

## APLICAÇÕES CARDIOVASCULARES DA ANGIOGRAFIA DIGITAL

THEOFANIS KONSTADINIDIS, EDUARDO NODA KIHARA, ODON F. DA COSTA

A aplicação de técnicas radiológicas capazes de suprimir as sombras das estruturas ósseas e dos tecidos moles que se superpõem às áreas de interesse diagnóstico foi originalmente desenvolvida por Plantes<sup>1</sup> em 1935. A seguir, em 1939 Robb e Steinberg<sup>2,4</sup> obtiveram arteriografias periféricas mediante a injeção intravenosa de contraste. Finalmente em 1978, Mistretta e Nudelman<sup>5-6</sup> demonstraram que era possível transformar as imagens analógicas, geradas pelos sistemas radiológicos convencionais, em imagens digitadas utilizando computadores.

Quando a informação visual está digitada, ou seja, na forma numérica, ela pode ser manipulada matematicamente com resultados surpreendentes. Assim, as imagens captadas pelo computador podem ser subtraídas, somadas, aumentadas, diminuídas, restauradas e melhoradas.

A operação de subtração é a mais importante e se processa aos pares subtraindo-se da imagem contrastada a imagem basal sem contraste (conhecida como "máscara") restando uma imagem final limpa com eliminação da área vascular ou cardíaca focalizada das sombras ósseas e dos tecidos moles subjacentes. Dessa maneira foi possível visibilizar com ela reza aceitável as carótidas, aorta artérias renais, ilíacas e as câmaras cardíacas mediante injeções intravenosas de contraste dispensando às vezes o cateterismo arterial seletivo (fig. 1).

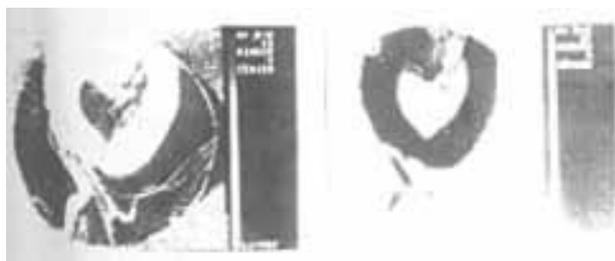


Fig. 1 - Angiografia digital intravenosa da aorta torácica, injeção de 40 ml de contraste na veia superior: observa-se nitidamente a crossa e a origem dos vasos da base.

Atualmente, entretanto a aplicação da angiografia digital por subtração envolve ambas as vias, intravenosa e intra-arterial. A técnica intravenosa tem sido utilizada

principalmente na avaliação rápida e sumária da função ventricular esquerda em algumas situações clínicas selecionadas enquanto que a metodologia intra-arterial envolve a avaliação da circulação coronária, pontes de safena e mamária da aorta torácica, das cardiopatias congênitas e adquiridas. Permite ainda estudar o comprometimento simultâneo de vários territórios vasculares (coronárias, carótida, renais, ilíacas etc.) num mesmo paciente e procedimento e, finalmente, avaliar a função ventricular e a circulação pulmonar.

### APLICAÇÃO INTRAVENOSA DA ANGIOGRAFIA DIGITAL

**Método** - A introdução fluoroscópica de delicados cateteres, em geral 5-F, puncionando veias braquiais ou femorais e introduzindo a extremidade distal do cateter até o átrio direito, é a técnica preferida. A seguir, uma imagem fluoroscópica digital é obtida e gravada como "máscara". Depois contraste puro é injetado com bomba injetora com pressão de 300 PSI em "bolo" (30 - 50 ml/injeção), com fluxo de 20 ml/s. A gravação digital mecânica é obtida com 2-15 quadros/s em 2 ou 3 projeções clássicas (PA-OAD OAE) ou axiais, obtidas por rotação do arco radiológico enquanto o paciente permanece imóvel na posição horizontal na mesa de exames.

No fim do procedimento, o cateter é retirado e a veia comprimida sem necessidade de suturas ou pontos. Esse método, portanto, é mais rápido simples e seguro e menos dispendioso do que os estudos convencionais, podendo ser aplicado em pacientes ambulatoriais.

O contraste injetado segue através das câmaras direitas, circulação pulmonar e retorna para as câmaras esquerdas e circulação sistêmica. Essa seqüência seria, por analogia com a cardiologia nuclear, a primeira passagem do indicador que fornece a opacificação seqüencial, das câmaras cardíacas e da circulação pulmonar e sistêmica. Essa passagem completa é gravada e armazenada de forma dinâmica e digital na memória do computador. Cada imagem kontras-

tada é subtraída ponto a ponto da “máscara” previamente obtida e a imagem resultante, limpa de artefatos e sombras subjacentes aparece de forma analógica no monitor do sistema. Assim, os bordos das câmaras cardíacas e os contornos vasculares tornam-se mais nítidos o computador pode ser programado para repassar as imagens registradas em forma de “cine” ou “quadro por quadro”, desde o início da injeção ou selecionar fases intermediárias específicas I ode fixar-se, por exemplo na contração ventricular esquerda, estudando com detalhes o ciclo diastólico e sistólico (figs. 2).

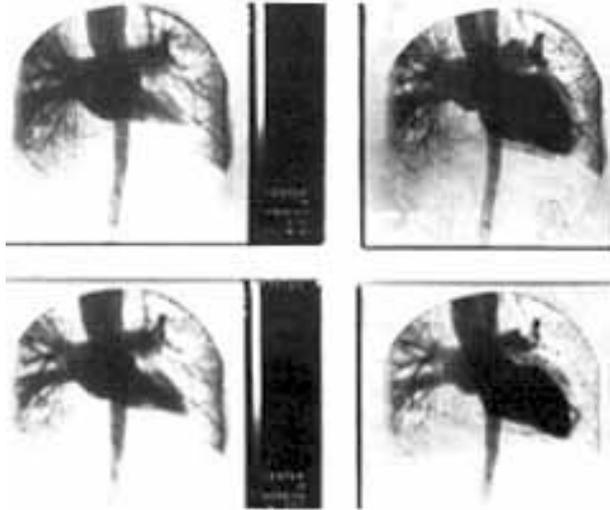


Fig.2 - Angiografia digital intravenosa das câmaras cardíacas e aorta com contraste injetado no átrio direito. Durante a circulação do retorno, observa-se a seqüência de sístoles e diástoles ventriculares permitindo avaliar a contração regional e global do ventrículo esquerdo.

O equipamento dispõe de programação adequada, que permite a superposição do volume sistólico final ao volume diastólico final escolhido e o cálculo da fração de ejeção (FE) e outras variáveis importantes da função ventricular esquerda em questão de segundos.

**Indicações clínicas** - Atualmente a via intravenosa está indicada no estudo de determinadas patologias cardiovasculares nas quais as informações obtidas são suficientes para uma avaliação rápida, simples e menos invasiva. Entre essas, ressaltamos: a) avaliação funcional regional e global dos ventrículos esquerdos (VE) e direito (VD) após infarto agudo do miocárdio, identificando de forma sumária os grupos de maior risco com FE abaixo de 35%; b) diagnóstico dos aneurismas pós-infarto e avaliação da função do VE após aneurismectomia; c) avaliação da função do VE após cirurgia de revascularização do miocárdio; d) detecção de trombos ou mixomas nas câmaras cardíacas (fig. 3); e) avaliação pré e pós-operatória de determinadas cardiopatias congênitas (ex: coarctação da aorta), nas quais cirurgias corretivas completas e complexas tenham sido realizadas, e informações adicionais são desejadas antes da alta hospitalar.

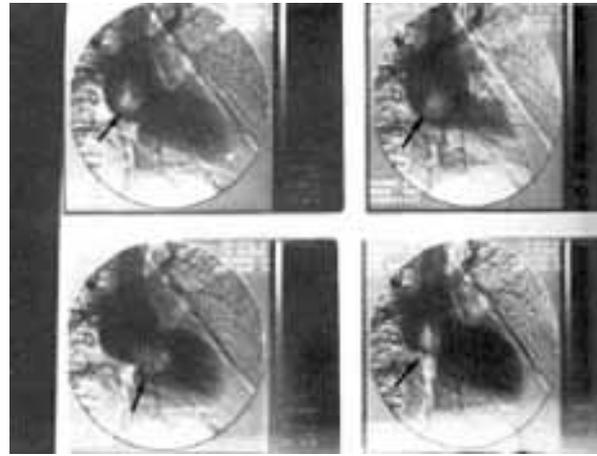


Fig.3 - Angiografia digital intravenosa, com contraste injetado no átrio direito. Durante a fase do retorno venoso, observa-se massa tumoral (mixoma) (seta), no interior do átrio esquerdo, projetando-se através da valva mitral, durante a diástole ventricular.

Embora os estudos digitais intravenosos sejam impressionantes, sua aplicação diária não foi tão ampla como originalmente se imaginou<sup>7-14</sup>. Muitas razões podem ter contribuído. O equipamento é relativamente caro e poucos médicos são familiarizados com seu uso e utilidade. Além disso, muitas informações similares podem ser obtidas por métodos totalmente incruentos, tais como a ventriculografia radioisotópica, a ecocardiografia bidimensional e o “doppler” colorido, e às vezes à beira do leito. Estudos comparativos têm demonstrado uma correlação linear e variações mínimas na avaliação da função global do VE por essas diferentes técnicas, embora haja variações a favor da angiografia digital na detecção de disfunções regionais com hipo ou acinesia segmentar do VE.

Embora essas diferentes técnicas possam ser empregadas de forma ambulatorial, a angiografia digital tem a vantagem de permitir o estudo imediato de outros compartimentos arteriais ou cardíacos comprometidos. A passagem para a via intra-arterial é feita imediatamente e no mesmo procedimento assim que o estudo venoso tenha revelado a necessidade de completar o exame com injeções adicionais e seletivas de contraste.

#### APLICAÇÃO INTRA ARTERIAL DA ANGIOGRAFIA DIGITAL

Na área cardiológica a dificuldade de visibilizar adequadamente, via venosa, as artérias coronárias e as pontes de safena transformou a via intra arterial como a de escolha para os estudos multiaxiais simultâneos. O crescente número de pacientes com lesões ateromatosas obstrutivas no sistema carotídeo, renal e vascular periférico, além das lesões coronárias e das pontes de safena, e a necessidade de conhecer a extensão das lesões no período pré e pós-operatório conduziu-nos a modificar a seqüência dos procedimentos e realizá-los num único exame, utilizando pe-

quenas quantidades de contraste e sem riscos adicionais. Nessa situação, preferimos a técnica de punção percutânea da artéria femoral, através da qual introduzimos os diferentes tipos de cateteres, para cada território arterial estudado, e realizamos estudos cinéticos convencionais e digitais dependendo do território arterial focalizado.

**Angiografia digital das artérias coronárias** - Nos estudos isolados das artérias coronárias, utilizamos a via braquial pela técnica tradicional de Sones. Após a cinecoronariografia e a ventriculografia registradas em filmes de 35 mm programamos o computador digital.

Uma seqüência de 2 a 6 “máscaras” é obtida antes de cada injeção de 2 a 3 ml de contraste diluído a 50%. Realizam-se 1 a 2 injeções seletivas em cada artéria, na velocidade de 2 a 15 quadros e em projeções nas quais as lesões oclusivas apareceram com maior evidência na cinecoronariografia convencional. A seguir, a ventriculografia esquerda é realizada, injetando-se 15 ml de contraste diluído, em bolo e com fluxo de 10 ml/s, na projeção OAD.

As imagens são imediatamente revistas no monitor do equipamento, tão logo a gravação digital tenha se completado, não havendo necessidade de esperar pelo processamento e revelação de filmes. Os programas pré-estabelecidos e incorporados no computador permitem, por técnicas volumétricas e padronizadas por Sandler, Kennedy e Greene<sup>15-24</sup> calcular as variáveis da função ventricular. As imagens das artérias coronárias e dos ventrículos são selecionadas subtraídas e a percentagem da oclusão arterial é calculada seguindo os programas do computador<sup>25-28</sup> (figs. 4 5 6,7).



Fig.4 - Angiografia digital da artéria coronária direita em OAE. Foram injetados 2ml de contraste diluídos em 2ml de soro. Devido ao efeito da “subtração” a ponta do cateter aparece como se tivesse fora do óstio arterial.

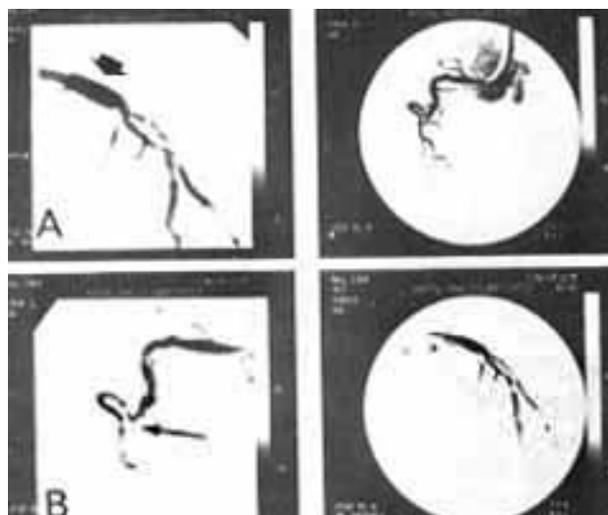


Fig.5 - Angiografia digital das coronariografias esquerda e direita: A) a seta aponta para a dilatação aneurismática do segmento proximal da artéria descendente anterior; B) oclusão total da coronária direita (seta). Observa-se que as imagens A e B são mais ampliadas. Efeito causado pela manipulação através do computador.

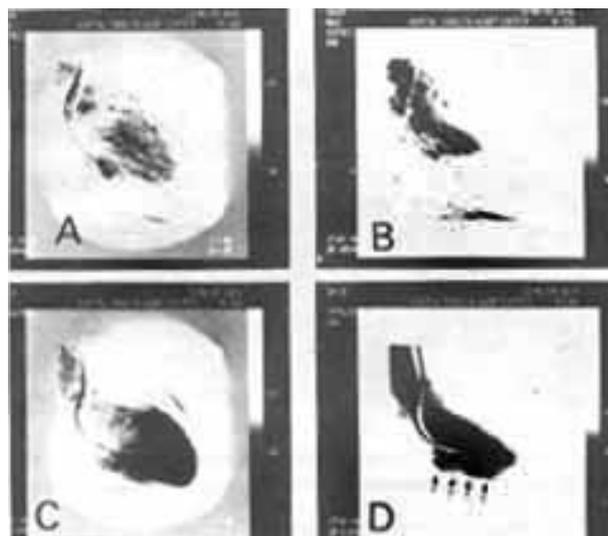


Fig.6 - Ventriculografia esquerda digital: A) diástole, B) sístole. Imagens originais, não subtraídas, obtidas mediante injeção de 20 ml de contraste. C,D) As mesmas imagens, em diástole e sístole respectivamente: as imagens “subtraídas”. Observar a melhoria e a nitidez dos contornos do ventrículo esquerdo e acinesia da parede diafragmática (setas).

Uma das operações permite “subtrair” do interior da artéria todo o contraste restando apenas os contornos e a luz arterial. Essa operação é conhecida pela denominação “edge enhancement” e fornece uma idéia adequada da estenose coronária (fig.8 9). Essa operação é muito útil quando realizamos recanalização arterial por angioplastia ou estreptoquinase, pois permite quanto se conseguiu ampliar a luz arterial; comparando as imagens antes e depois do procedimento (fig.10).

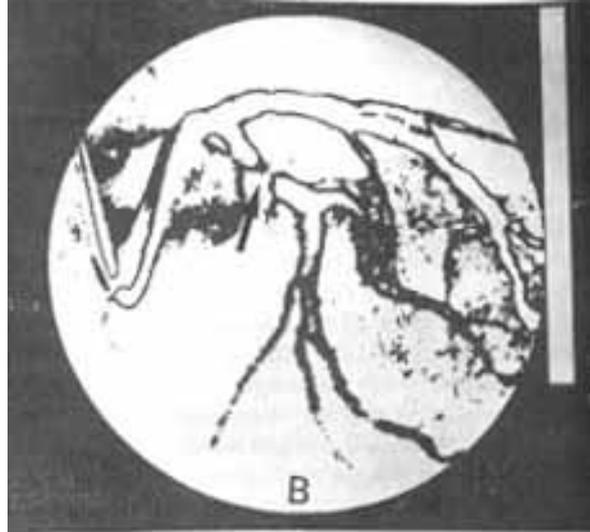
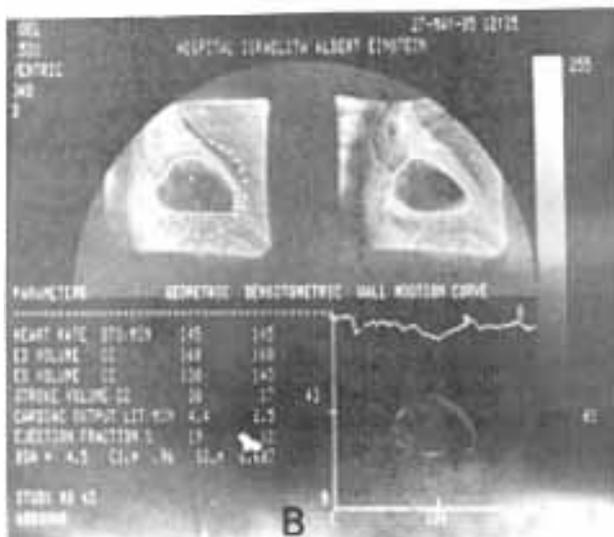
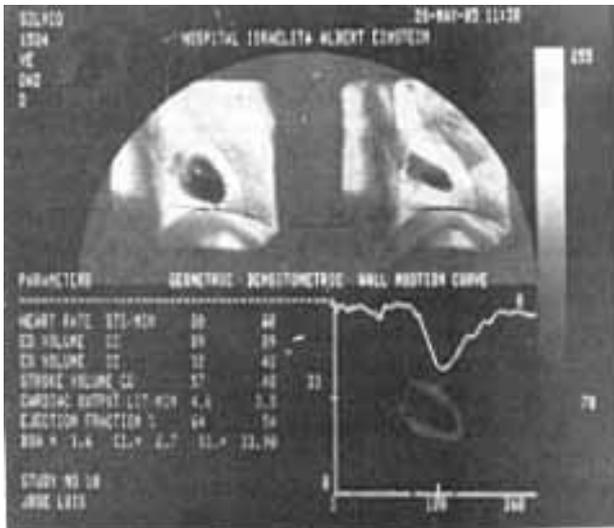


Fig.7 - A) Cálculo da fração de ejeção e demais parâmetros de função ventriculares esquerda, seguindo a programação do computador: a imagem sistólica final é selecionada e superposta à imagem diastólica final. Os volumes são calculados pelo computador e os parâmetros tais como fração de ejeção, débito cardíaco, frequência cardíaca etc. são fornecidos automaticamente. Nesse caso a função global do ventrículo esquerdo é normal e a fração de ejeção calculada é de 64%. B) Disfunção ventricular esquerda: observa-se hipocinesia global do VE e acinesia da face ínfero-basal. As áreas sistólicas superpostas às diastólicas praticamente não diferem: FE = 19%. A curva de movimentação parietal está difusamente deprimida. Compare esses achados com a configuração normal (A).

Com as facilidades do computador, as artérias coronárias e o VE podem ser depois fotografados juntos, numa única radiografia, que pode ser acrescentada no laudo ou no prontuário do paciente e eventualmente levada à sala de operações. Outras vezes, podemos documentar em conjunto todas as lesões dos diferentes territórios cardíacos e vasculares estudados fornecendo assim uma visão completa da extensão da doença aterosclerótica (fig. 11).

Fig.8 e 9 - Angiografia digital da coronária esquerda: A) observa-se lesão obstructiva 90% ao nível da artéria circunflexa (setas). B) Seguindo programas do computador, o contraste foi artificialmente "retirado" da luz arterial restando apenas os contornos parietais. 9) Medicação do grau da obstrução pelo computador (95%).



a via venosa preliminar e depois, se for necessário, a via artéria seletiva, no diagnóstico das estenoses renais e na

avaliação dos resultados imediatos e tardios das angioplastias eventualmente realizadas.

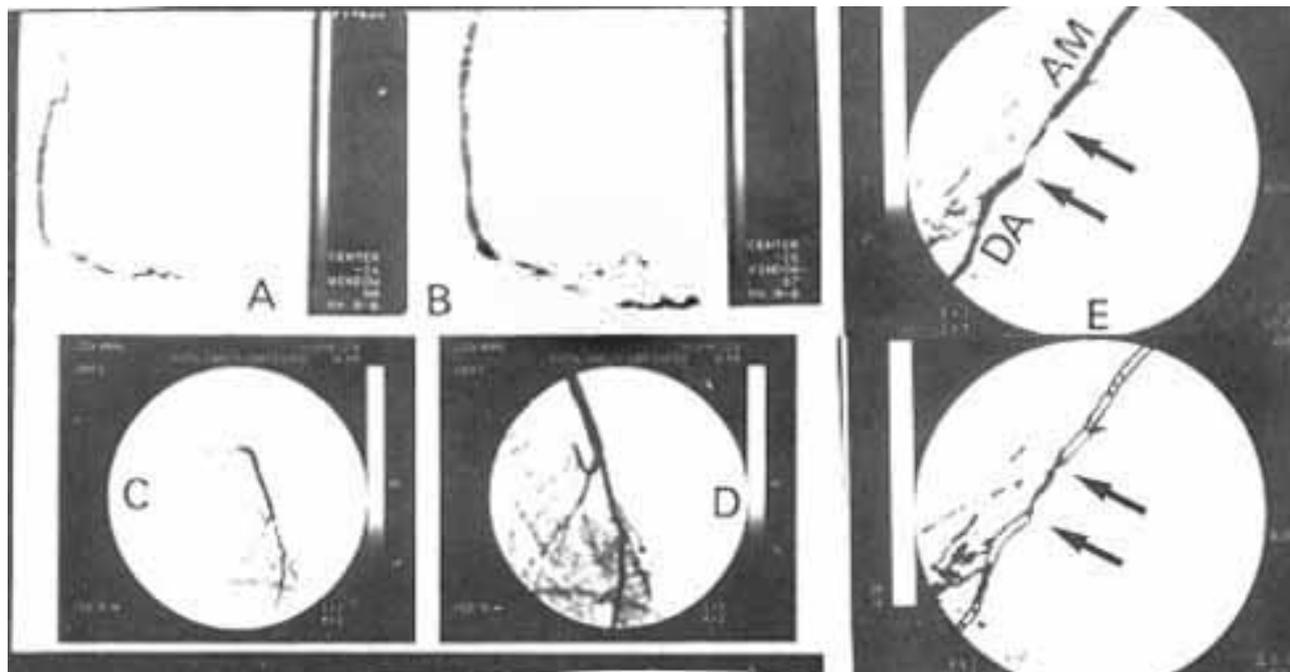


Fig.12 - Angiografia digital seletiva com visualização adequada das pontes de safena para coronária direita (A e B) e para artéria descendente anterior (C,D). E) Anastomose da artéria mamária (AM) à artéria descendente anterior, (DA). As setas apontam o segmento estenoso da artéria nativa.



Fig.13 - Aortografia digital: pós-operatório de 10 anos da correção de coarctação da aorta. Cálculo eletrônico da lesão residual, 40%.

Quando necessário, o diagnóstico do tromboembolismo pulmonar pode ser simplificado injetando-se contraste em bolo no átrio direito. A visualização de trombos no tronco e ramos pulmonares é adequada por essa técnica nas embolias periféricas e pequenos trombos localizados em ramos pulmonares terciários e periféricos podem passar despercebidos. Em caso de dúvida avançamos o cateter até a artéria pulmonar e injetamos contraste seletivamente em cada artéria utilizando técnicas que amplificam o campo visual de cada pulmão em separado.

## PERSPECTIVAS

A combinação da angiografia digital com a videodensitometria em cores pode vir a ser um método útil para a avaliação da perfusão miocárdica. Sabe-se que durante a coronariografia, o leito principal das artérias coronárias apresenta-se inicialmente opacificado. Depois, no decorrer do procedimento, uma fase de enchimento capilar do miocárdio é visibilizada conforme o contraste atravessa a rede capilar. A seguir, opacificam-se o sistema de retorno venoso coronário até o seio venoso no átrio direito. Analisando-se a fase de enchimento capilar e codificando-se a cores, de acordo com a velocidade de chegada e a intensidade da concentração de contraste nos diferentes leitos capilares parietais do miocárdio ventricular, pode-se deduzir o volume relativo de sangue perfundindo regiões específicas do miocárdio e identificar as áreas isquêmicas. A resolução espacial dessas imagens digitais é aproximadamente dez vezes superior à das imagens radioisotópicas. Assim, a coronariografia digital pode informar também sobre o significado funcional das lesões obstrutivas encontradas nos segmentos proximais das artérias coronárias correspondentes. Essa informação pode ser de grande valia na decisão da necessidade de um procedimento de reperfusão miocárdica, como a angioplastia ou ponte de safena. Ademais, a repetição do procedimento após o tratamento instituído e a normalização funcional da perfu-

são miocárdica confirmará o benefício real da conduta adotada.

Em conclusão, a angiografia digital é uma nova e excitante técnica que ilustra o impacto provocado pela tecnologia eletrônica de computação nos métodos diagnósticos cardiovasculares.

A grande vantagem consiste no fato de permitir o manuseio eletrônico das imagens variando a nitidez o brilho e o contraste e tornando mais precisos os bordos das estruturas cardiovasculares focalizadas. Além disso, propicia avaliar simultaneamente múltiplos sistemas cardiovasculares pela redução do volume e concentração de contraste utilizado.

#### AGRADECIMENTOS

O autor agradece à direção do Hospital Israelita Albert Einstein; ao Centro de Estudos; à equipe de Cirurgia Cardíaca; à equipe da Unidade de Terapia Intensiva e ao Presidente da Instituição, Dr. Josef Féher.

#### REFERÊNCIAS

1. Meaney, T. F.; Weinstein, M. A.; Buonocore, E.; Pavlicek, W.; Borkowski, G. P.; Gallagher, J. H.; Sufka, B.; MacIntyre, W. J. - Digital subtraction angiography of the human cardiovascular system. *AMJ*. 135: 1135, 1980.
2. Weinstein, M. A.; Modic, M. T.; Buonocore, E.; Meaney, T. F. - Digital subtraction angiography: Clinical experience at the Cleveland Clinic Foundation. *Applied Radiology*, November-December, 1981.
3. Buonocore, E.; Meaney, F. F.; Borkowski, P. G.; Pavlicek, W.; Gallagher, J. - Digital subtraction angiography of the abdominal aorta and renal arteries. *Radiology*, 139: 281, 1981.
4. Modic, M. I.; Weinstein, M. A.; Chilcote, A. W.; Pavlicek, W.; Duchesneau, P. M.; Furlan, A. J.; Little, J. R. - Digital subtraction angiography of the intracranial vascular system: Comparative study in 55 patients. *AJNR*, 2: 527, 1981.
5. Tobis, J.; Nalcioglu, O.; Seibert, A.; Roeck, W. W.; Johnston, W.; Henry, W. L. - Comparison of videodensitometry and area-length methods for computing left ventricular ejection fraction from digital intravenous ventriculograms. *Abstracts 31st Annual Scientific Session of American College of Cardiology*. Atlanta, Georgia, 1982.
6. Engels, P. H. C.; Ludwig, W. J. - Intravenous digital video subtraction angiography of the left ventricle. *Am. J. Cardiol*. 49: 964, 1982.
7. Norris, S.; Gerber, R.; Slutsky, R.; Higgins, I.; Ashburn, W.; Gregoratos, G.; Peterson, K. - Comparison of left ventricular volumes and ejection fraction by digital intravenous ventriculography. *Abstracts, 31st Annual Scientific Session of American College of Cardiology*, Atlanta, Georgia, 1982.
8. Norris, S.; Higgins, C. B.; Haigler, F. H. - Comparison of intravenous versus left ventricular contrast injection of left ventricular function. *Abstracts, 31st Annual Scientific Session of American College of Cardiology*, Atlanta, Georgia, 1982.
9. Kroenenberg, M. W.; Prince, R. R.; Domanski, M. J.; Smith, C. W.; Pickens, D. R.; Partain, C. L.; Friesinger, G. C. - Digital subtraction angiography for measuring left ventricular performance early results in man. *Abstracts of the 54th Scientific Sessions. Part. II-vol. 64, n.º 4 - October, 1981*.
10. Levy, J. M.; Hessel, S. J.; Nykamp, P. W.; Speigel, P. W.; Stegman, C. J.; Crowe, J. K. - Digital subtraction angiography: The community hospital experience. *Diagnostic Imaging*, 28 March, 1982.
11. Brody, W. R.; Macovski, A. - Dual energy digital radiography. *Diagnostic Imaging*, 18.25 October, 1981.
12. Kruger, R. A.; Nelson, S. A. - Digital angiography using band pass filtration. *Diagnostic Imaging*, 24.29 May, 1982.
14. Konstadinidis, T.; Kihara, E. N.; Schubsky, V.; Fehér, J. - Aplicação atual e perspectiva futura da angiografia digital intravenosa nas doenças cardiovasculares. *Arq. Bras. Cardiol*. 40: 223, 1983.
15. Crummy, A. B.; Strother, C. M.; Sackett, J. F.; Ergun, D. L.; Shaw, C. G.; Kruger, R. A.; Mistretta, C. A.; Turnipseed, W. D.; Lieberman, R. P.; Myerowitz, P. D.; Ruzicka, F. E. - Computerized fluoroscopy: digital subtraction for intravenous angiocardiology and arteriography. *Am. J. Radiol*. 135: 1131, 1980.
16. Cristenson, P. C.; Ovitt, T. W.; Fisher, H. D.; Frost, M. M.; Nudelman, S.; Roehrig, H. - Intravenous angiography using digital video subtraction: intravenous cervicocerebrovascular angiography. *Am. J. Radiol*. 135: 1145, 1980.
17. Meaney, T. F.; Weinstein, M. A.; Buonocore, E.; Pavlicek, W.; Brokowsli, G. P.; Gallagher, J. H.; Sujka, B.; MacIntyre, W. J. - Digital subtraction angiography of the human cardiovascular system. *Am. J. Radiol*. 135: 1153, 1980.
18. Moodie, D. S.; Yiannikas, J.; Gill, C. C.; Buonocore, E.; Pavlicek, W. - Intravenous digital subtraction angiography in the evaluation of congenital abnormalities of the aortic arch. *Am. Heart J*. 104: 628, 1982.
19. Tobis, J. M.; Nacioglu, O.; Johnstons, W. D.; Seibert, A.; Iseri, L. T.; Roeck, W.; Elkayam, U.; Henry, W. L. - Left ventricular imaging with digital subtraction angiography using intravenous injection and fluoroscopic exposure levels. *Am. Heart J*. 104: 20, 1982.
20. Tobis, J. M.; Nacioglu, O.; Johnstons, W. D.; Seibert, A.; Iseri, L. T.; Roeck, W.; Henri, W. L. - Digital angiography in assessment of ventricular function and wall motion during pacing in patients with coronary artery disease. *Am. J. Cardiol*. 51: 668, 1983.
21. Felixm, R.; Eichstadt, H.; Kempter, H. et al. - A comparison of conventional contrast ventriculography and digital subtraction ventriculography. *Clin. Cardiol*. 6: 265, 1983.
22. Greene, D.; Carlisle, R.; Grant, C. et al. - Estimation of left ventricular volume by one-plane cineangiography. *Circulation*, 35: 61, 1967.
23. Kennedy, J. W.; Baxley, W. A.; Figley, M. M. et al. - Quantitative angiocardiology. I. The normal left ventricle in man. *Circulation*, 34: 272, 1986.
24. Sandler, H.; Dodge, H. T. - The use of single plane angiocardiology for the calculation of left ventricular volume in man. *Am. Heart J*. 75: 325, 1986.
25. Tobis, J. M.; Nalcioglu, O.; Henry, W. L. - Cardiovascular applications of digital subtraction angiography. *Mod. Concepts Cardiovasc. Dis*. 53: 31, 1984.
26. Tobis, J.; Nalcioglu, O.; Iseri, L. et al. - Detection and quantitation of coronary artery stenosis from digital subtraction and grams compared with 35 mm film cineangiograms. *Am. J. Cardiol*. 54: 489, 1984.
27. Tobis, J.; Van Natta, B.; Nalcioglu, O. et al. - Digital angiography in diagnosing coronary disease. *Cardiol. Board Review*, 2: 40, 1985.
28. Wholey, H.; Marck, - Cardiovascular applications of digital subtraction angiography. *Radiol. Clin. North Am*. 23, 1985.