

MICROCOMPUTADORIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO DE UMA SONDA NUCLEAR SIMPLES
PARA ESTUDOS DA FUNÇÃO VENTRICULAR ESQUERDA

1 2 1
R.M.V. PIVA , C.C. ROBILOTTA , S.S. FURUIE

RESUMO-- O alto custo dos sistemas computadorizados de imagens cintilográficas cardíacas e a necessidade de mão-de-obra especializada para seu controle levou a procura de soluções alternativas que possibilitassem a prática da cardiologia nuclear em centros menos privilegiados. Neste trabalho é proposto um sistema mais simples e menos oneroso para estudos da função ventricular esquerda (FVE) batimento por batimento. Este sistema inclui uma sonda nuclear simples e um microcomputador para a análise de dados. A sonda nuclear, já existente, foi adequada para este fim através da construção de colimadores apropriados e os programas computacionais, escritos em PASCAL, fornecem a fração de ejeção e outros parâmetros fisiológicos ventriculares de batimentos cardíacos de interesse.

INTRODUÇÃO

A administração de um traçador radioativo e a monitoração de sua passagem e/ou de sua distribuição num determinado órgão ou região do corpo humano por um detetor externo de cintilação constituem a metodologia básica adotada em Medicina Nuclear. A maior vantagem desse tipo de medida é que ela permite investigar os processos fisiológicos de maneira muito pouco invasiva, beneficiando o diagnóstico clínico de muitas especialidades médicas, sobretudo a cardiologia.

Nos últimos anos, os maiores avanços nesse setor levaram a sistemas computadorizados para a aquisição e análise de imagens planas e tomográficas (SPECT - Single Photon Emission Computed Tomography), os quais exigem para sua operação mão-de-obra especializada e são bastante onerosos. No entanto, os diagnósticos em Medicina Nuclear não derivam somente de imagens, mas podem ser obtidos pela análise de curvas de atividade x tempo que são fornecidas também por detetores de cintilação tipo sonda simples acoplados a registradores gráficos. Destas curvas, são extraídos parâmetros importantes para a quantificação do funcionamento dos órgãos ou dos sistemas orgânicos examinados que tornam o diagnósticos mais preciso.

1

Serviço de Informática Médica do Instituto do Coração/HCC.FMUSP
Caixa Postal 8091 - CEP 05403 - São Paulo - SP

2

Departamento de Física Experimental - Instituto de Física - USP
Caixa Postal 20516 - CEP 01498 - São Paulo - SP

//Trabalho recebido em 30/5/87 e aceito em 20/10/88//

Atualmente, no Brasil a prática da cardiologia nuclear está restrita aos centros que disponham de uma câmara de cintilação ligada a um computador. Nos centros mais modestos, onde isso não é possível, são realizadas provas de função renal e tireoidianas e mapas cintilográficos utilizando-se sistemas formados basicamente por detectores de cintilação tipo sonda simples. A limitação desses sistemas no que diz respeito a apresentação de dados (qualitativos e manuais) tem feito com que se perca o interesse na sua utilização na rotina de uma clínica. Em vista deste contexto, somado ao fato da relevância do ventrículo esquerdo na ação de bombeamento do sangue para o resto do corpo, neste trabalho é proposto um sistema de aquisição e análise da função ventricular esquerda (FVE), que alia a tecnologia dos microcomputadores às sondas nucleares. A sua finalidade é ampliar a esfera de estudos quantitativos realizáveis por esses aparelhos criando, ao mesmo tempo, uma técnica alternativa e complementar aos estudos com imagens.

As sondas nucleares já vem sendo utilizadas em estudos cardíacos há mais de 30 anos. No entanto, só por volta dos anos 80 é que foi desenvolvido um sistema, denominado de estetoscópio nuclear, que proporcionou a análise automática dos dados através de um microprocessador dedicado (Wagner, 1976, 1978, 1981).

A nossa abordagem consiste em utilizar um sistema de sonda nuclear já existente e adequá-lo a estudos cardiológicos por meio do projeto e construção de colimadores apropriados para visualização do ventrículo esquerdo e pelo desenvolvimento de "software" específico para análise dos sinais obtidos. Esse projeto inclui também a elaboração de um protocolo de medidas "in vivo" visando a validação da técnica.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Instrumentação

A figura 1 mostra o diagrama de blocos do sistema de aquisição e análise da função ventricular esquerda.

A sonda nuclear é composta por um cristal de NaI(Tl) de 2" x 2" ligado a uma eletrônica modular convencional (figura 1). Na frente do cristal é afixado um colimador que limita o campo de visão do detetor a uma região de interesse, no caso, o ventrículo esquerdo. Desta forma, a modificação essencial introduzida na sonda para adequá-la à estudos da FVE foi a construção de colimadores apropriados, além de ter sido acoplada a um registrador gráfico com resposta linear na faixa de 5 à 500 Hz e a um gravador de fita magnética de 4 canais.

Foram projetados e construídos dois colimadores convergentes de um furo mostrados nas figuras 2 e 3. O colimador 1 foi projetado com base nas características geométricas do colimador apresentado no artigo de P. Hoffer e colaboradores (Hoffer, 1981) e usado na parte interna de um colimador divergente do qual procurou-se aproveitar a blindagem e a estrutura de encaixe. O colima-

dor 2 foi desenhado a partir de medidas "in vitro" das dimensões do ventrículo esquerdo de peças anatômicas de corações de indivíduos de várias faixas etárias e de ambos os sexos. As curvas de isosensibilidade, mostradas nas figuras 1 e 2, derivam das medidas das respostas à fonte pontual no ar.

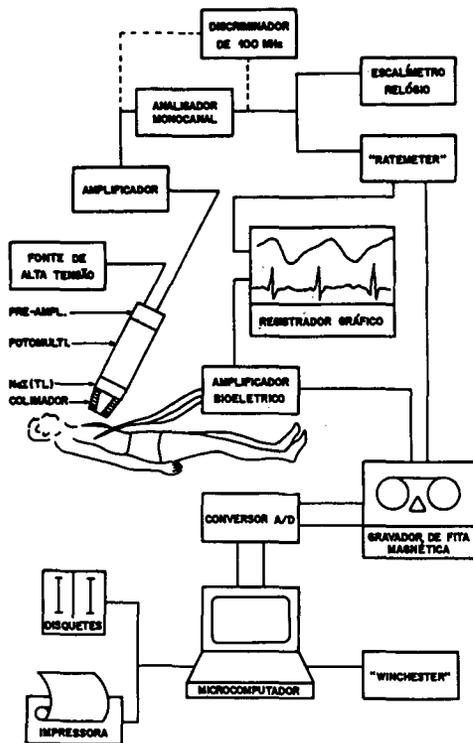


Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema de aquisição e análise da função ventricular esquerda.

O tempo morto do sistema foi determinado utilizando o analisador monocanal e o discriminador de 100 MHz. A partir desse parâmetro pode-se concluir que o discriminador de 100 MHz é capaz de registrar taxas de contagens mais altas, reduzindo assim as flutuações estatísticas do sinal cintilográfico. Essas flutuações se traduzem por ruídos de alto frequência que se sobrepoem ao sinal original. Desta forma, este módulo eletrônico era usado no lugar do analisador monocanal, como indica as linhas tracejadas da figura 1, quando se desejava detectar atividades do radiocomposto relativamente altas, isto é, que produzissem taxas de contagens superiores a 3500 C/S (taxa de contagem de saturação com o analisador monocanal), mas inferiores a 70000 C/S.

O sinal analógico de saída da sonda, gerado pelo "ratemeter" alimenta um dos 3 canais do registrador gráfico térmico, enquanto que o eletrocardiograma (ECG) do paciente examinado é registrado em sincronismo num outro canal.

Antes do processamento digital, os sinais (FVE e ECG) são gravados em fita magnética e depois convertidos em sinais binários por um conversor analógico - digital (CAD) de 10 bits a uma taxa de 120 amostras por segundo. O microcomputador fornece os resultados da análise dos sinais os quais podem ser mostrados em uma impressora gráfica.

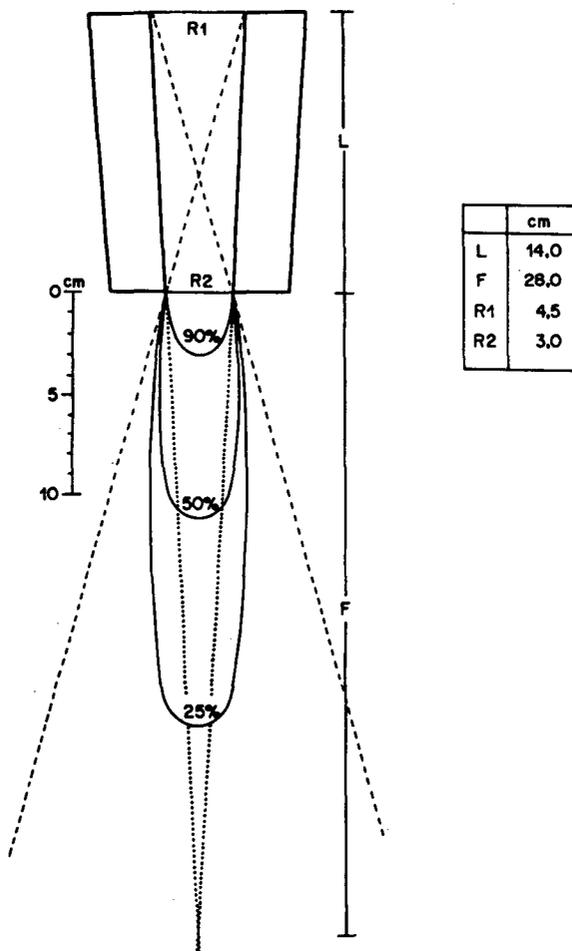


Figura 2 - Características geométricas e curvas de isossensibilidade do colimador 1.

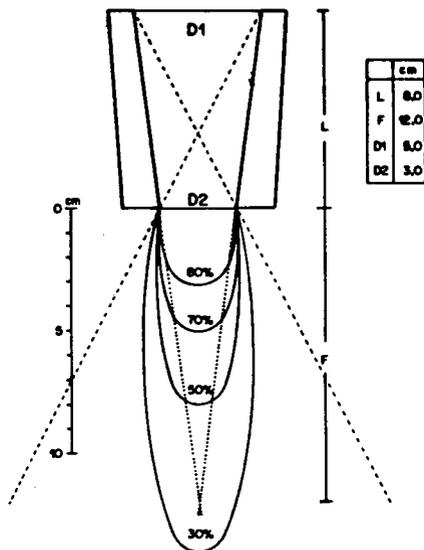


Figura 3 - Características geométricas e curvas de isosensibilidade do colimador 2.

2. Exames em Pacientes

A configuração instrumental e as características dos equipamentos descritos na seção anterior visam produzir curvas da função ventricular esquerda. Essas curvas representam a variação do volume sanguíneo que ocorre no ventrículo esquerdo em cada ciclo cardíaco.

Para obtê-las, o paciente recebe por via venosa uma injeção de 148 a 220 MBq de pertecnetato de sódio (Tc-99m) 30 minutos após a administração de 5mg de pirofosfato estano. O pirofosfato é usado para reduzir as hemácias, as quais se agregarão o Tc-99m. Aguarda-se cerca de 10 minutos para o radiocomposto entrar em equilíbrio no compartimento vascular e inicia-se a etapa de posicionamento da sonda sobre o ventrículo. Esta etapa é a parte mais crítica da técnica em questão, visto que a ausência de imagens da região que é visualizada pelo detector acarreta uma incerteza quanto a este posicionamento. O registro simultâneo das curvas de atividade x tempo com o ECG dos pacientes possibilita alguns critérios para a localização de ventrículo esquerdo, pois estes sinais estão correlacionados temporalmente. Para facilitar a localização do ventrículo a sonda é colocada na posição oblíqua anterior esquerda (OAE) a 45° que permite, de uma maneira geral, separar esta câmara do ventrículo direito. O operador(a), observando o traçado gráfico dos sinais, move a sonda sobre o tórax do paciente até que certos critérios sejam satisfeitos. São eles:

a) os máximos da curva de atividade x tempo (contagem diastólica final) deve estar em sincronismo com as ondas R do ECG e os

mínimos (contagem sistólica final) em sincronismo com as ondas T. Logo, o sinal de saída da sonda nuclear deve apresentar variações periódicas.

b) a diferença entre os máximos e mínimos deve ser a maior possível. Este último critério garante que é realmente o ventrículo esquerdo que está sendo visualizado e não o ventrículo direito que também estará em fase com o VE. A figura 4 mostra um registro gráfico da curva de atividade x tempo do ventrículo e do ECG que satisfazem bastante bem os critérios citados acima.

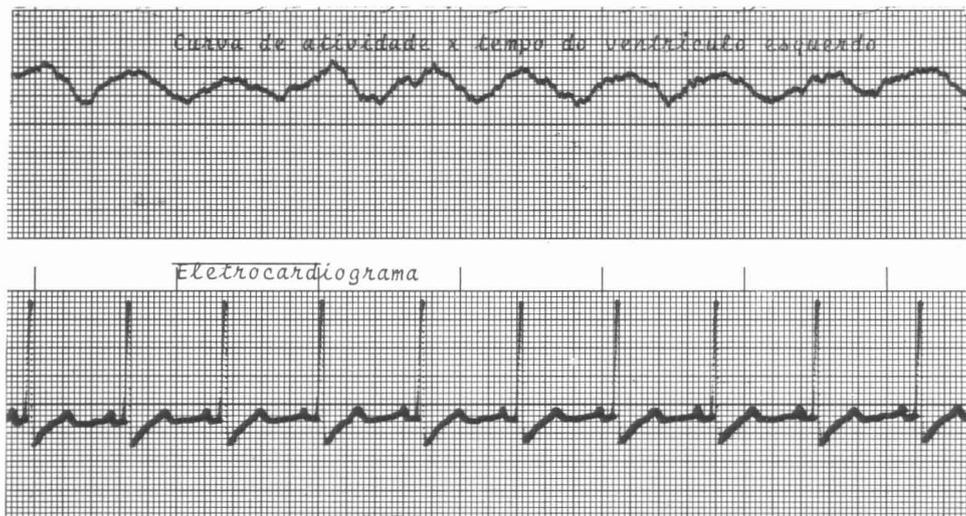


Figura 4 - Registro gráfico da curva de atividade x tempo do ventrículo esquerdo e o ECG.

Mesmo que a sonda tenha sido posicionada corretamente sobre o VE, estruturas vizinhas contribuirão com taxas de contagens que serão somadas as taxas de contagens totais. Essas taxas extra-ventriculares são chamadas de contagens de fundo anatômico ou BG ("background") e necessitam ser descontadas da curva produzida para efeito de cálculos dos parâmetros fisiológicos ventriculares.

A importância do BG para os resultados levou a elaboração de um protocolo de medidas "in vivo" que incluiu o registro de sinais de fundo em duas regiões anatômicas diferentes. Essas regiões são selecionadas deslocando-se a sonda da posição encontrada para o VE lateralmente para fora do corpo até que o sinal não apresente variações periódicas e o nível de taxa de contagem decresça sensivelmente. A região para o BG1 se situa na direção lateral do VE e a região do BG2 abaixo e lateralmente ao VE. Os sinais do BG assim como as curvas de função ventricular são gravados em fita magnética para posterior análise digital.

3- Análise Digital dos Dados

O sistema de aquisição e análise digital da função ventricular esquerda, denominado Sistema Probe, foi escrito em linguagem PASCAL e estruturado de modo modular, como mostra a figura 5. Esse sistema foi instalado em um microcomputador compatível com o IBM-PC _ Nexus 1600, Scopus_ acoplado a impressora gráfica (epsom) e a um "winchester" de 5 Mbytes.

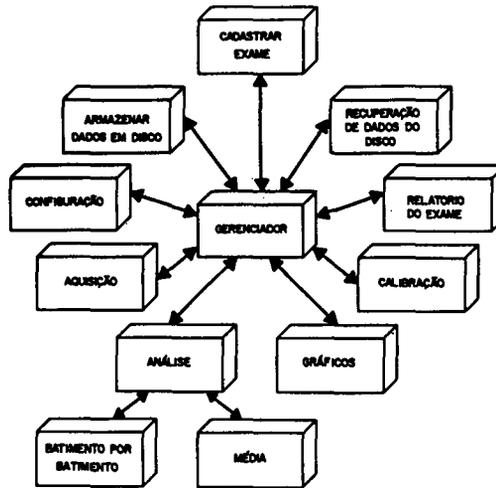


Figura 5 - Estrutura do Sistema Probe.

A conversão analógica-digital dos sinais é controlada por subrotinas em linguagem ASSEMBLY. Após a conversão, no módulo de análise o microcomputador é programado para mostrar os sinais no vídeo onde tres cursores, posicionáveis manualmente, permitem o cálculo de certos parâmetros fisiológicos como a fração de ejeção (determinada em função dos dois valores de BG:BG1 e BG2), intervalos de tempo diastólicos e sistólicos, taxa de ejeção, e a frequência cardíaca. Este módulo é subdividido em duas partes : a) análise batimento por batimento, b) análise média. Na primeira, os sinais visualizados são os sinais originais, a menos do ruído de 60 Hz, na outra, é realizada uma média coerente dos sinais da função ventricular esquerda e do ECG.

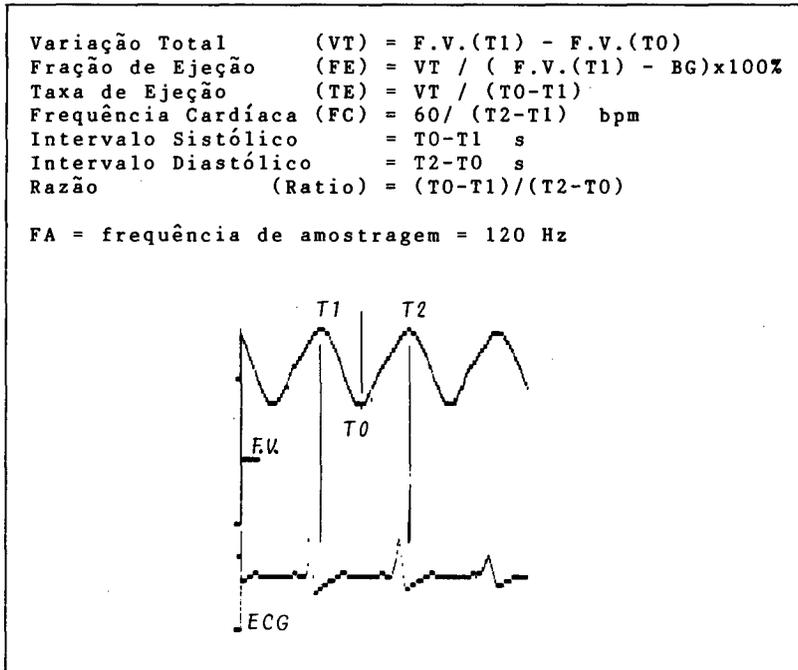
No módulo de gráficos, os resultados dos parâmetros fisiológicos são mostrados em gráficos em função do tempo. O relatório é impresso e contém dados indetificativos do paciente, fornecidos pelo cadastramento do exame, e dados técnicos. Pode-se ainda armazenar e recuperar dados em disco.

RESULTADOS

Foram realizados 20 exames em pacientes, que seguiram o mesmo protocolo. As figuras 6,7,8,9 mostram os resultados da análise de um desses exames.

A tabela 1 identifica as siglas das figuras 6 e 7 e mostra as expressões matemáticas utilizadas para calculá-las.

Tabela 1 - Parâmetros Fisiológicos



Nas figuras 8 e 9, as siglas MED, MIN, MAX, DPR, Inter, FC e BGi correspondem aos valores médios, mínimos, máximos, da variável do gráfico, ao desvio padrão relativo (DPR= desvio padrão da média / MED x 100 %), intervalo das classes do histograma e frequência cardíaca média ($^2FC^3 = 60/MED \times 1000$ bpm), respectivamente.

RESULTADOS

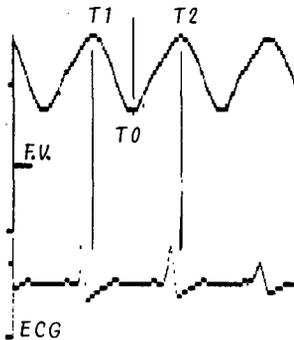
Foram realizados 20 exames em pacientes, que seguiram o mesmo protocolo. As figuras 6,7,8,9 mostram os resultados da análise de um desses exames.

A tabela 1 identifica as siglas das figuras 6 e 7 e mostra as expressões matemáticas utilizadas para calculá-las.

Tabela 1 - Parâmetros Fisiológicos

Variação Total	(VT) = F.V.(T1) - F.V.(T0)
Fração de Ejeção	(FE) = VT / (F.V.(T1) - BG)x100%
Taxa de Ejeção	(TE) = VT / (T0-T1)
Frequência Cardíaca	(FC) = 60 / (T2-T1) bpm
Intervalo Sistólico	= T0-T1 s
Intervalo Diastólico	= T2-T0 s
Razão	(Ratio) = (T0-T1)/(T2-T0)

FA = frequência de amostragem = 120 Hz



Nas figuras 8 e 9, as siglas MED, MIN, MAX, DPR, Inter, FC e BGi correspondem aos valores médios, mínimos, máximos, da variável do gráfico, ao desvio padrão relativo (DPR= desvio padrão da média / MED x 100 %), intervalo das classes do histograma e frequência cardíaca média (${}^2FC^3 = 60/MED \times 1000$ bpm), respectivamente.

HISTOGRAMA DE INTERVALO R-R

N.º: 9

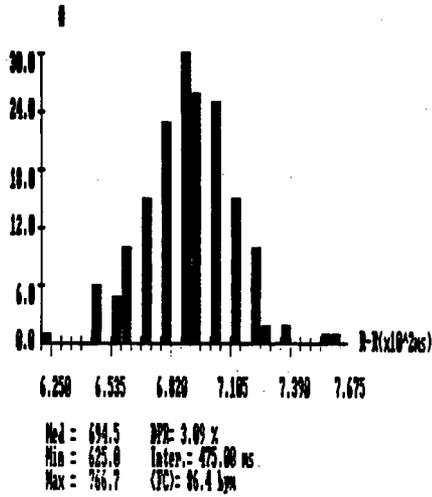


Figura 8 - Histograma do intervalo R-R. A frequência cardíaca média deriva do valor MED.

FRAÇÃO DE EJEÇÃO X TEMPO

N.º: 9

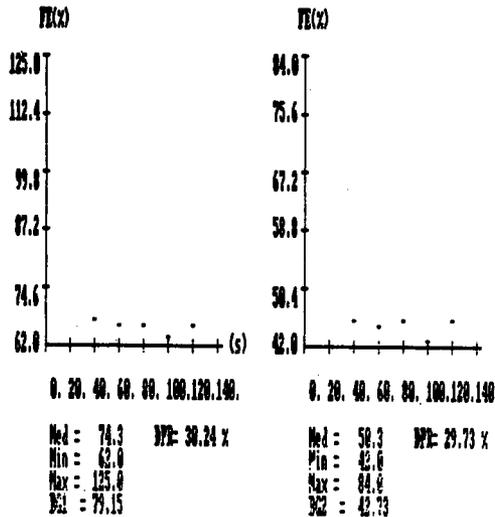


Figura 9 - Gráfico da fração de ejeção em função do tempo, do paciente número 9.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados das análises computacionais demonstraram que o valor do BG é bastante crítico para o cálculo da fração de ejeção. Como pode-se notar pelos resultados das figuras 6, 7 e 9 os valores da fração de ejeção quando calculados em função do BG1 e BG2 diferiram de 11%, 19% e 24%, respectivamente. Essas diferenças são significativas, pois podem conduzir a diagnósticos diametralmente opostos.

Além do problema do sinal de fundo anatômico, a técnica em questão apresenta um outro problema intrínseco capaz de introduzir erros nas medidas: o problema de posicionamento correto da sonda sobre a região de interesse. O aspecto subjetivo desta etapa da medida não pode ser eliminado, mas deve ser controlado por um procedimento sistemático que assegure, em princípio, uma localização apropriada do VE. Para isso, todos os movimentos da sonda sobre o tórax do paciente devem ser suaves e regulares. Neste contexto, dependerá, em grande medida, da experiência pessoal do operador(a), que conseguirá, após adquiri-la, realizar um exame da função ventricular esquerda sem o auxílio de outra pessoa.

O baixo custo do sistema proposto associado a sua facilidade de operação constituem as suas maiores vantagens. Com um sistema como este é possível analisar alterações na função ventricular a cada batimento cardíaco sendo, portanto, adequado em unidades de terapia intensiva, onde uma monitoração contínua da FVE torna-se desejável. A triagem de pacientes com suspeitas de doenças cardíacas em ambulatórios ou mesmo a investigação do efeito de algum medicamento no estado hemodinâmico de um paciente, são outras aplicações do sistema.

O "hardware" mínimo para a análise digital dos dados — micro-computador, conversor analógico-digital, winchester ou unidades de disco flexível —, não oneram o sistema visto que esses equipamentos poderão ser muito úteis para outras tarefas dentro de uma clínica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a M. Gutierrez, R. Abe, J.C. Meneguete e E.E. Camargo pelas valiosas discussões e assistências. Agradecem também a FAPESP (R.M.V.P.), FINEP, Projeto Polo-Itautec pelos apoios financeiros e de fornecimento de equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOFFER, P.B.; BERGER, H.J.; STEIDLEY, J.; BRENDLE, A.F.; GOTTSCALK, A.; ZARET, B.L. - A miniature cadmium telluride detector module for continuous monitoring of left-ventricular function. Radiology, 138:477-481, 1981.

- WAGNER, H.N.Jr., ;WAKE, R.; NICKOLOFF, E.;NATARAJAN, T.K. - The nuclear stethoscope: A simple device for generation of left ventricular volume curves. Am. J. Cardiol.,38: 747-750, 1976.
- WAGNER, H.N.Jr.- The use of nuclear stethoscope for temporal imaging of left ventricular function. In: Nuclear Cardiology: Selected Computer Aspects, ed. BACHARACH, S.L.. New York, SNM,1978, p. 45-54.
- WAGNER, H.N.Jr.- Use of nuclear stethoscope to monitor ventricular function. Pract. Cardiol., 7 (12): 113-129, 1981.

**A COMPUTERIZED AND ADEQUATED SYSTEM OF NUCLEAR PROBE
FOR LEFT VENTRICULAR FUNCTION STUDIES.**

ABSTRACT--The high cost of computerized images systems for cardiac cintilography and the need for specialized personel to control them lead to look for alternatives solutions that benable the practise of nuclear cardiology in less privileged centers. In this work is proposed a system to study the left ventricular function that is more simple and cheap than the images ones. This system includes a nuclear probe and a microcomputer for data analysis. The nuclear probe, already available, was adequated for its new use by the designing and the construction of appropriate collimators. The microcomputer, programmed in PASCAL , diplays the left ventricular curve and the ECG . Three cursors, manually positioned over the curves, permit the calculations of physiological parameters, as the ejection fraction, systolic and diastolic intervals and heart rate.