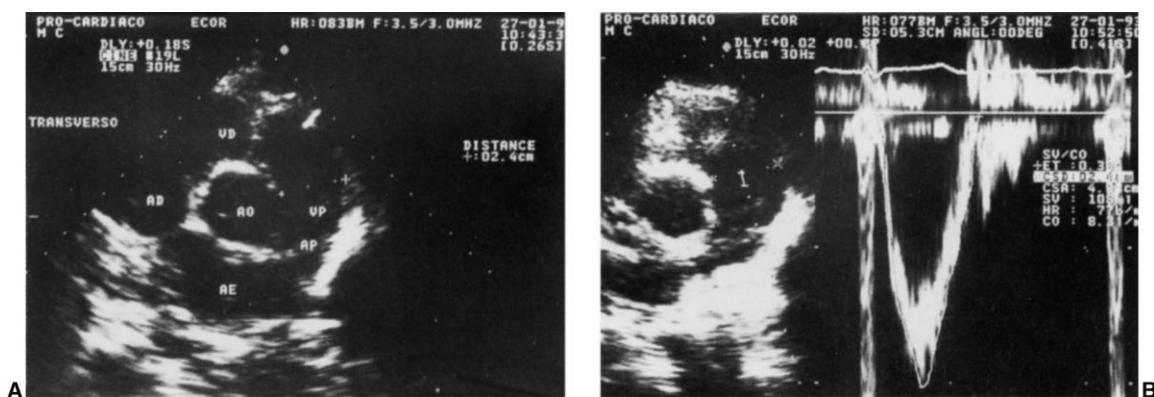


Fig. 5.69 - (A) Local onde se mede a câmara de saída do VD para efeito de cálculo do volume de ejeção ventricular direito. (B) Planimetria do fluxo aí obtido.

