

# DOPPLER TRANSCRANIANO CONVENCIONAL EM VOLUNTÁRIOS ASSINTOMÁTICOS

## Variabilidade e valores de referência para parâmetros de fluxo sanguíneo

Maurício Fregonesi Barbosa<sup>1</sup>, Nitamar Abdala<sup>2</sup>, Henrique Carrete Jr.<sup>3</sup>, Roberto Gomes Nogueira<sup>4</sup>, Darcio Roberto Nalli<sup>5</sup>, José Roberto Falco Fonseca<sup>6</sup>, Jacob Szejnfeld<sup>7</sup>

**RESUMO - Objetivo:** Estabelecer valores de referência para medidas de velocidade sanguínea e índices de impedância em indivíduos saudáveis por meio do Doppler transcraniano convencional (DTC) e observar suas variações em relação à idade e sexo. **Método:** Foram examinados 88 voluntários assintomáticos, sem antecedentes de doença cerebrovascular, cardíaca ou vascular periférica. Os exames de DTC foram realizados pelo mesmo examinador, sendo as artérias cerebrais médias, anteriores e posteriores estudadas por meio da janela temporal e as artérias vertebrais e basilar por meio da janela suboccipital. Foram arquivados os valores de velocidade média (VM), velocidade de pico sistólico (VPS), velocidade diastólica final (VDF) e índices de resistência (IR) e pulsatilidade (IP) de cada segmento arterial examinado. **Resultados:** Os limites de referência encontrados por nós foram semelhantes aos descritos por outros autores para todos os parâmetros estudados. Houve tendência das velocidades de fluxo diminuírem e dos índices de impedância aumentarem com o avançar da idade. Os valores de velocidade nas mulheres foram superiores aos encontrados em homens. **Conclusão:** O DTC se mostrou útil na avaliação hemodinâmica cerebral de nossa população. Os nossos resultados são semelhantes aos de outros estudos, tanto nos valores de referência quanto na sua relação com a idade e o sexo.

**PALAVRAS-CHAVE:** hemodinâmica cerebral, fluxo sanguíneo cerebral, Doppler transcraniano, artérias intracranianas, valores de referência.

### Reference values for measures of blood flow velocities and impedance indexes in healthy individuals through conventional transcranial Doppler

**ABSTRACT - Objective:** To establish reference values for measures of blood flow velocities and impedance indexes in healthy individuals through conventional transcranial Doppler (TCD) and to observe their variations in relation to the age and sex. **Method:** 88 asymptomatic volunteers were examined without antecedents of cardiac, peripheral or cerebrovascular diseases. The TCD were accomplished by the same examiner. The middle, anterior and posterior cerebral arteries were studied through the temporal acoustic window and the vertebral and basilar arteries through the suboccipital acoustic window. The values of mean velocity (MV), peak-systolic velocity (PSV), final diastolic velocity (FDV), resistance index (RI) and pulsatility index (PI) of each examined arterial segment were filed. **Results:** The reference limits found by us were similar to the described by other authors for all of the studied parameters. There was tendency of the flow velocities decrease and of the impedance indexes increase with moving forward of the age. The values of velocities in the women were superior to the found in men. **Conclusion:** TCD was shown useful in the evaluation of hemodynamic cerebral for our population. Our results are similar to the other studies, so much in the reference values as in relationship with the age and the sex.

**KEY WORDS:** cerebral hemodynamic, cerebral blood flow, transcranial Doppler sonography, intracranial arteries, reference values.

---

Departamento de Diagnóstico por Imagem (DDI) da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP): <sup>1</sup>Pós-graduando do DDI; <sup>2</sup> Professor Doutor, Chefe da Coordenadoria de Ressonância Magnética do DDI; <sup>3</sup> Chefe da Coordenadoria de Tomografia Computadorizada do DDI; <sup>4</sup> Professor Adjunto, Vice-chefe do DDI; <sup>5</sup> Chefe da Coordenadoria da Radiologia Vascular/ Intervenção do DDI; <sup>6</sup> Chefe do Setor de Neuro-radiologia do DDI; <sup>7</sup> Professor Adjunto Livre Docente, Chefe do DDI.

Recebido 14 Fevereiro 2006. Aceito 26 Maio 2006.

Dr. Maurício Fregonesi Barbosa - Rua José Henrique Bugalho Filho 404 - 19053-360 Presidente Prudente SP - Brasil. E-mail: maufbarbosa@hotmail.com

O Doppler transcraniano convencional (DTC) é exame ultra-sonográfico sem imagem, em modo Doppler pulsado, operando a baixas frequências, que obtém dados em tempo real, permitindo a avaliação da direção e velocidade do fluxo sanguíneo nas artérias cerebrais basais, por meio de desvios na frequência da onda sonora refletida pelas hemácias em movimento. O transdutor deve ser posicionado nas denominadas janelas ósseas, que podem ser forames naturais ou áreas do crânio onde a diploe tem espessura reduzida, como ocorre na região temporal. Este método foi primeiramente descrito por Aaslid et al.<sup>1</sup>, em 1982, tendo ocorrido crescente desenvolvimento tecnológico e científico em suas aplicações nas últimas duas décadas.

As principais vantagens do DTC são portabilidade, inocuidade e relativo baixo custo. Como todo método ultra-sonográfico, é dependente do conhecimento e habilidade do operador tanto na realização quanto na interpretação dos resultados<sup>2</sup>.

O DTC tem sido empregado com êxito no diagnóstico e acompanhamento de diversas patologias cerebrovasculares, fornecendo informações únicas em relação à hemodinâmica cerebral<sup>2</sup>. O diagnóstico através do DTC se baseia nas alterações de velocidade e dos índices de impedância observados nos diferentes segmentos arteriais, sendo necessário fazer correlação com valores pré-estabelecidos encontrados na população saudável. Alguns trabalhos<sup>1,3-7</sup> foram publicados na literatura médica ocidental descrevendo estes valores para os diferentes parâmetros de fluxo sanguíneo. No Brasil, pesquisas<sup>8-11</sup> foram realizadas com relação à aplicação do DTC em diferentes situações clínicas, porém para valores de normalidade são desconhecidos. Fatores como hematócrito, idade, sexo e pressão arterial parcial de CO<sub>2</sub> (PaCO<sub>2</sub>) podem influenciar nos valores das medidas realizadas em diferentes populações.

O conhecimento das possíveis variações destes parâmetros é fundamental para não incorrerem em erro quando estudamos os pacientes individualmente.

Assim, o objetivo do presente estudo é estabelecer valores de referência para velocidade sanguínea e índices de impedância por DTC e suas variações em relação à idade e ao sexo.

## MÉTODO

No período de junho de 2004 a agosto de 2005, foram submetidos ao exame de DTC 88 voluntários presumivelmente saudáveis, sendo 68 mulheres com idade variando entre 16 e 68 anos (média: 43 anos) e 20 homens com idade entre 17 e 70 anos (média: 40 anos). Dentre os indivíduos estudados estavam estudantes, residentes, funcionários do

hospital e seus familiares. Não havia evidência de doença cerebrovascular, cardíaca ou vascular periférica em suas histórias pregressas. Foram considerados critérios de exclusão: hipertensão arterial sistêmica (pressão arterial sistólica >150 mmHg; pressão arterial diastólica >95 mmHg), diabetes mellitus, distúrbios do ritmo cardíaco, uso de drogas vasoativas, vertigem, história de trauma crânio-encefálico, enxaqueca ou doença carotídea extracraniana.

Todos os exames de Doppler transcraniano foram realizados por um mesmo examinador com experiência no método. Utilizou-se aparelho de DTC da Nicolet, modelo EME Trans-Scan 3D (Überlingen, Germany), equipado com um transdutor de 2 MHz. Após uma entrevista, o indivíduo foi confortavelmente deitado sobre uma maca e permaneceu em ambiente silencioso, repousando por cerca de 5 a 10 minutos para sua adaptação. A pressão arterial e frequência cardíaca foram monitoradas. O exame teve início pelas janelas temporais, posicionando-se o transdutor anteriormente ao tragus da orelha e movendo-o a pequenos passos, preferencialmente a uma profundidade de 50 a 55 mm para determinar a existência de uma janela acústica. Quando um sinal de fluxo em direção ao transdutor foi registrado, a profundidade do volume de amostra foi reduzido a cerca de 35 a 40 mm para confirmarmos que se tratava da artéria cerebral média (ACM), pois esta é a única artéria nesta região que apresenta tal traçado. Então, a profundidade foi aumentada a cada 2 mm até cerca de 60 mm, onde podemos identificar a bifurcação carotídea pelo característico fluxo bidirecional, com sinal da ACM acima da linha de base e o da artéria cerebral anterior (ACA) abaixo desta. Angulando-se o transdutor anterior e superiormente a ACA pode ser traçada a uma profundidade de 60 a 75 mm. Retornando até a bifurcação carotídea e angulando o transdutor sutilmente posterior e inferiormente objetivamos o sinal de fluxo da artéria cerebral posterior (ACP) em sua porção pré-comunicante (P<sub>1</sub>), com o fluxo direcionado para ele. Com uma angulação um pouco maior podemos atingir a porção pós-comunicante (P<sub>2</sub>) que demonstra o fluxo se afastando do transdutor. A ACP pode ser registrada a uma profundidade de 55 a 70 mm. Após o estudo de ambas as janelas temporais, o indivíduo foi sentado em uma cadeira e permaneceu com a cabeça fletida para permitir o acesso à janela suboccipital. O transdutor foi colocado entre a margem posterior do forame magno e o primeiro processo espinhoso palpável da coluna cervical. As artérias vertebrais podem ser examinadas a uma profundidade de 45 a 75 mm, com o feixe sonoro direcionado obliquamente para um dos lados. O sinal da artéria basilar pode ser obtido entre 70 a 120 mm de profundidade, com o feixe na linha média angulado superiormente. Uma análise pela transformada rápida de Fourier, produz uma representação espectral, em tempo real no monitor. Esta exhibe a velocidade do sangue no eixo y e o tempo no eixo x. A velocidade média (VM), velocidade de pico sistólico (VPS), velocidade diastólica final (VDF) e índices de resistência (IR) e pulsatilidade (IP) foram obtidos automaticamente na maioria dos casos. Quando a análise computadorizada não foi possível devido à baixa razão sinal/ruído o cursor foi posicionado manualmente. Foram arquivados somente os maiores valores obtidos para cada segmento arterial.

O projeto de pesquisa foi analisado e aprovado pelo comitê de ética de nossa instituição, sendo obtido consentimento informado de todos os voluntários.

*Análise estatística* – Para verificação de normalidade na distribuição dos dados utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, análise de assimetria e curtose. Para comparação entre os hemisférios cerebrais foi utilizado o teste T - pareado. Os limites de referência foram calculados como média  $\pm 2$  DP após agruparmos os dados de ambos os lados para todas as artérias bi-hemisféricas. Um modelo de regressão linear múltiplo e o coeficiente de correlação de Pearson foram utilizados para quantificar associações entre as medidas de velocidades (VPS, VDF e VM) e índices de impedância (IR e IP) com a idade e o sexo.

## RESULTADOS

Em 4 indivíduos (4,5%) nós não encontramos uma janela temporal com transparência suficiente para permitir o registro de fluxo arterial através do DTC em ambos os lados. Em um outro voluntário nós só a encontramos do lado direito. A média de idade destes pacientes foi 54 anos, sendo todos do sexo feminino. Foi possível a obtenção de dados em 742 artérias (93,7%) das 792 artérias teoricamente possíveis, se considerarmos um polígono de Willis completo. As artérias cerebrais médias foram detectadas em 94,9% das vezes, as artérias cerebrais anteriores em 92,6 %, as artérias cerebrais posteriores em 86,9%, as artérias vertebrais em 98,9 % e a artéria basilar em 96,6%. Os valores de velocidades de fluxo sanguíneo e índices de impedância foram normalmente

distribuídos. Foram encontradas diferenças entre os dois hemisférios cerebrais (teste T - pareado) em todos os parâmetros no segmento P<sub>2</sub> da artéria cerebral posterior ( $p < 0,01$ ) e nos índices de impedância na artéria cerebral média ( $p < 0,05$ ). A Tabela demonstra os valores de referência para os diversos parâmetros de fluxo sanguíneo agrupados para ambos os hemisférios cerebrais. Nós encontramos uma diminuição dos valores de velocidade com o avançar da idade sendo mais significativo para a VDF da artéria cerebral média:  $r = -0,25$  ( $p < 0,01$ ) e regressão  $VDF = 43,6 - 0,15$  (idade-40) [Para interpretar o valor da constante desta equação foi considerada a variável idade-40. Desta forma, a constante passa a significar o valor esperado de um indivíduo de 40 anos de idade]. A regressão associada com a idade explicou 6,5% da variabilidade da VDF, 2,5% da VM e 4% da VPS na artéria cerebral média, como determinado por  $r^2$ . Os índices de resistência e pulsatilidade aumentaram com a idade sendo mais significativo na artéria vertebral onde a regressão associada com a idade explicou 17,5% da variabilidade do IR e 15,9% do IP, como determinado por  $r^2$ . Os gráficos de dispersão para as velocidades médias e índices de pulsatilidade em relação à idade para todas as artérias examinadas estão demonstrados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Com relação ao sexo, as mulheres apresentaram maiores valores nas medidas de velocidades, chegando à significância estatística na cerebral média [VPS ( $p < 0,005$ ), VDF ( $p = 0,001$ ) e VM ( $p < 0,01$ )], nos segmentos P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> da cere-

Tabela. Valores de referência para velocidades e índices de impedância nas artérias cerebrais medidas pelo DTC.

Artéria (n)	Velocidades (cm/s)			Índices de impedância	
	VM ( $\pm 2DP$ )	VPS ( $\pm 2DP$ )	VDF ( $\pm 2DP$ )	IR ( $\pm 2DP$ )	IP ( $\pm 2DP$ )
ACM (167)	62 (42-82)	90 (60-120)	43 (28-58)	0,51 (0,41-0,61)	0,75 (0,49-1,01)
ACA (163)	48 (28-68)	70 (42-98)	32 (16-48)	0,52 (0,38-0,66)	0,78 (0,44-1,12)
ACP <sub>1</sub> (152)	37 (21-53)	52 (28-76)	24 (10-38)	0,53 (0,37-0,69)	0,76 (0,40-1,12)
ACP <sub>2</sub> (152)	38 (22-54)	54 (32-76)	26 (12-40)	0,52 (0,38-0,66)	0,74 (0,44-1,04)
AB (85)	43 (25-61)	61 (35-87)	30 (16-44)	0,51 (0,35-0,67)	0,74 (0,36-1,12)
AV (174)	32 (16-48)	44 (20-68)	21 (9-33)	0,51 (0,35-0,67)	0,73 (0,33-1,13)

VM, velocidade média; VPS, velocidade de pico sistólico; VDF, velocidade diastólica final; IR, índice de resistência; IP, índice de pulsatilidade; ACM, artéria cerebral média; ACA, artéria cerebral anterior; ACP, artéria cerebral posterior; AB, artéria basilar; AV, artéria vertebral.

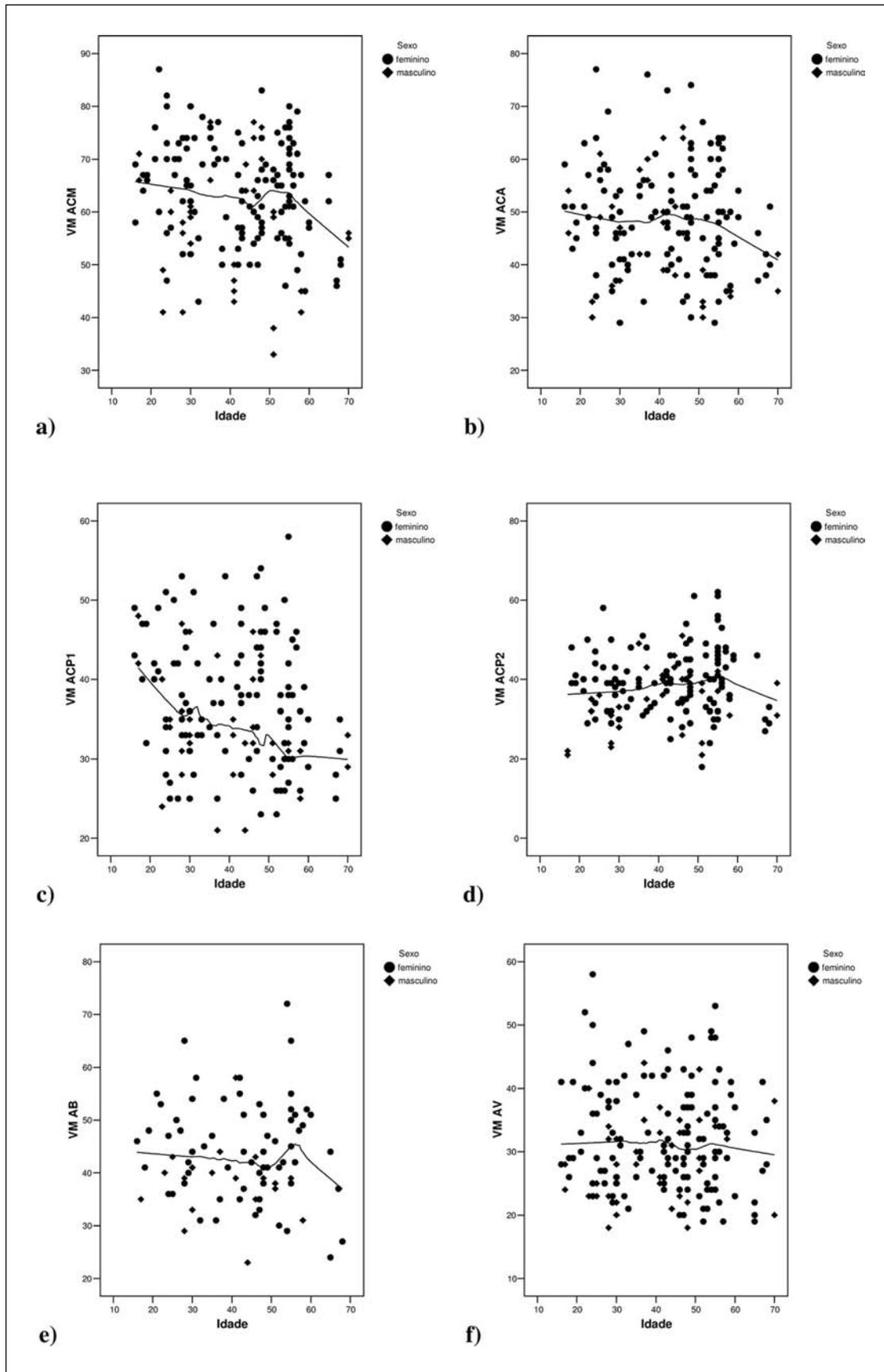


Fig 1. Gráficos de dispersão das velocidades médias (VM) nas artérias cerebrais medidas pelo DTC em relação à idade. (a) Artéria cerebral média (b) Artéria cerebral anterior (c) Artéria cerebral posterior (P1) (d) Artéria cerebral posterior (P2) (e) Artéria basilar (f) Artéria vertebral.

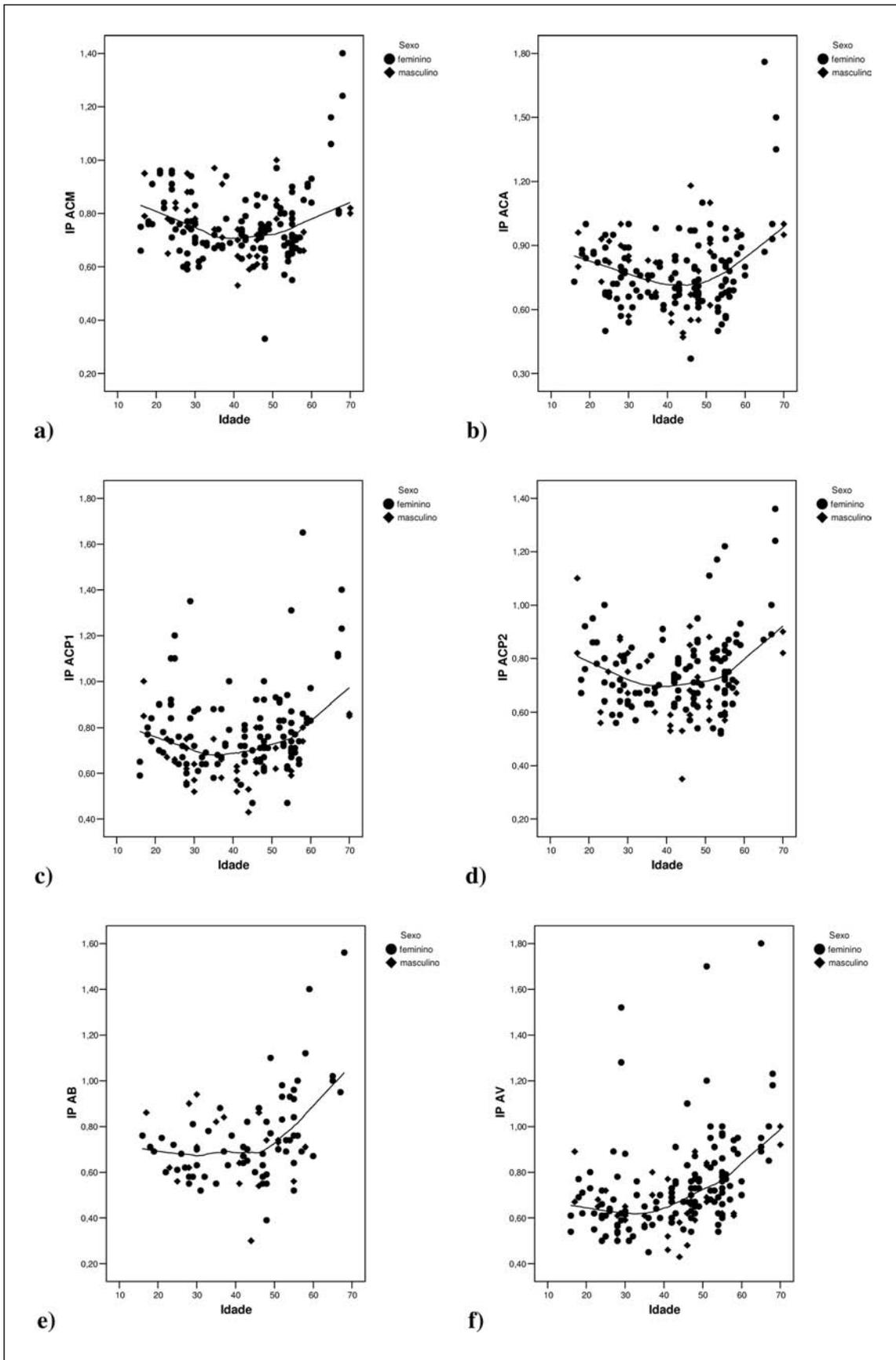


Fig 2. Gráficos de dispersão dos índices de pulsatilidade (IP) nas artérias cerebrais medidas pelo DTC em relação à idade. (a) Artéria cerebral média (b) Artéria cerebral anterior (c) Artéria cerebral posterior (P1) (d) Artéria cerebral posterior (P2) (e) Artéria basilar (f) Artéria vertebral.

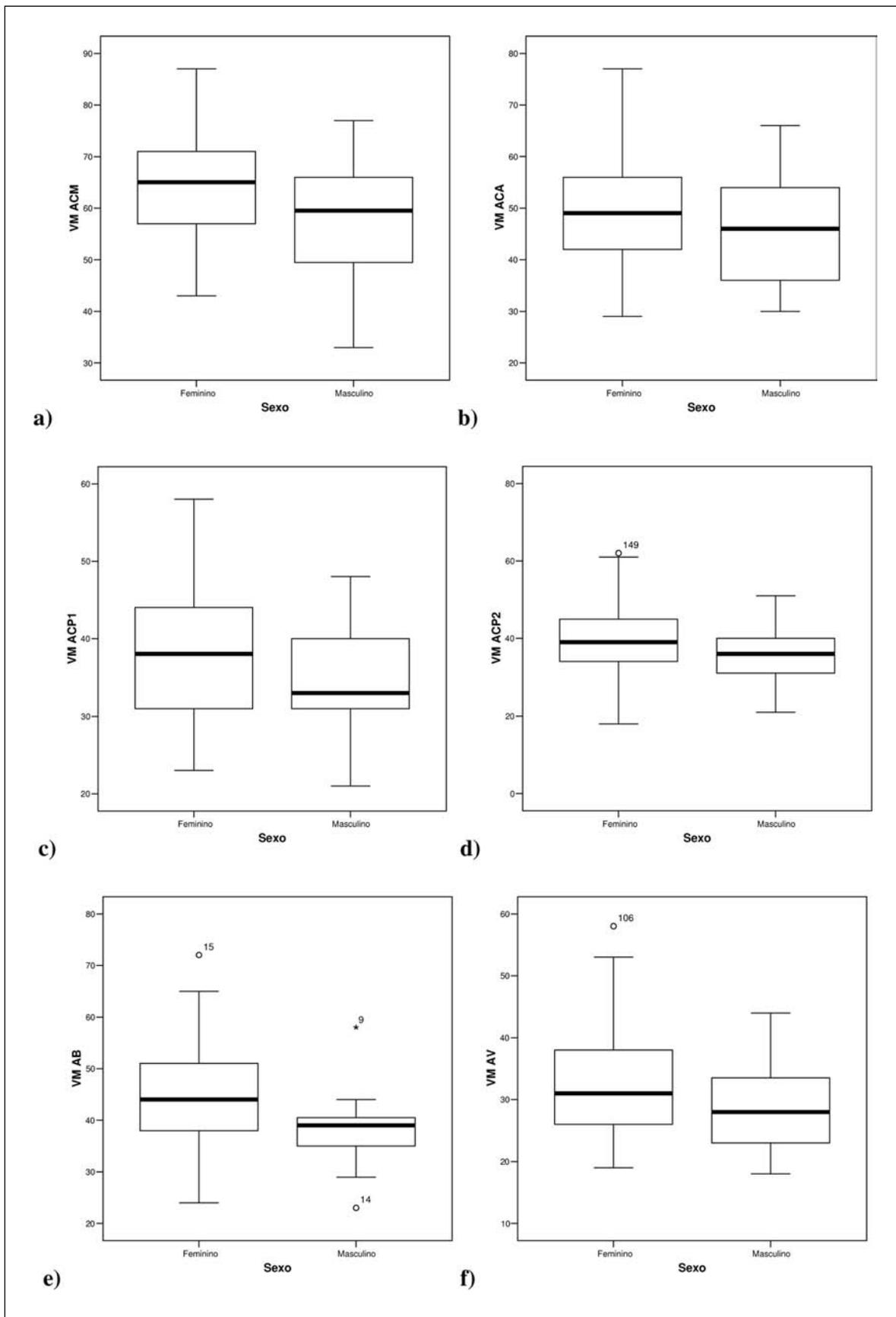


Fig 3. Boxplots da distribuição por sexo das velocidades médias nas artérias cerebrais medidas pelo DTC. (a) Artéria cerebral média (b) Artéria cerebral anterior (c) Artéria cerebral posterior (P1) (d) Artéria cerebral posterior (P2) (e) Artéria basilar (f) Artéria vertebral.

bral posterior [VPS ( $p < 0,001$ ) e VM ( $p < 0,01$ )], na vertebral [VPS ( $p < 0,01$ )] e na basilar [VPS e VM ( $p < 0,05$ )]. Os índices de impedância também foram discretamente maiores nos segmentos  $P_1$  ( $p < 0,01$ ) e  $P_2$  ( $p < 0,05$ ) da cerebral posterior e na artéria vertebral ( $p < 0,05$ ). A Figura 3 demonstra os Boxplots da distribuição das velocidades médias em todas as artérias cerebrais examinadas em relação ao sexo.

## DISCUSSÃO

O DTC é um exame não invasivo que está sendo cada vez mais utilizado no diagnóstico e acompanhamento de patologias cerebrovasculares, podendo servir como alternativa a outros métodos de diagnóstico por imagem. Uma das maiores limitações desta metodologia é a inexistência de uma janela acústica temporal, o que ocorre em cerca de 5 a 10% dos pacientes<sup>11</sup>. Mais do que qualquer outro tecido o osso atenua a energia do feixe sonoro por reflexão, absorção e dispersão<sup>12</sup>. A espessura do osso temporal é muito variável entre os indivíduos, mas conserva certa relação com a idade, sexo e cor da pele. Estudos em cadáveres demonstraram que a espessura do osso temporal tende a aumentar com a idade, é maior em mulheres do que em homens e em negros do que em brancos<sup>13</sup>. Em nossa série nós não identificamos uma janela temporal satisfatória bilateralmente em 4 indivíduos (4,5%) e unilateralmente em 1 (1,1%).

Devido à grande variabilidade e complexidade dos vasos que compreendem o polígono de Willis e à falta de informação visual, a identificação arterial pelo DTC pode ser difícil. Como outros autores<sup>3,14</sup>, nós não fomos capazes de localizar as artérias cerebrais anteriores e posteriores em 7,4% e 13,1% dos hemisférios, respectivamente, o que poderia ser explicado pela maior incidência de variações anatômicas nestes segmentos<sup>15,16</sup>. Porém quando estudamos os pacientes individualmente, não podemos afirmar com certeza se a não caracterização do fluxo em um desses segmentos foi devido à ausência congênita ou dificuldade técnica.

O conhecimento dos valores de referência para os diversos parâmetros de fluxo sanguíneo medidos por meio do DTC é importante no estudo das artérias cerebrais basais, pois auxilia na detecção de alterações hemodinâmicas secundárias a patologias cerebrovasculares. Como outros autores<sup>1,3-7</sup>, nós também encontramos larga faixa de referência para os valores de velocidade e índices de impedância medidos por meio do DTC em todas as artérias examinadas. Este achado poderia ser explicado pelos numerosos componentes de variância como variabilidade inter ou intra-observador;

variabilidade interindividual, intra-individual e dia a dia, além da variabilidade relacionada à idade e ao sexo<sup>14,17</sup>. Variações no diâmetro das artérias cerebrais também podem contribuir para uma maior dispersão dos valores de velocidade<sup>18</sup>. Ao contrário dos exames ultra-sonográficos com Doppler das artérias carótidas extra-cranianas onde o parâmetro VPS é o mais utilizado para detectar alterações hemodinâmicas, no DTC a VM tem sido mais valorizada por apresentar menor variabilidade interindividual<sup>3</sup>. Assim, há um número menor de relatos de valores de referência para a VPS e VDF. A maioria dos autores tem colocado seus limites de referência como média  $\pm$ DP o que pode causar certa confusão, já que em uma distribuição normal 95,5% dos valores estarão dentro do intervalo calculado como média  $\pm$ 2DP, enquanto apenas 68,3% destes estarão no intervalo calculado como média  $\pm$ DP.

Arnolds e Von Reutern<sup>4</sup> examinaram 51 indivíduos saudáveis com idade entre 12 e 83 anos e encontraram valores de referência para VPS na ACM, ACA, ACP e AB, de  $89,7 \pm 15,6$ ;  $70,2 \pm 13,6$ ;  $58,5 \pm 11,3$  e  $56,5 \pm 12$  cm/s (média  $\pm$ DP), respectivamente, e para VDF na ACM, ACA, ACP e AB de  $44,8 \pm 9,7$ ;  $33,1 \pm 8,5$ ;  $28,8 \pm 7$  e  $28 \pm 8,5$  cm/s (média  $\pm$ DP), respectivamente. Hennerici et al.<sup>3</sup> avaliaram 50 indivíduos presumivelmente normais, que foram divididos por grupos etários. No grupo com idade entre 40 e 60 anos relataram valores para VPS na ACM, ACA, ACP e AV/AB de, respectivamente,  $91 \pm 16,9$ ;  $86,4 \pm 20,1$ ;  $60,1 \pm 20,6$  e  $59,5 \pm 17$  cm/s (média  $\pm$ DP), para VDF na ACM, ACA, ACP e AV/AB de, respectivamente,  $44,3 \pm 9,5$ ;  $41,1 \pm 7,4$ ;  $28,7 \pm 7,5$  e  $29,2 \pm 8,4$  cm/s (média  $\pm$ DP), e para VM na ACM, ACA, ACP e AV/AB de, respectivamente,  $57,7 \pm 11,5$ ;  $53,1 \pm 10,5$ ;  $36,6 \pm 9,8$  e  $36,4 \pm 11,7$  cm/s (média  $\pm$ DP).

Ringelstein et al.<sup>5</sup> reportaram os valores de VM de cada segmento arterial por faixa etária em 106 voluntários sem doença cerebrovascular conhecida. No grupo com idade entre 50 a 59 anos encontraram valores de VM na ACM, ACA, ACP, AB e AV de  $51 \pm 9,7$ ;  $46 \pm 9,4$ ;  $39 \pm 9,9$  cm/s;  $32 \pm 7$  e  $37 \pm 10$  cm/s (média  $\pm$ DP), respectivamente. Grolimund e Seiler<sup>6</sup> relataram valores de VM na ACM de  $57,3 \pm 14,8$  cm/s, na ACA de  $49,2 \pm 15,1$  cm/s e na ACP de  $37,2 \pm 10,3$  cm/s (média  $\pm$ DP), em 535 pacientes de um grupo de risco para doença cerebrovascular, que foram encaminhados para investigação de ataque isquêmico transitório (AIT), sendo seus exames de DTC considerados normais. Aaslid et al.<sup>1</sup> também já haviam relatado seus valores de VM em 50 indivíduos saudáveis na ACM de  $62 \pm 12$  cm/s, ACA de  $51 \pm 12$  cm/s e ACP de  $44 \pm 11$  cm/s (média  $\pm$ DP). Martin et al.<sup>7</sup> apresentaram seus

limites de referência em forma de intervalo de confiança, que estão entre parênteses, dentro do qual estaria a verdadeira média para a população geral e não a faixa de valores considerados normais. As suas médias de VM foram de 61 cm/s na ACM, 48 cm/s na ACA, 43 cm/s em P<sub>1</sub>, 41 cm/s em P<sub>2</sub> e 40 cm/s na AB.

Os limites de referência calculados por nós (Tabela) foram semelhantes aos de outros autores<sup>1,3-7</sup> para os valores de VPS, VDF e VM em todas as artérias examinadas, quando recalculamos seus dados como média  $\pm 2DP$  e levamos em consideração a idade. Os valores encontrados por Sorterberg et al.<sup>14</sup> foram maiores que os encontrados por nós, o que poderia ser explicado pela menor faixa etária de seus indivíduos (média de 36 anos). Martin et al.<sup>7</sup> foram os únicos a relatarem separadamente os valores de velocidade para os segmentos P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> da ACP, e assim como nós, eles encontraram valores muito próximos entre os dois segmentos, o que justificaria o agrupamento destes dados em um só segmento (ACP) preferido pela maioria dos autores.

Além dos valores de referência, a comparação das velocidades entre os hemisférios cerebrais pode ser útil na detecção de resultados anormais. Sorterberg et al.<sup>14</sup> estudaram as variações lado a lado nas medidas de velocidade nas artérias basais por meio do DTC e encontraram variações de  $\pm 7\%$ ,  $\pm 12\%$  e  $\pm 17\%$  nas VM da ACM, ACA e ACP, respectivamente, indicando que a comparação dos dados entre os hemisférios tem valor no diagnóstico de processos patológicos. As diferenças encontradas por nós nos valores de velocidades, quando comparamos os lados direito e esquerdo, foram muito pequenas, mas chegaram à significância estatística no segmento P<sub>2</sub> da ACP. Neste local, a diferença média dos valores de VM entre os hemisférios foi de 4,0 cm/s (IC de 95% 2,1-5,9).

Outros parâmetros importantes medidos pelo DTC são os índices de impedância (IP e IR), pois refletem alterações ocorrendo no território de perfusão, caso sejam mantidas inalteradas variáveis sistêmicas relacionadas ao sistema cardiovascular como a frequência cardíaca. Lindegaard et al.<sup>19</sup>, por exemplo, relataram diferenças significativas no IP da ACM em dois grupos controles A e B onde os valores encontrados foram de, respectivamente,  $0,71 \pm 0,10$  e  $0,94 \pm 0,14$  (média  $\pm DP$ ). Esta diferença foi devido às frequências cardíacas mais baixas no grupo B. Como o IP é uma composição de 3 variáveis (VPS, VDF e VM) e o IR de 2 variáveis (VPS e VDF), a variabilidade encontrada nestes parâmetros foi maior do que a de cada medida de velocidade isoladamente.

Sorterberg et al.<sup>14</sup> reportaram valores de IP no hemisfério cerebral direito para ACM de  $0,69 \pm 0,10$ ; ACA de  $0,69 \pm 0,09$  e ACP  $0,69 \pm 0,11$  (média  $\pm DP$ ), demonstrando não haver diferenças significativas entre esses vasos. Hennerici et al.<sup>3</sup> relataram valores de IP para ambos os hemisférios cerebrais na ACM, ACA e ACP, sendo à direita de  $0,90 \pm 0,24$ ;  $0,78 \pm 0,15$  e  $0,88 \pm 0,23$  (média  $\pm DP$ ) e à esquerda de  $0,94 \pm 0,27$ ;  $0,83 \pm 0,17$  e  $0,88 \pm 0,20$ , respectivamente. Martin et al.<sup>7</sup> encontraram valores médios de IP de 0,76; 0,69; 0,70; 0,70 e 0,69 na ACM, ACA, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e AB, respectivamente, e valores médios de IR de 0,51; 0,48; 0,49; 0,49 e 0,49 na ACM, ACA, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e AB, respectivamente.

Os valores de IP e IR encontrados por nós foram menores que os relatados por Hennerici et al.<sup>3</sup>, mas semelhantes aos de Martin et al.<sup>7</sup> e Sorterberg et al.<sup>14</sup>. As medidas dos índices de impedância foram muito próximas para todos os vasos examinados, sendo possível considerarmos estes valores agrupados para todo o cérebro.

As variações entre os lados também foram pequenas para os índices de impedância, mas chegaram à significância estatística na ACM e no segmento P<sub>2</sub> da ACP. As diferenças médias do IP e IR foram, respectivamente, de 0,03 (IC de 95% 0,01-0,05) e 0,01 (IC de 95% 0,00-0,02) na ACM e 0,04 (IC de 95% 0,01-0,07) e 0,02 (IC de 95% 0,00-0,03) no segmento P<sub>2</sub>. Sorterberg et al.<sup>14</sup> relataram variações nas medidas dos índices de pulsatilidade nas artérias basais entre os lados de  $\pm 10\%$ ,  $\pm 15\%$  e  $\pm 18\%$  na ACM, ACA e ACP, respectivamente.

A dependência dos parâmetros de fluxo sanguíneo em relação à idade tem sido bastante estudada. A tendência para as velocidades de fluxo diminuírem e os índices de impedância aumentarem tem sido encontrado em muitos estudos com DTC<sup>3-6</sup>. Estas alterações aparentemente são causadas pelas mudanças observadas no FSC, já que o diâmetro arterial não mostra alterações sistemáticas com o avançar da idade<sup>18</sup>. É conhecido de estudos angiográficos que as artérias basais são mais tortuosas e tem um curso mais em direção à base do crânio em pacientes idosos, o que aumentaria o ângulo Doppler, podendo reduzir as velocidades observadas no DTC<sup>5</sup>. Como a artéria carótida interna (ACI) não demonstra tais alterações anatômicas, mas também tem redução das velocidades com a idade, a redução no FSC é sem dúvida a principal razão para a dependência observada. Kety<sup>20</sup> foi o primeiro a relatar uma gradual diminuição no fluxo sanguíneo cerebral por meio de técnica de inalação de xenônio. Ele concluiu que o fluxo sanguíneo

cerebral e o consumo de oxigênio diminuem rapidamente durante as primeiras duas décadas de vida, e gradual, mas progressivamente com o avançar da idade.

Entretanto, o padrão de dependência destes parâmetros com a idade varia de um estudo para outro. Por exemplo, Hennerici et al.<sup>3</sup> encontraram somente uma gradual diminuição na velocidade de fluxo na artéria cerebral média, mas não nas artérias cerebrais anterior e posterior. Ringelstein et al.<sup>5</sup> relataram mais rápida redução das velocidades durante a infância e adolescência, relativa estabilidade durante a meia idade e novamente maior redução nas velocidades de fluxo após os 60 anos. Arnolds e Von Reutern<sup>4</sup> encontraram redução nas velocidades em todas as artérias do grupo mais jovem ao mais velho (em média 20%), com marcada redução após os 40 anos. Grolimund e Seiler<sup>6</sup> relataram diminuição linear em todas as velocidades de fluxo das artérias cerebrais com o avançar da idade em pacientes selecionados de um grupo com fatores de risco.

A análise estatística dos nossos dados vai ao encontro desses achados. Houve aumento dos índices de impedância e redução das velocidades de fluxo nas artérias cerebrais com o avançar da idade, sendo mais importante após a 5ª década de vida (Figuras 1 e 2). A redução das velocidades com a idade foi mais consistente na ACM, provavelmente devido ao seu curso anatômico menos variável e ao menor ângulo de insonação.

A magnitude desta relação também varia de um estudo para outro, de acordo com a população em questão. Por exemplo, no estudo de Grolimund e Seiler<sup>6</sup> a associação entre VM e idade foi maior que a encontrada por nós na ACM ( $r = -0,44$  x  $r = -0,16$ ), ACA ( $r = -0,27$  x  $r = -0,11$ ) e ACP ( $r = -0,26$  x  $r = -0,17$ ). Esta discrepância provavelmente se deve ao fato de que sua população foi proveniente de um grupo de risco para doença cerebrovascular. Tachibana et al.<sup>21</sup> demonstraram, por meio de técnica de inalação de Xe<sup>133</sup>, que o fluxo sanguíneo cerebral diminui a uma taxa maior com a idade em grupos de risco do que em indivíduos normais.

O aumento dos índices de impedância com o avançar da idade pode se explicado pela maior elasticidade dos vasos em jovens, que absorvem o pulso e a pressão sanguínea mais efetivamente do que as artérias mais rígidas dos idosos. Assim, a idade aumenta a diferença entre a VPS e VDF, aumentando desta maneira o IP e IR<sup>21</sup>.

Em nosso estudo, com relação ao sexo, as medidas de velocidade de fluxo foram maiores em mulheres do que em homens (figura 3). Na circulação posterior, os índices de impedância (IP e IR) também foram maiores nas mulheres. Shaw et al.<sup>22</sup> observaram maiores velocidades em mulheres na menacme, quando comparadas com homens da mesma faixa etária. Rodrigues et al.<sup>23</sup> demonstraram que o fluxo sanguíneo cerebral nas mulheres declina, e se iguala àqueles vistos em homens, após a menopausa, o que pode estar relacionado em parte ao estímulo estrogênico. Os níveis de estrógeno parecem se correlacionar diretamente com a velocidade e a resistência na artéria cerebral média. Outro fator que poderia justificar as maiores velocidades de fluxo observadas no sexo feminino seria o menor hematócrito entre as mulheres<sup>24,25</sup>.

Devido ao tamanho e às características de nossa amostra, com predomínio da população feminina, nós não separamos os dados por faixa etária ou sexo. Portanto, os limites de referência estabelecidos são para toda a população estudada. O DTC se mostrou útil na avaliação hemodinâmica cerebral de nossa população. Os nossos resultados são semelhantes aos de outros estudos, tanto nos valores de referência quanto na sua relação com a idade e o sexo. Nós acreditamos que conhecendo estes valores e estando atento às suas variações os erros de interpretação poderão ser minimizados.

## REFERÊNCIAS

1. Aaslid R, Markwalder T-M, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982;57:769-774.
2. Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, et al. Transcranial Doppler ultrasonography: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 2004;62:1468-1481.
3. Hennerici M, Rautenberg W, Sitzer G, Schwartz A. Transcranial doppler ultrasound for the assessment of intracranial arterial flow velocity-Part 1 Examination technique and normal values. *Surg Neurol* 1987;27:439-448.
4. Arnolds BJ, Von Reutern G-M. Transcranial dopplersonography: examination technique and normal reference values. *Ultrasound Med Biol* 1986;12:115-123.
5. Ringelstein EB, Kahlscheuer B, Niggemeyer E, Otis SM. Transcranial Doppler sonography: anatomical landmarks and normal velocity values. *Ultrasound Med Biol* 1990;16:745-761.
6. Grolimund P, Seiler RW. Age dependence of the flow velocity in the basal cerebral arteries: a transcranial Doppler ultrasound study. *Ultrasound Med Biol* 1988;14:191-198.
7. Martin PJ, Evans DH, Naylor AR. Measurement of blood flow velocity in the basal cerebral circulation: advantages of transcranial color-coded sonography over conventional transcranial Doppler. *J Clin Ultrasound* 1995;23:21-26.
8. Radanovic M, Scaff M. Uso do doppler transcraniano para monitorização do vasoespasm cerebral secundário à hemorragia subaracnóide. *Rev Assoc Med Brasil* 2001;47:59-64.
9. Malheiros SMF, Massaro AR, Gabbai AA, et al. Is the number of microembolic signals related to neurologic outcome in coronary bypass surgery? *Arq Neuropsiquiatr* 2001;59:1-5.
10. Bor-Seng-Shu E, Teixeira MJ, Hirsh R, Andrade AF, Marino R Jr. Trans-

- cranial doppler sonography in two patients who underwent decompressive craniectomy for traumatic brain swelling. *Arq Neuropsiquiatr* 2004;62:715-721.
11. Brucki SM, Massaro AR, Gabbai AA. Doppler transcraniano no acidente vascular cerebral isquêmico. *Rev Neurociências* 2001;9:49-56.
  12. White DN, Curry GR, Stevenson RJ. The acoustic characteristics of the skull. *Ultrasound Med Biol* 1978;4:225-252.
  13. Halsey JH. Effect of emitted power on waveform intensity in transcranial Doppler. *Stroke* 1990;21:1573-1578.
  14. Sorterberg W, Langmoen IA, Lindegaard K-F, Nornes H. Side-to-side differences and day-to-day variations of transcranial doppler parameters in normal subjects. *J Ultrasound Med* 1990;9:403-409.
  15. Perlmutter D, Rothon AL Jr. Microsurgical anatomy of the anterior cerebral-anterior communicating-recurrent artery complex. *J Neurosurg* 1976;45:259-272.
  16. Saeki N, Rhoton Al Jr. Microsurgical anatomy of the upper basilar artery and the posterior circle of Willis. *J Neurosurg* 1977;46:563-578.
  17. Demolis P, Chalon S, Giudicelli J-F. Repeatability of transcranial doppler measurements of arterial blood flow velocities in healthy subjects. *Clinical Science* 1993;84:599-604.
  18. Gabrielsen TO, Greitz T. Normal size of the internal carotid, middle cerebral and anterior cerebral arteries. *Acta Radiol* 1970;10:1-10.
  19. Lindegaard K-F, Bakke SJ, Grolimund P, Aaslid R, Huber P, Nornes H. Assessment of intracranial hemodynamics in carotid artery disease by transcranial Doppler ultrasound. *J Neurosurg* 1985;63:890-898.
  20. Kety SS. The physiology of the human cerebral circulation. *Anesthesiology* 1949;10:610-613.
  21. Kerber CW, Liepsch D. Flow dynamics for radiologists: II. Practical considerations in the live human. *AJNR* 1994;15:1076-1086.
  22. Shaw TG, Mortel KF, Meyer JS, Rogers RL, Hardenberg J, Cutaia MA. Cerebral blood flow changes in benign aging and cerebrovascular disease. *Neurology* 1984;34:855-862.
  23. Rodrigues G, Wartenkin S, Risberg J, Rosadini G. Sex differences in regional blood flow. *J Cereb Blood Flow Metab* 1988;8:783-789.
  24. Vriens EM, Kraaier V, Musbach M, Wieneke GH, Van Huffelen AC. Transcranial pulsed doppler measurements of blood flow velocity in the middle cerebral artery: reference values at rest and during hyperventilation in healthy volunteers in relation to age and sex. *Ultrasound Med Biol* 1989;15:1-8.
  25. Brass LM, Pavlakis SG, Devivo DC, Piomelli S, Mohr JP. Transcranial Doppler measurements of the middle cerebral artery: effect of hematocrit. *Stroke* 1988;19:1466-1469.