

REFLEXÕES SOBRE A METODOLOGIA DOPPLER: PRINCÍPIOS FÍSICOS

REFLECTIONS ON THE DOPPLER METHODOLOGY: PHYSICAL PRINCIPLES

FRANCISCO MAUAD FILHO¹, ANTONIO GADELHA DA COSTA², PATRICIA SPARA², BENEDITO GATTASS CONCEIÇÃO ORRO¹, CARLOS CÉSAR MONTESINO NOGUEIRA¹, HERÁCLIO ALMEIDA DA COSTA².

RESUMO:

A dopplervelocimetria tem inúmeras aplicações na área médica, sendo que merece grande destaque na avaliação da vitalidade fetal. No entanto, conhecimento sobre sua técnica se faz necessária na prática clínica diária. Os autores fazem revisão sobre a metodologia Doppler, tecendo considerações a respeito dos princípios físicos envolvidos nessa técnica.

PALAVRAS-CHAVE: dopplervelocimetria, Doppler, bem-estar fetal, ultrassonografia, vitalidade fetal.

INTRODUÇÃO

A dopplervelocimetria, também conhecida como perfil hemodinâmico fetal (PHF), é a metodologia não invasiva mais sensível e específica para estabelecer os graus de comprometimento circulatório fetal, possuindo elevado valor preditivo. Além disso, tem a capacidade de detectar alterações mais precocemente que a cardiografia e o perfil biofísico fetal, atuando na prevenção e diminuindo, desta forma, a morbimortalidade materna e fetal. Se associarmos o Doppler ao índice de líquido amniótico (ILA), teremos o perfil hemodinâmico fetal modificado (PHFM), que é realizado somente após a 26ª semana de gestação nas gestantes de alto risco. A dopplervelocimetria nas artérias umbilicais é de real importância em patologias que levam ao comprometimento do fluxo sanguíneo útero-placentário, principalmente na doença hipertensiva específica da gestação e na restrição de crescimento intrauterino (RCIU). Patologias que comprometem a resistência útero-placentária promovem aumento do índice de pulsatilidade na artéria umbilical¹.

As gestações que mais se beneficiam da dopplervelocimetria na artéria umbilical são as que apresentam fator preditivo para crescimento intrauterino restrito, seja idiopático, na presença de hipertensão ou de pré-eclâmpsia. Diversos autores têm enfatizado a importância da medida do fluxo sanguíneo da artéria umbilical como fator preditivo para o diagnóstico de crescimento intrauterino restrito¹. Na RCIU, fetos que apresentam anormalidades dopplervelocimétricas na artéria umbilical encontram-se comprometidos, com pior prognóstico fetal e antecipação do parto². Devido a esse fato, o uso da dopplervelocimetria na artéria umbilical no crescimento intrauterino retardado tem melhorado

o prognóstico fetal, com redução de aproximadamente 38% na mortalidade perinatal³. Apesar da necessidade de se realizarem outras investigações adicionais, a avaliação do bem-estar fetal pela dopplervelocimetria tem como sua maior indicação as gestações de fetos com RCIU. Por meio dessa metodologia, pode-se identificar o momento adequado para a resolução da gravidez, observando-se, em fases terminais, anormalidades no ducto venoso⁴.

Desta forma, fica clara e indiscutível a aplicabilidade clínica da dopplervelocimetria na avaliação da vitalidade fetal. No entanto, é necessário que o ultrassonografista tenha noções sobre a técnica Doppler, motivo da realização desse artigo.

A METODOLOGIA DOPPLER

O efeito Doppler foi descrito pela primeira vez em 1842 por Joahann Christian Doppler⁵, professor austríaco de matemática e geometria, para explicar por que o som tem a sua frequência modificada quando a fonte sonora está em movimento. Ou seja, o motivo pelo qual um trem que se aproxima da estação emite um som mais agudo e, ao afastar-se, emite um som mais grave, enquanto que para o maquinista a frequência permanece a mesma. Ele explicou que a frequência do som sofre a influência da velocidade da onda sonora. No exemplo acima descrito, temos uma velocidade constante do som no ar (cerca de 330 m/s), mas a fonte sonora, estando em movimento, diminuiu o intervalo entre as ondas emitidas ao aproximar-se da estação (som agudo), aumentando o intervalo ao afastar-se (som grave). É como se os ciclos de ondas fossem "comprimidos" e "esticados".

O estudo Doppler na medicina consiste, portanto, no estudo do perfil das hemácias em um leito vascular. Sendo que as hemácias, ao aproximarem-se do transdutor, produzem um sinal elétrico positivo e, ao afastarem-se, produzem um sinal negativo. Obviamente, se não há movimento, nenhum sinal elétrico é produzido.

Os cálculos automáticos realizados pelos aparelhos com Doppler baseiam-se na diferença de frequência, havendo quatro tipos distintos de processamento: Doppler contínuo, Doppler pulsado, Doppler colorido e Doppler de amplitude.

1. FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. ESCOLA DE ULTRASSONOGRAFIA E RECICLAGEM MÉDICA DE RIBEIRÃO PRETO.

2. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. ULTRA-IMAGEM – CLÍNICA DE ULTRASSONOGRAFIA E DIAGNÓSTICO POR IMAGEM DE CAMPINA GRANDE (PB).

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:

ANTONIO GADELHA DA COSTA:

RUA ANTÔNIO JOAQUIM PEQUENO, Nº 602, APARTAMENTO 202, EDIFÍCIO ANA CLÁUDIA, BODOCONGÓ, CAMPINA GRANDE – PB. CEP: 58108-085

O DOPPLER CONTÍNUO

O Doppler contínuo consiste em dois cristais piezoelétricos, sendo que um emite continuamente uma frequência fixa gerada por um oscilador (F_o) e o outro recebe continuamente os ecos produzidos pelas hemácias que estão em movimento (F_r), conforme as fórmulas matemáticas a seguir:

$$GF = F_r - F_o$$

Onde: F_r = frequência recebida.

F_o = frequência original.

GF = variação Doppler.

$$F_r - F_o = (2 F_o \times V \times \cos \beta) / C$$

Onde: V = velocidade das hemácias.

C = velocidade do som no meio (tecido humano = 1540 m/s).

β = ângulo de insonação formado entre o feixe Doppler e o leito vascular.

É importante salientarmos que o ângulo de insonação (β) nunca deve ultrapassar os 60°. O ideal seria obtermos um ângulo entre 30° e 60° para, desta forma, evitarmos erros inaceitáveis na medida das velocidades que já foram demonstrados em experimentos. Desta maneira, a velocidade das hemácias poderá ser determinada, já que todos os outros parâmetros são conhecidos.

O princípio do Doppler contínuo é o mesmo do sonar com o qual ouvimos os batimentos cardíaco-fetais e, apesar de ter extensa utilização na cardiologia-vascular, por ter a capacidade de medir as altas velocidades das hemácias, tem pouca ou mesmo nenhuma utilidade na Obstetrícia, já que tem a desvantagem de não ser seletivo ao vaso que desejamos estudar. Ou seja, ele atinge todos os vasos que estão no seu trajeto de insonação. Além disso, na Obstetrícia, não estudamos vasos com tão elevada velocidade de fluxo como temos na cardiologia-vascular. A primeira aplicação do Doppler em Obstetrícia foi feita por McCallum et al, em 1977, quando utilizaram o Doppler de onda contínua para obter velocidade de fluxo na artéria umbilical após o parto⁵.

O DOPPLER PULSADO

O Doppler pulsado é caracterizado por utilizar-se apenas um cristal piezoelétrico, apresentando a grande vantagem de poder selecionar o vaso a ser estudado. Isto somente é possível por que, por trabalhar em regime pulsado, o tempo decorrido entre o momento de emissão do pulso e a captação dos ecos pelo transdutor pode ser selecionado. Passando, desta forma, a aceitar somente os ecos de uma determinada distância, e não todos os ecos emitidos.

Ao contrário do Doppler contínuo, o Doppler pulsado é largamente utilizado na Obstetrícia por nos permitir trabalhar com vasos que têm um limite de velocidade. Quando esse limite é ultrapassado, temos o fenômeno conhecido como "aliasing". Aliás, paradoxalmente, esta é a "desvantagem" com a qual trabalhamos: uma limitação nos valores máximos de velocidade que podem ser emitidos. Esta limitação é conhecida como Nyquist.

Podemos lançar mão de alguns recursos para evitarmos que este fenômeno ocorra:

1. Baixar a linha de base e inverter o espectro se necessário;
2. Aumentar o PRF (Pulse Repetition Frequency), ou seja, a escala de velocidade;
3. Congelar o modo B (permitindo um processamento mais rápido dos sinais Doppler).

Outro detalhe importante é que o tamanho do indicador de amostragem não deve ultrapassar 75% do calibre do vaso estudado, sendo posicionado no centro do mesmo. Desta forma, poderemos evitar o estudo das hemácias com baixas velocidades na periferia dos vasos, que terminam por provocar um borramento do espectro do Doppler.

Obtendo-se a amostra adequadamente e corrigindo-se o "aliasing", não se pode esquecer de verificar o filtro do aparelho. Ele não deve estar em frequência muito alta (ideal entre 50 e 100 Hz), por correr o risco de não detectar fluxos de baixa velocidade. Poderá fornecer falsos negativos para neovascularização ou não se visualizar uma diástole zero, por exemplo.

A primeira aplicação do Doppler pulsado ocorreu em 1977, por Fitzgerald e Drumm, para avaliar o fluxo sanguíneo na veia e artéria umbilical intraútero, mostrando a característica espectral desses vasos e considerando suas aplicações na pré-eclâmpsia e na restrição de crescimento intrauterino⁵.

O DOPPLER COLORIDO

Este tipo de processamento (semelhante ao Doppler pulsado) é utilizado simultaneamente com o modo B, selecionando-se uma janela (a menor possível) a fim de detectar qualquer fluxo em movimento, sendo este demonstrado na forma de cores. Essa varredura nos informa a direção do fluxo de qualquer vaso que se encontra na janela, utilizando uma cor quando as hemácias se aproximam do transdutor, e outra cor quando elas se afastam do mesmo.

É importante salientar que as cores não têm relação quanto ao sangue ser do tipo venoso ou arterial, mas sim com a direção e a velocidade do fluxo. Para isso, há uma escala de velocidades que pode ser alterada no aparelho pelo observador, preferindo-se apresentar em vermelho o sangue arterial, e em azul o sangue venoso, o que facilita a interpretação do exame.

Contudo, deve-se atentar ao fato de que um mesmo vaso pode apresentar cores diferentes em virtude da mudança na direção de fluxo com relação ao transdutor, como ocorre, por exemplo, em vasos tortuosos.

Um fato interessante é que o "aliasing" no Doppler colorido é um evento desejável, já que este é o melhor local para a colocação do sample (indicador de amostragem), pois nos informa o local de maior velocidade do vaso. Portanto, confere uma informação mais fidedigna do estudo realizado.

O DOPPLER DE AMPLITUDE:

Também conhecido como power Doppler, ou angio Doppler, tem a capacidade de detectar as microvibrações (baixas frequências) das paredes dos vasos, e amplificar a cor em cerca de 5 a 10 vezes num plano bidimensional, sendo praticamente ângulo

independente. Ele não nos informa, portanto, a direção do fluxo, mas demonstra a vascularização do plano estudado, sem interrupção no seu trajeto.

OS ÍNDICES VELOCIMÉTRICOS

São utilizados para descrever a resistência ou pulsatilidade dos sinais sob a forma de tempo-velocidade ou tempo-frequência (análise quantitativa). Vários índices foram desenvolvidos para avaliar e comparar as ondas Doppler, sendo que eles dependem de frações envolvendo a velocidade do pico sistólico (VS), o pico da velocidade diastólica-final (VD), e a velocidade média através de um ciclo. Uma vantagem destes índices é que a correção angular e o tamanho cancelam-se mutuamente e assim não precisam ser conhecidos. As velocidades sistólica e diastólica estão representadas por seus picos máximo e mínimo no espectro das ondas num determinado período de tempo.

Em obstetrícia, trabalha-se muito com tais índices, objetivando-se facilitar a análise dos fluxos estudados, que pode ser de forma quantitativa e qualitativa.

O índice de resistência de Stuart (1980) é pouco utilizado em obstetrícia, pois, nos casos de diástole zero, ele é incalculável, ou seja, torna-se infinito. Contrariamente, os índices de resistência de Pourcelot (1974) e de pulsatilidade de Gosling (1975) são os mais utilizados, por terem a vantagem de nunca obter-se um denominador igual a zero. A escolha de qual utilizar, no entanto, é muito pessoal, visto que existem erros intrínsecos a todos os índices, em torno de 10 a 20% ⁶.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o estudo das circulações feto-placentária e útero-placentária, e da vitalidade fetal como um todo, a dopplervelocimetria tem se mostrado o melhor método. É inócuo, não invasivo e de técnica relativamente fácil. No entanto, frente às considerações expostas nesse artigo, fica clara a importância do conhecimento sobre a técnica da dopplervelocimetria.

ABSTRACT

The Dopplervelocimetry has innumerable applications in the medical area, being that it deserves great prominence in the evaluation of the fetal vitality. However, knowledge on its technique is necessary in the practical daily clinic. The authors do a revision on the Doppler methodology, considering regarding the involved physical principles in this technique. **KEYWORDS:** dopplervelocimetry, Doppler, fetal surveillance, ultrasonography.

REFERÊNCIAS

1. Takahashi Y, Kawabata I, Tamaya T. Characterization of growth-restricted fetuses with breakdown of the brain-sparing effect diagnosed by spectral Doppler. *J Matern Fetal Med* 2001;10:122-6.
2. Frusca T, Soregaroli M, Platto C, Enterra L, Lojaco A, Valcamonica A. Uterine artery velocimetry in patients with gestational hypertension. *Obstet Gynecol* 2003; 102:136-40.
3. Alfrevic Z, Neilson JP. Doppler ultrasonography in high-risk pregnancies: systematic review with meta-analysis. *Am J Obstet Gynecol* 1995; 172:1379-87.

4. Baschat AA, Gembruch U, Harman CR. The sequence of changes in Doppler and biophysical parameters as severe fetal growth restriction worsens. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2001; 18:571-7.
5. Gadelha Costa A. Contribuição ao estudo hemodinâmico fetal na segunda metade da gestação. [Tese Doutorado]. Ribeirão Preto: Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo; 2005.
6. Mauad-Filho F, Baracchini JA. Manual e Coletânea de Tabelas em Ultrassonografia. 1ª ed. Ribeirão Preto: Scala, 1997. p. 87-93.

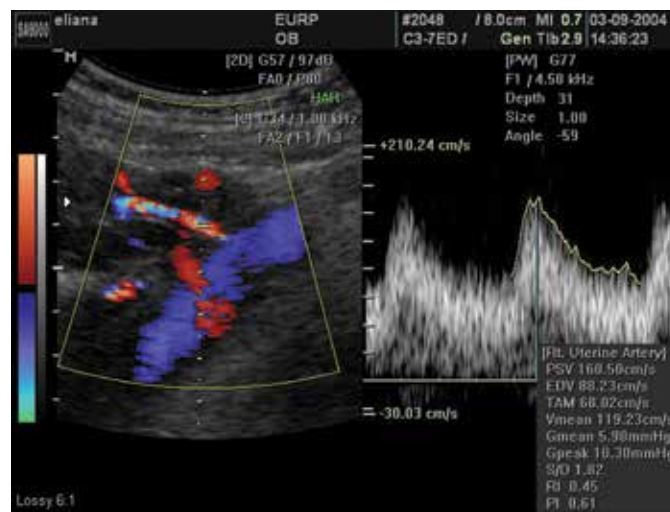


Figura 1 | Doppler colorido da artéria uterina. Observar a medida dos índices dopplervelocimétricos na região de aliasing

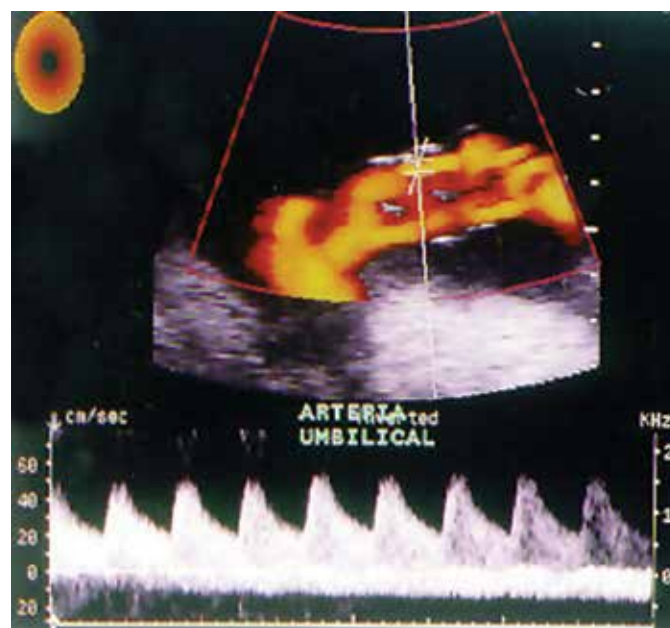


Figura 2 | Doppler de amplitude da artéria umbilical