

Metodologia Automática para Avaliação do Volume do Ventrículo Esquerdo em Imagens Ecocardiográficas

RAQUEL APARECIDA DE FREITAS MINI
MÁRIO FERNANDO MONTENEGRO CAMPOS

Departamento de Ciência da Computação
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627 – 31270-010 – Belo Horizonte – MG – Brasil
{raquel,mario}@dcc.ufmg.br

Abstract: This work describes a methodology automatically estimates left ventricular blood volume from echocardiographic images. Generally, this volume is estimated using one of several geometric approximations to the shape of left ventricular, such as prolate ellipsoid. The proposed method first pre-processes the echocardiographic image, automatically obtains the points belonging to the left ventricular contour and the linear dimensions necessary to compute the volume estimation based on the Simpson integration models. The methodology was applied to several real images presenting good results.

Keywords: medical imaging , echocardiographic images, left ventricular images

1 Introdução

O trabalho tem por objetivo a obtenção de informações adicionais existentes nas imagens de fluxo sanguíneo de exames de ecocardiografia, mais especificamente, a obtenção da variação volumétrica do ventrículo esquerdo. A obtenção dessa variação volumétrica é de suma importância para diagnósticos de doenças cardíacas. Geralmente, a medida desse volume é estimada a partir de diversos modelos, sendo o mais utilizado aquele que aproxima o ventrículo esquerdo de um elipsóide estendido. Entretanto, o volume calculado é aproximado e contém erros significativos [Weyman (1994)]. Para se garantir melhores diagnósticos, uma maior precisão nas medidas se faz necessária.

A função principal do coração é promover o bombeamento de sangue através dos canais vasculares do corpo para suprir os tecidos com oxigênio, nutrientes e outras substâncias e remover os produtos resultantes do metabolismo celular. Contrações rítmicas do ventrículo esquerdo criam a força necessária para vencer a resistência à ejeção de sangue e manter a circulação do mesmo. A avaliação da função do ventrículo esquerdo é, então, de fundamental importância para um diagnóstico detalhado de qualquer paciente com doença cardíaca [Weyman (1994)].

Atualmente, a abordagem utilizada consiste de uma técnica manual, onde o especialista delimita na imagem os

contornos do ventrículo esquerdo e as dimensões lineares. Os valores obtidos no procedimento anterior são fornecidos como entrada para um modelo matemático, resultando no volume do ventrículo

esquerdo. Essa metodologia, além de gastar muito tempo decorrente das marcações manuais, pode introduzir erros significativos.

Procurando minimizar alguns desses erros, foi desenvolvido um sistema para automatizar o cálculo da variação volumétrica do ventrículo esquerdo baseando-se em imagens ecocardiográficas e no modelo de Simpson. Esse modelo estima o volume do ventrículo esquerdo pela soma do volume de diversos cilindros. O cálculo é feito de forma automática pelo sistema que também permite que o especialista possa alterar interativamente quaisquer dos parâmetros envolvidos.

2 Ecocardiografia

A ecocardiografia é o uso do ultra-som em diagnósticos cardíacos. Ela é uma técnica bastante utilizada na cardiologia clínica, sendo um método em tempo-real, não invasivo e por consequência não traumático ao paciente. A sua utilização desde 1954, tem contribuído com uma grande quantidade de importantes informações na análise do desempenho cardíaco, tais como volume, fração de ejeção, medidas de função miocárdica, etc. As imagens ecocardiográficas são planares e seu objetivo é registrar a anatomia e as características funcionais de uma área específica do coração. A Figura 1 ilustra exemplos de imagens ecocardiográficas nas quais estão representados o coração, a posição do ecocardiógrafo e a respectiva imagem obtida.

Em geral, o processo de aquisição das imagens é de fundamental importância, e a inserção inadvertida de ruídos pode comprometer seriamente todo o processamento das mesmas. Isto é particularmente

verdadeiro no caso de imagens ecocardiográficas, onde diversos fatores afetam diretamente a qualidade das imagens [Weyman (1994)]: reflexão não uniforme do feixe ultra-sônico; reflexão de outros órgãos ou músculos; distorções inerentes ao sistema de ultra-som.

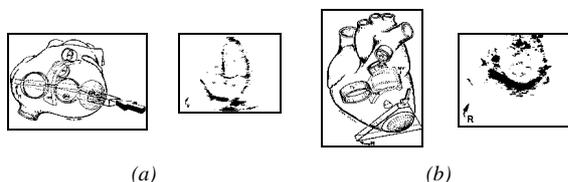


Figura 1 – Imagens ecocardiográficas (a) eixo longo (b) eixo curto

3 Metodologia Proposta

Para se calcular o volume do ventrículo esquerdo é necessário que se escolha um modelo matemático que o represente. Cada modelo possui suas variáveis cujos valores têm que ser obtidos da imagem ecocardiográfica. As medidas utilizadas mais frequentemente são comprimentos e áreas.

Apresentamos, a seguir, uma metodologia que visa a obtenção automática da área projetada e do comprimento do eixo maior do ventrículo esquerdo. As imagens utilizadas são as da vista apical de 2 ou 4 câmaras. Desta forma, a partir de apenas uma imagem é possível o cálculo da área projetada e do comprimento do eixo maior do ventrículo esquerdo. A Figura 2 ilustra uma imagem da vista apical de 4 câmaras.

Para facilitar a visualização das etapas da metodologia, as próximas imagens serão mostradas em negativo. Essa metodologia foi subdividida em 7 passos.



Figura 2 – Imagem original

1º Passo : Marcação automática de um ponto no interior do ventrículo esquerdo. De posse da imagem, determina-se automaticamente um ponto que esteja localizado no interior do ventrículo esquerdo. Isso é

feito assumindo-se como referencial o ápice da imagem. A partir desse ápice é feita uma estimativa de um ponto que esteja dentro do ventrículo esquerdo.

2º Passo : Pré-processamento (Detecção de bordas + Limiarização + Remoção de ruído). O próximo passo é a aplicação de um algoritmo de detecção de bordas [Ballard --Brown (1982)] na imagem ecocardiográfica, de modo que seja realçado o contorno do ventrículo esquerdo. Neste caso, a diferença de tonalidade entre a câmara e a parede do ventrículo esquerdo pode ser destacada utilizando-se um processo de detecção de bordas.

Existem diferentes tipos de detetores de borda [Gonzalez --Woods (1993)], sendo que, a maioria deles se baseia no cálculo do gradiente o qual indicará a direção da máxima variação de níveis de cinza e a magnitude que descreve a quantidade dessa variação.

Os detetores de borda podem ser divididos em três classes [Gonzalez --Woods(1993)]: 1. Detetores que se aproximam de operadores matemáticos de gradiente; 2. Detetores de casamento de padrão que utilizam vários padrões em diferentes orientações; 3. Detetores que encontram intensidades locais através de modelos paramétricos.

Os detetores de borda utilizados são os pertencentes à primeira classe.

Sobre esta imagem, é aplicado uma limiarização (limiarização é uma conversão de uma imagem em níveis de cinza para uma imagem binária).

A última etapa do pré-processamento consiste na aplicação de um filtro para minimizar ruídos da imagem. Esse filtro realiza a contagem do número de pixels com valor igual a 255 que circundam cada pixel. Se esse valor for considerado pequeno, o pixel em questão, assumirá o valor 0. Caso contrário, o seu valor permanecerá inalterado.

3º Passo : Retas radiais. O algoritmo de limiarização fornecerá como saída uma imagem binária. A partir do ponto central, determinado no 1º Passo, lançam-se retas radiais cuja extremidade é definida pelo pixel com valor 255 (branco) ou o final da imagem. É calculada a distância do ponto terminal de cada reta ao centro. Esses pontos terminais serão os candidatos a pertencerem ao contorno do ventrículo esquerdo. As retas são agrupadas em 9 grupos, levando-se em consideração sua localização e formato do ventrículo esquerdo. A Figura 3 ilustra esses grupos.

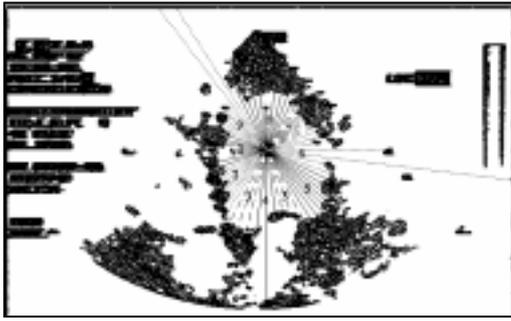


Figura 3 – Imagem ilustrando os grupos de retas

4º Passo : Determinação dos pontos viáveis. O objetivo desse passo é determinar, dentre os pontos terminais encontrados no passo anterior, aqueles que são viáveis, ou seja, os pontos que pertencem ao contorno do ventrículo esquerdo. Para isso, utiliza-se uma metodologia que se baseia na retirada dos pontos extremos de cada grupo de retas descrito no passo anterior. Inicialmente, são retiradas as retas que encontraram uma falha na parede do ventrículo esquerdo. Isso é feito retirando-se todos os pontos cuja distância ao centro seja maior que o limiar que representa o valor máximo permitido para as dimensões do ventrículo esquerdo. Em seguida, é calculada a média dentro de cada grupo e os pontos cuja distância ao centro não esteja próxima à distância média são desconsiderados. O procedimento acima é repetido a fim de se obter, no final, apenas os pontos que pertençam ao contorno do ventrículo esquerdo. Esses pontos são considerados pontos viáveis.

5º Passo : Determinação do contorno da área projetada do ventrículo esquerdo. Os pontos viáveis são interpolados através de um algoritmo de *spline* cúbica [Rogers --Adams (1937)]. Essa interpolação fornecerá o contorno do ventrículo esquerdo. Veja na Figura 4 o resultado da interpolação dos pontos viáveis.

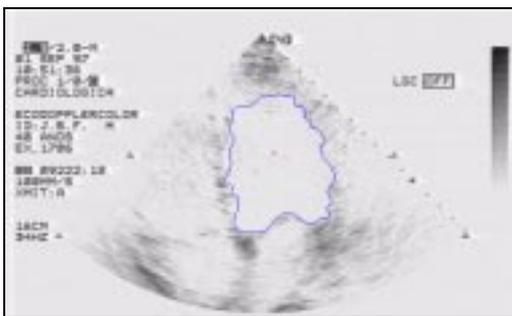


Figura 4 – Contorno da área projetada do ventrículo esquerdo

6º Passo : Determinação do eixo maior do ventrículo esquerdo. Para se detectar os limites do eixo maior do ventrículo esquerdo são utilizadas as mesmas retas determinadas no 4º Passo. Para isso, traça-se uma

reta horizontal que passa pelo centro. É calculada a distância dos pontos aceitos e pertencentes aos grupos 3, 4 e 8 à essa reta. A extremidade inferior do eixo maior será a reta que tiver a menor distância dentre aquelas pertencentes aos grupos 3 ou 4. A extremidade superior será a extremidade da reta que pertencer ao grupo 8 e tiver a maior distância até a reta horizontal.

7º Passo : Modelos. Nesta etapa pode-se optar pelo modelo desejado [Mini--Campos(1998)]. Deve-se escolher uma figura geométrica que modele o ventrículo esquerdo e cujas variáveis foram calculadas pela metodologia descrita acima. O valor encontrado para o volume dessa figura será o valor do volume do ventrículo esquerdo.

4 Resultados

Para analisar os resultados da metodologia foram implementados dois modelos: área-comprimento e Simpson. Os testes foram realizados da seguinte maneira: variou-se o número de fatias utilizadas pelo método de Simpson. O valor de volume encontrado para cada número de fatias foi comparado com o determinado pelo método área-comprimento. A Figura 5 ilustra os resultados obtidos, neles, a altura dos cilindros é fornecida em função de L (eixo maior do ventrículo esquerdo).

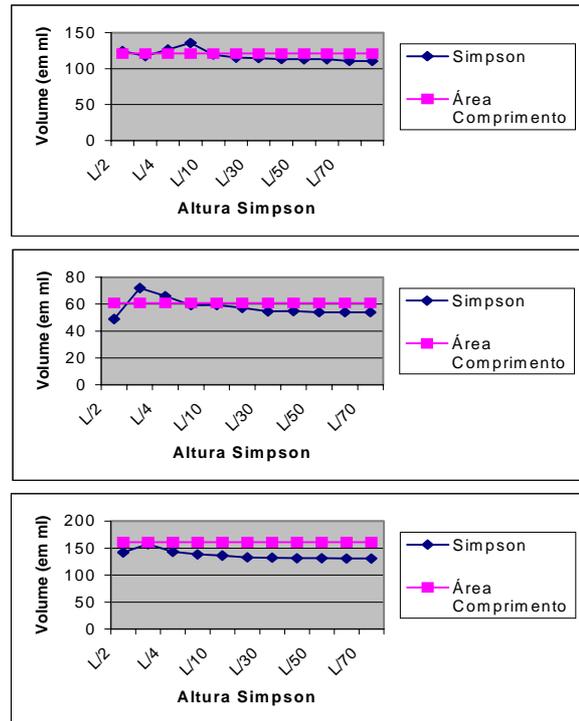


Figura 5 – Comparação entre os métodos de Simpson e área-comprimento

Como pode ser observado, a medida que se aumenta o número de cilindros o volume calculado pelo método de Simpson tende a convergir assintoticamente para o valor final estimado.

5 Conclusões e Direções Futuras

Este trabalho tratou do problema de se determinar a variação volumétrica do ventrículo esquerdo utilizando técnicas de visão computacional. As imagens analisadas foram obtidas através de exames de ecocardiografia. Essas imagens são planares e o cálculo do volume do ventrículo esquerdo é feito utilizando-se um modelo matemático cujas variáveis sejam valores de áreas ou comprimentos que possam ser obtidos da imagem. Portanto, foi necessário desenvolver metodologias que pudessem delimitar e calcular áreas de regiões e determinar dimensões lineares.

As imagens utilizadas foram capturadas de uma gravação em fita cassete, sendo portanto, de má qualidade. A situação ideal para a captura das imagens seria aquela em que o computador e o ecocardiógrafo fossem conectados, desta forma, a imagem não passaria pelas conversões digital-analógico-digital. Entretanto, a metodologia implementada mostrou-se satisfatória. A flexibilidade obtida devido à interferência do usuário em vários pontos da metodologia possibilitou o processamento de imagens que apresentavam ruídos de dimensões maiores ou que possuíam regiões abertas na parede do ventrículo esquerdo.

A análise dos resultados foi feita com a colaboração de um especialista e comprovou-se que a metodologia proposta apresenta resultados mais precisos do que os fornecidos pelas técnicas atuais. O valor encontrado pela metodologia proposta não pôde ser comparado com o valor exato do volume, pois para isso seria necessário ter acesso direto ao ventrículo esquerdo.

Os testes foram realizados em um computador Pentium MMX 166Mhz com 32MB de RAM, sistema operacional Windows 95 e o tempo gasto para processamento de cada imagem foi da ordem de 6 segundos.

Como direções futuras, considera-se a possibilidade de obtenção da informação volumétrica a partir da análise de *frames* consecutivos. Essa análise auxiliaria na identificação de ruídos no interior do ventrículo esquerdo, pois este tenderia a ficar estacionário enquanto a parede do coração estaria em movimento.

Seria interessante estender a pesquisa para incluir outras informações que venham a contribuir para um diagnóstico mais preciso e mais rápido. Uma

possibilidade seria analisar algumas propriedades do sinal *raw* do ultra-som, para utilizar em análises de fase e *backscatter*, e assim identificar quais tecidos estão enfartados, atordoados ou viáveis, o que não é possível apenas com a análise das imagens. As informações descritas acima possibilitariam análises mais sofisticadas, dentre as quais podemos citar a análise densitométrica do coração e a quantificação tecidual

Agradecimentos

O trabalho contou com a colaboração do Dr. Gilmar Reis, cardiologista e especialista em medicina interna do Hospital Vera Cruz de Belo Horizonte.

Este trabalho recebeu apoio parcial da FAPEMIG TEC 609/96 e CNPq 522618/96.

Referências

H. Dana Ballard, Christopher Brown, Computer Vision. New Jersey, Prentice-Hall Inc. 1982.

Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing. Addison-Wesley, 1993

David Rogers, J. Alan Adams, Mathematical Elements for Computer Graphics . 1937.

Arthur E. Weyman, Principles and Practice of Echocardiography - second edition. 1994.

Raquel A. F. Mini, Mário F. M. Campos, Avaliação Dinâmica do Volume do Ventrículo Esquerdo por meio de Visão Computacional. CTIC - Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica. Congresso da Sociedade Brasileira Computação, 03 a 07 de Agosto de 1998, Belo Horizonte (a ser publicado).