

Artigo

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO NA DOENÇA ATEROSCLERÓTICA DE ARTÉRIAS RENAIAS, AORTO-ILÍACA E DE MEMBROS INFERIORES

Paulo Cesar Sanvitto *

Sergio Ângelo Paglioli **

* Médico Radiologista do Centro de Imagem do Hospital Moinhos de Vento

** Médico Cirurgião Vascular Médico do Laboratório de Doenças Vasculares do Hospital Moinhos de Vento

Endereço para correspondência:

Rua Ramiro Barcelos, 910 – Porto Alegre – RS

INTRODUÇÃO

Muitos pacientes que apresentam doença aterosclerótica no território vascular periférico são coronariopatas. O diagnóstico precoce pode alertar para uma conduta agressiva no tratamento dos fatores de risco, já que existem evidências da correlação com outros sítios. Por exemplo, entre os pacientes portadores de doença arterial periférica, cerca de 35% apresentam sintomas de angina ou alterações isquêmicas no eletrocardiograma e 85% apresentam lesões nas coronárias identificadas pela cineangiografia (1). Todos sabemos dos malefícios da hipertensão sobre todo o sistema circulatório. Trabalhos relatam que de 1% a 10% dos hipertensos apresentam uma estenose hemodinâmica em uma ou ambas as artérias renais (2). A abordagem diagnóstica para pacientes com suspeita de doença oclusiva arterial ou aneurismas tem mudado substancialmente nos últimos anos. O ecodoppler, angioRM e angioTC têm mostrado serem acuradas alternativas não invasivas à angiografia convencional por cateter na avaliação aorto-ilíaca e das artérias renais. A natureza invasiva da angiografia por cateter é associada com um considerável número de complicações que variam de 2% a 10%, dependendo do local de acesso vascular, diâmetro do cateter, experiência do angiografista e agente de contraste injetado (30).

Índice tornozelo/braço (ITB)

O paciente é posicionado em decúbito dorsal, num ambiente agradavelmente climatizado, após 10 a 15 minutos de repouso. São colhidas primeiramente as pressões sistólicas nos membros superiores. O sinal audível durante o esvaziamento do manguito é a pressão sistólica, não sendo possível medir a diastólica. Diferenças superiores a 20 mmHg entre os membros superiores são sugestivas de estenoses significativas. O manguito é colocado então no tornozelo, devendo ter uma largura 20% superior ao diâmetro do membro examinado. A frequência utilizada nos tornozelos é de 8 a 10 MHz e o ângulo do transdutor deve estar entre 30° e 45° em relação à pele. Divide-se o maior valor obtido entre as tibiais pelo também maior valor obtido nos membros superiores.

Resultados - Valores normais são de 1,0 a 1,2. Abaixo de 0,9 é considerado anormal.

De 0,7 a 0,5 são compatíveis com estenoses únicas com repercussão hemodinâmica significativa superiores a 70%. Ocorre em pacientes com *claudicação intermitente*.

Índices abaixo de 0,4 com pressão absoluta inferior a 40 mmHg são compatíveis com dor no repouso e mau prognóstico na cicatrização de lesões isquêmicas.(3).

O índice ITB alterado (inferior a 0,9) apresenta 90% de sensibilidade e 95% de especificidade na identificação de doença arterial dos membros inferiores (4). Os pacientes diabéticos freqüentemente apresentam paredes arteriais calcificadas, podendo haver leitura

falsamente elevada. Nestes casos, as pressões podem ser obtidas no primeiro pododáctilo, usando-se manguito adequado. O sinal da onda de pulso é melhor aferido com o uso do fotopleetismógrafo. Pressões segmentares e prova de esforço servem para complementar o exame nos casos onde os índices forem limítrofes e também para identificar o nível das obstruções.

Doppler ultra-som

O dopler ultra-som consiste na passagem de um feixe contínuo de ondas sonoras refletidas nas células sanguíneas, transferido por um sinal audível ou gráfico; é um método simples, não-invasivo e barato, podendo identificar e quantificar graus de isquemia nos membros inferiores. Por meio deste sinal é possível medir pressões nos tornozelos e compará-las com as pressões dos membros superiores, obtendo-se os *índices pressóricos*.

Ecodoppler colorido

O ecodoppler colorido facilita e agiliza a realização do exame porque identifica a presença e direção do fluxo, além dos locais de maior velocidade, onde serão graduadas com o doppler pulsado.

Na Aorta abdominal apresenta alto grau de precisão na identificação de dilatações, sendo o método de escolha no diagnóstico e acompanhamento do aneurismas. Propicia a identificação de trombos e lesões ateroscleróticas que podem ser fontes de embolização. Nas artérias ilíacas e artérias dos membros inferiores possibilita aferir ondas de fluxo, obtendo-se picos sistólicos (5), tempo de aceleração(6) e índice de pulsatilidade que definem a hemodinâmica de cada segmento. No modo colorido ou no "power doppler" permite medir o diâmetro arterial da luz residual calculando-se o grau de estenose. **Resultados** - perviedade, ausência de defeitos intraluminares ou dilatações, com ondas de fluxo multifásicas, são achados do exame normal.

Ondas de fluxo colhidas ao nível da femoral comum, que apresentam morfologia monofásica e tempo de aceleração igual ou superior a 0,140 segundos, são compatíveis com estenoses superiores a 50% no segmento aorto-ilíaco (7).

Velocidades obtidas nos membros inferiores, onde ocorre um aumento de 100% no pico sistólico, são compatíveis com estenoses superiores a 50%. Aumentos de 250% são compatíveis com estenoses superiores a 70% (8). Dos parâmetros mensuráveis na análise espectral, a velocidade sistólica de pico é a que apresenta menor alteração inter-observador (9).

Nos casos de obstrução arterial não se obtém fluxo pelo Doppler e o vaso perde a pulsatilidade. Calcificações arteriais ocorrem normalmente em processos antigos, acometendo comumente pacientes diabéticos e se caracterizando por sombra acústica e áreas hiperecogênicas.

Embora a arteriografia seja o padrão ouro para o diagnóstico da doença estenótica da artéria renal, o ecodoppler colorido proporciona alternativa de baixo custo, sendo um método não-invasivo, baseado-se nas velocidades obtidas nas artérias renais e nos parênquimas (10).

Hipertensos com alterações abruptas dos níveis pressóricos, resistentes ao tratamento clínico, edema pulmonar de etiologia desconhecida ou insuficiência renal progressiva, deveriam ser submetidos a este exame. No exame físico podemos encontrar sopros sobre os grandes vasos. O objetivo principal é o diagnóstico e tratamento precoce para evitar a completa obstrução.

Os exames são realizados preferencialmente pela manhã, em jejum. O pico sistólico é obtido na mesentérica superior para posteriormente calcular-se o índice aorto-renal (RAR). As artérias renais são identificadas no sentido transversal, procurando-se visualizar os segmentos proximais, mediais e distais. Diferentes posicionamentos e outras incidências podem ser necessários. As velocidades são então obtidas respeitando-se angulações inferiores a 60°. Adotamos os parâmetros diretos e indiretos. Nos diretos avalia-se a velocidade do pico sistólico (VPS) e índice entre a artéria renal e a aorta (RAR).

Resultados - quando a $VPS < 180$ cm/s e $RAR < 3,5$ são compatíveis com ausência de estenoses significativas do ponto de vista hemodinâmico; estenoses acima de 60% são compatíveis quando temos $VPS > 180$ cm/s e $RAR > 3,5$.

A ausência de fluxo sugere obstrução total. O pico sistólico acima de 180 cm/s apresenta uma sensibilidade de 95% e especificidade de 90% para discriminar artérias normais de anormais. O índice aorto-renal acima de 3,5 por sua vez apresenta sensibilidade de 92% e especificidade de 62% para detectar estenoses acima de 60%. (11). Nos parâmetros indiretos, o tempo e índice de aceleração são avaliados. O tempo de aceleração igual ou acima de 0,100 segundos e o índice de aceleração menor que 3,78 KHz/s são compatíveis com estenoses superiores a 50%. É a onda de fluxo com a morfologia tardus-parvus onde ocorre prolongamento da aceleração sistólica (tardus) com uma amplitude reduzida e oval do pico sistólico (parvus) (12). O tempo de aceleração apresenta sensibilidade de 87% e especificidade de 98%, enquanto o índice de aceleração apresenta 98% de sensibilidade e 94% de especificidade, com uma precisão final de 93% para o tempo de aceleração e 90% para o índice (13). Devemos salientar que existem limitações para o método em pacientes que apresentam alterações no ritmo cardíaco, obesidade, ou impossibilidades de realizar apnéia. No método indireto não é possível diferenciar uma oclusão total da artéria renal principal, nem identificar estenoses em ramos segmentares ou na artéria renal acessória.

Angiografia por Cateter

A angiografia realizada com equipamento de subtração digital, invasiva, com injeção de contraste através de cateter introduzido pela técnica de Seldinger, por via femoral, axilar ou braquial, ainda é o método de referência na investigação das doenças arteriais da aorta e seus ramos, assim como das artérias ilíacas e dos membros inferiores. As aquisições com subtração digital em equipamentos atuais com movimento automático do tampo da mesa permitem que o estudo seja realizado com cateteres de baixo perfil e com menor amplitude da coluna de contraste, reduzindo a probabilidade de complicações, mas estas ainda ocorrem (14). O grande destaque deste método é a resolução espacial, ficando o risco de complicações relacionado à invasividade, ao emprego de radiação ionizante, contraste iodado e à demonstração apenas da luz dos vasos sem os componentes das paredes e tecidos adjacentes, como desvantagens em relação aos demais métodos de avaliação angiográfica.

Angiotomografia

A doença oclusiva arterial periférica dos membros inferiores não é uma causa primária freqüente de mortalidade. Todavia, é uma importante causa de morbidade e um indicador prognóstico adverso em pacientes idosos (15).

Na avaliação de pacientes portadores de doença oclusiva arterial periférica, a angiografia por subtração digital, realizada por meio de punção, na maioria das vezes da artéria femoral e introdução de cateter, ainda é o método diagnóstico de referência (16). Entretanto, devido ao seu caráter invasivo, passível de complicações, assim como ao custo mais elevado, há uma grande expectativa pelo estabelecimento de alternativa técnica para ser aplicada na investigação de oclusões ou estenoses em pacientes portadores de

doença arterial periférica.

Desde sua introdução, no início da década de 1990, a tomografia helicoidal tem revolucionado os estudos diagnósticos vasculares, particularmente com a criação da angiotomografia. Seguindo as descrições iniciais pelo Dr. Rubin (17,18) a angiotomografia da aorta e seus ramos passou a ser utilizada como rotina para um número crescente de indicações. Comparada com a angiografia convencional por cateter, a angiotomo tem um custo menor, é mais rápida, permite uma ampla variedade de manipulações de dados volumétricos e tem menor potencial de complicações. (19,20,21).

Até o final da década passada, a angiotomografia ainda não era utilizada rotineiramente na investigação de doença arterial oclusiva periférica porque, com os equipamentos então disponíveis, com uma ou no máximo duas fileiras de detectores, a duração da contrastação arterial produzida por uma única injeção intra-venosa de contraste iodado permitia somente uma limitada cobertura longitudinal de aproximadamente de 40 cm.

A partir do desenvolvimento de tomógrafos com quatro fileiras de detectores, tornou-se possível, rotineiramente e de maneira não-invasiva, avaliar a aorta abdominal, artérias ilíacas e sistemas arteriais dos membros inferiores, utilizando apenas uma injeção de contraste numa única aquisição de dados (22). A recente introdução na prática clínica dos equipamentos de tomografia computadorizada helicoidal com 16 ou mais fileiras de detectores tem possibilitado rápida obtenção de grande número de imagens com elevada resolução espacial, o que permite identificar vasos de pequeno calibre, com um menor volume de contraste injetado (16,23,24). Estes, também chamados de tomógrafos multislice, oferecem ampla avaliação diagnóstica arterial, que pode abranger desde o arco aórtico e seus ramos até artérias distais dos membros inferiores com menor volume de contraste, necessitando apenas alguns poucos segundos de aquisição de dados.

Uma questão ainda a ser respondida é se a angiotomografia com múltiplos detectores poderá substituir a angiografia por cateter. Catalano e colaboradores (16), em trabalho que avaliou cinquenta pacientes com doença oclusiva arterial periférica com angiotomo e angiografia por cateter, demonstraram que o primeiro método tem valor na avaliação da doença arterial periférica, independente do grau de isquemia, com sensibilidade, especificidade e acurácia de 96%, 93% e 94%, respectivamente. A concordância entre observadores foi elevada, mas com uma tendência a superestimar o grau de estenose. Outro grupo de pesquisadores, liderado por Willmann, analisando tomografias multislice de 46 pacientes, obteve uma sensibilidade para os observadores 1 e 2 de 91% e 92% e uma especificidade total de 99% e 99%, respectivamente, na detecção de estenoses significativas do ponto de vista hemodinâmico, no segmento aorto-ilíaco e artérias renais. A análise comparativa dos resultados obtidos com angiotomo multislice e angioRM neste estudo não demonstrou diferença expressiva na performance diagnóstica dos dois métodos na avaliação de estenoses significativas da aorta, artérias renais e artérias ilíacas (25).

As duas maiores limitações da angiotomo multislice em pacientes com doença oclusiva arterial periférica seriam o uso de radiação ionizante e de contraste iodado. A primeira, segundo recentemente apontado por Katz e colaboradores (22), não seria significativa, pois os pacientes deste grupo são tipicamente idosos e a dose de radiação ionizante é menor que a utilizada na angiografia por cateter. No que se refere ao emprego de contraste iodado, deve ser considerado que alguns pacientes, com déficit de função renal, podem não tolerar bem o contraste, mesmo com as menores doses necessárias com este tipo de equipamento. Entretanto, a nefrotoxicidade causada por agentes de contraste iodado não-iônicos é substancialmente menor do que com contrastes iônicos, sendo considerados seguros e bem tolerados, mesmo em uma população de alto risco (26).

É difícil determinar qual o papel da angiografia multislice em comparação com a angiografia por ressonância magnética com Gadolínio. Embora esta apresente várias vantagens, como não empregar radiação ionizante e não causar nefrotoxicidade (27), a angioTC com múltiplos detectores oferece resolução espacial superior. Além disto, é possível que ocorra, em breve, maior disponibilidade de equipamentos de tomografia multislice, em relação a equipamentos de RM de alto campo com acessórios e programas adequados para realizar angiografias de boa qualidade (16).

Angiorressonância

A angiorressonância 3D com emprego de Gadolínio por via intra-

venosa tem mostrado ser um método útil no diagnóstico de doenças arteriais do segmento aorto-iliaco e renais. (25,31). A técnica é baseada na disponibilidade de um sistema de gradiente de alta performance capaz de reduzir o tempo de aquisição de dados o suficiente para obter imagens 3D durante a fase arterial após a administração intravenosa da substância paramagnética (Gadolinio). No estudo de Willmann e col. (25), as imagens de todos os 769 segmentos avaliados por dois observadores foram consideradas aptas para o diagnóstico. A boa qualidade destas imagens foi refletida na análise comparativa com a angiografia por cateter. Os resultados relatados pelos autores, com sensibilidade total de 92% e 93% para os observadores 1 e 2 e especificidade de 100% e 99% na detecção de estenoses de até 50% da luz em artérias aorto-iliacas e renais, foram de acordo com os resultados anteriormente descritos. Sensibilidade entre 85% e 99% e especificidade entre 86% e 100% para detecção de estenoses aorto-iliacas e renais hemodinamicamente significativas têm sido relatadas na literatura (25,31).

Existe concordância entre vários autores de que, afora a questão da radiação ionizante, a maior vantagem da angiorressonância fica bem evidente nos pacientes com insuficiência renal pré-existente e que devem ser submetidos a um método de diagnóstico por imagem sem risco de complicações decorrentes do emprego de contraste iodado.. Estes pacientes, especialmente se diabéticos, têm maior probabilidade de serem portadores de doença oclusiva arterial ou aneurismas (32), fazendo-se necessário um método que não utilize contraste iodado devido ao risco de piora da função renal. Por outro lado, a maior vantagem da angiotomografia com múltiplos detectores é o aumento do volume de cobertura, que permite adquirir imagens de toda a aorta (22) ou do segmento aorto-iliaco e dos membros inferiores no caso dos equipamentos com 4 fileiras de detectores, ou de toda aorta até as artérias distais dos membros inferiores, nos equipamentos com 16 ou mais fileiras de detectores, com uma elevada resolução espacial (25). Embora o desenvolvimento da mobilização automática do tempo das mesas dos aparelhos de ressonância permita uma cobertura do segmento médio da aorta até os pés durante uma única injeção da substância paramagnética (29,30), obter imagens de todos estes territórios arteriais, sem contaminação pela presença de contraste em veias, permanece um grande desafio para os estudos com angiorressonância. Além disto, a limitada resolução espacial desta modalidade de avaliação angiográfica é outra desvantagem, particularmente quando se busca avaliar artérias de pequeno calibre (30).

Em geral, o uso de angiorressonância ou angiotomografia multislice em pacientes sem contra-indicação para o emprego de um ou de outro método pode ser influenciado por vários fatores, incluindo o tempo de exame, tempo de pós-processamento das reconstruções 3D, tempo para análise das imagens, aceitação pelo paciente e custo.

Conclusão

Em face dos avanços no desenvolvimento dos equipamentos de imagem, nas diversas modalidades, observa-se uma tendência, conseqüente aos bons resultados diagnósticos obtidos a um custo menor, do que a investigação angiográfica da aorta, artérias renais, artérias ilíacas e artérias dos membros inferiores seja composta por um estudo inicial com ecodoppler, seguido pela angiotomo ou angiorressonância, dispensando a angiografia por cateter, inclusive no planejamento cirúrgico. A angiografia por cateter manteria seu papel fundamental na orientação de procedimentos terapêuticos endovasculares, particularmente angioplastias e colocação de stents.

1 - Ouriel K. Peripheral Arterial Disease. *Lancet*. 2001;358:1257-1264. Atherosclerotic Vascular Disease Conference, *Circulation*, 2004;109:2605-2612.

2 - Ram VS, Clagett GP, Radford LR: Renovascular hypertension. *Semin Nephrol* 1995;15:152-174.

3 - Yao St. *Br. J. Surgery* 1970; 57:761-766.

4 - Greenland P, Abrams J, Aurigemma GP, et al. Prevention Conference V: beyond secondary prevention: identifying the high-risk patient for primary prevention: noninvasive tests of atherosclerotic burden: Writing Group III. *Circulation*. 2000; 101:e16-e22.

5 - Sacks D, Robinson ML, Marinelli DI, Pelmutter Gs. Peripheral arterial Doppler ultrasonography: diagnostic criteria. *J Ultrasound Med* 1992;11(3):95-103.

6 - Greenll, Taylor AD, Greenhalg RM. Femoral artery pulse rise time: na objective test for aorto-iliac disease. *Eur J Vasc Surg* 1987;1(2):121-127.

7 - Peter A. Schneider, MD, Darren Y. Ogawa, Is routine preoperative aortoiliac arteriography necessary in the treatment of lower extremity ischemia? *JVS*, 1998;28:26-36.

8 - Zieler RE, Zieler BK, Duplex sonography of lower extremity arteries. *Semin Ultrasound MRCt e I* 1997; 18:39-56.

9 - Mikkonen RH, Kreula JM, Virkkunen Pj. Peak systolic velocity, resistance index and pulsatility index. Variations in measuring a pre-recorded videotape. *Acta Radiol* 1997;38(4):598-602.

10 - Kohler TR, Zierler RE, Martin RL, Nicholls SC, Bergelin RO, Kazmers A, Beach KW, Strandness DE Jr: Noninvasive diagnosis of renal artery stenosis by ultrasonic duplex scanning. *J Vasc Surg* 1986, 4:450-456.

11 - Hoffmann U, Edwards JM, Carter S, Goldman ML, Harley JD, Zaccardi MJ, Strandness DE Jr: Role of duplex scanning for the detection of atherosclerotic renal artery disease. *Kidney Int* 1999,39:1232-1239.

12 - Handa N, Fukunaga R, Uehara A, Efficaccy of echo-Doppler examination for evaluation of renovascular disease. *Kidney International* 1991;39; 1232-1239.

13 - Stravos TA, Parker SH, Yakes YF, et al. Segmental stenosis for renal artery: Pattern recognition of the tardus and parvus abnormalities with duplex ultrasonography. *Radiology* 1992;184:487-492.

14 - Katzen BT, Current Status of Digital Angiography In Vascular Imaging. *Radiologic Clinics of North America* 1995; 33; 1-29.

15 - Kannel W, McGee D. Update on some epidemiologic features of intermittent claudication: the Framingham Study. *J Am Geriatr Soc* 1985; 33:13-18.

16 - Catalano C, Fraioli F, Laghi, A. Infrarenal aortic and lower-extremity arterial disease: diagnostic performance of multi-detector row CT angiography. *Radiology* 2004; 231: 555-563.

17 - Rubin GD, Dake MD, Napel SA, McDonnell CH, Jeffrey RB, Jr. Three-dimensional spiral CT angiography of the abdomen: initial clinical experience. *Radiology* 1993; 186:147-152.

18 - Rubin GD, Walker PJ, Dake MD, et al. Three-dimensional spiral computed tomographic angiography: an alternative imaging modality for the abdominal aorta and its branches. *J Vasc Surg* 1993; 18:656-665.

19 - Katz D, Hon M. CT Angiography of the lower extremities and aortoiliac system with a multi-detector row helical CT scanner: promise of new opportunities fulfilled. *Radiology*. 2001;221:7-10.

20 - Rubin GD, Shiau MC, Schmidt AJ, et al. Computed tomographic angiography: historical perspective and new state-of-the-art using multi-detector-row helical computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 1999; 23(suppl 1):S83-S90.

21 - Lawrence JA, Kim D, Kent KC, Stehling MK, Rosen MP, Raptopoulos V. Lower extremity spiral CT angiography versus catheter angiography. *Radiology* 1995; 194:903-908.

22 - Katz DS, Hon M. CT angiography of the lower extremities and aortoiliac system with a multi-detector row helical CT scanner: promise of new opportunities fulfilled. *Radiology* 2001; 221:7-10.

23 - Klingenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T, Ohnesorge B, Kopp AF, Baum U. Subsecond multislice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol* 1999; 31:110-124.

24 - Rubin GD, Shiau MC, Leung AN, Kee ST, Logan LJ, Sofilos MC. Aorta and iliac arteries: single versus multiple detector-row helical CT angiography. *Radiology* 2000; 215:670-676.

25 - Willmann JK, Wildermuth S, Pfammatter T, Roos JE, Seifert B, Hilfiker PR, et al. Aortoiliac and Renal Arteries: Prospective Intraindividual Comparison of Contrast-enhanced Three-dimensional MR Angiography and Multi-Detector Row CT Angiography. *Radiology* 2003; 226: 798-811.

26 - Lorusso V, Taroni P, Alvino S, Spinazzi A. Pharmacokinetics and safety of lomeprol in healthy volunteers and in patients with renal impairment or end-stage renal disease requiring hemodialysis. *Invest Radiol* 2001; 36:309-316.

27 - Rofsky NM, Adelman MA. MR angiography in the evaluation of atherosclerotic peripheral vascular disease. *Radiology* 2000; 214:325-338.

28 - Leung DA, Hoffmann U, Pfammatter T, et al. Magnetic resonance angiography versus duplex sonography for diagnosing renovascular disease. *Hypertension* 1999; 33:726-731.

29 - Sueyoshi E, Sakamoto I, Matsuoka Y, et al. Aortoiliac and lower extremity arteries: comparison of three-dimensional dynamic contrast-enhanced subtraction MR angiography and conventional angiography. *Radiology* 1999; 210:683-688.

30 - Meaney JF, Ridgway JP, Chakraverty S, et al. Stepping-table gadolinium-enhanced digital subtraction MR angiography of the aorta and lower extremity arteries: preliminary experience. *Radiology* 1999; 211:59-67.

31 - Mitsuzaki K, Yamashita Y, Sakaguchi T, Ogata I, Takahashi M, Hiai Y. Abdomen, pelvis, and extremities: diagnostic accuracy of dynamic contrast-enhanced turbo MR angiography compared with conventional angiography—initial experience. *Radiology* 2000; 216:909-915.

32 - London GM, Drueke TB. Atherosclerosis and arteriosclerosis in chronic renal failure. *Kidney Int* 1997; 51:1678-1695.

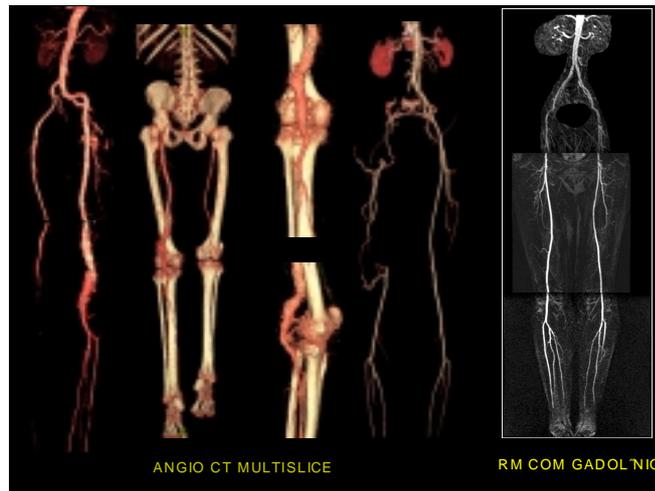


Figura 2 – Exemplos de imagens com angioTC e angioRM.

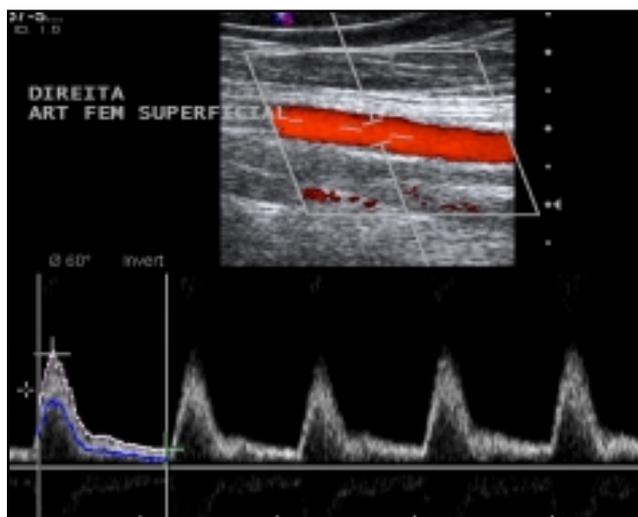


Figura 1 – Exemplo de ecodoppler colorido das artérias femorais – à esquerda, ondas multifásicas (normais) e ondas monofásicas; à direita, pós-estenose hemodinamicamente significativa