

CID DE ABREU LEME JÚNIOR



200207067

***AVALIAÇÃO DO VOLUME TOTAL DO CORAÇÃO
DURANTE O CICLO CARDÍACO EM
INDIVÍDUOS NORMAIS***

CAMPINAS

2001

CID DE ABREU LEME JÚNIOR

***AVALIAÇÃO DO VOLUME TOTAL DO CORAÇÃO
DURANTE O CICLO CARDÍACO EM
INDIVÍDUOS NORMAIS***

*Dissertação de Mestrado apresentada à Pós-Graduação
da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre
em Clínica Médica, área de Clínica Médica.*

ORIENTADOR: PROF. DR. EDUARDO ARANTES NOGUEIRA

CAMPINAS

2001

ii

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	L542a
V.	EX.
TOMBO	47716
PROC.	837/02
C	D
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	08-02-02
N.º OP	

CM00163516-4

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
UNICAMP**

L542a

Leme Júnior, Cid de Abreu

Avaliação do volume total do coração durante o ciclo cardíaco em indivíduos normais / Cid de Abreu Leme Júnior. Campinas, SP : [s.n.], 2001.

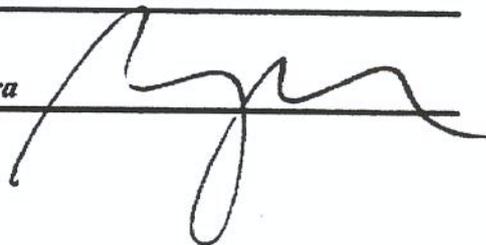
Orientador : Eduardo Arantes Nogueira

Tese (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Médicas.

1. Ventrículo cardíaco. 2. Ecocardiografia. I. Eduardo Arantes Nogueira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Médicas. III. Título.

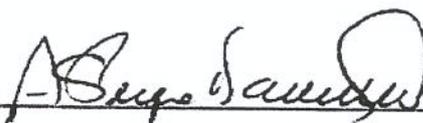
Banca Examinadora da Dissertação de Mestrado

Orientador(a): Prof.Dr. Eduardo Arantes Nogueira

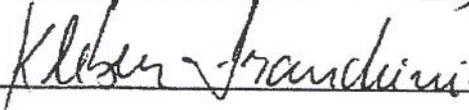


Membros:

Prof.Dr. Antonio Carlos Pereira Barretto



Prof.Dr. Kleber Gomes Franchini



Curso de Pós-Graduação em Clínica Médica, área de concentração Clínica Médica, da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas.

Data: 26/07/01

DEDICATÓRIA

Para a minha querida esposa Ana Maria e meus filhos João, Pedro e José Vicente, com todo o meu carinho e dedicação

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eduardo Arantes Nogueira, professor, amigo, incentivador e conselheiro, pelo grande apoio e pela fundamental ajuda na participação com a realização dos gráficos e da análise estatística., bem como na formatação tipográfica do texto.

Ao amigo Valdemir Nogueira, pela grande colaboração na diagramação dos textos e no preparo da aula, demonstrando grande conhecimento na área de computação.

A Roseclair, secretária da Disciplina de Cardiologia, pela colaboração com a parte administrativa.

Aos colegas e funcionários do Serviço de Ecocardiografia do Hospital das Clínicas da UNICAMP, pelo incentivo e colaboração.

Aos colegas e funcionários do Centro de Investigação do Coração, em Americana-SP.

	PÁG.
RESUMO	<i>xi</i>
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Planejamento.....	23
3.2. População estudada.....	23
3.3. Métodos.....	23
3.4. Análise estatística.....	28
4. RESULTADOS	29
5. DISCUSSÃO	40
6. CONCLUSÃO	46
7. SUMMARY	48
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
9. ANEXOS	54

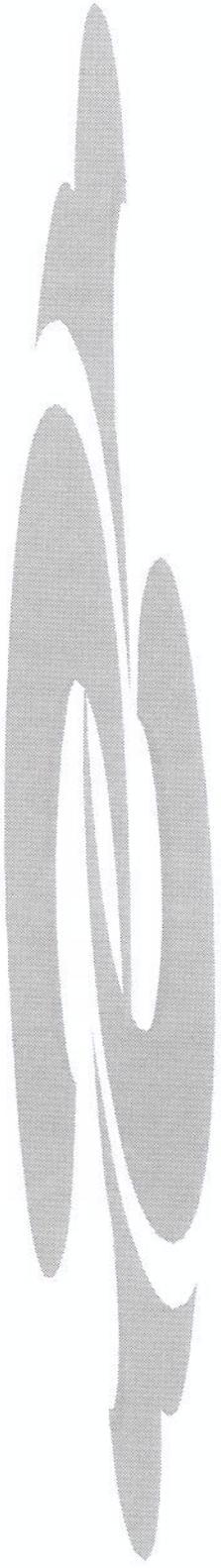
LISTA DE ABREVIATURAS

AD	área diastólica total do coração
Alt	altura
AS	área sistólica total do coração
Coef	coeficiente de regressão linear
CRP	capacidade residual pulmonar
CTP	capacidade total pulmonar
DSR	Dinamic Spacial Reconstructor
Interc	Intercepto de regressão linear
P	Probabilidade
PD	perímetro diastólico total do coração
PS	perímetro sistólico total do coração
R	coeficiente de correlação
SC	área de superfície corpórea
VA	variação percentual entre a área sistólica e diastólica total do coração
VD	Volume diastólico total do coração
VP	variação percentual entre o perímetro sistólico e diastólico total do coração
VPA	variação percentual da área
VPP	variação percentual do perímetro
VPV	variação percentual do volume
VS	volume sistólico total do coração
VV	variação percentual entre o volume sistólico e diastólico total do coração

	<i>PÁG.</i>
Tabela 1: Dados demográficos.....	30
Tabela 2: Descrição de acordo com idade, sexo, peso, altura e superfície corpórea.....	55
Tabela 3: Medidas ecocardiográficas, com suas variações percentuais, mostrando a média e o desvio padrão.....	32
Tabela 4: Medidas do coração total do perímetro sistólico e diastólico, área sistólica e diastólica, e volume sistólico e diastólico.....	56
Tabela 5: Parâmetros de regressão linear.....	34
Tabela 6: Variação percentual das medidas de perímetro, área e volume.....	57

	<i>PÁG.</i>
Figura 1: Gravura original do trabalho de Leonardo Da Vinci mostrando a movimentação do estilete fixado no ápex do coração.....	14
Figura 2: Gravura original do trabalho de Leonardo Da Vinci mostrando a movimentação do estilete fixado na base do coração.....	15
Figura 3: Criança em posição de exame.....	24
Figura 4: Esquema do estudo subcostal.....	24
Figura 5: Corte esquemático do coração, como visto no estudo subcostal.....	25
Figura 6: Foto do estudo subcostal.....	25
Figura 7: Foto do estudo subcostal, mostrando a medida de volume realizada através do programa ScanPlus5.....	26
Figura 8: Representação esquemática da Regra de Simpson.....	27
Figura 9: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo das variáveis demográficas.....	31
Figura 10: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo dos perímetros.....	33
Figura 11: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo das áreas.....	33
Figura 12: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo dos volumes.....	34

Figura 13:	Representação gráfica da análise de regressão linear dos perímetros.....	35
Figura 14:	Representação gráfica dos resíduos do modelo de regressão linear dos perímetros.....	35
Figura 15:	Variação percentual dos perímetros, áreas e volumes de acordo com a superfície corpórea.....	36
Figura 16:	Representação gráfica da análise de regressão linear das áreas.....	36
Figura 17:	Representação gráfica da análise dos resíduos do modelo de regressão linear das áreas.....	37
Figura 18:	Representação gráfica da análise de regressão linear dos volumes..	37
Figura 19:	Representação gráfica da análise dos resíduos do modelo de regressão linear dos volumes.....	38
Figura 20:	Variação entre o perímetro diastólico e a superfície corpórea.....	38
Figura 21:	Variação entre a área diastólica e a superfície corpórea.....	39
Figura 22:	Variação entre o volume diastólico e a superfície corpórea.....	39
Figura 23:	Cálculo do volume de acordo com a fórmula elipsóide.....	44



RESUMO

Leme Jr., C.A. **Avaliação do Volume Total do Coração Durante o Ciclo Cardíaco em Indivíduos Normais**. Campinas, 2001. 45p. Dissertação Mestrado- Faculdade de Ciências Médicas da Universidade de Campinas

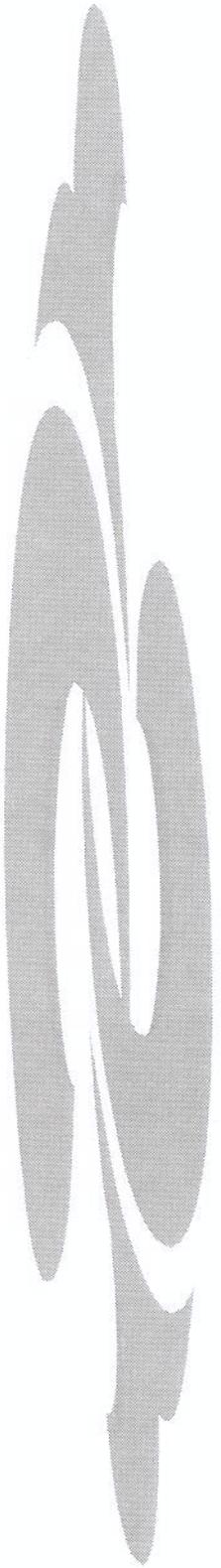
O conceito de volume cardíaco total invariante foi confirmado em animais, com demonstrações experimentais. Entretanto, em humanos, não há informação sobre o volume do coração durante o ciclo cardíaco, embora já demonstrado que o ápex permanece praticamente imóvel durante a sístole.

Com base nestes dados levantamos a hipótese de que, em humanos normais, o volume cardíaco também deve ser constante. O conceito do ápex cardíaco estacionário implica que o volume cardíaco total deve ser constante durante o ciclo cardíaco. Para testar esta hipótese utilizamos a ecocardiografia bidimensional para avaliar o volume cardíaco total. Para isso, utilizamos como técnica de investigação o ecocardiograma bidimensional, avaliando as dimensões do coração como um todo durante o ciclo cardíaco. Estudamos 41 crianças e adolescentes, cuja idade variou entre 3 meses e 14 anos (média de 6,15), que foram encaminhadas ao Serviço de Ecocardiografia do Hospital das Clínicas da Universidade Estadual de Campinas para avaliação de sopro cardíaco, porém com estudo ecocardiográfico normal. Vinte crianças eram do sexo feminino e 21 do sexo masculino.

No estudo ecográfico bidimensional avaliamos o perímetro, área e volume total do conteúdo intrapericárdico através da região subcostal, em sístole e diástole final.

Os dados mostraram uma forte correlação entre sístole e diástole, com índices de 0,98 para o perímetro, e 0,99 para área e também para o volume. Nossas medidas mostraram uma leve tendência a um maior volume diastólico em relação ao sistólico, também observado em estudos com animais, sendo $3,55 \pm 3,0$ % para o perímetro, $4,18 \pm 2,8$ % para a área e $6,6 \pm 4,2$ % para o volume diastólico.

Em conclusão, nosso estudo mostra que, também em humanos, a variação volumétrica do coração durante o ciclo cardíaco é mínima, podendo ser considerada quasi-invariante.



1. INTRODUÇÃO

A medida de volume total do coração é conhecida há muitas décadas. Atualmente é utilizada em medicina esportiva, e em ultra-som obstétrico, para avaliação de possível cardiopatia congênita. Em cardiologia clínica, todavia, seu uso é limitado. O estudo do volume do coração se confunde com a avaliação do movimento cardíaco e da observação do ápex ventricular. O conceito de que no homem o ápex do ventrículo esquerdo fica estacionário durante o ciclo cardíaco é muito pouco difundido. Essa teoria iniciou-se no século dezesseis com trabalho de Leonardo Da Vinci (Hamilton, 1930 O'Malley, 1982), estudando em animais o movimento do coração, através de um método utilizado pelos camponeses de Toscano para sacrificar os animais. Depois de imobilizar o animal, um estilete era introduzido no tórax, inicialmente no ápex, para observar a oscilação de acordo com o batimento do coração; após isso, outro estilete era colocado mais acima, na base do coração, e os movimentos analisados, observando-se que as variações entre os dois através do fulcro eram mínimas (menor do que o diâmetro de um dedo, segundo a descrição original), se comparado a um instrumento pontiagudo transpassando todo o coração. As Figuras 1 e 2 são fotocópias dos trabalhos originais de Da Vinci.

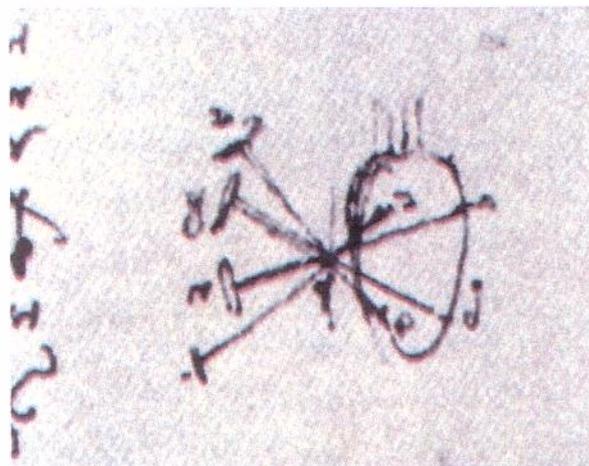


Figura 1: Gravura original do trabalho de Leonardo da Vinci, mostrando a movimentação da base ventricular.

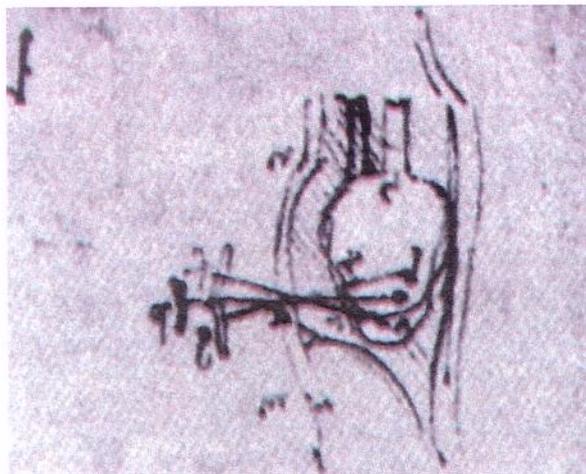


Figura 2: Gravura original do trabalho de Leonardo da Vinci mostrando a movimentação do estilete fixado no ápex.

Esse método de estudo não foi utilizado durante os três séculos posteriores, até ser reintroduzido em 1835 por Jung De Basel e por Schiff em 1849 para avaliar a inervação cardíaca. Vários outros observadores utilizaram esse método no século dezenove, no estudo da função do coração, destacando-se J.Berry Haycraft, que em 1891, utilizando uma leve haste acoplada a uma agulha, desenvolveu o cardiógrafo.

No século vinte o estudo da movimentação do ápex e do volume cardíaco foi retomado com experimentos de Hamilton, para análise do volume do coração durante todo o ciclo cardíaco, através da fluoroscopia monoplane (Hamilton, 1930), onde concluiu que o volume do coração se mantém relativamente constante. Isso foi confirmado em parte pelo estudo de Holzlohner (1932) onde questionava se a pequena variação encontrada na medida do volume cardíaco não estaria relacionada a alterações do volume aéreo pulmonar.

Dois anos após Hamilton et al.. (1932) reconheceu que a análise do volume cardíaco através da fluoroscopia, não se levando em conta a visualização direta das paredes do coração, poderia levar a uma falsa conclusão sobre a medida do volume cardíaco total. Em um novo trabalho observou o movimento do coração em animais (rã, tartaruga e cão, sendo neste último fixado anzóis de pesca na base e ápex para avaliação fluoroscópica dos

movimentos cardíacos, em tórax intacto), onde concluiu que: (a) na sístole, a base do coração faz um grande movimento em direção ao ápex, enquanto o ápex se mantém praticamente estacionário; (b) o mesmo ocorre no tórax intacto de cães quando a base do ventrículo é visualizada através da fluoroscopia, avaliando-se através de pequenos objetos de metais colocados no miocárdio próximo ao sulco atrioventricular; (c) quando as mudanças de volume atriais e ventriculares do coração da tartaruga são registradas separadamente, elas parecem ser recíprocas, os átrios enchem e os ventrículos esvaziam e vice-versa; portanto, as variações de volume do coração como um todo é muito pequena; (d) experimentos similares na tartaruga e cão indicaram conclusões similares.

Um outro trabalho envolvendo esse assunto foi descrito pelo mesmo autor, na década de 70 (Hamilton, 1977), mostrando, ao contrário do que se acreditava, que as variações cardiogênicas do fluxo de ar medidos na boca eram muitos pequenas em comparação ao volume do coração, mas quando o fluxo traqueal era bloqueado, as mudanças cardiogênicas na pressão do ar sugeriam somente uma mudança mínima do volume intratorácico.

Uma das conseqüências deste conceito é que sendo o ápex do ventrículo esquerdo o próprio ápex do coração, ele se constitui uma das extremidades no sentido longitudinal, sendo a outra extremidade a parede posterior do átrio esquerdo, no tórax intacto. Segundo este modelo de movimentação do coração, as duas extremidades estando fixas, a transferência de volume dos átrios para os ventrículos seria realizada por movimentação da base ventricular no sentido longitudinal. Desta forma, as variações de volumes ventriculares e atriais seriam recíprocas, ou seja, os átrios se enchem enquanto os ventrículos se esvaziam durante a sístole, e vice-versa na diástole. Então, segundo este modelo, o volume cardíaco total seria invariante.

Um estudo inovador foi publicado por Hoffman & Ritman (1985), utilizando um método chamado Recontrutor Dinâmico Espacial (DSR), com tomografia rápida do coração e posterior reconstrução tridimensional. Os autores partiram da premissa segundo a qual o coração não mostra variação significativa do seu volume na sístole e diástole final, quando avaliado com o tórax fechado. Neste trabalho foram estudados nove cães sedados, entubados e mantidos com ventilador de volume constante. Um cateter foi introduzido pela

artéria carótida esquerda até o ventrículo esquerdo, e conectado a um manômetro para registro de pressão. A referência zero foi a linha média do tórax com o animal posicionado no DSR. Foram inseridos cateteres nas veias cava superior e inferior, através das veias jugular e femoral esquerda, respectivamente, e posicionados a 2 cm da entrada do átrio direito. Um terceiro cateter de contraste foi colocado na artéria pulmonar, através da veia jugular esquerda. A injeção na artéria pulmonar foi usada para opacificação simultânea das câmaras direitas. Esses locais de injeção foram escolhidos para minimizar os efeitos na geometria das câmaras e mudança na pressão e volume associados com a injeção do contraste.

Após essa preparação os animais foram colocados em posição supina, transferidos para o scanner DSR e posicionados para a avaliação. Foram feitos imagens de DSR scan, sendo cada tomada de 4 segundos (240 sets de imagens, cada uma consistindo de 14 imagens projetadas obtidas em 1/100 seg. e repetidas cada 1/60 seg.). As duas primeiras imagens foram obtidas com insuflação pulmonar mantida na capacidade residual pulmonar (CRP, 0 cmH₂O de pressão do ar). Foi então induzido hiperventilação, insuflando o pulmão várias vezes além da capacidade total pulmonar (CTP, 30 cmH₂O de pressão) e retornando à pressão de 0 cmH₂O. Após cada registro o débito cardíaco foi obtido através de técnica de diluição, com os pulmões em CRP. Em um segundo registro, um contraste radiológico não iônico foi injetado na veia cava superior e inferior e tronco da artéria pulmonar. O controle do registro foi através de computador, de tal forma a opacificar simultaneamente a maior porção dos 4 segundos. Um terceiro registro foi obtido de forma similar com o pulmão insuflado a 15 cmH₂O. Durante cada tomada, o ECG e pressões de câmaras direita e esquerda foram sincronizadas com registro de vídeo da imagem das projeções do raio-X .

A Reconstrução Dinâmica Espacial (DSR) produz imagens radiológicas sincronizadas múltiplas, paralelas, em cortes transaxiais em 1/100 seg., produzindo 14 imagens, transmitidas a 14 monitores ligados a um gravador de imagens. Esse processo é repetido 60 vezes/seg. Um computador foi utilizado para a reconstrução do coração com o reconhecimento das bordas do epicárdio e endocárdio, através de escala cinza. Os resultados obtidos nessa técnica mostraram uma representação da superfície do coração e grandes vasos com a reconstrução de imagens do volume.

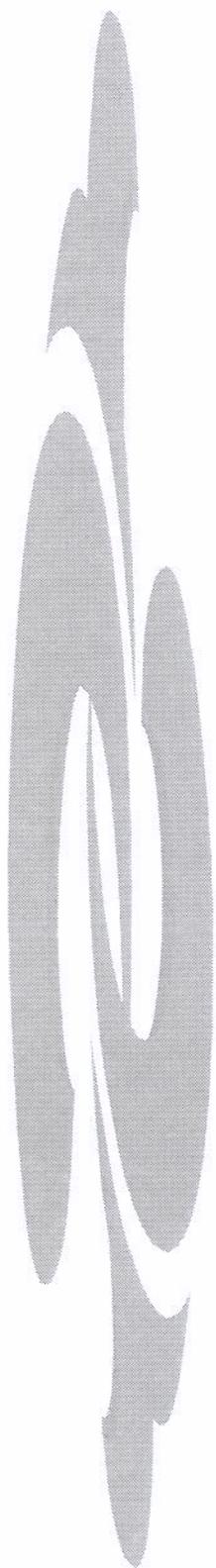
Pelos dados obtidos os autores concluíram que o volume cardíaco se mantém constante comparando-se a sístole e diástole final, independente do volume total do coração. Essa observação sugere que mesmo a constrição do pericárdio não é responsável pela relação constante do volume do coração ou que a insuflação pulmonar serve para mudar a ação do saco pericárdico na manutenção do volume não variável do coração. Isso explicaria a pobre avaliação das estimativas obtidas pelo pneumocardiograma como um índice de função cardíaca quantitativa (Giulio, 1955) e das estimativas de função usando projeções epicárdicas (Dickhutt et al., 1996 ; Edler et al., 1954 ; Hamilton 1977). Os autores também confirmaram que o ápex do coração se mantém estacionário, o que pode ter um significado fisiológico importante para a avaliação da geometria cardíaca no estudo da função miocárdica.

Nogueira (1987, 1989) avaliou a posição do ápex ventricular esquerdo na sístole e diástole final em um grupo de 45 indivíduos normais através do ecocardiograma bidimensional, e em outro grupo de 10 indivíduos através de cinetomografia de alta velocidade e cineangiografia. Em ambos não foram observadas mudanças na posição do aspecto epicárdico do ápex na diástole para a sístole final, havendo um movimento da base em direção ao ápex de $10.2\% \pm 1.9\%$ no grupo avaliado pelo ecocardiograma e $12.9\% \pm 5.1\%$ no grupo com cineangiografia. A análise da cineventriculografia dos dez indivíduos revelou movimentos da base em direção ao ápex em $9.1 \pm 1.9\%$. O segmento apical movimentava-se em direção a base em $13.9 \pm 3.9\%$. Embora nessa técnica o segmento apical parecia mover-se para dentro, cada imagem da cinetomografia computadorizada não mostrava movimento do aspecto epicárdico do ápex. Em vista disso, os autores concluíram que: (a) o ápex é estacionário durante a sístole ; (b) normalmente há obliteração apical, causado por encurtamento transversal das paredes da região apical, sendo a responsável pelo aparente movimento para dentro do segmento apical visto na cineventriculografia; (c) a rotação do eixo longitudinal observado na cineangiografia poderia ser resultante da assimetria das câmaras em relação às paredes anterior e inferior.

Outro trabalho utilizando avaliação ecocardiográfica para a análise da geometria dinâmica do ventrículo esquerdo foi feito por Assmann et al.. (1988) estudando 61 indivíduos normais, 41 pacientes com infarto anterior e 9 pacientes com infarto posterior

do miocárdio. Foram utilizados como pontos de referência para a análise do movimento o ápex epicárdico, as junções aórtico-ventricular e mitro-ventricular. Esse trabalho também concluiu que durante a contração ventricular o ápex se mantém estacionário, enquanto que a base move-se em direção ao ápex devido ao encurtamento das paredes adjacentes.

Baseado nesses dados da literatura e nos nossos próprios trabalhos mostrando uma estacionaridade apical, levantamos a hipótese de que, também, em humanos deve haver uma constância das dimensões do coração durante o ciclo cardíaco.



2. OBJETIVO

O objetivo de nosso estudo é testar a hipótese de que o volume cardíaco total é invariante durante o ciclo cardíaco, em humanos.



3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. PLANEJAMENTO

Utilizamos os dados registrados de crianças e adolescentes encaminhados ao Serviço de Ecocardiografia do Hospital das Clínicas da UNICAMP para investigação diagnóstica de sopro, submetidos ao estudo ecocardiográfico, e cujo resultado foi normal.

3.2. POPULAÇÃO ESTUDADA

Avaliamos quarenta e um indivíduos normais, com idade entre 3 meses e 14 anos (média de $6,15 \pm 4,50$ anos), sendo 20 do sexo feminino e 21 do masculino. A escolha desta faixa etária deveu-se à melhor definição anatômica nas imagens registradas, pois em crianças e adolescentes é possível uma melhor qualidade de imagem no estudo subcostal, visualizando-se melhor as 4 câmaras cardíacas.

3.3. MÉTODOS

Foram utilizados dois equipamentos de ultra-som, Apogee CX 200 e Esaote SIM 7000 CFM, ambos dotados de transdutores de 3 e 5 Mhz, com Doppler pulsado, contínuo, e mapeamento com fluxo a cores.

Todos os indivíduos avaliados apresentavam estudo ecoDopplercardiográfico normal. A visualização simultânea do coração com as quatro câmaras foi feita através da região apical e subcostal. Devido a melhor qualidade da imagem optamos por realizar as medidas do perímetro, área e volume através da região subcostal, sendo mais evidente a linha pericárdica, as cavidades e suas valvas mitral e tricúspide, as veias pulmonares, e a definição do ápex cardíaco, conseguindo-se assim estudar a sístole e diástole final de maneira uniforme.

O estudo ecocardiográfico habitual foi realizado com a criança em repouso, em decúbito dorsal e lateral esquerdo. Inicialmente em decúbito lateral esquerdo avaliamos a região paraesternal esquerda, visualizando o corte longitudinal e transversal, sendo realizadas medidas de cavidades e a análise da função ventricular. Após, o transdutor foi colocado no ápex para visualização do coração em quatro e duas câmaras.

Com a criança em decúbito dorsal, observamos o coração com o transdutor em região subcostal. (Figura 3).

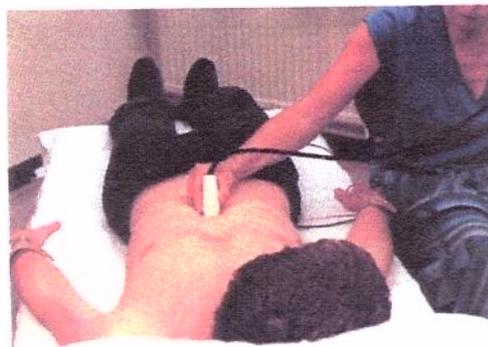


Figura 3: Criança em posição de exame.

Após o estudo completo, quando a morfologia foi analisada, e foram realizadas medidas anatômicas e funcionais, com estudo de fluxos baseados na técnica de Doppler, avaliamos então a região subcostal para adquirir a imagem do coração com as quatro câmaras, em sístole e diástole, conforme mostra a Figura 4.

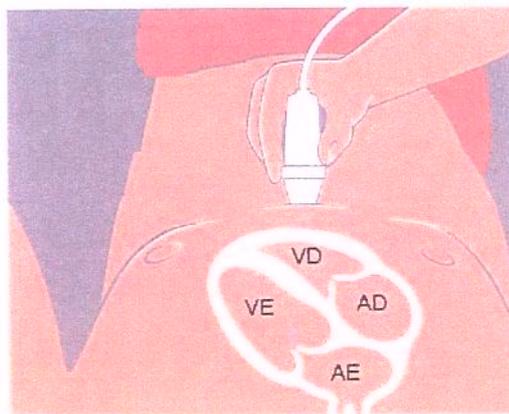


Figura 4: Esquema do estudo subcostal

Foram utilizados pontos anatômicos para melhor padronização, sendo considerados importantes o alinhamento das valvas mitral e tricúspide, bem como a presença das veias pulmonares inseridas na parede posterior do átrio esquerdo, permitindo assim uma uniformização do plano bidimensional de estudo (Figura 5).

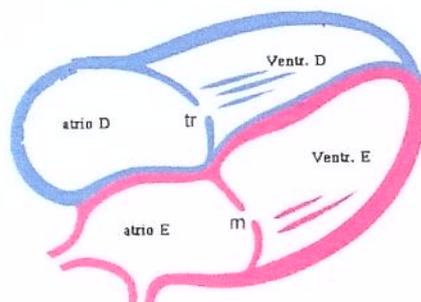


Figura 5: Corte esquemático do coração, como visto no estudo subcostal

Nas imagens bidimensionais do estudo, a linha pericárdica aparece como uma membrana ecodensa envolvendo o coração. Esta característica, bem como as cavidades atriais e ventriculares, valvas mitral e tricúspide, veias pulmonares e ápex, acham-se demonstradas na figura abaixo. (Figura 6).

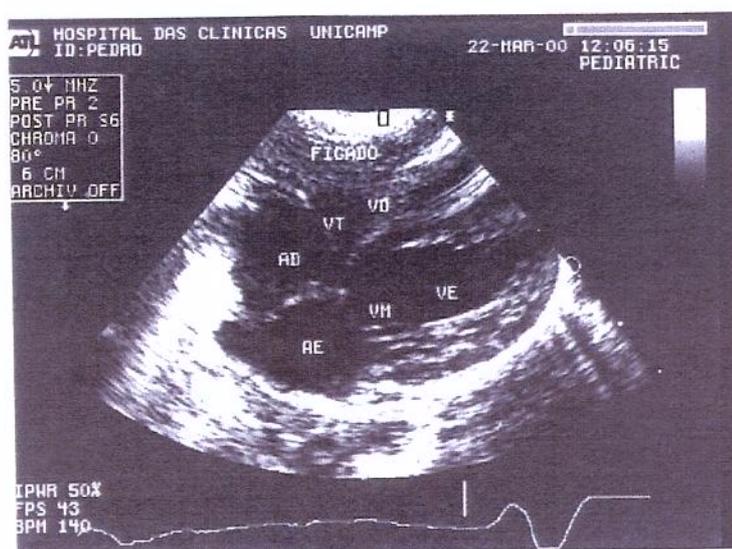


Figura 6: Foto de estudo subcostal (AE=átrio esquerdo, AD=átrio direito, VD=ventrículo direito, VE=ventrículo esquerdo, VM=valva mitral, VT=valva tricúspide)

Os dois equipamentos utilizados para o estudo ecocardiográfico contavam com um software de imagens que permitiu uma avaliação quadro a quadro. Para o registro da sístole e diástole final utilizamos a maior variação nessas fases. Foram registradas as imagens congeladas em sístole final e diástole final, através de fotografia em video printer. Estas imagens foram posteriormente digitalizadas e as medidas de perímetro, área e volume foram realizadas através do programa de imagens ScanPlus5, conforme mostra a Figura 7.

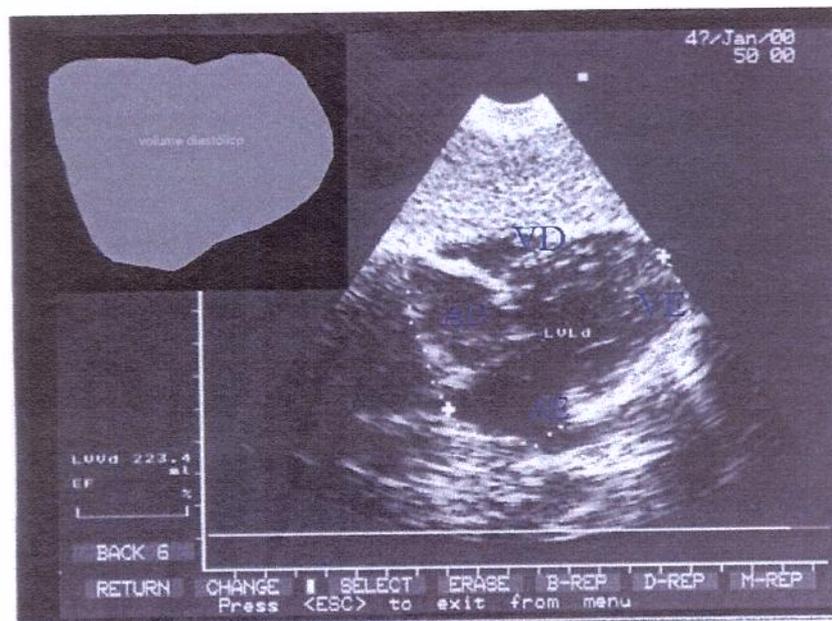


Figura 7: Corte subcostal onde se mostra a medida de volume realizada através do programa ScanPlus5 (alto, a esquerda)

As medidas de perímetro e de área foram feitas diretamente com a contagem de pixels pelo programa. Entretanto o volume cardíaco foi calculado, já que partiu-se de uma imagem bidimensional. Para o cálculo do volume o programa utilizou a regra de Simpson (Chapman et al , 1958). Com a regra de Simpson o cálculo baseia-se na divisão da imagem em multiplas fatias sucessivas, consideradas como figuras tridimensionais, que subsequentemente são somadas, de acordo com o esquema e fórmula apresentado na Figura 8 :

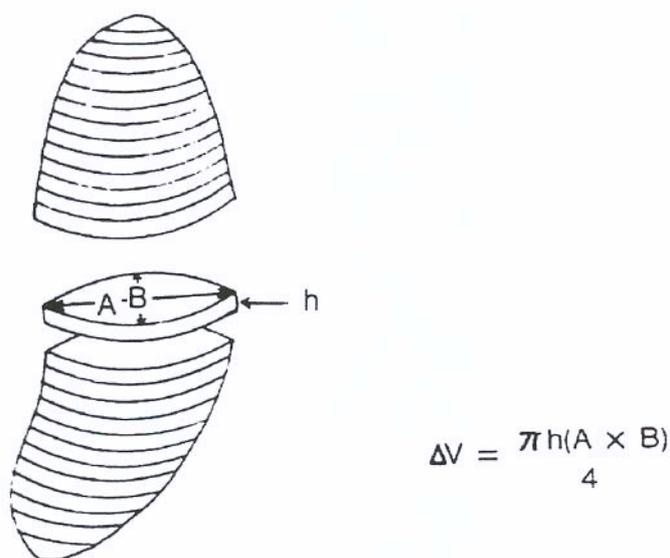
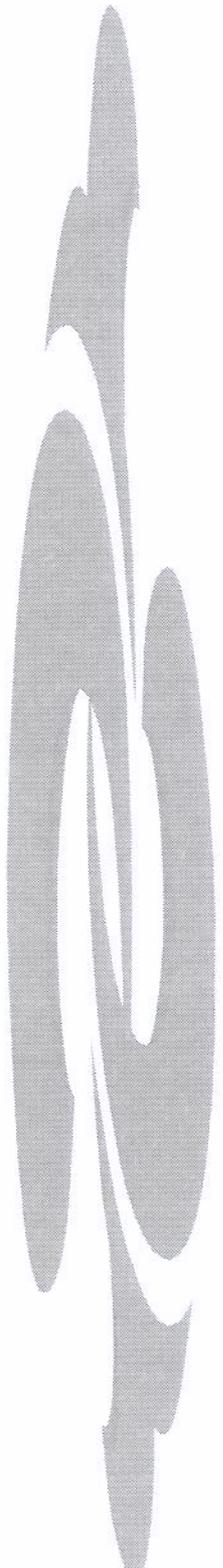


Figura 8: Representação esquemática da Regra de Simpson modificada por Chapman, mostrando o volume como uma somatória das fatias dos segmentos, cada um tendo a espessura de h (V , volume de cada segmento em cm^3); A , diâmetro do corte seccional em um sentido (cm); B , diâmetro em outro sentido, ao mesmo nível

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados numéricos foram expressos em forma paramétrica. A relação entre cada parâmetro em sistole final e diástole final foi avaliada por análise de regressão linear, e análise de resíduos, usando o programa estatístico S-Plus 6.0 (Insightful Corp., 2001) e Stata 6.0 (StataCorp. 1999).



4. RESULTADOS

Os valores médios e desvios dos dados demográficos idade, peso, altura e área de superfície corpórea (SC) encontram-se na Tabela 1. Na Figura 9 estão representados em forma de mediana, 1º quartil e 3º quartil, valores máximos e mínimos a distribuição das variáveis. Os valores individuais dos dados demográficos encontram-se na Tabela 2 (anexo 8.1). As idades variaram de 3 meses a 14 anos (média $6,15 \pm 4,5$). O intervalo interquartil foi de 2 a 10 anos mostrando que a maior parte das crianças tinham idade menor que 10 anos. O peso, altura e superfície corpórea distribuíram-se normalmente de acordo com a idade.

Tabela 1: Dados demográficos.

Variáveis	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	6,15	4,50
Peso (kg)	23,17	13,16
Altura (cm)	114,22	27,49
SC (m2)	0,84	0,35

SC – superfície corpórea

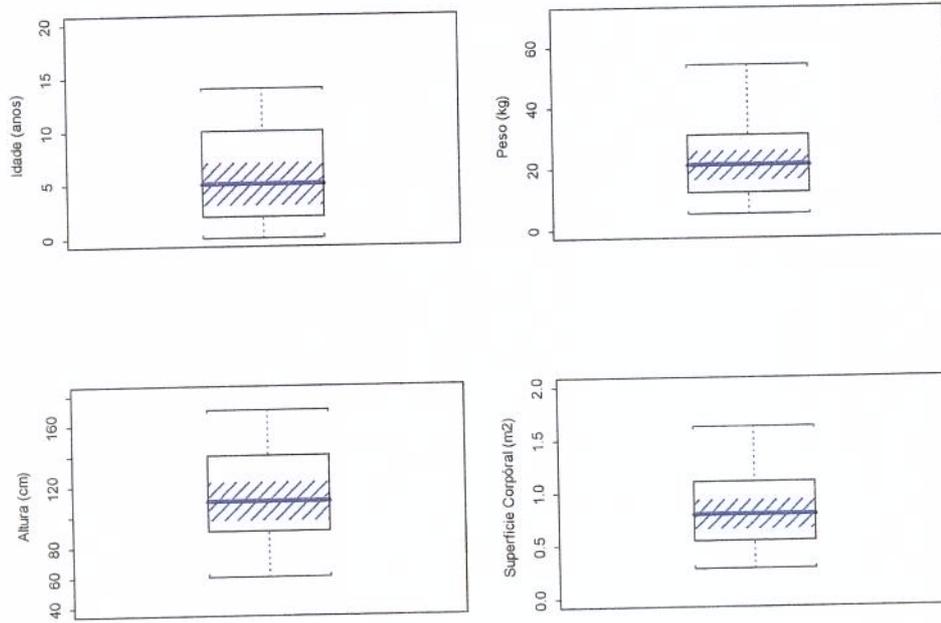


Figura. 9: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo das variáveis demográficas. A área hachurada representa o intervalo de confiança da mediana (95%).

A média e desvio padrão dos perímetros encontram-se na Tabela 3. Na Tabela 4 (anexo 8.2) encontram-se os valores individuais dos perímetros. Na Figura 10 estão representados a mediana, 1º quartil e 3º quartil, máximo e mínimo das distribuições em diástole e em sístole. Não houve diferença significativa entre os valores em diástole e em sístole.

Tabela 3: Medidas ecocardiográficas, com suas variações percentuais, mostrando a média e o desvio padrão

Variáveis	Média	Desvio Padrão
PD (cm)	30,03	5,94
PS (cm)	28,91	5,65
VPP (%)	3,55	3,00
AD (cm ²)	57,47	22,25
AS (cm ²)	54,94	21,07
VPA (%)	4,18	2,86
VD (ml)	286,85	162,74
VS (ml)	266,00	148,68
VPV (%)	6,59	4,16

PD – perímetro diastólico; PS – perímetro sistólico; VPP – variação percentual do perímetro; AD – área diastólica; AS – área sistólica; VPA – variação percentual da área; VD – volume diastólico; VS – volume sistólico; VPV – variação percentual do volume.

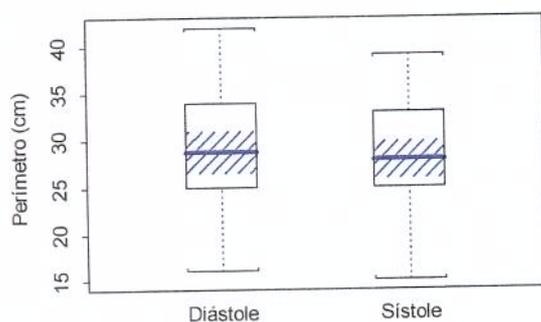


Figura. 10: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo dos perímetros. A área hachurada representa o intervalo de confiança da mediana (95%).

A média e desvio padrão das áreas encontram-se na Tabela 3. Na Figura 11 estão representadas a mediana, 1o quartil e 3o quartil, máximo e mínimo das distribuições em diástole e em sístole. Não houve diferença significativa entre os valores em diástole e em sístole.

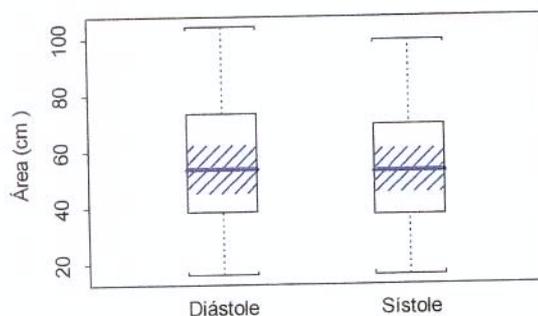


Figura. 11: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo das áreas. A área hachurada representa o intervalo de confiança da mediana (95%).

A média e desvio padrão dos volumes encontram-se na Tabela 3. Na Figura 12 estão representados a mediana, 1º quartil e 3º quartil, máximo e mínimo das distribuições em diástole e em sístole. Não houve diferença significativa entre os valores em diástole e em sístole.

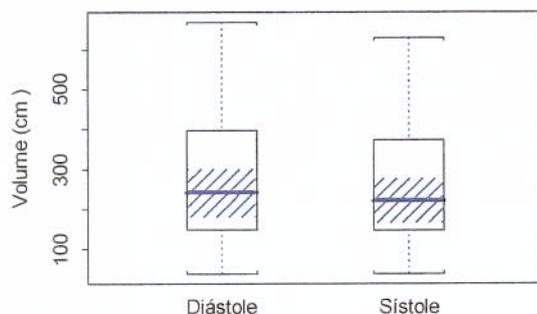


Figura 12: Mediana, 1º quartil, 3º quartil, valor máximo e valor mínimo dos volumes. A área hachurada representa o intervalo de confiança da mediana (95%).

A relação entre o perímetro diastólico e sistólico foi avaliada por modelo de regressão linear representada na Tabela 5 e Figura 13. Houve uma forte correlação entre os valores sistólicos e diastólicos ($r=0,98$), com ajuste altamente significativo ($p<0,0001$). A análise dos resíduos representados na Figura 14 mostrou que o modelo é quase de identidade. A taxa de variação do volume sistólico em relação ao diastólico foi de 3,5% em média, favorável à diástole (Figura 15).

Tabela 5: Parâmetros de regressão linear

	Interc.	Coef.	r	p
Perímetro	1.3038	0.9089	0.9841	<0.0001
Área	1.1391	0.9055	0.9908	<0.0001
Volume	5.1791	0.877	0.9915	<0.0001

Interc.=intercepto; Coef.= coeficiente de regressão; r=coeficiente de correlação; p=probabilidade

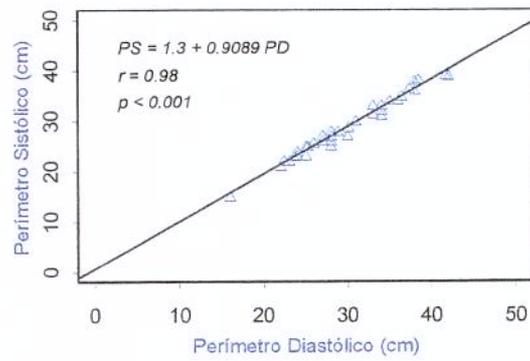


Figura 13: Representação gráfica da análise de regressão linear dos perímetros

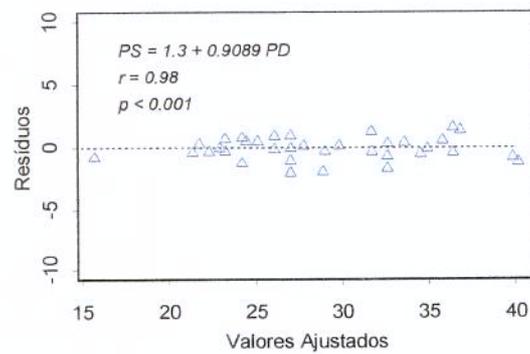


Figura 14: Representação gráfica da análise dos resíduos do modelo de regressão linear dos perímetros.

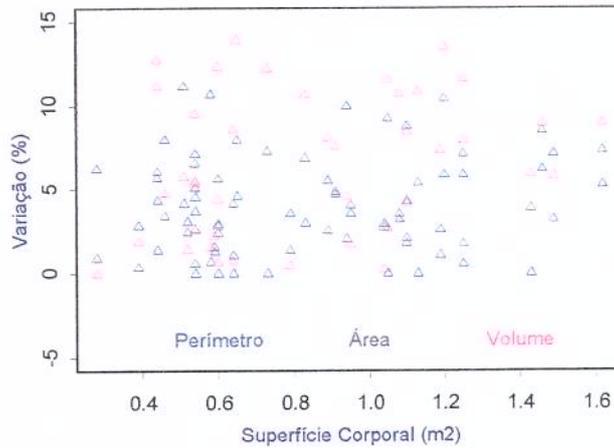


Figura 15: Variação percentual dos perímetros, áreas e volumes de acordo com a superfície corpórea.

A relação entre a área diastólica e sistólica foi avaliada por modelo de regressão linear representada na Tabela 5 e Figura 16. Houve uma forte correlação entre as áreas sistólica e diastólica ($r=0,99$), com ajuste altamente significativo ($p<0,0001$). A análise dos resíduos representados na Figura 17 mostrou que o ajuste foi maior com menor valor de área, configurando heteroscedasticidade. A variação percentual da área foi também pequena, com mediana de 3,4%, sempre favorável aos valores diastólicos (Figura 15).

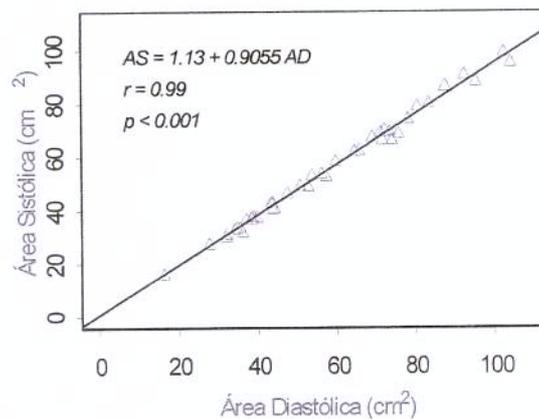


Figura 16: Representação gráfica da análise de regressão linear das áreas.

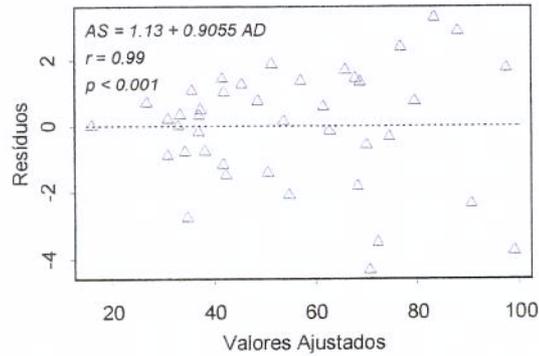


Figura 17: Representação gráfica da análise dos resíduos do modelo de regressão linear das áreas

A relação entre o volume diastólico e sistólico foi avaliada por modelo de regressão linear representada na Tabela 5 e Figura 18. Houve uma forte correlação entre os valores sistólicos e diastólicos ($r=0,99$), com ajuste altamente significativo ($p<0,0001$). A análise dos resíduos representados na Figura 19 mostra que a variância dos dados em relação ao modelo aumenta com os valores das variáveis (heteroscedasticidade).

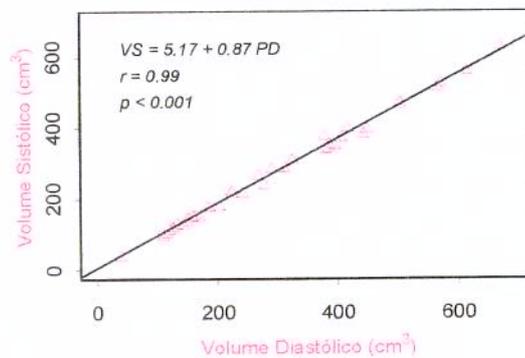


Figura 18: Representação gráfica da análise de regressão linear dos volumes

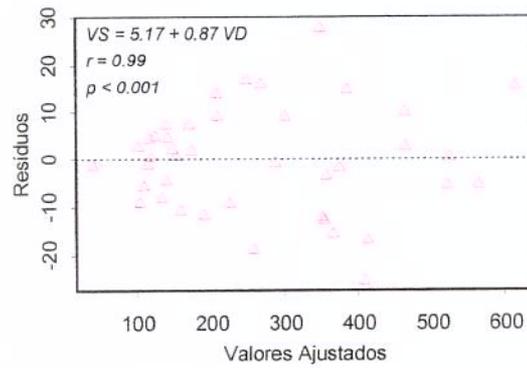


Figura 19: Representação gráfica da análise dos resíduos do modelo de regressão linear dos volumes.

A variação percentual dos valores diastólicos em relação aos valores sistólicos foi de 5,9% em média, mostrando que os volumes diastólicos são sempre discretamente maiores que os sistólicos, entretanto de pequeno significado em relação aos valores absolutos de volumes.

A relação entre os valores do perímetro diastólico e superfície corpórea encontra-se representada na Figura 20. Houve forte correlação entre as variáveis.

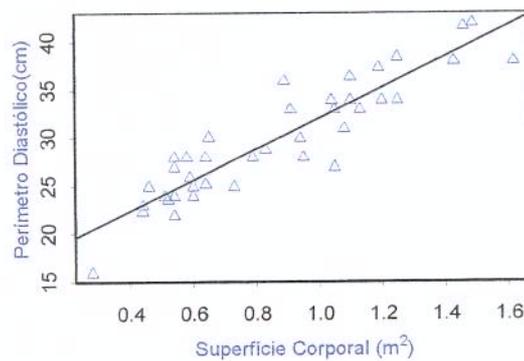


Figura 20: Variação entre o perímetro diastólico e a superfície corpórea.

A relação entre os valores da área diastólica e superfície corpórea encontra-se representada na Figura 21. Houve forte correlação entre as variáveis.

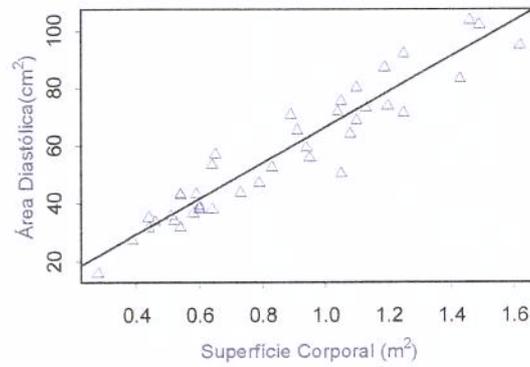


Figura 21: Variação entre a área diastólica e a superfície corpórea.

A relação entre os valores do volume diastólico e superfície corpórea encontra-se representada na Figura 22. Houve forte correlação entre as variáveis.

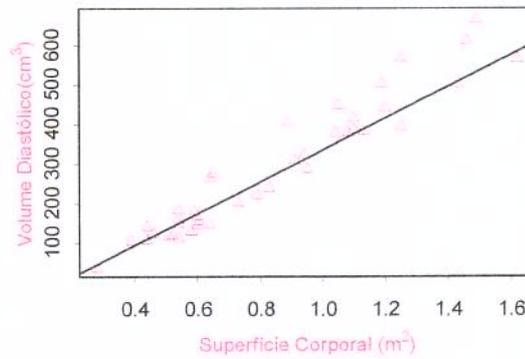
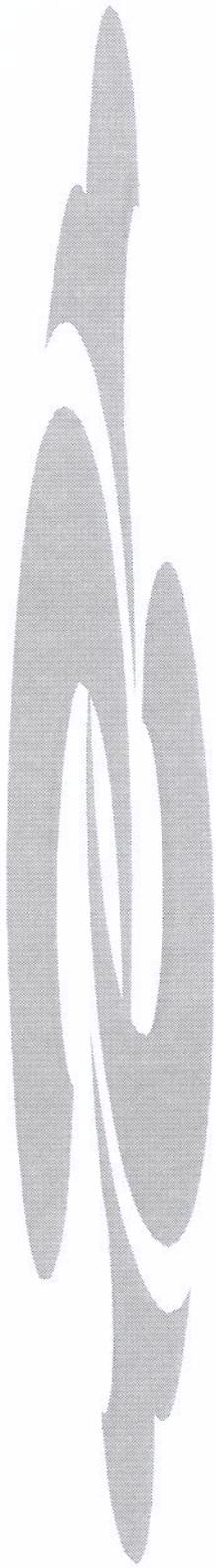


Figura 22: Variação entre o volume diastólico e a superfície corpórea



5. DISCUSSÃO

Nossos resultados mostram que no homem o volume cardíaco total tem somente uma pequena variação e que, frente aos valores absolutos, pode ser considerado como quasi-invariante. O volume diastólico mostrou-se sempre um pouco maior, de uma forma sistemática. Nossos dados são semelhantes aos obtidos por Hoffman & Ritman (1985) que, avaliando o volume cardíaco total em nove cães, também notaram uma variação média em favor do volume diastólico. Em quatro cães a variação entre o volume diastólico e o volume sistólico foi menor que 2%, em outros quatro cães foi menor que 4% e em um cão o volume diastólico foi 7% maior que o volume sistólico. Nossas medidas mais diretas, perímetro e área, tiveram variação similar à encontrada por Hoffman & Ritman. A mediana da variação do perímetro foi de 3.5% e da área 3.4%. As maiores variações vieram do cálculo de volume, medida indireta no nosso estudo, pois necessitou de suposições geométricas, já que nossa medida foi com estudo bidimensional e o volume é tridimensional. Assim, a mediana da variação de volume foi de 5.9% a favor do período diastólico. Aqui se encontra uma grande diferença metodológica do estudo de Hoffman & Ritman, realizado na Mayo Clinic, pois usaram um método onde o volume era medido diretamente em voxels, a partir de uma reconstrução geométrica de grande acurácia, baseada em um tomógrafo de múltiplos feixes de Raios-X. Admitimos, portanto, que nossos valores de volume contêm um erro, um viés metodológico. Por outro lado notamos que os valores de área e volume contêm uma variância maior, exposta nos resíduos das análises de regressão. A justificativa mais provável deste comportamento deve ser da natural variabilidade biológica que, como se sabe, apresenta heteroscedasticidade importante.

Não está clara neste momento a razão pela qual existe uma pequena predominância do volume diastólico sobre o volume sistólico, encontrada em nossos resultados e nos resultados de Hoffman & Ritman.

Sendo a variação volumétrica entre a sístole e diástole pequena, os trabalhos de Hamilton (1930,1932), Hofman & Ritman (1985), e nossos estudos (Nogueira 1987, 1989) apontam para uma quasi-invariância do volume cardíaco total durante o ciclo cardíaco. Esta invariância é ligada ao fato de que o ápex do coração permanece estacionário durante a sístole, responsabilizando a movimentação da base como único agente de transporte

intracardiaco de volume sangüíneo. As noções de que o ápex é estacionário e que o volume cardíaco é constante aparecem sempre juntas nos trabalhos de Hamilton (1930, 1932), Holzlöner (1932) e Hoffman & Ritman (1985).

No nosso estudo a noção de volume cardíaco invariante está ligado a nossos trabalhos anteriores demonstrando que, no homem, o ápex também permanece estacionário durante a sístole (Nogueira , 1979, 1987), achado posteriormente confirmado por Assmman et al.. (1989)

Utilizamos para avaliação do perímetro, área e volume o estudo ecocardiográfico bidimensional, método bastante utilizado na cardiologia como exame complementar, permitindo imagens muitas boas do coração através do ultra-som, além de ser um procedimento não invasivo e inócua. As imagens são obtidas através de transdutor mecânico, tendo um cristal com a capacidade de transformar energia elétrica em mecânica e vice-versa (piezelétrico). Dessa forma envia sinais sonoros de alta freqüência (entre 3 e 5 megahertz), que atingem os órgãos, retornando e transformados em sinais elétricos, que, por sua vez, são convertidos em imagem.

A utilização do ultra-som na cardiologia tem cerca de cinqüenta anos (Feigenbaum 1993), e a evolução dos equipamentos trouxeram uma visualização direta das estruturas cardíacas, sendo cada vez melhor a qualidade das imagens. Consegue-se obter detalhes dos aparelhos valvares, pequenas alterações das paredes dos ventrículos. Portanto, a visualização do coração com o ultra-som é possível e sua avaliação anatômica bastante confiável.

O estudo ecocardiográfico é feito através do modo *unidimensional*, onde existe um feixe ultra-sônico em linha, que mostra as estruturas cardíacas através da movimentação; é também conhecido como modo M. No modo *bidimensional* há uma somatória de linhas do modo M, que são adquiridas por uma rápida rotação do transdutor, havendo uma reconstrução da imagem, conseguindo uma avaliação anatômica muito boa. O estudo com *Doppler* permite três tipos de avaliação; (1) o Doppler *pulsado*, onde um transdutor envia e recebe os sinais sonoros, permitindo a análise de velocidade do fluxo; (2) o *contínuo* onde dois transdutores simultaneamente emitem e recebem o sinal, e que

consegue medir grandes velocidades; e (3) o *mapeamento com fluxo a cores*, que permite uma análise do Doppler pulsado diretamente sobre a imagem bidimensional, através de cores.

Para a visualização do coração em nosso trabalho utilizamos o estudo bidimensional, onde obtemos um corte do coração no sentido longitudinal, permitindo a observação das quatro cavidades e do ápex simultaneamente.

Esse método é amplamente utilizado para medidas de função ventricular esquerda, cálculo de fração de ejeção, etc.

O estudo do volume total do coração tem sido utilizado principalmente em ultra-som obstétrico na tentativa de avaliar cardiopatias congênitas (Chang et al.,1997). Trabalhos na área de ultra-sonografia obstétrica têm sido relatados, com avaliação do volume cardíaco pelo ultra-som (Chang et al., 1997; Schmidt et al., 1995; Schmidt et al.,1999 ; Wells, 1975). A variação durante o ciclo cardíaco, entretanto, não foi avaliada.

Trabalhos mais recentes têm mostrado a reconstrução tridimensional do coração através do ultra-som. Gopal (1992) comparou o ecocardiograma tridimensional e a ressonância magnética para avaliação de volume in vitro (17 balões foram utilizados para avaliação do volume), não sendo observado diferença estatística significativa entre os dois métodos, que mostraram um erro de 2% na estimativa do volume. Outro estudo comparando a medida do volume cardíaco total em fetos humanos com o estudo bidimensional e o tridimensional foi realizado por Chang (Chang et al.,1997) onde observou cinquenta fetos com idade gestacional variando de 20 a 30 semanas. O resultado mostrou que o ultra-som tridimensional tem uma melhor reprodutividade que o ultra-som bidimensional na medida de volume do coração, pois o ultra-som bidimensional apresenta uma tendência a medir volumes maiores do que o observado no estudo tridimensional. Entretanto, os autores sugerem a utilização de uma constante para a correção da medida bidimensional (0,4563) não obtendo assim variação significativa na medida observada pelo ultra-som tridimensional. Portanto, através desse estudo, o autor concluiu que o ultra-som tridimensional é o método de escolha para a medida de volume do coração, porém trata-se de um exame bastante sofisticado e de difícil uso na rotina, sugerindo o uso de ultra-som bidimensional para a avaliação generalizada.

A avaliação do volume cardíaco total já foi realizada também na década de 80 por Winckerman et al. (1980), usando um plano bidimensional e considerando-se a forma do coração como a forma de um elipsóide, conforme a fórmula abaixo :

$$Volume = \frac{4}{3} \pi \frac{d1}{2} \frac{d2}{2} \frac{l}{2}$$

onde

l = diâmetro longitudinal

d1= diâmetro transversal

d2= diâmetro da largura

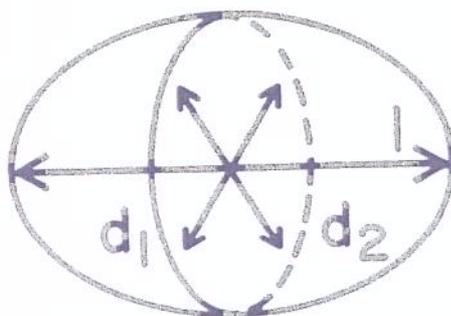


Figura 23: Cálculo do volume de acordo com a forma elipsóide

Katenbach et al. (1989) relatam que o volume cardíaco total normal no sexo masculino é menor que 800 ml/1.73 m² e no sexo feminino menor que 700 ml/1.73 m².

A avaliação do volume total do coração através de estudo radiológico também tem sido descrita. Os feixes são dirigidos em posição transversal e sagital do coração, sendo calculado o volume conforme a fórmula elipsóide descrita na Figura 23. König et al. (1980), em trabalho onde avalia o volume total do coração através da radiologia, cita como valores normais 500 ml/m² para o sexo masculino e 400 ml/m² para o sexo feminino.

Utilizamos na estimativa de volume um método bastante difundido em cineventriculografia e ecocardiografia para medida de volume ventricular esquerdo, que é a regra de Simpson, como usada por Chapman (1958).

A regra de Simpson modificada mostra-se superior ao método utilizado pela ultrassonografia obstétrica por não necessitar da geometria, pois utiliza pequenas fatias transversais da estrutura total medida, sendo possível assim uma estimativa de volume respeitando-se a forma da estrutura analisada .

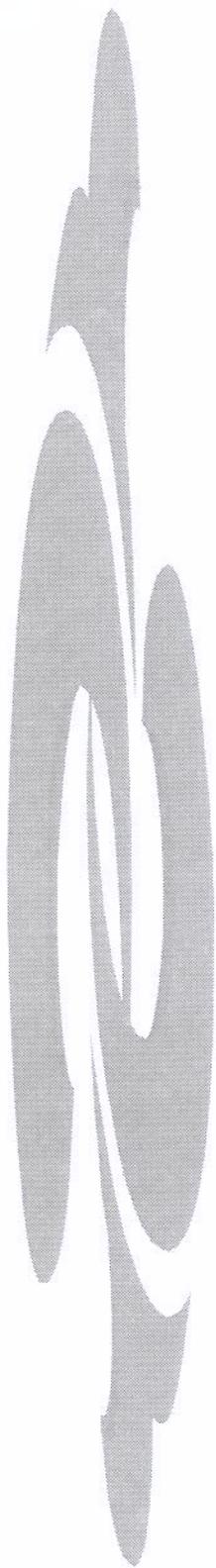
A avaliação das medidas em nosso estudo, com imagens digitalizadas de sístole e diástole final, permitiram uma boa definição da escala cinza de imagens, facilitando o reconhecimento do pericárdio e parede dos átrios, levando conseqüentemente a uma menor margem de erro na medida do perímetro e área.

Acreditamos, portanto, que através do estudo ultrassonográfico bidimensional conseguimos uma avaliação bastante satisfatória do perímetro, área e volume do coração, método esse difundido e aceito mundialmente na cardiologia, bem como o cálculo do volume total através de imagens da região subcostal bastante confiável.



6. CONCLUSÃO

- 1) Nossos dados mostraram que, em humanos normais, a variação volumétrica do coração durante o ciclo cardíaco é mínima, podendo ser considerada constante.
- 2) Há sempre uma pequena preponderância do volume diastólico sobre o volume sistólico.
- 3) O ecocardiograma bidimensional mostrou ser um método eficaz para a estimativa do volume total do coração.



7. SUMMARY

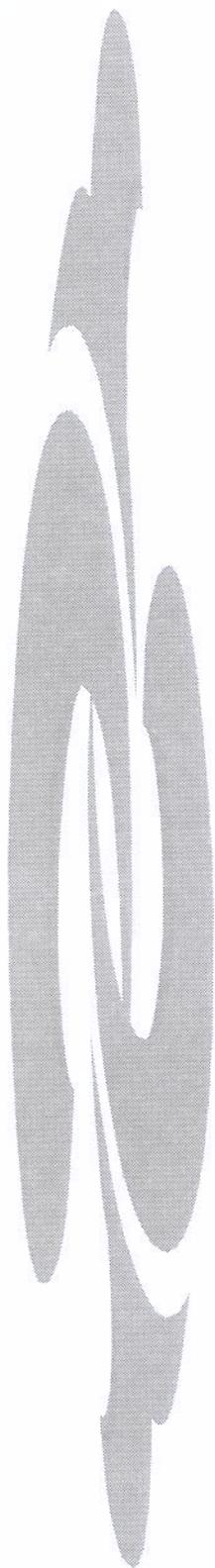
Leme Jr., C.A. **Change of Total Heart Volume During The Cardiac Cycle in Normal Subjects**. Campinas, 2001 45p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas.

Background : The concept of a stationary apex predicts that total heart volume should be constant during the cardiac cycle. Total heart volume invariance was already demonstrated in animals but not in humans. The apex of heart in humans also appears to be stationary. We hypothesized that total cardiac volume should be invariant in humans. We evaluated the dimensions of the heart during the cardiac cycle with two-dimensional echocardiography of 41 normal children and adolescents, whose age ranged from 0 to 14 years (average of 6,15 years). Twenty were females and 21 males.

Methods: We measured the perimeter, area and volume in systole and diastole imaging the heart in subcostal 4-chamber view.

Results: Our data showed a strong correlation between the parameters in systole and diastole, with indices of correlation of 0.98 for the perimeters and 0.99 for areas and also 0.99 for volumes . Diastolic dimensions were systematically larger by a small amount, $3,55 \pm 3,0\%$ of the diastolic perimeter, $4,18 \pm 2,8\%$ of the diastolic area and $6,6 \pm 4,2\%$ of the diastolic volume.

Conclusion: Our data show that, in normal humans, the volumetric variation of the heart during cardiac cycle is also small, and total volume invariance is still tenable.



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assmann PE, et al.** Two-dimensional echocardiographic analysis of the dynamic geometry of the left ventricle: the basis for an improved model of wall motion. *J Am Soc Echo* 1988,1:393-405
- Chang FM, et al.** Fetal heart volume assessment by three-dimensional ultrasound. *Ultrasound Obstetric Gynecology* 1997 Jan,9(1):42-8
- Chapman CB et al.** Use of biplane cinefluorography for measurement of ventricular volume. *Circulation* 18:1105, 1958
- Dickhuth HH et al.** The echocardiographic determination of volume and muscle mass of the heart. *Int J Sports Med* 1996 Nov,17 Suppl 3:S132-9
- Edler I, Hertz CH** Use of ultrasonic reflectoscope with a continuous recording of movements of heart walls. *Kungl.Fysiogr.Sallsk. Lund Forhandl*, 24:40 1954
- Feigenbaum H** Echocardiography, Fifth Edition, Lea&Febiger, 1994
- Giulio L** Ricerche sul cardiopneumogramma (oscilazioni cardiopneumatiche) nell' uomo. *Arch.Fisiologia* 55:121-134,1955
- Gopal AS, Katz J, Boxt LM, King DL Jr** Three-dimensional echocardiographic volume computation by polyhedral surface reconstruction : in vitro validation and comparison to magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 1992 Mar-Apr,5(2):115-24
- Hamilton WF** *Am.J.Physiol* 1930, xci, 712
- Hamilton WF Rompf JH** Movements of the base of the ventricle and the relative constancy of the cardiac volume. *Am.J.Physiol.* 102:559-565, 1932.
- Hamilton WF** Filling of the normal human heart in relation to the cardio-pneumogram and abdominal plethysmogram. *Am.J.Physiol.*36:761-764, 1977
- Hoffman EA, Ritman EA** Invariant total heart volume in the intact thorax, *Am.J.Physiol.*249 (Heart Circ.Physiol. 18): H883-H890, 1985.

Holzloner VE *Zeitschr.f. Biol.*, 1932, xciii, 203

Kaltenbach M et al. Determination of cardiac volume : obsolete or relevant ? *Herz.Kreisl* 1989,21:464-7

Keller AM Positional Localization: Three-Dimensional Transtoracic Echocardiographic Techniques for the Measurement Mass, Volume, and Function. *Echocardiography* 2000 Nov,17(8):745-748

Kohnig, K et al. Normal values in adults ergometry according to age, sex and training . *Eropean Society of Cardiology, Meeting of the Working Gooup on Physiology and Eletrocardiography of Exercise, Rome 1981, p.81.*

Nogueira EA et al. Analysis of the position of the left ventricular apex and base during systole. *Cathet Cardiovasc Diag* 1987,13:253-261

Nogueira EA et al. Sequence of shortening of the normal human left ventricle. *Cardiov Res* 13:703-710, 1979

Nogueira EA Left Ventricular Dynamic Geometry (Letter to the editor). *Journal of the American Society of Echocardiography, Vol2, No 6, 372-374 Sep-Out 1989*

O'Malley C, Saunders JBCM Leonardo Da Vinci on The Human Body, Crown Publishers, Inc. 1982.

Sass DJEL et al. Liquid breathing: prevention of pulmonary arterial-venous shunting during acceleration. *J.Appl.Physiol.* 32:451-455, 1972.

Schmidt MA et al. Real-time three-dimensional echocardiography for measurement of left ventricular volumes. *Am.J.Cardiol.* 1999 Dec 15,84(12):1434-9

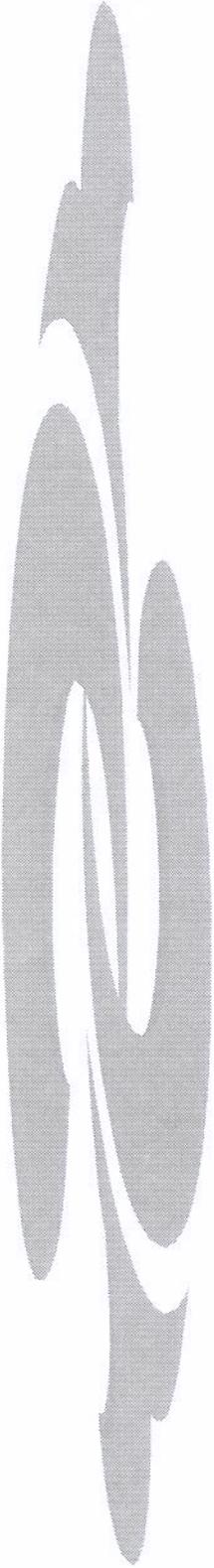
Schmidt, KG et al. Determination of Ventricular Volumes in Human Fetal Hearts by Two-Dimensional Echocardiography , *The American Journal of Cardiology, vol 76, December 15,1995,1313-1316.*

S-Plus 2000 Programmer's Guide , Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle, WA.

StataCorp,1999 Stata Statistic Software, Release 6.0 , College Station, TX: Stata Corporation

Wells, PNT Absorption and dispersion of ultrasound in biological tissue. *Ultrasound Med. Biol.*, 1:369. 1975

Winkermann BR et al. Cardiac volume. *MD Comput* 1990 Nov-Dec, 7(6):514-5



9. ANEXOS

Tabela 2: Descrição demográfica de acordo com idade (anos), sexo, peso (kg), alt (cm), e SC (m²)

Caso	Idade	Sexo	Peso (kg)	Alt (cm)	SC (m ²)
1	12	F	49	160	1,49
2	3	M	13	100	0,60
3	10	M	26	150	1,08
4	3	F	13	100	0,60
5	4	M	21	110	0,79
6	11	F	30	140	1,10
7	10	F	37	140	1,20
8	7	M	28	110	0,89
9	11	M	36	150	1,25
10	1	M	12	90	0,54
11	2	F	10	80	0,46
12	1	M	13	80	0,51
13	2	F	12	90	0,54
14	4	F	15	100	0,64
15	7	F	27	120	0,94
16	2	F	12	90	0,54
17	10	F	30	130	1,04
18	1	M	12	90	0,54
19	1	M	9	80	0,44
20	10	F	31	130	1,05
21	3	F	14	90	0,58
22	13	M	54	170	1,62
23	14	M	50	150	1,43
24	3	M	15	120	0,73
25	1	F	8	74	0,39
26	3	M	14	96	0,60
27	11	F	27	140	1,05
28	10	M	32	140	1,13
29	0	M	5	60	0,28
30	6	M	28	120	0,95
31	14	F	51	152	1,46
32	12	F	35	143	1,19
33	13	M	40142	1,25	
34	11	F	31	138	1,10
35	2	F	12	85	0,52
36	6	M	15	102	0,65
37	2	M	14	105	0,64
38	7	M	26	118	0,91
39	1	F	9	81	0,44
40	5	F	22	115	0,83
41	3	M	12	102	0,59

Tabela 4: Medidas do coração total do perímetro sistólico (PS) e diastólico (PD) em cm, da área da superfície sistólica (AS) e diastólica (AD) em cm², e do volume sistólico (VS) e diastólico (VD) em ml.

Caso	OS	PD	AS	AD	VS	VD
1	39	42	99,30	102,60	630	669
2	25	25	37,51	39,76	149	170
3	30	31	62,20	64,50	339	380
4	24	24	37,40	38,49	147	148
5	27	28	46,73	47,39	222	223
6	31	34	67,60	69,05	354	387
7	32	34	66,39	74,15	383	443
8	34	36	69,34	71,16	373	406
9	32	34	66,52	71,64	350	396
10	21	22	31,24	32,08	104	115
11	23	25	33,02	34,19	120	126
12	23	24	32,07	36,12	114	121
13	24	24	74,30	78,30	147	151
14	28	28	53,30	53,70	266	268
15	27	30	58,51	59,76	310	325
16	26	28	40,74	43,62	154	163
17	33	34	70,15	72,14	377	378
18	26	27	43,09	43,35	176	186
19	22	23	33,53	35,56	127	143
20	33	33	68,79	75,82	397	449
21	25	28	36,72	36,98	130	132
22	36	38	88,34	95,34	516	567
23	38	38	80,30	83,53	474	504
24	25	25	40,94	44,17	179	204
25	34	35	27,54	27,64	105	107
26	33	34	37,90	38,84	151	158
27	27	27	49,39	50,75	218	224
28	33	33	69,52	73,50	342	384
29	15	16	16,01	16,16	40	40
30	27	28	53,88	56,16	285	290
31	39	42	95,29	104,19	560	615
32	36	37	86,67	87,62	467	504
33	38	39	90,88	92,52	525	571
34	34	36	79,18	80,62	400	417
35	23	24	33,70	34,55	121	123
36	29	30	52,77	57,35	239	278
37	25	25	36,83	38,43	136	149
38	31	33	62,65	65,76	288	311
39	22	22	30,08	32,02	96	110
40	28	29	49,23	52,88	216	242
41	26	26	43,01	43,70	178	183

Tabela 6: Variação percentual das medidas de perímetro (VP), área (VA) e volume (VV).

Caso	VP (%)	VA (%)	VV (%)
1	7	3	6
2	0	6	12
3	3	4	11
4	0	3	1
5	4	1	0
6	9	2	9
7	6	11	14
8	6	3	8
9	6	7	12
10	5	3	10
11	8	3	5
12	4	11	6
13	0	5	3
14	0	1	1
15	10	2	5
16	7	7	6
17	3	3	0
18	4	1	5
19	4	6	11
20	0	9	12
21	11	1	2
22	5	7	9
23	0	4	6
24	0	7	12
25	2	0	2
26	0	2	4
27	0	3	3
28	0	5	11
29	6	1	0
30	4	4	2
31	6	9	9
32	3	1	7
33	1	2	8
34	4	2	4
35	3	2	1
36	5	8	14
37	1	4	8
38	5	5	8
39	1	6	13
40	3	7	11
41	1	2	2