

JOSÉ REGINALDO SIMÃO

*GÁS CARBÔNICO EM ANGIOGRAFIA PARA ESTUDO
DE FÍSTULAS ARTERIOVENOSAS PARA
HEMODIÁLISE*

CAMPINAS

2003

i

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

JOSÉ REGINALDO SIMÃO

**GÁS CARBÔNICO EM ANGIOGRAFIA PARA ESTUDO
DE FÍSTULAS ARTERIOVENOSAS PARA
HEMODIÁLISE**

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

ORIENTADORA: DRA. ANA TEREZINHA GUILLAUMON

CAMPINAS

2003

UNIDADE	30
Nº CHAMADA	UNICAMP
	Si42g
V	EX
TOMBO BC/	54398
PROC.	124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	18/06/03
Nº CPD	

CM00185453-2 **FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
UNICAMP**

B ID 293784

Si42g Simão, José Reginaldo
Gás carbônico em angiografia para estudo de fistulas arterio-venosas para hemodiálise. / José Reginaldo Simão. Campinas, SP.: [s.n.], 2002.

Orientador : Ana Terezinha Guillaumon.
Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Ciências Médicas.

1. Insuficiência renal. 2. * Meios de contraste. I. Ana Terezinha Guillaumon. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Médicas. III. Título.

Banca examinadora da Dissertação de Mestrado

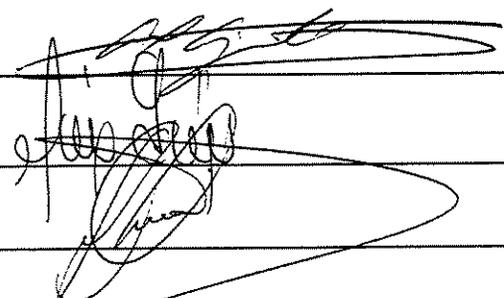
Orientadora: Profa. Dra. ANA TEREZINHA GUILLAUMON

Membros:

1. Profa. Dra. Ana Terezinha Guillaumon

2. Prof. Dr. Ayrton Cássio Fratezi

3. Prof. Dr. George Carchedi Luccas



Curso de Pós-Graduação em Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas da
Universidade Estadual de Campinas.

Data: 21/01/2003

2221059

DEDICATÓRIA

Dedico este estudo a minha esposa Rosana e meus filhos, Isabela e Diogo, compartilhando com eles este trabalho, pela ausência constante a que nossa profissão nos submete; a meus pais, Antonio e Lourdes, por seu grande esforço em minha formação; a meus sogros, Leonildo e Aparecida, pelo constante apoio; a meus irmãos e meus cunhados, minha família.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Ana Terezinha Guillaumon, que possibilitou a concretização deste sonho, por sua amizade e pela confiança depositada em meu projeto.

Ao professor Dr. Mario Mantovani, por me abrir as portas da pós-graduação do Departamento de Cirurgia.

Aos professores Drs. João Potério Filho, George Carchedi Luccas e Fábio Hüseman Menezes, por compartilharem seus conhecimentos nas reuniões da disciplina de Cirurgia Vascular.

Aos amigos e professores Décio Luis Mazzini e Mário Luis Simonetto Pereira, aos quais devo toda minha formação cirúrgica.

Ao Dr. Mario Luis Simonetto Pereira [Ana Silvil]e à Dra. Silvia Helena Ferreira, por sua colaboração na análise dos resultados deste estudo.

Ao serviço de hemodiálise do CND (Centro de Nefrologia e Diálise) de Campinas.

	<i>Pág</i>
RESUMO	<i>xxvii</i>
ABSTRACT	<i>xxxi</i>
1. INTRODUÇÃO	35
2. OBJETIVOS	39
3. REVISÃO DA LITERATURA	43
3.1. Radiologia e técnica.....	45
3.1.1. História da radiologia.....	45
3.1.2. Evolução dos meios de contraste.....	47
3.1.3. Vias de acesso e evolução técnica.....	49
3.2. Fisiologia respiratória.....	50
3.2.1. Princípios físicos de trocas gasosas.....	50
3.2.2. Transporte do gás carbônico nos líquidos orgânicos.....	52
3.3. Estudos angiográficos com gás carbônico.....	54
4. MÉTODOS	63
4.1. Casuística.....	65
4.2. Equipamentos e técnicas.....	67
4.3. Avaliação.....	71

4.4. Método estatístico.....	44
5. RESULTADOS.....	73
6. DISCUSSÃO.....	97
7. CONCLUSÃO.....	107
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

LISTA DE ABREVIATURAS

B	Bom
C	Análise de calibre
Cl	Cloro
CO ₂	Gás carbônico
Cols	Colaboradores
Dr	Doutor
Dra	Doutora
Drs	Doutores
F	<i>French</i>
FAV	Fístula arterio-venosa
Fig	Figura
FR	Frequência respiratória
H ⁺	Hidrogênio
HCO ₃	Bicarbonato
H ₂ CO ₃	Ácido carbônico
Hgb	Hemoglobina
HgbCO ₂	Carbamino-hemoglobina
H ₂ O	Água

K	Kappa
M1	Médico 1
M2	Médico 2
MI	Mililitros
Min	Minutos
MmHg	Milímetros de mercúrio
Mov	Movimentos
O	Ótimo
Op	Opacificação
P	Péssimo
PCO2	Pressão parcial do gás carbônico
PO2	Pressão parcial do oxigênio
PTFE	Politetrafluoretileno expandido
R	Regular
Ra	Diagnóstico radiológico
<i>TIPS</i>	<i>Transjugular intrahepatic portosystemic</i>

LISTA DE TABELAS

	<i>Pág</i>
TABELA 1 : Coeficiente de difusão dos gases.....	50
TABELA 2 : Pressão parcial do gás carbônico em diversos ambientes.....	51
TABELA 3 : Medidas obtidas na artéria e na veia utilizando iodo e gás carbônico como meio de contraste.....	76
TABELA 4 : Medida de posição e dispersão na artéria e na veia utilizando iodo e gás carbônico como meio de contraste.....	77
TABELA 5 : Resultado da análise de regressão linear para medida da artéria nos dois métodos.....	78
TABELA 6 : Resultado da análise da regressão linear para medida da veia nos dois métodos.....	79
TABELA 7 : Análise da frequência respiratória antes e após a realização do estudo.....	81
TABELA 8 : Medida de posição e dispersão da frequência respiratória antes e após a realização do estudo.....	82
TABELA 9 : Análise comparativa quanto a opacificação, diagnóstico radiológico e análise de calibre dos vasos realizada pelos dois médicos.....	85
TABELA 10 : Análise de concordância entre os dois médicos quanto à avaliação da opacificação.....	92
TABELA 11 : Análise de concordância entre os dois médicos quanto à avaliação do diagnóstico radiológico.....	93
TABELA 12 : Análise de concordância entre os dois médicos quanto à avaliação do calibre dos vasos.....	94

LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág</i>
FIGURA 1 : Foto de Wilhen Conrad Röntgen	45
FIGURA 2 : Foto da primeira radiografia realizada por Röntgen.....	45
FIGURA 3 : Foto do laboratório de radiologia de Röntgen.....	45
FIGURA 4 : Primeira angiografia realizada por Haeschek e Lindenthal.....	46
FIGURA 5 : Esquema de troca gasosa no capilar.....	52
FIGURA 6 : Esquema de troca gasosa pulmonar.....	52
FIGURA 7 : Esquema de transporte dos gases nos vasos.....	53
FIGURA 8 : Esquema de troca gasosa capilar / alvéolo.....	54
FIGURA 9 : Foto do aparelho de angiografia LUA GE.....	68
FIGURA 10 : Foto da mesa de comando do aparelho de angiografia.....	69
FIGURA 11 : Foto da processadora a <i>lazer</i> 3M.....	70
FIGURA 12 : Foto da imagem angiográfica final(A – imagem utilizando iodo como meio de contraste; B – imagem utilizando gás carbônico como meio de contraste)	70
FIGURA 13 : Foto do paquímetro marca Marberg	71

LISTA DE GRÁFICOS

	<i>Pág</i>
GRÁFICO 1 : Distribuição de sexo dos doentes estudados.....	65
GRÁFICO 2 : Distribuição da faixa etária dos doentes estudados.....	65
GRÁFICO 3 : Distribuição das patologias dos doentes estudados.....	66
GRÁFICO 4 : Distribuição de localização das fistulas arterio-venosas.....	66
GRÁFICO 5 : Distribuição dos tipos de fistulas arterio-venosas.....	67
GRÁFICO 6 : Dispersão das medidas encontradas na artéria utilizando iodo e gás carbônico como meio de contraste.....	78
GRÁFICO 7 : Dispersão das medidas encontradas na veia utilizando iodo e gás carbônico como meio de contraste.....	79
GRÁFICO 8 : Medida na artéria e na veia utilizando iodo e gás carbônico como meio de contraste.....	80
GRÁFICO 9 : Análise da frequência respiratória antes e após o estudo.....	83
GRÁFICO 10 : Análise quanto à opacificação realizada pelo médico 1.....	86
GRÁFICO 11 : Análise quanto ao diagnóstico radiológico realizada pelo médico 1.....	87
GRÁFICO 12 : Análise quanto ao calibre dos vasos realizada pelo médico 1....	88
GRÁFICO 13 : Análise quanto à opacificação realizada pelo médico 2.....	89
GRÁFICO 14 : Análise quanto ao diagnóstico radiológico realizada pelo médico 2.....	90

GRÁFICO 15 :	Análise quanto ao calibre dos vasos realizada pelo médico 2.....	91
GRÁFICO 16 :	Análise comparativa quanto à opacificação realizada entre o médico 1 e o médico 2.....	95
GRÁFICO 17 :	Análise comparativa quanto ao diagnóstico radiológico realizada entre o médico 1 e o médico 2.....	95
GRÁFICO 18 :	Análise comparativa quanto ao calibre dos vasos realizada entre o médico 1 e o médico 2.....	96



RESUMO

Este estudo tem por finalidade obter um método diagnóstico angiográfico alternativo que possa ser utilizado em doentes com alto risco ao uso do iodo como meio de contraste – sendo as duas maiores complicações a insuficiência renal e a reação alérgica.

Foram estudados 26 doentes que apresentavam insuficiência renal crônica e que foram submetidos à hemodiálise [Ana Silvil] através de fistula arteriovenosa, sendo 38% do sexo masculino e 62% do sexo feminino, com idade entre 36 e 74 anos.

Esses doentes tiveram suas fistulas estudadas por não apresentarem uma boa eficiência durante a hemodiálise, sendo que 81% eram de membros superiores e 19% de membros inferiores.

Este estudo foi realizado ao mesmo tempo em que os doentes foram submetidos à angiografia seletiva digital com subtração de imagem – na primeira fase, utilizando o iodo como meio de contraste e, na segunda, utilizando o gás carbônico como meio de contraste.

Após a obtenção do filme angiográfico, foi realizada por dois médicos independentes do estudo a análise comparativa dos dois métodos, aplicando três parâmetros: opacificação, diagnóstico radiológico e análise de calibre dos vasos. Foram também analisados pelo autor do estudo outros dois parâmetros: a análise comparativa das medidas da artéria e da veia estudadas com iodo e gás carbônico como meio de contraste e da frequência respiratória antes e após a injeção de contraste. Com base nesses dados, concluímos ser esse método uma alternativa no estudo angiográfico em pacientes com antecedente alérgico ou risco de nefrotoxicidade.



ABSTRACT

This study has the finality to get an alternative angiographic method diagnostic. That can be utilized in patients with high risk for the use of iodine with medium of contrast, being the two most complications a renal insufficiency and an allergic reaction.

26 patients were studied that showed renal insufficiency chronic, and they were submitted to the dialysis therapy through arteriovenous fistulas – 38% males and 62% females with age between [Ana Silvi1]36 and 74 years old.

Their fistulas had been studied because they didn't present a good efficiency during the dialysis, -81% were arms and 19% legs-.

This study was realized at the same time, in which the patients were submitted to the selective digital angiography with subtraction image. In the first stage we utilized the iodine as a medium of contrast, and in the second stage we utilized the carbonic gas as a medium of contrast.

After obtainment of angiographic film, two doctors independent of these studies realized the analysis [Ana Silvi2]comparative of two methods applying 3 parameters, opacification, radiological diagnosis and analysis of vessel diameter. They were also analysed by the author of the other two parameters study, comparative analysis of measure of artery and with vein realized with iodine and carbonic gas of as a medium of contrast; and respiratory frequency before and after contrast injection.

With this data given it was conclude, that this method is an alternative in angiographic study in patients with antecedents allergic or nephrotoxicity risk.



1. INTRODUÇÃO

A angiografia é um método diagnóstico que permitiu avanços no estudo de doenças vasculares em todos os territórios – periférico, cardíaco e neurológico –, apresentando, também, grande evolução quanto à técnica aplicada, equipamentos, cateteres e meios de contraste, diminuindo assim a morbidade e a mortalidade.

O método evoluiu desde 1896, quando HAESCHECK & LINDENTHAL introduziram uma mistura de bismuto, chumbo e bário em uma mão amputada, realizando a primeira angiografia (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995).

EGAS MONIZ, brilhante médico português, realizou a primeira punção carotídea, sendo um expoente, o que permitiu o estudo de doenças da circulação cerebral. Em 1929, REINALDO DOS SANTOS realiza sua técnica de aortografia abdominal com punção translombar (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995)..

A partir de 1933, foram desenvolvidos novos meios de contraste, e, por volta de 1950, iniciaram-se estudos que chegaram a um meio de contraste derivado da acetilação do grupo amina, de menor toxicidade, evoluindo para os meios de contraste que são utilizados até hoje.

Outro marco importante, descrito por SELDINGER em 1953, foi o que permitiu progredir com um cateter pela árvore arterial, também apresentando uma grande evolução de materiais e técnicas que tornaram possível navegar em regiões antes não alcançadas (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995)..

Toda essa evolução de conhecimentos e materiais apresentou um resultado promissor na década de 1980 com a introdução da angiografia digital.

Porém, apesar da grande evolução, com redução da morbidade e da mortalidade, ainda se apresentavam algumas complicações relacionadas aos meios de contraste, que nos desafiaram na busca de um método adequado.

A nefrotoxicidade e a reação alérgica são os dois principais fenômenos indesejáveis quando são utilizados os contrastes à base de iodo. Apesar de o uso de contrastes à base de iodo e não-iônicos apresentar uma diminuição desses efeitos, a procura de meios de contraste que não apresentassem tais fenômenos indesejáveis tornou-se constante.

A utilização de gás carbônico como meio de contraste em radiologia iniciou-se em 1914 com RAUTEMBERG. Em 1971, HAWKINS utiliza o gás carbônico no estudo vascular periférico.

Esse meio de contraste vem sendo estudado por muitos pesquisadores, o que permitiu seu emprego em vários territórios, não sendo nefrotóxico e nem produtor de efeitos alérgicos, apresentando, ainda, vantagens e desvantagens que serão discutidas no decorrer deste estudo.



2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é obter um método diagnóstico de imagem alternativo para doentes que apresentam risco clínico na utilização de iodo como meio de contraste para angiografia digital, bem como demonstrar a eficácia desse método no estudo de fistulas arteriovenosas para hemodiálise.



3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. RADIOLOGIA E TÉCNICA

3.1.1. História da radiologia

WILHEM CONRAD RÖENTGEN, físico alemão, em 22 de dezembro de 1895 descobriu os raios X, revolucionando o meio científico ao realizar a primeira radiografia, em seu laboratório – Figuras 1, 2 e 3 (EISENBERG; 1992).



Fig.1. Wilhem Conrad Röntgem.



Fig.2. Primeira radiografia realizada por Röntgem.

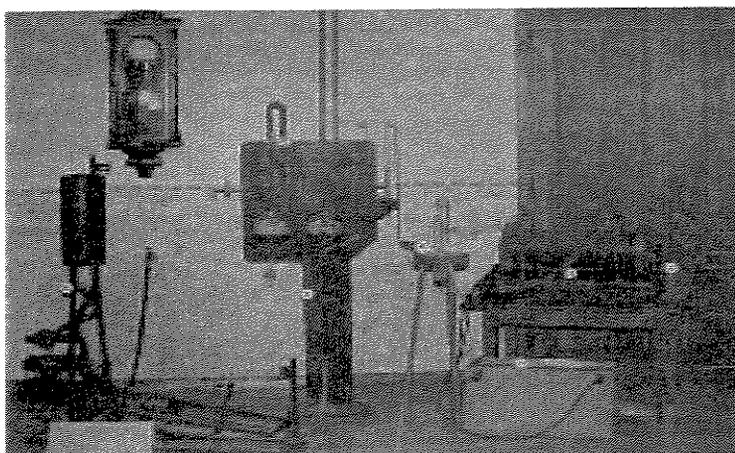


Fig.3. Laboratório de radiologia de Röntgem

Após seis meses da descoberta de Röntgen, a radiografia já era usada em campos de batalha para localizar projéteis de arma de fogo em feridos. A descoberta de Röntgen causou tal revolução no meio científico que, após cinco anos de sua descoberta, a radiologia já era praticada como especialidade médica.

Somente um ano depois, em 1896, HAESCHEK & LINDENTHAL realizaram a primeira angiografia em uma mão amputada (Figura 4) (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995).



Fig.4. Angiografia em mão amputada (EISENBERG; 1992)

Os primeiros estudos angiográficos em seres humanos surgiram a partir de 1914, quando BROOKES realiza a primeira angiografia femoral e HEUSER, em 1919, realiza a primeira flebografia na veia dorsal da mão. Após esses estudos, iniciaram-se vários outros – seguidos por BERBERICH & HERSH, que descrevem sua técnica de arteriografia femoral em 1923. Outro marco na história foi EGAS MONIZ, que realizou a primeira punção carotídea para estudo da circulação cerebral, e, em 1929, REINALDO DOS SANTOS, que descreveu sua técnica para aortografia abdominal translombar (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995).

Os equipamentos de radiologia evoluíram juntamente com essas técnicas de exame e, por volta de 1940, com equipamentos de monitoramento em televisão e intensificadores de imagens que permitiram a realização de fluoroscopia de ótima qualidade e em tempo real.

Na década de 1980, surge a angiografia digital com subtração de imagem, permitindo que as imagens radiográficas sejam adquiridas e armazenadas em computador e posteriormente trabalhadas através de um sistema digital, utilizando programas que permitem trabalhar as imagens obtidas, corrigindo as imperfeições que ocorrem durante o exame.

3.1.2. Evolução dos meios de contraste

Os primeiros meios de contrastes surgiram em 1896 com HASCHEK & LINDENTHAL, que utilizaram uma mistura de bismuto, chumbo e bário em uma mão amputada. A partir daí, iniciou-se a procura de materiais que pudessem contrastar um vaso: BROOKES, em 1914, utiliza o iodeto de sódio em angiografia femoral; HEUSER, em 1919, utiliza o iodeto de potássio em uma flebografia realizada na veia dorsal da mão de uma criança com sífilis; BINS & RAETH, estudando agentes antibacterianos e anti-sifilíticos em 1920, adicionaram o iodo ao anel pirimidina e descobriram ser essa substância radiopaca; em 1923, BERBERICH & HERSH utilizam em sua técnica para angiografia femoral o brometo de estrôncio, sendo ele extremamente dolorido (CARVAJAL; RUGILO; SHUSTER; 1995). EGAS MONIZ realiza sua angiografia cerebral em 1928, iniciando seus estudos com iodeto de sódio. Preocupado com a toxicidade de seu contraste, promove estudos, evoluindo posteriormente para o dióxido de tório (YOSHIDA; 2002).

A partir disso, esses estudos passaram a ter um desenvolvimento maior. Em 1933, SWICK & WALLINGFORD chegam ao monoiodo hipurado de sódio, e, em 1950, estudos realizados com acetilação do grupo amina, formaram o acetriozato de sódio, diminuindo sua toxicidade. Em seguida, HOPP, LARSEN e LANGENECKER chegam ao ácido triiodobenzóico, evoluindo posteriormente para o diatriozato de sódio (YOSHIDA; 2002).

Esses agrupamentos de contrastes, descobertos em tal época e utilizados atualmente, ainda apresentam toxicidade. Em 1960 iniciaram-se os trabalhos para diminuir a dor causada por esses contrastes. ALMAR, diminuindo a osmolaridade desses meios, chegou ao contraste denominado metrizamina, derivando iopamidol, iohexol, iopromide e ioversol (YOSHIDA; 2002).

A contra-indicação principal ao uso de contraste iodado é a insuficiência renal. Os efeitos dependem da dose utilizada, da via de administração, da osmolaridade, do tempo de exposição e da situação prévia do doente.

O risco de lesão renal é alto em doentes com antecedentes de diabetes, hipertensão arterial, desidratação, insuficiência cardíaca, hiperuricemia, doença hepática, mieloma múltiplo e com função renal previamente deteriorada. Quando o doente apresenta níveis de creatinina acima de 6 mg%, o uso de contraste intravenoso para urografia é contra-indicada. Em estudo urográfico em doentes diabéticos com função renal prejudicada, a lesão renal após a injeção de contraste chega a aproximadamente 62%. Na ausência desses fatores de risco, a lesão renal induzida por tais meios de contraste é baixa, na ordem de 0% a 10%, aumentando de 12% a 27% com alteração renal prévia, existindo relatos de até 92%. Embora os novos meios de contraste à base de iodo não-iônico sejam mais seguros que os contrastes iônicos, ainda ocorre lesão renal (YOSHIDA; 2002; LARANJA; SCHOR; 1997 e MURPHY; BARRETT; PARFREY; 2000).

O risco de reação alérgica para doentes atópicos que são submetidos a estudos com contraste iodado foi de 4% a 7%, aumentando para 38% em doentes com história prévia de reação alérgica (YUSUF; WHITAKER; HINDWOOD; HENDERSON; GREGSON; WENHAN; HOPKINSON; MAKIN; 1995 e YOSHIDA; 2002).

Esses efeitos podem evoluir de apenas um pequeno prurido até uma parada cardiorrespiratória e podem ser classificados segundo seu grau de intensidade: menores, quando são acompanhados de náusea, vômitos, cefaléia e prurido; intermediários, quando são acompanhados de desmaios, vômitos intensos, urticária intensa, edema de face, edema de faringe e bronco-espasmos; e maiores, quando são acompanhados de edema de glote, bronco-espasmos intenso, edema pulmonar, insuficiência respiratória, arritmia cardíaca e choque, podendo evoluir para o óbito (FECURI; 2002).

Como foi dito anteriormente, essas reações, tanto alérgicas como nefrotóxicas, vão depender de alguns fatores, dentre eles a osmolaridade do contraste. Portanto, se usarmos contrastes de baixa osmolaridade, podemos reduzir essas reações, porém elas permanecem em percentual menor.

3.1.3. Vias de acesso e evolução técnica

As técnicas de acesso vascular foram iniciadas com dissecações dos vasos e punções com agulhas, descritas por autores citados anteriormente, tendo seu marco importante em EGAS MONIZ, com a punção carotídea, e, posteriormente, com a punção da aorta abdominal translombar por REINALDO DOS SANTOS (FECURI; 2002).

Ainda em 1929, FORSSMAN introduziu sonda em uma veia de seu braço, fazendo-a chegar até o átrio direito, o que foi documentado através de raios X. Alguns anos mais tarde, em 1941, FORSSMAN descreve o cateterismo seletivo da aorta abdominal por dissecação da artéria femoral. ZIMERMAN e cols. descrevem o acesso do coração esquerdo através de cateterismo por dissecação da artéria radial em 1950 (ARAÚJO, 2002).

Em 1953 dá-se início à técnica utilizada até os dias atuais, descrita por SELDINGER, na qual se realiza a punção percutânea de uma artéria com uma agulha e, em seguida, introduz-se sob esta um fio-guia. Posteriormente, é retirado a agulha e introduzido através do fio um cateter, pelo qual é realizada a injeção de contraste. Seguem-se posteriormente dois trabalhos, em 1959 e 1967, realizados por SONES & JUDKINS, para cateterismo cardíaco. O primeiro utiliza a artéria braquial e, o segundo, a artéria femoral (ARAÚJO, 2002).

Os procedimentos radiológicos progrediram, deixando apenas de ser diagnósticos e passando também para a terapêutica, o que teve seu início na década de 1960 com trabalhos publicados por DOTTER, que realizou angioplastia transluminal. Inicialmente, esses métodos eram empregados apenas como último recurso terapêutico.

A partir desses estudos, foram apresentados na década de 1970 variantes de sistemas de cateterismo, que são compostos fios-guia, cateteres e introdutores com bainhas. Todos permitem uma cateterização mais fácil e que se navegue pela rede vascular com cateter, cateter-guia e microcateteres, aumentando o alcance de vasos distais, possibilitando a intervenção terapêutica e diminuindo complicações.

3.2. FISILOGIA RESPIRATÓRIA

3.2.1. Princípios físicos de trocas gasosas

Após a inspiração, o ar ambiente chega aos alvéolos, onde ocorre a troca gasosa, sendo ela de oxigênio – dos alvéolos para o sangue pulmonar – e de gás carbônico – do sangue pulmonar para os alvéolos – por um processo de difusão. A pressão parcial de um gás, que é designada pelas expressões PO_2 e PCO_2 , vai determinar a força com que esse gás tenta se difundir na membrana pulmonar.

A velocidade de difusão de um gás é determinada pelo coeficiente de difusão. Considerando o coeficiente de difusão para o oxigênio como o valor absoluto de 1,00, teremos os valores dos demais gases apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de difusão dos gases

Oxigênio	1,00
Gás Carbônico	20,30
Monóxido de Carbono	0,81
Nitrogênio	0,53
Hélio	0,95

O fator determinante para limitação da difusão dos gases é dado por sua velocidade de difusão no meio líquido. Os gases de importância respiratória são altamente solúveis em lipídios e também altamente solúveis na membrana respiratória. Então, a velocidade de difusão na membrana respiratória é quase similar à anteriormente descrita.

A pressão parcial do gás carbônico (apresentada na Tabela 2) segue a seguinte composição nos diversos meios:

Tabela 2. Pressão parcial do gás carbônico em diversos ambientes

	Ar atmosférico	Ar umidificado	Ar alveolar	Ar expirado
Gás carbônico	0,3 mmhg	0,3 mmhg	40 mmhg	27 mmhg

O gás carbônico forma-se constantemente no organismo e está sendo continuamente difundido do sangue pulmonar para os alvéolos, sendo removido pela ventilação pulmonar.

A pressão parcial do gás carbônico é determinada pela velocidade de sua excreção do sangue para os alvéolos e pela velocidade em que é removido pela ventilação alveolar.

A permeabilidade do gás carbônico na membrana respiratória é dada pela velocidade com que ele pode se difundir da água para a membrana. Então, a velocidade de difusão do gás carbônico é 20 vezes mais rápida que a do oxigênio.

Existem alguns fatores que afetam a difusão dos gases através da membrana respiratória, tais como espessura da membrana, área de superfície da membrana, coeficiente de difusão e diferença de pressão entre os dois lados da membrana.

A capacidade de difusão do gás carbônico nunca foi medida, pois ele se difunde tão rapidamente que sua pressão parcial medida no sangue pulmonar não é muito diferente de sua pressão parcial nos alvéolos. A difusão dos outros gases mostrou que a capacidade de difusão é diretamente proporcional ao coeficiente de difusão. Então é de se esperar que, como o coeficiente de difusão do gás carbônico é 20 vezes o do oxigênio, o volume de gás carbônico eliminado é cerca de 400 ml em repouso e de 1.200 ml a 1.300 ml por minuto durante o exercício.

3.2.2. Transporte do gás carbônico nos líquidos orgânicos

A difusão do gás carbônico dá-se cerca de 20 vezes mais fácil que a do oxigênio, difundindo das células para o líquido intersticial e daí para o capilar sanguíneo. A pressão parcial do gás carbônico no capilar arterial é de aproximadamente 40 mmHg, progredindo para 45 mmHg no interstício e no capilar venoso (Figura 5). Devido a seu grande coeficiente de difusão é que se mantém essa pequena diferença.

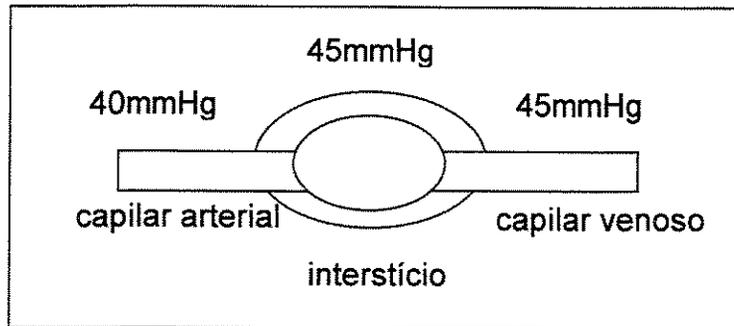


Fig. 5. Esquema de troca gasosa no capilar

Essa diferença mantém-se quando o gás carbônico chega até os pulmões, apresentando 45 mmHg no sangue venoso e 40 mmHg no alveolar. Apesar dessa pequena diferença devido a seu grande coeficiente de difusão, o gás carbônico passa para os alvéolos (Figura 6).

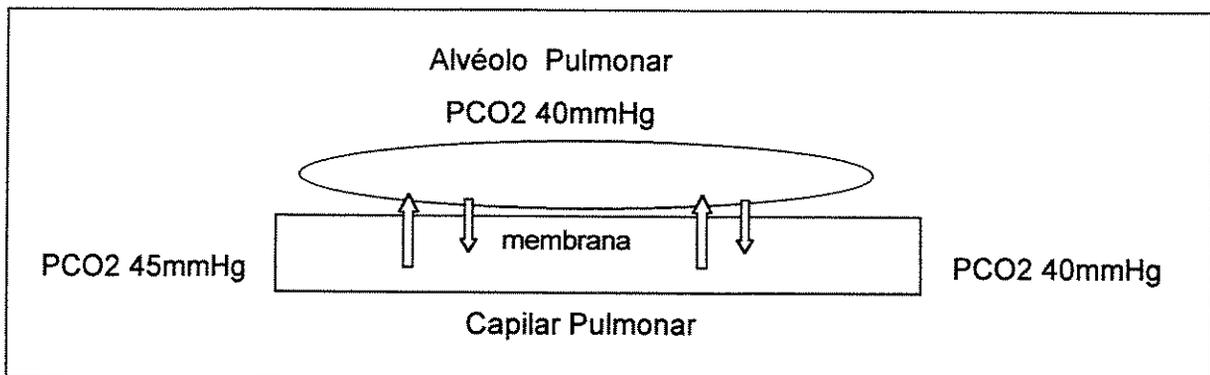


Fig. 6. Esquema de troca gasosa pulmonar.

O transporte do gás carbônico pode ser em quantidade muito maior do que de oxigênio em condições normais de repouso, pois é transportado em uma média de 4 ml de gás carbônico para cada 100 ml de sangue.

Uma pequena parte do gás carbônico é transportada no estado dissolvido. A quantidade de gás carbônico a uma pressão parcial de 45 mmHg é cerca de 2,7 ml por 100 ml, e, a uma pressão de 40 mmHg, é cerca de 2,4 ml por 100 ml. Então, apenas 0,3 ml por 100 ml é transportado na forma dissolvida. O gás carbônico, em aproximadamente 70% das vezes, é transportado sob a forma de íon bicarbonato. Ele reage com água e, sob efeito da anidrase carbônica, forma o ácido carbônico, dissociando-se em íons hidrogênio e bicarbonato. Esses íons hidrogênio reagem rapidamente com as moléculas de hemoglobina – reação que forma um composto chamado carbamino-hemoglobina, de ligação muito fraca, sendo sua quantidade teoricamente de 15% a 25% de gás carbônico (Figura 7).

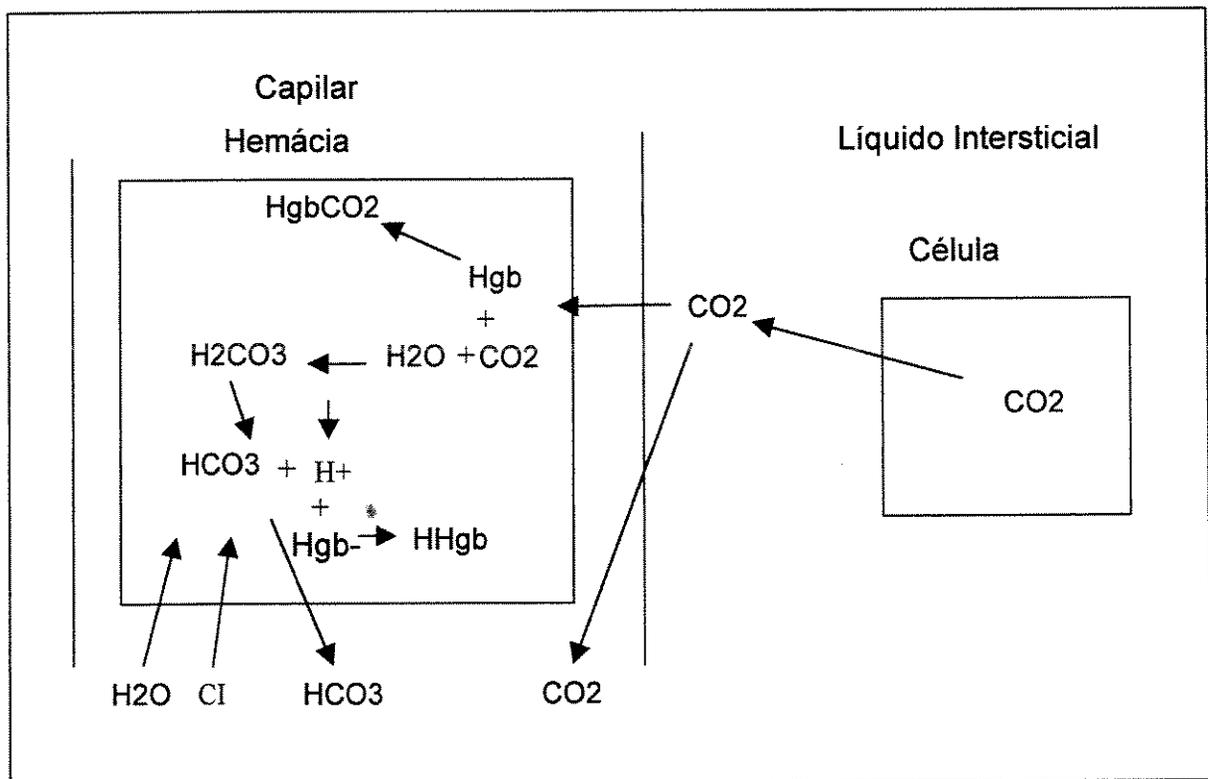


Fig. 7. Esquema de transporte dos gases nos vasos

O gás carbônico pode existir no sangue como gás carbônico livre, em combinações químicas com água, hemoglobina e proteínas plasmáticas. A quantidade total de gás carbônico depende de sua pressão parcial.

A liberação do gás carbônico nos pulmões depende de sua pressão parcial alveolar ser menor do que a sangüínea, fazendo com que o gás carbônico se desloque para os alvéolos e diminuindo a PCO₂ das hemácias. Assim, o ácido carbônico das células, sob a influência da anidrase carbônica, dissocia-se em H₂O e gás carbônico, e a carbamino-hemoglobina também libera gás carbônico (Figura 8).

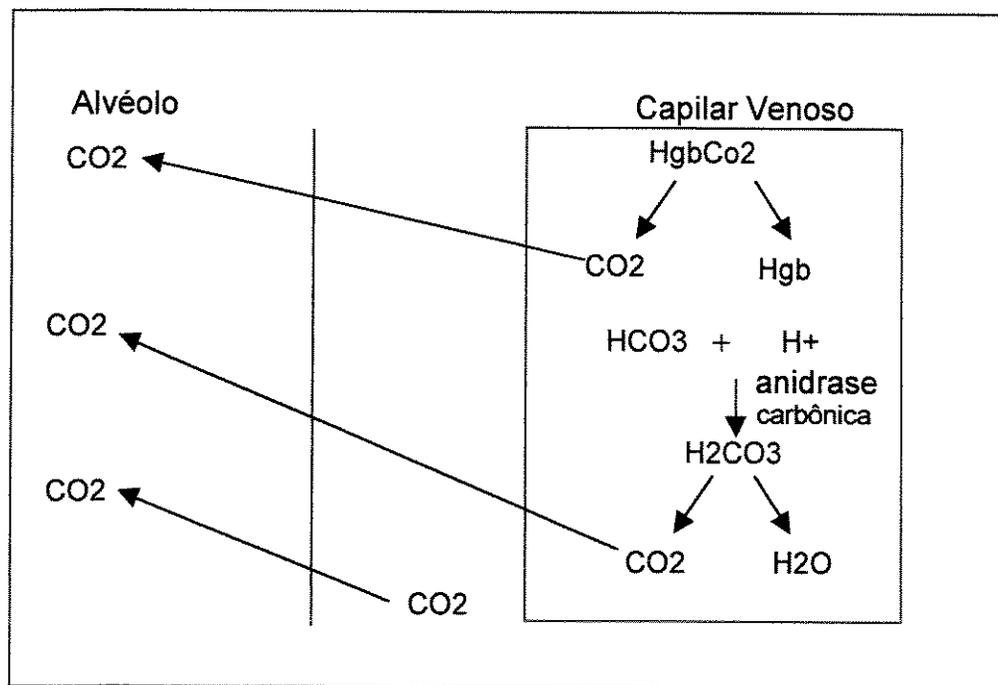


Fig. 8. Esquema de troca gasosa capilar / alvéolo.

3.3. ESTUDOS ANGIOGRÁFICOS COM GÁS CARBÔNICO

RAUTEMBERG, em 1914, utiliza pela primeira vez o gás carbônico como meio de contraste. Injetado na cavidade peritoneal para estudo de alterações radiológicas, o gás foi posteriormente introduzido na cavidade retroperitoneal para estudos de tumores nessa região. Em 1971, HAWKINS utiliza pela primeira vez o gás carbônico como meio de contraste no estudo vascular periférico.

A utilização desse meio de contraste intravascular apresentou grande progresso com a introdução da angiografia digital com subtração de imagem, com os programas de computador desses equipamentos – que permitiram melhorar os resultados, corrigir artefatos, subtrair estruturas indesejadas, agrupar os blocos de contraste que se apresentavam separados –, com a mudança de contraste e também com a introdução de cateteres de baixo perfil – que permitiram navegar pelo sistema vascular com maior facilidade. Sendo o gás carbônico bem menos denso que os contrastes convencionais, foi possível utilizar cateteres de calibre inferior aos anteriormente utilizados e injetar volumes maiores. A introdução do uso de sistemas injetores, pois até então era manual, permitiu uma distribuição mais adequada e segura do gás carbônico como meio de contraste.

Quando o gás carbônico é injetado em um vaso sangüíneo, ele interage de uma forma diferente do contraste iodado, pois este último se mistura com o sangue, enquanto o gás carbônico provoca uma lacuna no vaso, deslocando a coluna sangüínea. Inicialmente, o gás tende a avançar em sentido proximal ao vaso e, posteriormente, progredir alcançando ramos distais.

Vários estudos foram realizados utilizando volumes variados de gás carbônico, sendo observado que, a partir de um certo volume, não há melhora na opacificação de um vaso – fato que permite sugerir ser a velocidade de injeção mais importante do que o volume injetado. Volumes pequenos foram dissolvidos totalmente no sangue antes de alcançar outros vasos devido a seu coeficiente de solubilidade, que é 20 vezes maior que o do oxigênio. Utilizando um volume adequado, ele progredirá distalmente e, à medida que se distancia do local de infusão, o *bolus* inicial fragmenta-se em seqüências de bolhas, o que pode ser corrigido utilizando-se um programa do sistema digital que é a somação de imagem. YUSUF, WHITAKER, HINDWOOD, HENDERSON, GREGSON, WENHAN, HOPKINSON, e MAKIN (1995) estudaram 11 pacientes com doença vascular periférica. Eles utilizaram iopamidol e gás carbônico como meio de contraste e analisaram qualidade das imagens obtidas, pH, PaCO₂ e PO₂. Em seus resultados, mostraram que não havia variação significativa desses termos após a infusão de gás carbônico e que o volume desse gás não alterava a fisiologia respiratória, sendo totalmente eliminado sem complicações.

Estudos foram realizados em animais pela preocupação de falha ventricular – devido ao acúmulo de gás carbônico que pode ocorrer se injetarmos grandes quantidades. A técnica que permite resolver essa complicação é o espaçamento entre as injeções de gás para que este possa ser dissolvido e excretado. Nesse estudo, foi realizada cavografia em seres humanos, injetando 70 ml de gás carbônico a cada injeção sem intercorrências – pode-se fazer um grande número de injeções separadas a cada um a dois minutos (KERNS, HAWKINS e SABATELLI, 1995; BACK, CARIDI, HAWKINS e SEEGER, 1998).

HAWKINS utilizou pela primeira vez o gás carbônico como meio de contraste, recarregando uma seringa e controlando a entrada e a saída desse gás através de torneiras. Essa técnica apresenta algumas dificuldades em seu manuseio, tornando um pouco difícil de ser executada, sendo a injeção mais confiável quando utilizados sistemas injetores. Muitas dessas dificuldades podem ser minimizadas com o equipamento aqui citado, o Angiodynamics, liberando volumes constantes e programados. Esse modelo não permite volume superior a 200 ml, para evitar a falha ventricular, sendo um sistema fechado que diminui a contaminação (ZWAAN, KUMMER-KLOESS, WEISS, LINK e SCHURTZ, 1994; KERNS, HAWKINS e SABATELLI, 1995; ZWAAN, KUMMER-KLOESS, WEISS, LINK e SCHURTZ, 1996; SCHMITZ-RODE, ALZEN e GUNTHER, 1997; BEES, BEESE, BELLI e BUCKERNHAM, 1999; ALBRICH, GMEINWIESER, MANKE, STROTZER, KASPRZAK e FEUERBACH, 1999; NICOLINI, LOVARIA, MEREGAGLIA e PALATRESI, 2000).

Para que se produza uma boa imagem, tornam-se necessários bons equipamentos, com ampla resolução, que irão permitir trabalhar e produzir os resultados esperados. O gás carbônico pode ser utilizado em vasos de pequeno calibre, com volumes maiores do que com contrastes convencionais. Pode ser usado também através de aterótomos e de angioscópicos (HAWKINS, WILCOX, KERNS e SABATELLI, 1994; KERNS, HAWKINS e SABATELLI, 1995; KERNS e HAWKINS, 1995).

HAWKINS e CARIDI (1998) relatam que, nos últimos 26 anos, a Divisão de Radiologia Intervencionista da Universidade da Flórida utilizou, em mais de 1.400 doentes, o gás carbônico como meio de contraste para estudos angiográficos, sendo usado primariamente em doentes com insuficiência renal ou reação adversa ao contraste iodado – o gás carbônico não é nefrotóxico e nem hiperosmolar. Doentes que apresentavam insuficiência renal, e que foram submetidos à angiografia, foram acompanhados sem alteração da função renal. Foram também realizados estudos angiográficos com gás carbônico em doentes que apresentaram reações adversas ao contraste iodado, mostrando, em seus resultados, imagens de qualidade diagnóstica equivalentes.

Para análise dos resultados de gás carbônico como meio de contraste, foram criados modelos circulatórios com estenoses de 50%, 60%, 70%, 80% e 90%, apresentando resultados melhores quando as variações foram de 50% a 70%, comparadas às medidas obtidas com contraste iodado (BLACK, LANG, KUSNICK, SIEBES, BARNHART e HOFFMAN, 1996). Outro sistema circulatório é criado para analisar a qualidade da imagem em função do tipo de cateter, fluxo, diâmetro do sistema e inclinação, concluindo que o cateter com furo único final apresenta resultado melhor que o cateter com furos múltiplos, tipo *pigtail*, e que o aumento da inclinação do sistema propicia uma melhor qualidade de imagem para diâmetros maiores (SONG, CHO, SHINN, CHARLTON e CHO, 1999). Um terceiro sistema simula o segmento aorto-iliaco, utilizando gás carbônico e iodo como meio de contraste e ultra-som intravascular como “padrão ouro” para análise das medidas, o que demonstra que o gás carbônico apresenta medidas significativamente maiores quando comparadas com as dos outros dois métodos (SONG, CHO, SHINN, CHARLTON e CHO, 2000).

FERMAND, MARZELLE e CORMIER (1994) realizaram estudo angiográfico com gás carbônico em 13 doentes que necessitavam de revascularização dos membros inferiores. Em oito dos doentes foram realizados controles com contraste iodado, sendo conclusivo em 11 doentes, podendo ser esse método empregado em doentes com risco ao uso de contraste iodado, porém com qualidade de imagem inferior nas artérias distais.

ROLAND, DUVAUFERRIER, LUCAS, GOURLAY, RAMBEAU, MORCET e CHAPERON (1998) estudaram 30 doentes. Foram realizados estudos com gás carbônico e contraste iodado em doentes com isquemia de membros inferiores. Os doentes foram monitorados para dor e sinais vitais e as imagens foram analisadas por quatro revisores, sendo analisados pelve, coxa, joelho, perna e tornozelo quanto à imagem produzida. Não apresentaram nenhum efeito relativo à dor 53% dos doentes, tiveram sensação desagradável com gás carbônico 40% e mais desagradável com contraste iodado em 7%. Em relação à visualização do vaso, apresentou-se a mesma qualidade em 61%, o gás carbônico trazia menos informações em 35% e, em 4%, o gás carbônico trouxe mais informações.

OLIVA, DENBOW, THERASSE, COMMON, HAREL, GIROUX e SOULEZ (1999) estudaram 35 doentes, utilizando contraste iodado e gás carbônico como meio de contraste. Realizaram angiografia da aorta abdominal e dos membros inferiores, utilizando três parâmetros em sua análise: opacificação, grau de estenose e qualidade global do exame. Analisado por três observadores independentes, o estudo conclui ser o gás carbônico um meio de contraste alternativo para angiografia digital.

Em revisão de 115 doentes, foram realizados estudos arteriográficos renal, visceral, da aorta e de extremidades na Universidade da Flórida utilizando o gás carbônico como meio de contraste, e utilizando contraste à base de iodo em 98 doentes. Os resultados angiográficos com gás carbônico foram tidos como bons ou excelentes em 91% dos casos; um planejamento terapêutico preciso foi possível em 92%; a comparação dos estudos angiográficos com gás carbônico e contraste iodado mostrou-se semelhante em 95% dos casos; imagens adequadas abaixo do joelho foram possíveis em 70% dos casos (BACK, CARIDI, HAWKINS e SEEGER, 1998).

MIYAZONO, INOUE, KANETSUK e NAKAJO (1994) realizaram um estudo do sistema portal com injeção de gás carbônico na artéria hepática, apresentando visualização completa em todos os doentes. SULLIVAN, BONN, SHAPIRO e GARDINER (1995) estudaram a utilização do gás carbônico como meio de contraste para o estudo venoso. Foram estudados 66 segmentos em 21 doentes, sendo esse estudo analisado por três angiografistas. Avaliaram-se qualidade de imagem e complicações: em 91% dos segmentos avaliados pelos dois métodos houve acordo entre os observadores em qualidade de imagem ($R_i = 0,80$) e em diagnóstico ($K = 0,62$).

Em 1997, WILHEM, TEXTOR, STRUNK, BRENSING, SCHULLER e SCHILD realizaram em seu estudo um implante de *TIPS* [Ana Silvi] em 33 doentes, concluindo ser o gás carbônico um ótimo meio de contraste para visualização do sistema portal e para venografia hepática. SING, STACKHOUSE, JACOBS e HENIFORD (2001), utilizaram o gás carbônico como meio de contraste para o implante de filtros de veia cava. Foram estudados 23 doentes, sendo medida a veia cava inferior, comparativamente utilizando contraste iodado e gás carbônico.

As medidas variavam de 20,4 mm + ou - 0,7 mm para o contraste iodado a 20,0 mm + ou - 0,7 mm para o gás carbônico ($p=0,003$). Os autores observaram que as estatísticas eram significantes, porém não apresentaram, clinicamente, alterações significativas, não havendo nenhuma intercorrência ou complicação.

Em 1994, TESHIMA e IWASAKI realizaram angiografia digital utilizando gás carbônico e iodo como meio de contraste em 31 doentes com carcinoma hepato-celular, encontrando resultados superiores no diagnóstico de *shunt* artério-venoso. GABAGNATI, SPREAFICO, MARCHIANO, FRIGERIO, PATELLI, GERVASONI, GIOVANNARDI e DAMASCELLI (1995) realizaram angiografia digital utilizando gás carbônico e iodo como meio de contraste em 40 doentes em procedimentos oncológicos, relatando que, devido à baixa viscosidade do gás carbônico, foi permitido demonstrar perda sangüínea tumoral e *shunt* artério-venoso hepático - não demonstrados com iodo.

TEXTOR, WILHELM, STRUNK, SCHULLER e SCHILD (1997) estudaram cinco doentes com hemorragia gastrointestinal e intra-abdominal, identificando os locais de sangramento de forma mais precisa utilizando o gás carbônico. GORRIZ, CARREIRA, REYERS, GALLARDO, PULIDO, ROMERO e MAYNAR relataram, em 1999, que foi realizada angiografia digital com gás carbônico e iodo como meio de contraste para diagnóstico de más formações vasculares. Os doentes foram submetidos a embolização e o estudo foi avaliado por três radiologistas. Apresentou-se qualidade de imagem superior utilizando iodo, porém, quando foi utilizado o gás carbônico como meio de contraste, apresentou-se opacificação de vasos não identificados com iodo.

No estudo das fistulas artério-venosas terapêuticas, EHRMAN, TABER, GAYLORD, BROWN e HAGE (1994), do Hospital Metodista de Indiana, analisaram estudos de 32 doentes renais crônicos, portadores de fístula artério-venosa para hemodiálise, realizando estudos angiográficos comparativos com gás carbônico e contraste iodado. As imagens foram analisadas por dois médicos, com levantamento estatístico de sensibilidade e especificidade do material de contraste, utilizando como “padrão ouro” o contraste iodado. O grau de estenose era mais significativo com gás carbônico do que com o contraste iodado ($p=0,0001$). Quanto à sensibilidade, foi de 94%, a especificidade foi de 58% e a precisão foi de 75%. KERNS, HAWKINS e SABATELLI, em seu capítulo publicado em 1995 na Clínica Radiológica da América do Norte, descrevem o estado atual do gás carbônico como meio de contraste em angiografia, relatando sua técnica, princípios da formação da imagem, sua indicação, resultados e limitações, referindo ser um meio de contraste alternativo confiável, isento de reações alérgicas e nefrotóxicas e apresentando limitação discutida quanto a seu uso para a circulação cerebral.

A nefrotoxicidade e a reação alérgica foram o objetivo de vários estudos, sendo o motivo da procura de um meio de contraste ideal. A grande maioria dos estudos [Ana Silvi2]foi realizada para diagnóstico de doença reno-vascular, transplantes renais, procedimentos intervencionistas na artéria renal e estudos das fistulas artério-venosas para hemodiálise. Algumas doenças citadas anteriormente, tais como a hipertensão arterial e o diabetes, apresentam fator de risco aumentado para a lesão renal, sendo elas freqüentes na doença isquêmica dos membros inferiores. Estudos foram realizados nesses segmentos, juntamente com procedimentos intervencionistas, e os autores concluíram em unanimidade ser o gás carbônico um meio de contraste alternativo no segmento aorto-renal, apresentando uma boa definição na quantificação das estenoses da artéria renal e sendo um meio de contraste que permite plenamente sua utilização nos procedimentos endovasculares, além de isento dessas complicações (FRANKHOUSE, RYAN, PAPANICOLAOU, YELLIN e WEAVER, 1995; KUO, PERTENSEN, SEMBA, ALFREY e DAFOE, 1996; SCHREIER, WEAVER, FRANKHOUSE, PAPANICOLAOU, SHORE, YELLIN e HARVEY, 1996; KRISS, COTTRILL e GURLEY, 1997; SPINOSA, MATSUMOTO, ANGLE, HAGSPIEL, MCGRAW, AYERS, 1999; KUMMER-KLOESS, KLOESS, MARIENHOFF, SCHURTZ, ZWAAN e WEISS, 1997; ZWAAN, STEINHOFF, FRICKE, KAGEL, LORCH e WEISS,

1997; SPINOSA, ANGLE, HAGSPIEL, SCHENK e MATSUMOTO, 1998; BACK, CARIDI, HAWKINS e SEEGER, 1998; MORESCO, PATEL, NAMMYSLOWSKI, SHAH, JOHNSON e TREROTOLA, 1998; CHRISTENSSON, 1999; CARIDI, STAVROPOULOS e HAWKINS, 1999; FITRIDGE, PERUCCO, DUNLOP, THOMPSON e SEBBEN, 1999; BARBEY, FARBER, MARIENHOFF e GMELIN, 1999; BEESE, BEES e BELLI, 2000; SPINOSA, ANGLE, HAGSPIEL, KERN, HARTEWLL e MATSUMOTO, 2000; GAHLEN, HANSMANN, SCHUMACHER, SEELOS, RICHTER e ALLENBERG, 2001).

Na revisão da literatura, o gás carbônico apresenta limitação de seu uso no estudo dos troncos supra-aórticos, em virtude de um potencial neurotóxico. LINSTEDT, LINK, GRABENER e KLOESS (2000) injetaram gás carbônico na carótida de seis porcos, monitorando a função cerebral com eletrencefalografia. À medida que se injetava gás carbônico, os animais apresentavam diminuição reversível no traçado do eletrencefalógrafo em torno de 40% a 80% e, à medida que outras doses eram injetadas, essas alterações mantinham-se irreversíveis histologicamente – esses animais apresentavam sinais de edema, isquemia e necrose.

DIMAKAKOS, STEFANOPOULOS, DOUFAS, PAPASAVA, GOULIAMOS, MOURIKIS e DELIGIORGI (1998) estudaram 25 coelhos, nos quais foram realizados estudos em arco aórtico e seus ramos, utilizando o gás carbônico. Os estudos incluíram análise clínica e ressonância magnética. Três animais morreram sem ter relação com o gás carbônico. Não houve nenhuma alteração clínica e radiológica, e os animais não apresentaram nenhuma alteração de imagem à ressonância, não evidenciando, assim, o efeito neurotóxico do gás carbônico.



4. MÉTODOS

4.1. CASUÍSTICA

Foram estudados 26 doentes, sendo dez do sexo masculino e 16 do feminino, com diagnóstico de insuficiência renal crônica, que estavam sendo submetidos à hemodiálise através de fistulas artério-venosas (Gráfico 1).

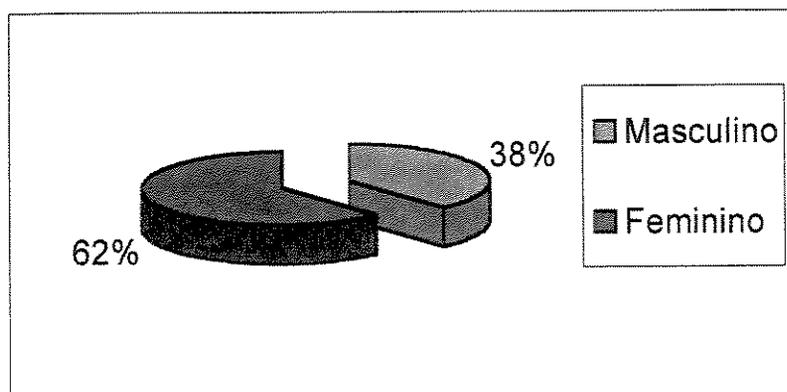


Gráfico 1. Distribuição de sexo dos doentes estudados

A faixa etária foi fixada em décadas, tendo o doente mais jovem a idade de 36 anos e o mais idoso 74 anos. Na faixa de 30 a 40 anos, foram estudados dois doentes; na faixa 41 a 50 anos, oito doentes; na faixa de 51 a 60 anos, seis doentes; na faixa de 61 a 70 anos, oito doentes; e, na faixa de 71 a 80 anos, dois doentes (Gráfico 2).

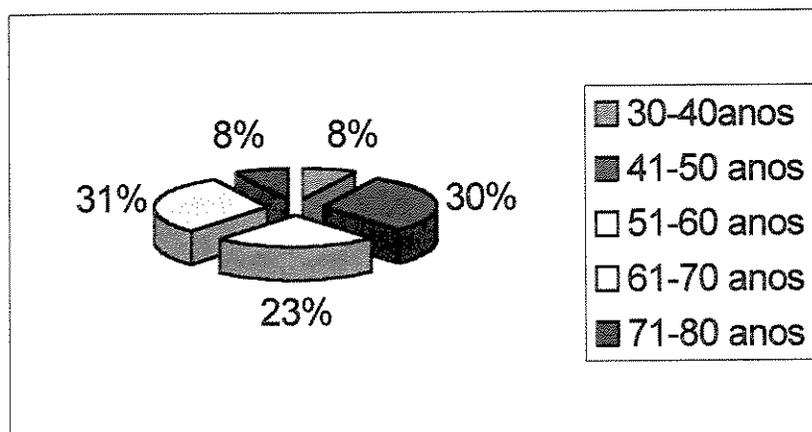


Gráfico 2. Distribuição da faixa etária dos doentes estudados

Os antecedentes clínicos eram: 18 doentes com hipertensão arterial, 11 doentes com diabetes e sete doentes com aterosclerose periférica, não havendo identificação de antecedente de reação alérgica a contraste iodado (Gráfico 3).

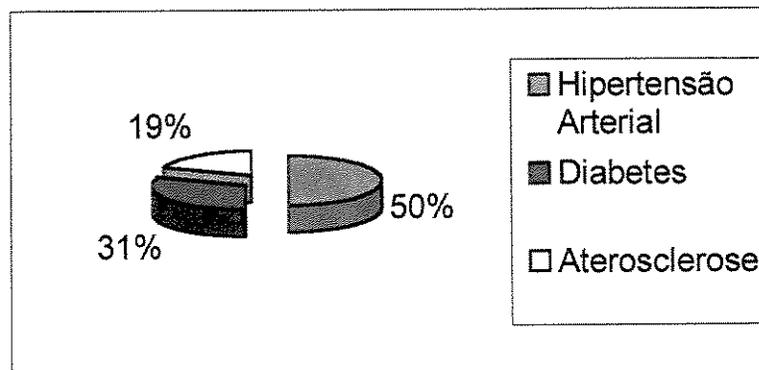


Gráfico 3. Distribuição das patologias dos doentes estudados

Desse grupo de doentes, foram estudados 22 membros superiores – sendo oito membros superiores direitos e 14 esquerdos – e cinco membros inferiores – sendo um membro inferior direito e quatro esquerdos (Gráfico 4).

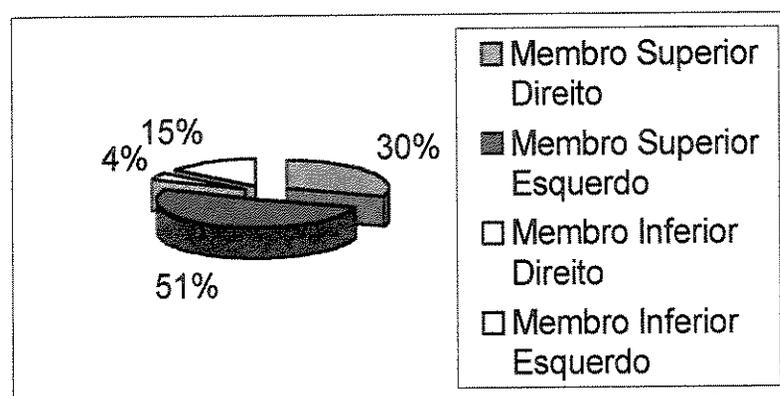


Gráfico 4. Distribuição de localização das fistulas arteriovenosas

Foram estudadas oito fistulas arteriovenosas radio-cefálicas, seis braquio-medianas, quatro braquio-basilica, três braquio-cefálicas, quatro alças femorais com PTFE e uma alça femoral com safena (Gráfico 5).

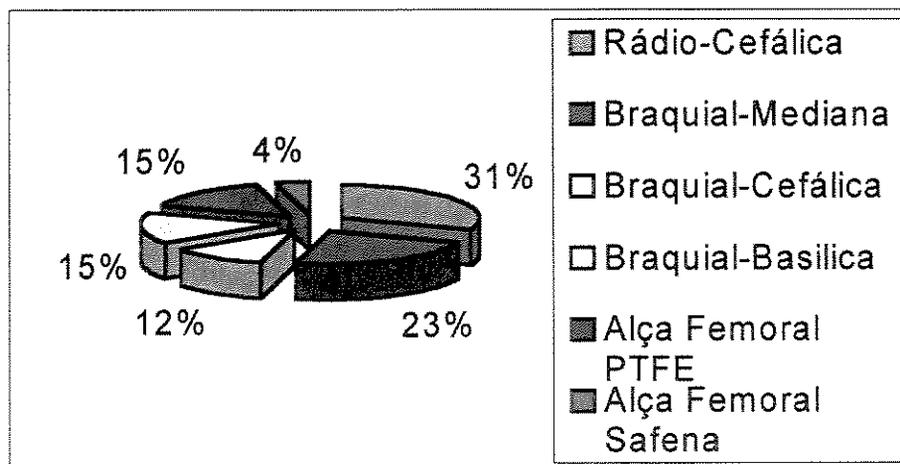


Gráfico 5. Distribuição dos tipos de fistulas arteriovenosas

4.2. EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS

O método utilizado consiste na cateterização seletiva do vaso sob anestesia local (técnica de Seldinger), pela artéria femoral ou artéria braquial, e progressão do cateter até próximo da FAV, utilizando-se de cateter multiuso 5F.

A angiografia foi realizada em um aparelho GE, LUA, com subtração de imagem de alta resolução (Figura 9).

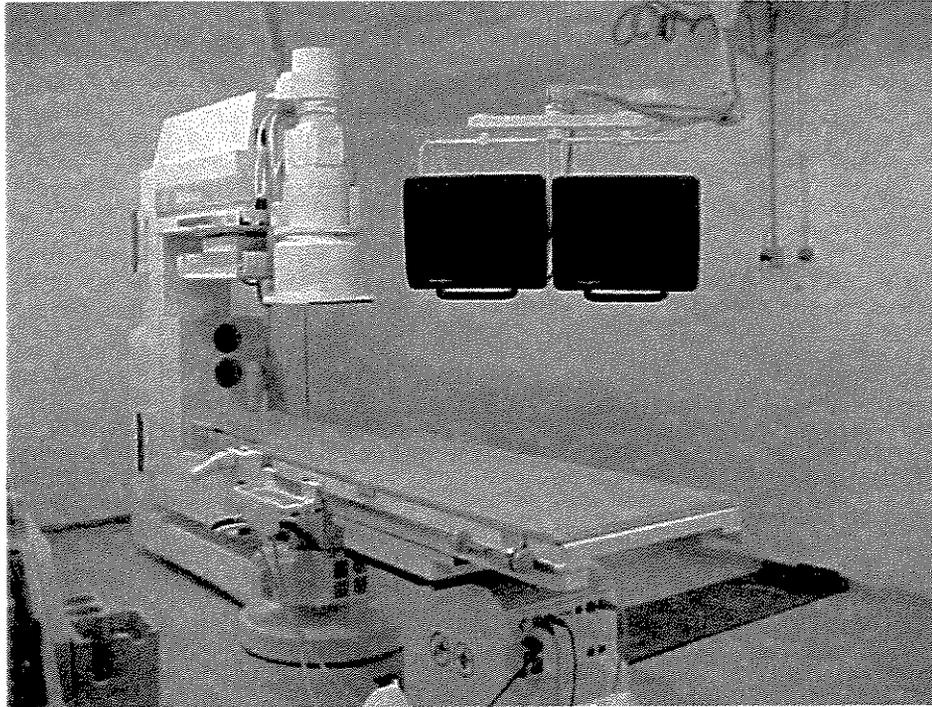


Fig. 9. Foto do aparelho de Angiografia LUA GE

Foram realizados estudos segmentares, iniciando-se pela artéria e progredindo distalmente até o segmento venoso. Isso foi necessário porque o campo de visão do equipamento é de 12 polegadas. A primeira série do estudo foi realizada com contraste iodado a um volume de 10 ml a cada injeção, utilizando seringa de plástico de 10ml, de forma manual. A exposição aos raios X foi feita com 2,5 fframes/segundo – a cada segundo o doente era exposto a 2,5 raios.

A segunda série foi realizada com gás carbônico: foi injetado um volume de 10 ml, de forma manual, utilizando seringa plástica de 10ml, sendo o gás aspirado sob pressão através de uma extensão de borracha conectada ao cilindro de gás carbônico. A exposição aos raios X foi feita com 7,0 fframes por segundo.

A aquisição de imagens no sistema digital foi realizada através de computadores. Durante a execução do exame, quando injetada a solução de contraste e feita a exposição aos raios X, essas imagens geradas são armazenadas e, na seqüência, inicia-se o processo digital, no qual as imagens adquiridas são transmitidas de forma dinâmica a um monitor que as seleciona (Figura 10). No monitor, realiza-se a subtração das estruturas indesejadas, restando apenas os vasos contrastados ou demais estruturas que podem ser interessantes ao estudo. Outros recursos podem ser utilizados para aprimorar a qualidade, como, por exemplo, o contraste do vaso pode ser visualizado na forma negra ou branca (negativa ou positiva). Quando é usado o gás carbônico como meio de contraste, esse material tende a se separar em varias bolhas. Porém, utiliza-se a integração das imagens para corrigir essa situação – agrupar em uma única coluna de contraste.

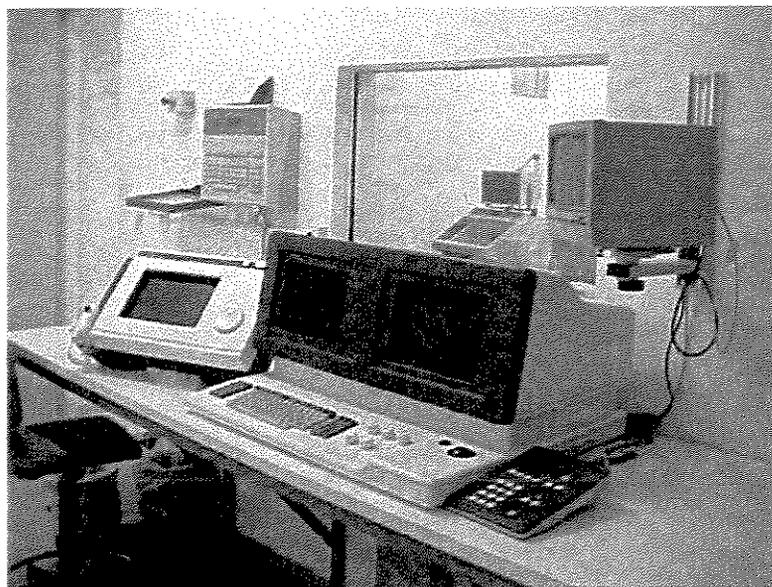


Fig. 10. Foto da mesa de comando do aparelho de angiografia

Após o preparo das imagens, elas são impressas em filme radiológico, apresentando as duas seqüências – com contraste iodado e com gás carbônico – em um mesmo filme. Utiliza-se, então, uma processadora a *laser* da empresa 3M (Figura 11), e depois é revelado esse filme em reveladora automática Macrotec (Figura 12).

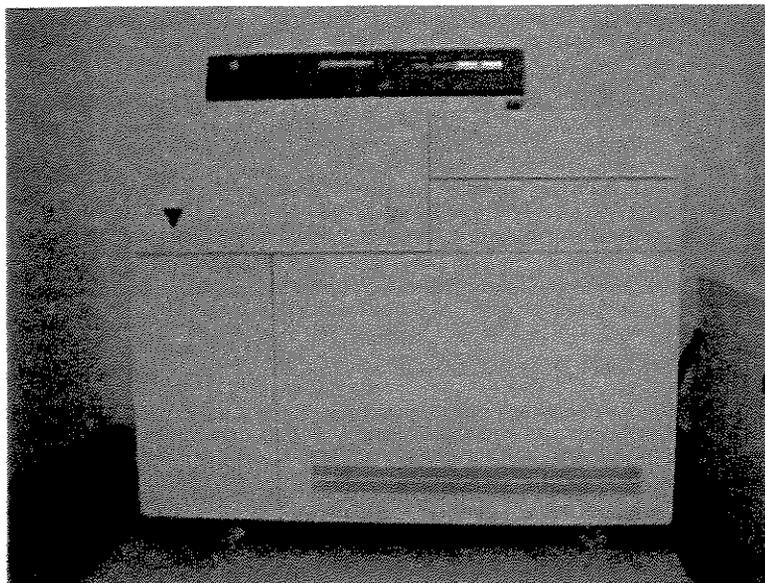


Fig. 11. Foto da processadora a *laser* 3M



Fig. 12. Foto da imagem angiográfica final (A - imagem utilizando iodo como meio de contraste; B - imagem utilizando gás carbônico como meio de contraste).

Após a impressão das imagens em películas, são realizadas as medidas no segmento arterial e venoso, tanto na imagem contrastada com iodo como na imagem com gás carbônico, sendo utilizada a unidade de medida metro, com aparelho paquímetro marca Marberg (Figura 13).

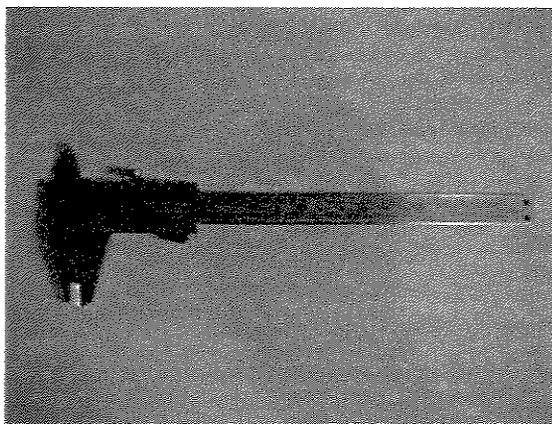


Fig. 13. Foto do paquímetro marca Marberg

4.3. AVALIAÇÃO

As imagens obtidas foram impressas em filmes radiológicos, enumeradas de 1 a 26 para identificar cada doente do estudo e entregues a dois médicos-cirurgiões vasculares e angiografistas experientes na área para analisarem três aspectos do estudo: opacificação (grau de enegrecimento das imagens), diagnóstico radiológico (observação de dilatações, estenoses e/ou oclusões) e calibre dos vasos (observação da morfologia, [Ana Silvi]comparando, através da opacificação dos vasos, se eles apresentam o mesmo desenho). A avaliação individual da imagem de cada doente foi feita através de um formulário entregue a cada médico, onde os itens acima descritos vinham seguidos de quatro alternativas – ótimo, bom, regular e péssimo –, conforme a interpretação de cada um.

Foram realizadas medidas nas artérias e nas veias, analisadas pelo próprio autor, utilizando como meios de contraste o iodo e o gás carbônico.

Na admissão dos doentes, foram tomadas medidas de frequência respiratória de cada um, antes da entrada na sala de exame e após o término do exame, e anotadas em uma ficha individual, seguindo a mesma numeração de 1 a 26.

4.4. MÉTODO ESTATÍSTICO

O estudo estatístico das medidas obtidas na artéria e na veia, quando foram utilizados iodo e gás carbônico como meios de contraste, foi realizado através da análise descritiva de medidas de posição e dispersão das variáveis. Foi utilizado, ainda, o teste t-pareado [Ana Silvi2] para comparação das medidas avaliadas nos dois momentos. E, para verificar a concordância entre as duas medidas contínuas, foi utilizada a análise de regressão linear.

Para o estudo estatístico das medidas da frequência respiratória, antes e após a injeção de contraste, realizamos análise descritiva através de medidas de posição e dispersão das variáveis nos dois segmentos.

Para verificar a concordância entre as avaliações dos dois profissionais, foi utilizado o coeficiente Kappa. A interpretação da magnitude desse coeficiente é definida como: valores maiores ou iguais a 0.75 indicam excelente concordância, valores entre 0.75 e 0.40 indicam boa concordância, e valores menores ou iguais a 0.40 não indicam concordância.

O nível de significância adotado foi de 5%, sendo esse valor aleatório e usual – quanto menor esse percentual, mais rigoroso é o nível de significância.



5. RESULTADOS

Os resultados obtidos com a análise das medidas do diâmetro dos vasos obtidos foram os seguintes:

O estudo arteriográfico com a utilização de contraste iodado mostrou que a variação de calibre na artéria foi de 1,0 mm a 4,0 mm, tendo uma média de 2,8 mm.

O estudo arteriográfico com a utilização de contraste iodado mostrou que a variação de calibre na veia foi de 1,5 mm a 8,0 mm, tendo uma média de 4,2 mm.

O estudo arteriográfico com a utilização de gás carbônico como meio de contraste mostrou que a variação de calibre na artéria foi de 1,0 mm a 4,0 mm, tendo uma média de 2,7 mm.

O estudo arteriográfico com a utilização de gás carbônico como meio de contraste mostrou que a variação de calibre na veia foi de 1,5 mm a 7,5 mm, tendo uma média de 4,0 mm.

Estão apresentados na Tabela 3 os casos enumerados de 1 a 26 e as medidas obtidas na artéria e na veia utilizando o contraste iodado, bem como as medidas obtidas na artéria e na veia utilizando como contraste o gás carbônico.

Tabela 3. Medidas obtidas na artéria e na veia utilizando iodo e gás carbônico como meios de contraste

Casos nº	Contraste iodado		Gás carbônico	
	Artéria (mm.)	Veia (mm.)	Artéria (mm.)	Veia (mm.)
01	2,5	3,5	2,0	3,0
02	3,5	6,5	3,5	6,5
03	4,0	8,0	3,0	7,0
04	3,0	5,0	3,0	5,0
05	2,0	4,0	2,0	4,0
06	2,5	4,5	2,0	4,0
07	2,0	3,0	2,0	3,0
08	4,0	3,5	4,0	3,5
09	3,0	3,5	3,0	3,5
10	2,5	4,0	2,5	3,5
11	2,0	3,0	2,0	2,5
12	2,5	4,5	2,5	4,5
13	1,0	1,5	1,0	1,5
14	2,0	3,5	2,0	3,0
15	3,5	7,5	3,5	7,5
16	2,5	2,5	2,0	2,0
17	2,5	5,0	2,5	5,0
18	4,0	7,0	3,5	6,5
19	2,5	5,0	2,5	5,0
20	2,5	2,0	2,5	2,0
21	2,5	2,5	2,5	2,0
22	3,0	3,0	3,0	3,0
23	3,0	2,5	2,5	2,5
24	3,5	7,5	3,5	7,5
25	3,0	3,0	3,0	3,0
26	3,5	4,5	3,5	4,5

As medidas de posição e dispersão das variáveis utilizadas pelos dois métodos não apresentaram diferença significativa, quando se mediu a artéria e a veia utilizando como meios de contraste o iodo e o gás carbônico (Tabela 4).

Tabela 4. Medida de posição e dispersão na artéria e na veia utilizando iodo e gás carbônico como meios de contraste

Variável	N	Média	Desvio padrão	Mínima	Mediana	Máxima
ART IOD	26	2.8	0.7	1.0	2.5	4.0
ART GC	26	2.7	0.7	1.0	2.5	4.0
VEIA IOD	26	4.2	1.8	1.5	3.8	8.0
VEIA GC	26	4.7	1.8	1.5	3.8	7.5

ART IOD = Artéria com iodo como meio de contraste

ART GC = Artéria com gás carbônico como meio de contraste

VEIA IOD = Veia com iodo como meio de contraste

VEIA GC = Veia com gás carbônico como meio de contrast

Na análise de regressão linear para medida da artéria pelos dois métodos, com contraste iodado e gás carbônico, observa-se que houve concordância entre os métodos, sendo p-valor de 0,3657 (Gráfico 6).

Na análise de regressão linear para medida da veia pelos dois métodos, com contraste iodado e gás carbônico, observa-se que houve concordância entre os métodos, sendo p-valor de 0,2041 (Gráfico 7).

O Gráfico 8 mostra o resultado comparativo das medidas obtidas na artéria e na veia, utilizando iodo e gás carbônico como meios de contraste, o que evidencia uma boa correlação das medidas.

Tabela 5. Resultado da análise de regressão linear para medida da artéria nos dois métodos – segundo o modelo: artéria (contraste iodado) = a+b*artéria (gás carbônico)

Variável	DF	Parâmetro estimado	Erro padrão	t	p-valor
Intercepto	1	0.199903	0.21585	0.92	0.3657
ART GC	1	0.97882	0.07882	12.38	<.0001

R2 do modelo = 0.8646 (r = 0.930)

ART GC = Artéria com gás carbônico como meio de contraste

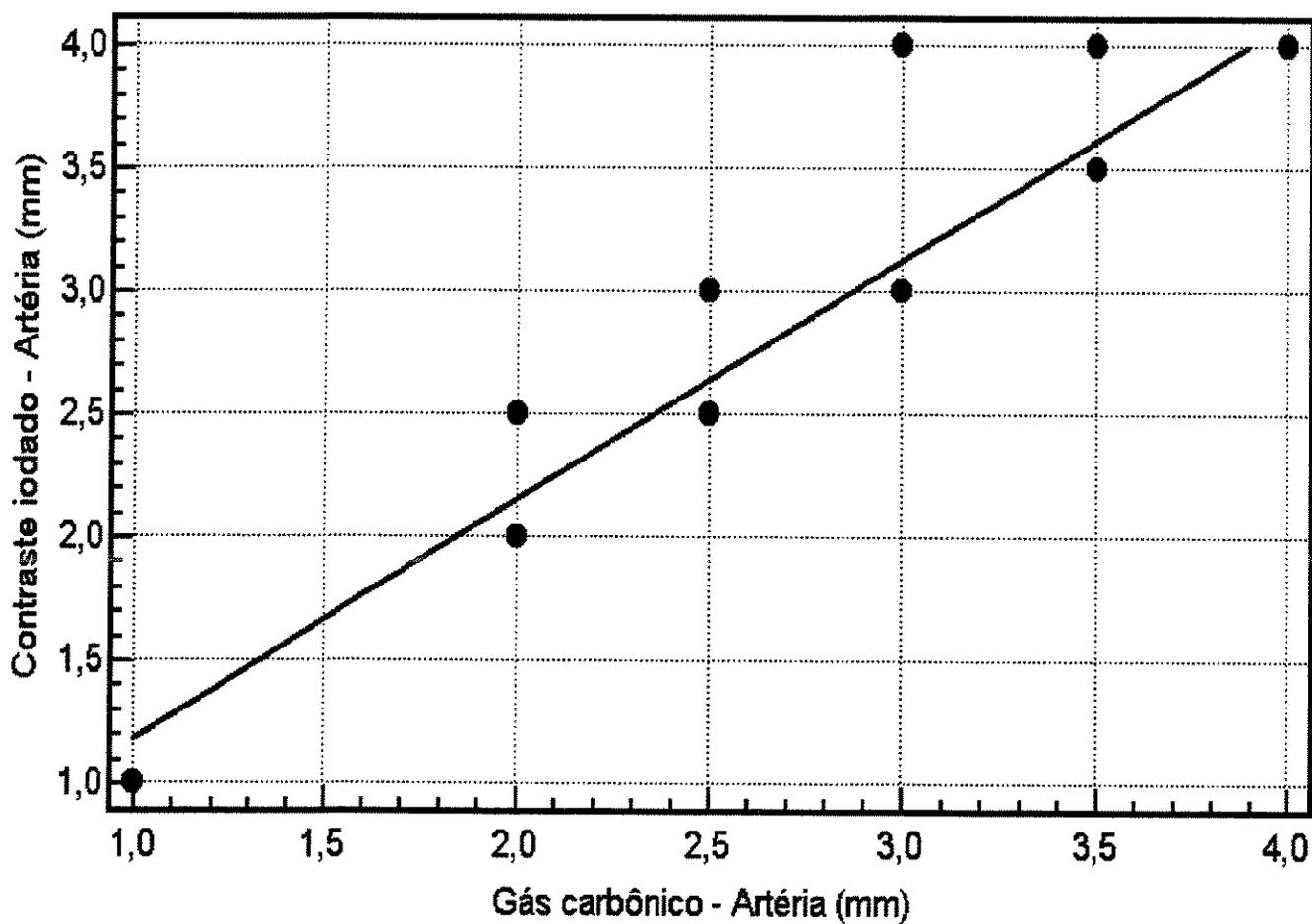


Gráfico 6. Dispersão das medidas encontradas na artéria utilizando iodo e gás carbônico como meios de contraste

Tabela 6. Resultado da análise de regressão linear para medida da veia nos dois métodos – segundo o modelo: $\text{veia (contraste iodado)} = a+b*\text{veia (gás carbônico)}$

Variável	DF	Parâmetro estimado	Erro padrão	t	p-valor
Intercepto (a)	1	0.18932	0.14503	1.31	0.2041
VEIA GC (b)	1	1.00074	0.03301	30.32	<.0001

R2 do modelo = 0.9746 (r = 0.987)

VEIA GC = Veia com gás carbônico como meio de contraste

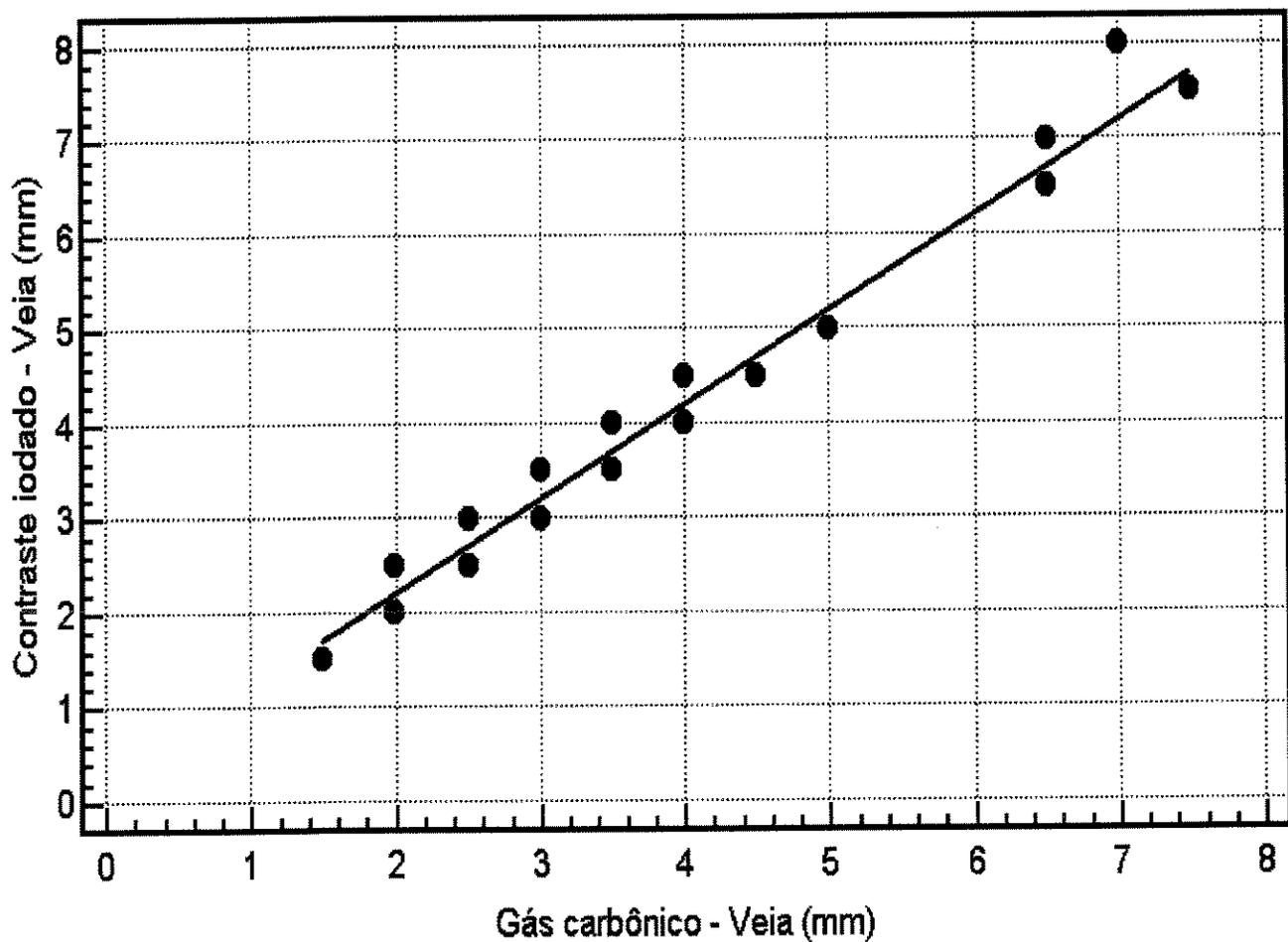


Gráfico 7. Dispersão das medidas encontradas na veia utilizando iodo e gás carbônico como meios de contraste

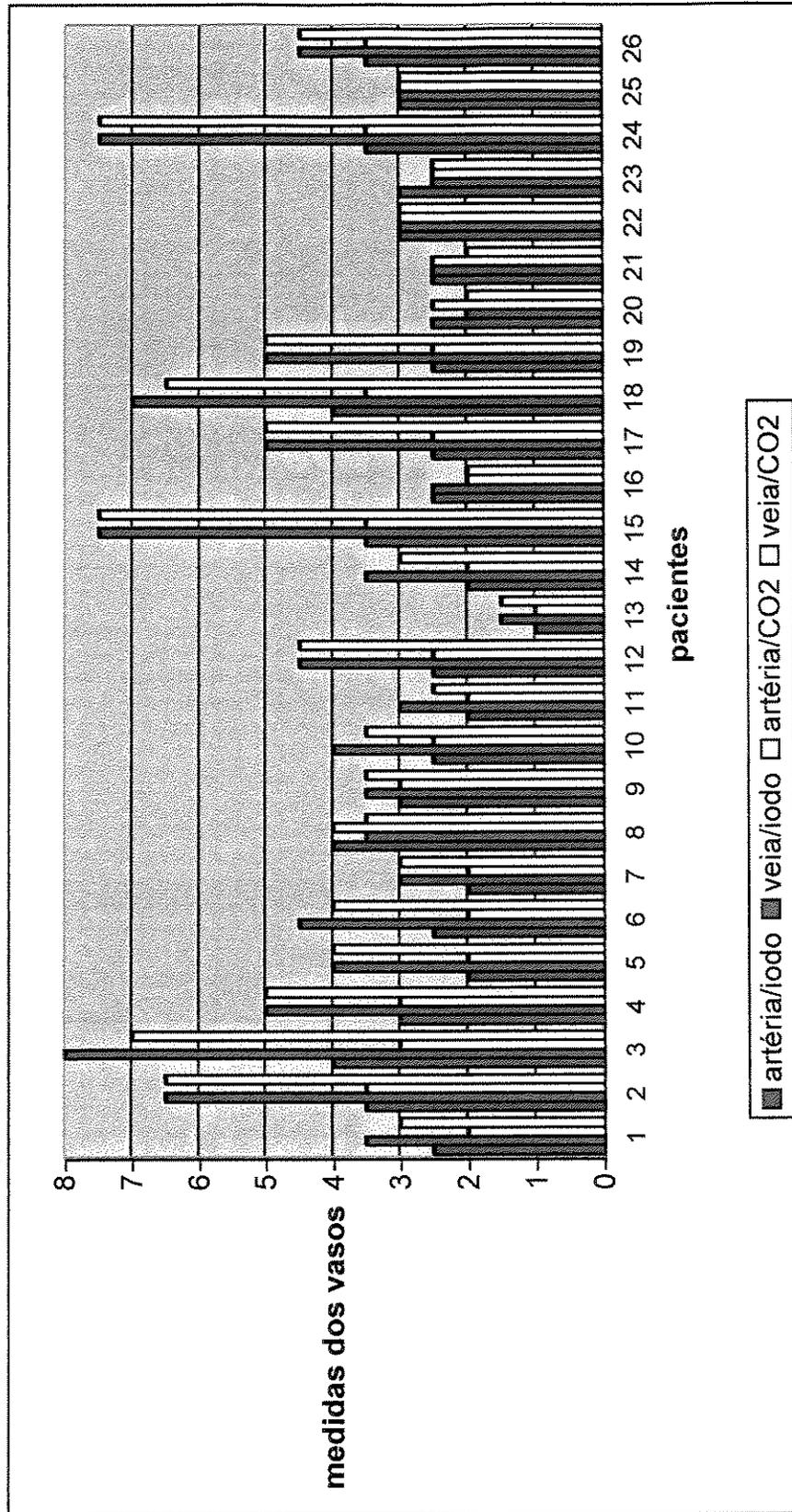


Gráfico 8. Medida na artéria e na veia utilizando iodo e gás carbônico como meios de contraste

Foram analisados os dados vitais que pudessem sofrer alterações em função do material utilizado para a execução do procedimento. Visto que o gás carbônico é eliminado pelas vias respiratórias, mensuramos a frequência respiratória (F.R.) antes e depois da injeção de contraste (Tabela 7).

Tabela 7. Análise da frequência respiratória antes e após a realização do estudo

Doentes	F.R. (mov./min.)	F.R. (mov./min.)
	Pré-contraste	Pós-contraste
01	14	16
02	16	15
03	18	17
04	20	14
05	14	18
06	17	19
07	16	12
08	18	19
09	20	25
10	15	17
11	16	17
12	15	15
13	17	18
14	14	16
15	18	20
16	16	17
17	19	20
18	20	19
19	18	19
20	18	20
21	16	18
22	17	17
23	15	14
24	17	16
25	18	20
26	18	19

F.R.- Frequência respiratória

Mov./min.- Movimentos por minuto

A análise de medidas de posição e dispersão da frequência respiratória antes e depois da realização do exame não apresentou diferença significativa das medidas obtidas, tendo um valor mínimo de 14 mov./min. e máximo de 20 mov./min. na fase pré-exame, e um valor mínimo de 12 mov./min. e máximo de 25 mov./min. na fase pós-exame (Tabela 8).

Tabela 8. Medida de posição e dispersão da frequência respiratória antes e após a realização do estudo

Variável	N	Média	Desvio padrão	Mínima	Mediana	Máxima	p-valor*
FR PRE	26	16.9		14.0	17.0	20.0	
FR POS	26	17.6		12.0	17.5	25.0	0.1498

* teste t-pareado

FR PRE = Frequência respiratória pré-estudo

FR POS = Frequência respiratória pós-estudo

O Gráfico 9 mostra uma análise comparativa da frequência respiratória antes e após a realização do estudo, evidenciando que não houve variação significativa.

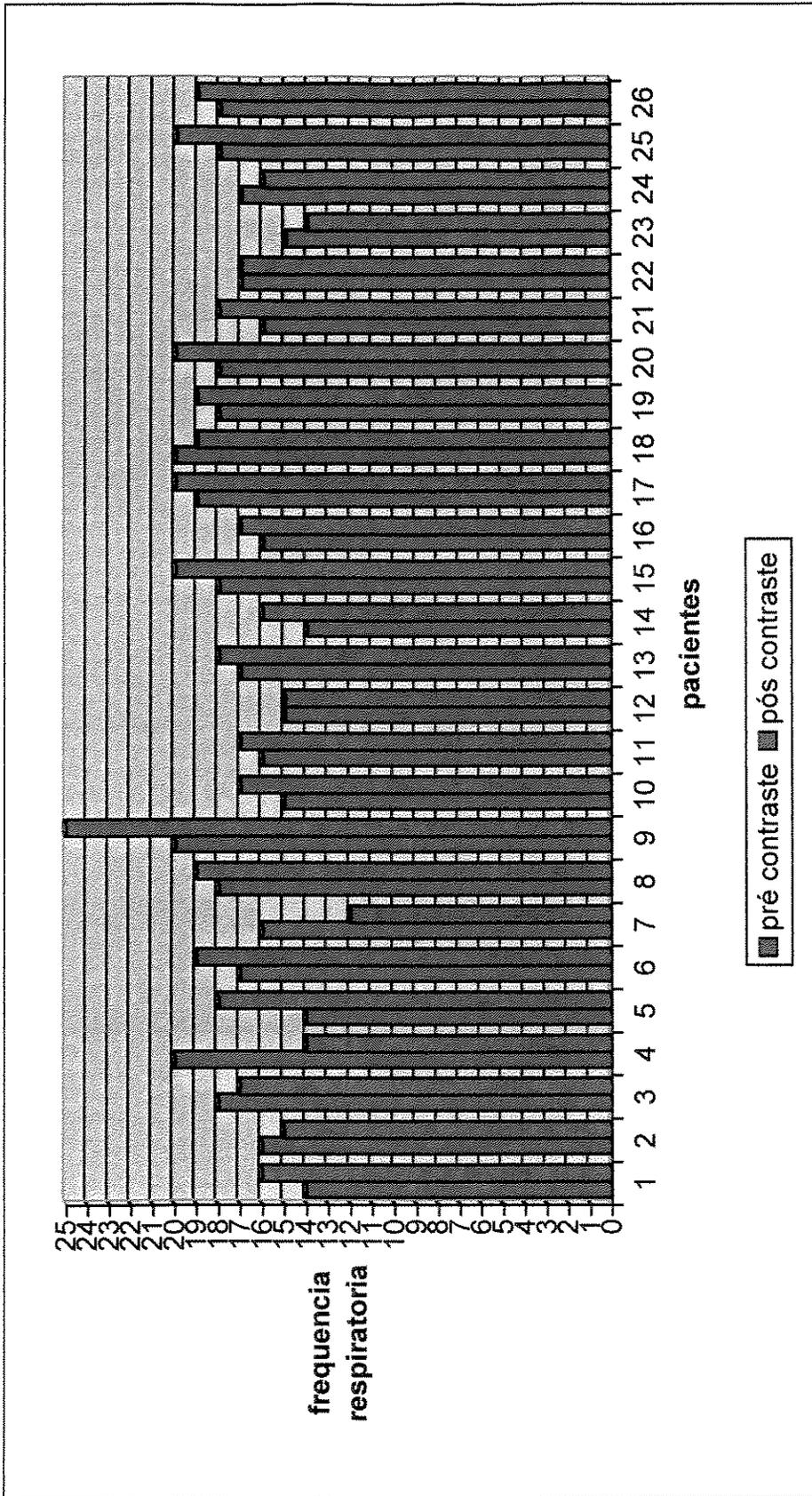


Gráfico 9. Análise da frequência respiratória antes e após o estudo.

Na segunda etapa de apreciação do estudo, cujas imagens obtidas foram analisadas por dois cirurgiões vasculares e angiografistas, foram definidos três parâmetros, tendo como “padrão ouro” as imagens obtidas com a utilização de contraste iodado. Os parâmetros em questão são:

- Opacificação (qualidade de enegrecimento das imagens)
- Diagnóstico radiológico (verificar se existem estenoses, dilatações e/ou oclusões)
- Análise de calibre dos vasos (comparar as veias e artérias nos dois métodos)

Esses três parâmetros foram mensurados em quatro valores:

- Ótimo
- Bom
- Regular
- Péssimo

Esse método foi utilizado por profissionais experientes e atuantes na área, independentes do estudo, para os quais foi entregue uma ficha numerada de cada doente, com os caracteres descritos acima, e os filmes radiológicos também enumerados de 1 a 26. Eles realizaram análise individualizada, entregue ao autor do estudo (Tabela 9).

Tabela 9. Análise comparativa quanto a opacificação, diagnóstico radiológico e análise de calibre dos vasos realizada pelos dois médicos.

CASOS	M1 Op	M2 Op	M1 Ra	M2 Ra	M1 C	M2 C
1	B	R	O	B	B	B
2	B	B	O	B	O	B
3	O	O	O	O	B	O
4	B	O	B	B	B	B
5	B	O	O	O	O	O
6	B	B	B	B	B	B
7	O	B	O	O	B	O
8	O	O	O	O	O	O
9	B	O	O	O	O	O
10	O	O	O	O	O	O
11	O	O	O	O	O	O
12	B	O	B	O	B	O
13	B	B	R	B	R	B
14	B	O	B	B	R	B
15	O	O	O	O	O	O
16	R	R	R	R	R	R
17	O	O	O	O	O	O
18	B	B	B	B	B	B
19	O	B	O	B	O	B
20	O	B	B	B	B	R
21	B	R	B	B	B	B
22	O	O	O	O	O	O
23	B	R	O	B	O	B
24	O	O	O	O	O	O
25	O	O	O	O	O	O
26	O	B	O	B	O	B

M1 - Médico angiografista nº 1

M2 - Médico angiografista nº 2 Op - Opacificação Ra - Diagnóstico Radiológico

C - Análise de Calibre

O - Ótimo

B - Bom

R - Regular

O primeiro parâmetro analisado pelo médico-cirurgião vascular e angiografista, designado como M1, foi a opacificação dos vasos, utilizando gás carbônico como meio de contraste. Foi obtida, em 13 doentes, ótima qualidade (50%); em 12 doentes, boa qualidade (46%); e, em um doente, regular qualidade (4%). Não foi observado nenhum caso de péssima qualidade, sendo sempre feita comparação com o “padrão ouro”, ou seja, o contraste iodado (Gráfico 10).

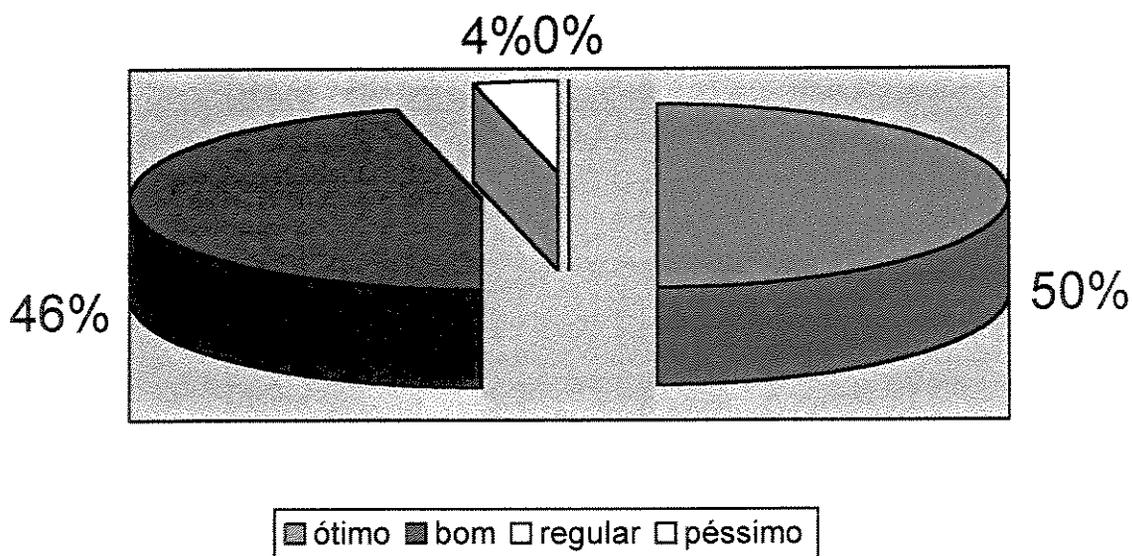


Gráfico 10. Análise quanto à opacificação realizada pelo médico 1

O segundo parâmetro analisado pelo médico 1 foi quanto ao diagnóstico radiológico, utilizando gás carbônico como meio de contraste. Foi obtida, em 17 doentes, ótima qualidade (65%); em sete doentes, boa qualidade (27%); e, em dois doentes, regular qualidade (8%). Não foi observado nenhum caso de péssima qualidade, sendo sempre feita comparação com o “padrão ouro”, ou seja, o contraste iodado (Gráfico 11).

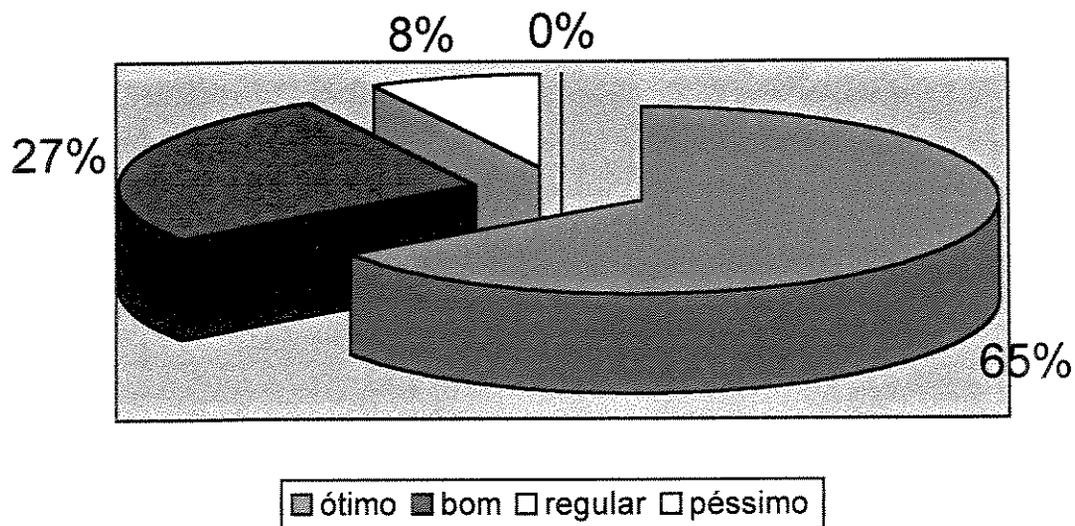


Gráfico 11. Análise quanto ao diagnóstico radiológico realizada pelo médico 1

O terceiro parâmetro analisado pelo médico 1 foi quanto à análise de calibre dos vasos, utilizando como meio de contraste o gás carbônico. Foi obtida, em 14 doentes, ótima qualidade (53%); em nove doentes, boa qualidade (35%); e, em três doentes, regular qualidade (12%). Não foi observado nenhum caso de péssima qualidade, sendo sempre feita comparação com o “padrão ouro”, ou seja, o contraste iodado (Gráfico 12).

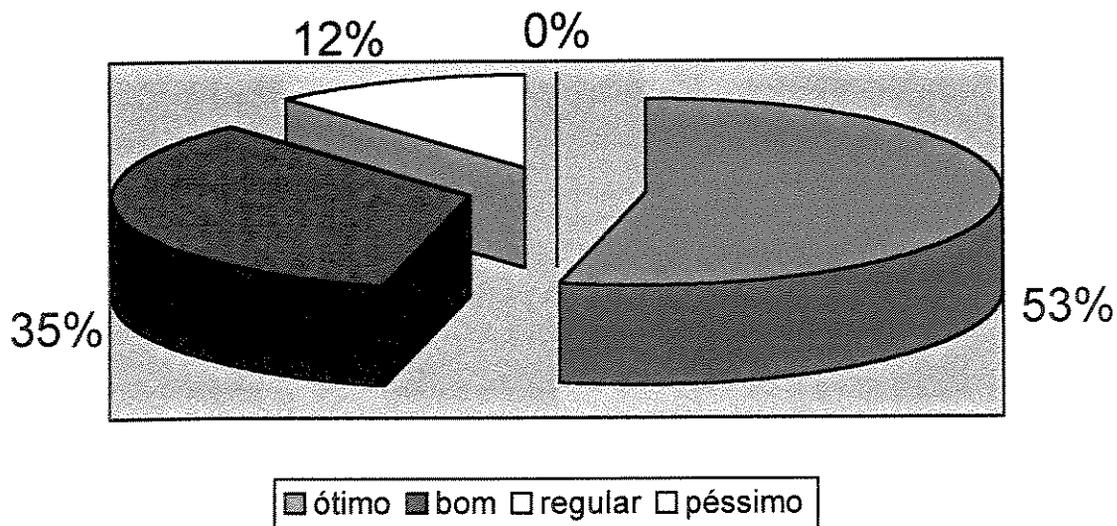


Gráfico 12. Análise quanto ao calibre dos vasos realizada pelo médico 1

O primeiro parâmetro analisado pelo médico-cirurgião vascular e angiografista designado como M2 foi a opacificação dos vasos, utilizando gás carbônico como meio de contraste. Foi obtida, em 14 doentes, ótima qualidade (54%); em oito doentes, boa qualidade (31%); e, em quatro doentes, regular qualidade (15%). Não foi observado nenhum caso de péssima qualidade, sendo sempre feita comparação com o “padrão ouro”, ou seja, o contraste iodado (Gráfico13).

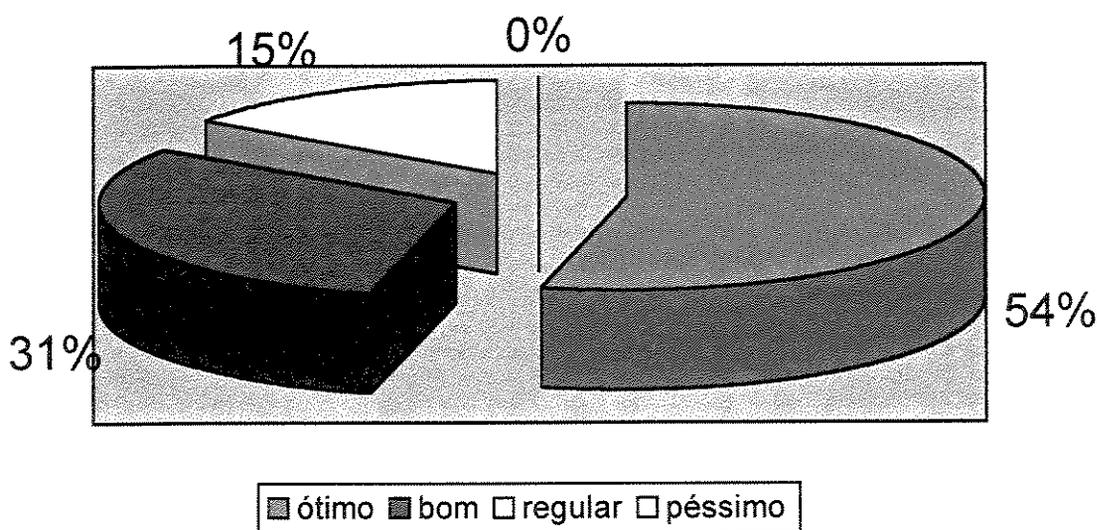


Gráfico 13. Análise quanto à opacificação realizada pelo médico 2

O segundo parâmetro analisado pelo médico 2 foi quanto ao diagnóstico radiológico, utilizando gás carbônico como meio de contraste. Foi obtida, em 13 doentes, ótima qualidade (50%); em 12 doentes, boa qualidade (46%); e, em um doente, regular qualidade (4%). Não foi observado nenhum caso de péssima qualidade, sendo sempre feita comparação com o “padrão ouro”, ou seja, o contraste iodado (Gráfico 14).

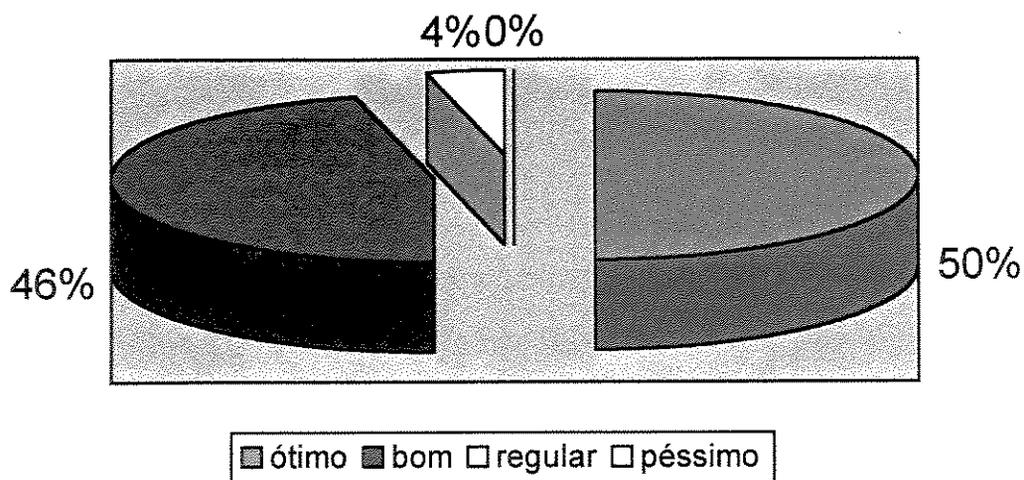


Gráfico 14. Análise quanto ao diagnóstico radiológico realizada pelo médico 2

O terceiro parâmetro analisado pelo médico 2 foi quanto à análise de calibre dos vasos, utilizando como meio de contraste o gás carbônico. Foi obtida, em 13 doentes, ótima qualidade (50%); em 11 doentes, boa qualidade (42%); e, em dois doentes, regular qualidade (8%). Não foi observado nenhum caso de péssima qualidade, sendo sempre feita comparação com o “padrão ouro”, ou seja, o contraste iodado (Gráfico 15).

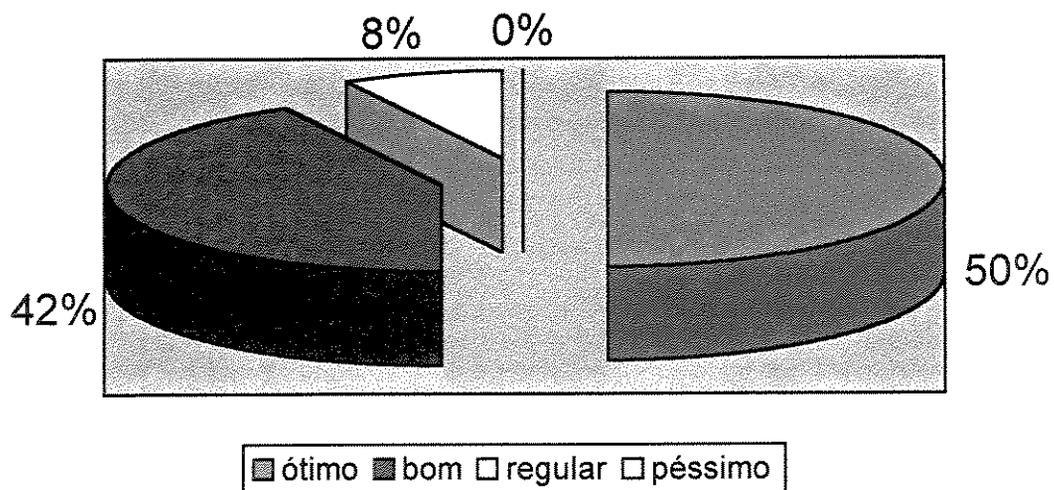


Gráfico 15. Análise quanto ao calibre dos vasos realizada pelo médico 2

A análise de concordância quanto à opacificação pelos dois médicos angiografistas, utilizando o coeficiente Kappa ponderado, não indicou concordância entre os dois (Tabela 10).

Tabela 10. Análise de concordância entre os dois médicos quanto à avaliação da opacificação

<i>Frequency</i>					
<i>Percent</i>					
	O	B	R	P	Total
O	09.00	04.00	00.00	00.00	13
	34.62	15.38	00.00	00.00	50.00
B	05.00	04.00	03.00	00.00	12
	19.23	15.38	11.54	00.00	46.15
R	00.00	00.00	01.00	00.00	01
	00.00	00.00	03.85	00.00	03.85
P	00.00	00.00	00.00	00.00	00
	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
Total	14	08	04	00	26
	53.85	30.77	15.38	00.00	100.00

Frequency = Frequência

Coeficiente Kappa ponderado = 0.3217

Percent = Percentual geral

M1 – Médico angiografista 1

O – Ótimo

M2 – Médico angiografista 2

B – Bom

Op – Opacificação

R – Regular

P – Péssimo

A análise de concordância quanto ao diagnóstico radiológico pelos dois médicos angiografistas, utilizando o coeficiente Kappa ponderado, indicou boa concordância entre os dois (Tabela 11).

Tabela 11. Análise de concordância entre os dois médicos quanto à avaliação do diagnóstico radiológico

<i>Frequency</i>					
<i>Percent</i>					
	O	B	R	P	Total
O	12.00	05.00	00.00	00.00	17
	46.15	19.23	00.00	00.00	65.38
B	01.00	06.00	00.00	00.00	07
	03.85	23.08	00.00	00.00	26.92
R	00.00	01.00	01.00	00.00	02
	00.00	03.85	03.85	00.00	07.69
P	00.00	00.00	00.00	00.00	00
	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
Total	13	12	01	00	26
	50.00	46.15	03.85	00.00	100.00

Frequency = Frequência

Coeficiente Kappa ponderado = 0.5583

Percent = Percentual geral

M1 – Médico angiografista 1

O - Ótimo

M2 – Médico angiografista 2

B – Bom

Ra – Diagnóstico radiológico

R - Regular

P - Péssimo

A análise de concordância quanto à análise de calibre dos vasos feita pelos dois médicos angiografistas, utilizando o coeficiente Kappa ponderado, indicou boa concordância entre os dois (Tabela 12).

Tabela 12. Análise de concordância entre os dois médicos quanto à avaliação do calibre dos vasos

<i>Frequency</i>						
<i>Percent</i>						
	O	B	R	P	Total	
O	10.00	04.00	00.00	00.00	14	
	38.46	15.38	00.00	00.00	53.85	
B	03.00	05.00	01.00	00.00	09	
	11.54	19.23	03.85	00.00	34.62	
R	00.00	02.00	01.00	00.00	03	
	00.00	07.69	03.85	00.00	11.54	
P	00.00	00.00	00.00	00.00	00	
	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	
Total	13	11	02	00	26	
	50.00	42.31	07.69	00.00	100.00	

Frequency = Frequência

Coeficiente Kappa ponderado = 0.4298

Percent = Percentual geral

M1 – Médico angiografista 1

O – Ótimo

M2 – Médico angiografista 2

B – Bom

C - Análise de calibre

R – Regular

P – Péssimo

Nas Tabelas 10, 11 e 12, apresentamos os resultados obtidos pelos dois médicos angiografistas (M1 e M2), comparando os resultados quanto a opacificação, diagnóstico radiológico e análise de calibre dos vasos (Gráficos 16, 17 e 18)

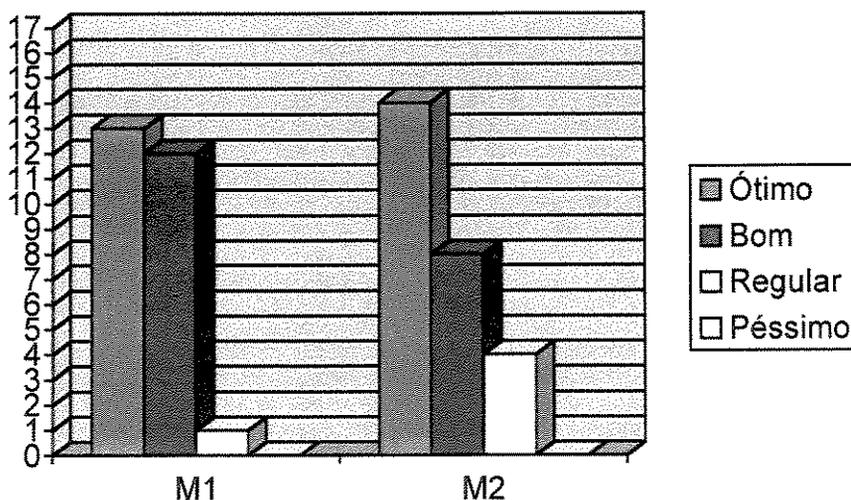


Gráfico 16. Análise comparativa quanto à opacificação realizada entre o médico 1 e o médico 2.

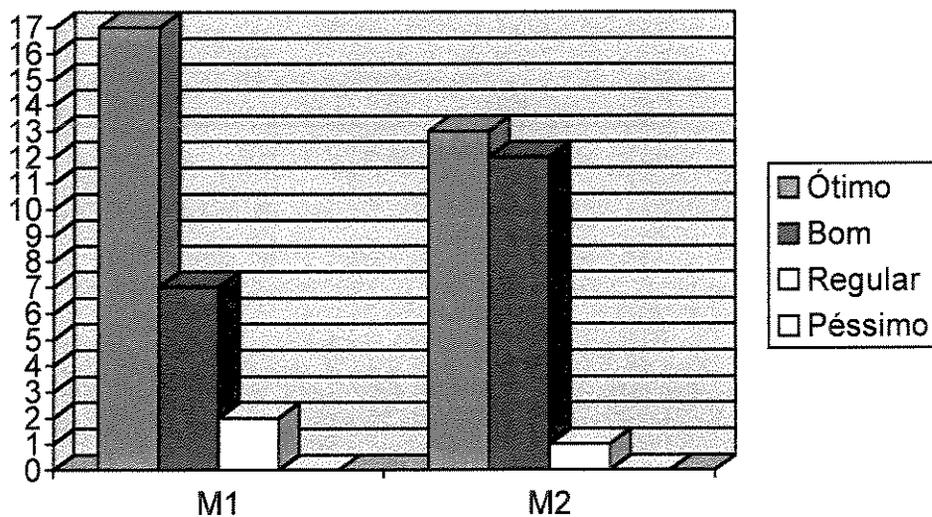


Gráfico 17. Análise comparativa quanto ao diagnóstico radiológico realizada entre o médico 1 e o médico 2

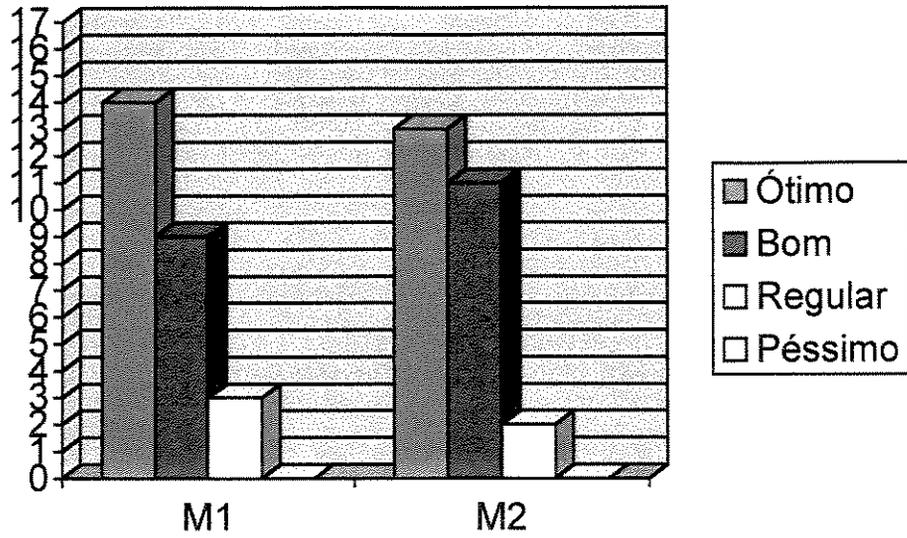


Gráfico 18. Análise comparativa quanto ao calibre dos vasos realizada entre o médico 1 e o médico 2



6. DISCUSSÃO

A constante e necessária evolução da medicina leva à busca de novos métodos diagnósticos e terapêuticos, observados em cada momento da história. Os relatos da literatura apresentados neste estudo mostram que, nos dias de hoje, eles parecem procedimentos simples a partir do grande feito realizado, quando RÖENTGEN, em 1895, descobriu o raio X, ou de quando, em 1929, FORSSMAN introduziu uma sonda em uma veia de seu braço, fazendo-a progredir até seu átrio direito, mapeando-a com raios X (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995).

A angiografia periférica iniciou-se em 1896 com HAESCHEK e LINDENTHAL, evoluindo com EGAS MONIZ e REINALDO DOS SANTOS, sendo um procedimento invasivo e apresentando complicações decorrentes da via de acesso e do meio de contraste usado (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995).

SELDINGER descreve sua técnica de cateterismo seletivo em 1953, seguido por estudos realizados por SONES e JUDKINS para cateterismo cardíaco. Essa evolução continua com DOTTER, que iniciou a angioplastia transluminal, apresentando posteriormente inovações técnicas a evolução dos cateteres, que, com seu reduzido diâmetro, diminuem as complicações (CARVAJAL, RUGILO e SHUSTER, 1995).

O material utilizado como meio de contraste passou a ter um desenvolvimento maior a partir de 1933, com SWICK e WALLINGFORD e o contraste à base de iodo. Em seguida, estudos de HOPP, LARSEN e LANGENECKER, em 1950, diminuem sua toxicidade. ALMAR, em 1960, diminuiu a osmolaridade desse meio de contraste, com o objetivo de minimizar a sensação dolorosa apresentada com sua infusão.

Porém, apesar de tal evolução, o método diagnóstico ainda apresenta restrições ao uso de iodo como meio de contraste em doentes com risco de lesão renal. A nefrotoxicidade com o uso de iodo varia de 0% a 27%, podendo essas taxas ser superiores, dependendo de lesão renal prévia (LARANJA e SCHOR, 1997; MURPHY, BARRETT e PARFREY, 2000; YOSHIDA, 2002).

Os antecedentes de atopia ao iodo também apresentam restrições ao uso dessa substância, como taxas que variam de 4% a 7%, aumentando para 38% quando o doente relata história de reação alérgica anterior (YUSUF, WHITAKER, HINDWOOD, HENDERSON, GREGSON, WENHAN, HOPKINSON e MAKIN, 1995; YOSHIDA, 2002).

A utilização do gás carbônico como meio de contraste tem como principais vantagens não apresentar reação alérgica e nem ser lesiva ao parênquima renal – fato discutido na grande maioria dos estudos realizados em doentes de alto risco à utilização de contraste iodado, em transplantes renais, doença reno-vascular, procedimentos intervencionistas em doentes de alto risco e fistulas arteriovenosas para hemodiálise (FRANKHOUSE, RYAN, PAPANICOLAOU, YELLIN e WEAVER, 1995; KUO, PERTENSEN, SEMBA, ALFREY e DAFOE, 1996; KRISS, COTTRILL e GURLEY, 1997; SPINOSA, MATSUMOTO, ANGLE, HAGSPIEL, MCGRAW, AYERS, KUMMER-KLOESS, KLOESS, MARIENHOFF, SCHURTZ, ZWAAN e WEISS, 1997; ZWAAN, STEINHOFF, FRICKE, KAGEL, LORCH e WEISS, 1997; BAIOCCHI, MENEZES, LUCCAS, 1998; BACK, CARIDI, HAWKINS e SEEGER, 1998; MORESCO, PATEL, NAMMYSLOWSKI, SHAH, JOHNSON e TREROTOLA, 1998; SPINOSA, ANGLE, HAGSPIEL, SCHENK e MATSUMOTO, 1998; BARBEY, FARBER, MARIENHOFF e GMELIN, 1999; CHRISTENSSON, 1999; BEESE, BEES, e BELLI, 2000; SPINOSA, ANGLE, HAGSPIEL, KERN, HARTEWLL e MATSUMOTO, 2000; GAHLEN, HANSMANN, SCHUMACHER, SEELOS, RICHTER e ALLENBERG, 2001).

A utilização do gás carbônico apresenta como limitação o efeito neurotóxico, porém os estudos realizados ainda não são conclusivos, limitando seu uso ao estudo dos troncos supra-aórticos. Essas reações adversas não foram objetivos deste estudo, visto que, quanto à nefrotoxicidade, os doentes que foram estudados já apresentavam doença renal, sendo submetidos à hemodiálise. E, quanto à reação alérgica, ela não foi constatada em nenhum doente. Neste estudo, quando a angiografia foi realizada nos membros superiores, o cateter era avançado além da artéria vertebral, de modo a se evitar que o gás carbônico pudesse progredir para o cérebro (DIMAKAKOS, STEFANOPOULOS, DOUFAS,

PAPASAVA, GOULIAMOS, MOURIKIS e DELIGIORGI, 1998; LINSTEDT, LINK, GRABENER KLOESS, 2000).

Para demonstrar a eficácia desse método, foram utilizados parâmetros que pudessem expressar os resultados obtidos, sendo que o resultado final utilizando gás carbônico como meio de contraste, comparado com o iodo, apresentou qualidade de imagem que o demonstrou ser um método alternativo no estudo angiográfico. Apresenta vantagens a seu uso não sendo nefrotóxico, não alérgico, de baixa viscosidade, permitindo que se utilize cateteres de diâmetro bem inferior aos utilizados na prática. Também é utilizado nos procedimentos intervencionistas, apresentando, ainda, mínimo desconforto e baixo custo. Porém, para se obter imagens de qualidade, há necessidade de equipamento adequado – angiografia digital com subtração de imagem, com programas que permitem trabalhar as imagens adquiridas (KERNS, HAWKINS e SABATELLI, 1995; KERNS e HAWKINS, 1995; HAWKINS e CARIDI, 1998).

Após a aquisição das imagens dos vasos em filme *laser*, utilizando como meio de contraste iodo e gás carbônico, foram realizadas medidas de seus diâmetros através do paquímetro, tendo como unidade de medida o metro. Para análise estatística, foram realizadas medidas de posição e dispersão das variáveis pelos dois métodos, não apresentando variações significativas nas medidas das artérias e das veias quando comparados os dois métodos. Foi também utilizada a regressão linear para comparar as medidas encontradas na artéria e na veia, na utilização das duas soluções de contraste, apresentando concordância das medidas apresentadas – com maior concordância quando foi analisado o segmento venoso. Com esses dois métodos estatísticos, observa-se neste estudo que os resultados encontrados ao se realizarem as medidas da artéria e da veia mostraram que o gás carbônico pode ser utilizado como meio de contraste alternativo.

Confrontando-se com dados da literatura, quando foi analisado o grau de estenose dos vasos com utilização de gás carbônico e contraste iodado, neste estudo foram obtidos resultados concordantes quanto à quantificação das estenoses. Porém, outros dois estudos – o primeiro realizado em um modelo aorto-íliaco, utilizando os dois métodos e realizando medidas nos segmentos –, encontraram resultados com diferença significativa

das medidas e – no segundo estudo, realizando implante de filtro de veia cava – obtiveram também variações de medidas significativas, mas sem apresentarem importância clínica no procedimento realizado.

Quando se realiza um procedimento intervencionista, torna-se necessário obter a medida dos vasos para implante das próteses desejadas, e, na maioria dos estudos, esses procedimentos foram realizados com sucesso utilizando o gás carbônico como meio de contraste (EHRMAN, TABER, GAYLORD, BROWN e HAGE, 1994; BLACK, LANG, KUSNICK, SIEBES, BARNHART e HOFFMAN, 1996; CARIDI, STAVROPOULOS e HAWKINS, 1999; MORESCO, PATEL, JOHNSON, TROBRIDGE, BERGAN e LALKA, 2000; SING, STACKHOUSE, JACOBS e HENIFORD, 2001; GAHLEN, HANSMANN, SCHUMACHER, SEELOS, RICHTER e ALLENBERG, 2001).

A segunda etapa do estudo consistiu da análise, por dois profissionais da área, das imagens obtidas. Eles a fizeram sob três aspectos: opacificação, diagnóstico radiológico e calibre dos vasos. A análise estatística utilizada para validar essa etapa do estudo foi verificar se existia concordância dos resultados entre os dois profissionais, utilizando o coeficiente de Kappa – sendo esse coeficiente de excelente concordância quando se apresentavam resultados maiores ou iguais a 0,75; de boa concordância com valores entre 0,75 e 0,4; e de nula concordância com valores inferiores a 0,4.

O primeiro tópico da avaliação do estudo foi a opacificação dos vasos, isto é, o grau de enegrecimento das imagens. Obteve-se nessa etapa o coeficiente ponderado de Kappa de 0,3217, indicando que não houve concordância entre os dois profissionais. Porém, quando foram comparados os resultados obtidos no Gráfico 10, apresentavam-se 25 doentes entre ótimo e bom (96%) e um doente regular (4%), e, no Gráfico 13, apresentavam-se 22 doentes entre ótimo e bom (85%) e quatro doentes em regular (15%), sendo esses valores reais apresentados lado a lado no Gráfico 16. Com base nesses dados, e apesar de não apresentar concordância pelo índice de Kappa, já que a análise foi subjetiva e dependente da análise visual da escala de cinza observada por cada profissional, esses valores mostraram que houve um resultado significativo em percentuais entre ótimo e bom quando comparados com o “padrão ouro” do estudo.

Dados encontrados na literatura relativos à comparação de arteriografia utilizando gás carbônico como meio de contraste, tendo como “padrão ouro” o contraste iodado e que quantificaram a qualidade de imagem, apresentam variações de qualidade de imagens, dependendo do segmento estudado. Quando as angiografias são realizadas para isquemia de membros inferiores, as imagens obtidas abaixo dos joelhos apresentam qualidade inferior quando comparadas ao contraste iodado. Já em outros territórios, tanto no segmento arterial quanto no venoso, são obtidas imagens com boa qualidade técnica, podendo ser levemente inferior ao iodo, mas permitindo que tais imagens sejam conclusivas.

Esses dados são concordantes com este estudo, apesar de não haver concordância entre os dois observadores. Ao apresentar um alto percentual entre bom e ótimo, este estudo permite confirmar que houve boa qualidade de imagem. A melhoria da imagem pode ser obtida ao se utilizarem programas do equipamento de arteriografia – que tornam possível somar as imagem adquiridas – ou ao se progredir o cateter distalmente – fato que foi observado no início deste estudo. Progredindo o cateter, a tendência das bolhas de gás carbônico separarem-se diminuía, obtendo-se, dessa forma, uma melhor imagem.

Outro fato também observado neste estudo é que não havia melhoria da imagem com volumes de gás carbônico maiores que 10 ml, o que foi encontrado na literatura. Quando utilizada a bomba ejetora, o resultado final da imagem era melhor. Neste estudo, porém, o contraste foi injetado de forma manual (FERMAND, MARZELLE e CORMIER, 1994; SULLIVAN, BONN, SHAPIRO e GARDINER, 1995; ZWAAN, KLOESS, KAGEL, KUMMER-KLOESS, MARTTES-ZWAAN, SCHURTZ, WEISS e KLOESS, 1996; SCHMITZ-RODE, ALZEN e GUNTHER, 1997; ROLAND, DUVAUFERRIER, GOURLAY, RAMBEAU, MORCET e CHAPERON, 1999; FITRIDGE, PERUCCO, DUNLOP, THOMPSON e SEBBEN, 1999; OLIVA, DENBOW, THERASSE, COMMON, HAREL, GIROUX e SOULEZ, 1999; BEES, BEESE, BELLI, e BUCKERNHAM, 1999; SONG, CHO, SHINN, CHARLTON e CHO, 1999).

O segundo tópico da avaliação do estudo foi o diagnóstico radiológico, quando os profissionais avaliaram dilatações, estenoses e/ou oclusões. Foi obtido nessa etapa o coeficiente ponderado de Kappa de 0,5583, indicando que houve concordância entre os dois profissionais. Quando foram comparados os resultados obtidos no Gráfico 11, apresentavam-se 24 doentes entre ótimo e bom (92%) e dois doentes em regular (8%), e, no Gráfico 14, apresentavam-se 25 doentes entre ótimo e bom (96%) e um doente regular (4%) – sendo esses valores reais apresentados lado a lado no Gráfico 17. Comparando-se esses valores, demonstra-se que houve um resultado significativo em percentuais entre ótimo e bom. Nessa etapa do estudo, a concordância já se torna mais importante, visto que o que está sendo analisado é o diagnóstico – se há dilatação, estenose ou oclusão de um determinado segmento.

Os resultados encontrados nesse estudo apresentam-se semelhantes aos da literatura. O gás carbônico é um meio de contraste que permite realizar diagnósticos radiológicos com precisão – resultado que foi encontrado nos vários estudos realizados no diagnóstico de fistulas arteriovenosas, tumores, hemorragias, isquemias dos membros, aneurismas e doenças reno-vasculares. Também foram encontrados resultados superiores ao contraste iodado em alguns estudos com tumores, *shunt* arterio-venoso e hemorragia, pelo fato de o gás carbônico apresentar baixa viscosidade. Quando um estudo apresenta uma baixa qualidade de opacificação, é de se esperar que apresente dificuldade de visualização – fato que ocorreu nos estudos para isquemia dos membros inferiores –, apresentando, dessa forma, também uma baixa qualidade de diagnóstico (HAWKINS, WILCOX, KERNS e SABATELLI, 1994; GABAGNATI, SPREAFICO, MARCHIANO, FRIGERIO, PATELLI, GERVASONI, GIOVANNARDI e DAMASCELLI, 1995; SCHREIER, WEAVER, FRANKHOUSE, PAPANICOLAOU, SHORE, YELLIN e HARVEY, 1996; TEXTOR, WILHELM, STRUNK, SCHULLER e SCHILD, 1997; ALBRICH, GMEINWIESER, MANKE, STROTZER, KASPRZAK e FEUERBACH, 1999).

O terceiro tópico da avaliação do estudo foi a análise de calibre dos vasos, quando os profissionais compararam a morfologia[Ana Silvil], ou seja, a visualização de todos os vasos. Obtivemos, nessa etapa, o coeficiente ponderado de Kappa de 0,4,

indicando que houve concordância entre os dois profissionais. Quando comparamos os resultados obtidos no Gráfico 12, apresentavam-se 23 doentes entre ótimo e bom (88%) e três doentes em regular (12%), e, no Gráfico 15, apresentavam-se 24 doentes entre ótimo e bom (92%) e dois doentes em regular (8%) – sendo esses valores reais apresentados lado a lado no Gráfico 18. Essa análise também foi visual. Comparando-se esses valores, demonstra-se que houve também um resultado significativo em percentuais entre ótimo e bom. Essa fase do estudo igualmente apresentou concordância quando comparados seus dados com os encontrados na literatura.

As imagens obtidas das artérias proximais eram equivalentes nas duas técnicas. Porém, quando analisadas as imagens das artérias abaixo do joelho, elas apresentavam qualidade inferior quando comparadas à angiografia realizada com contraste iodado – fato observado neste estudo –, que pode ser melhorado ao se progredir o cateter distalmente a[Ana Silvi2] artéria. Outros estudos conseguiram visualização até a terceira divisão dos vasos. Em alguns deles, o gás carbônico mostrou resultados superiores ao iodo – o que ocorreu nos estudos de tumores, *shunt* hepático e fistulas arteriovenosas –, apresentando visualização de vasos que não apresentaram opacificação com iodo – fato também observado neste estudo. Pela menor viscosidade do gás carbônico, ele apresenta maior tendência de caminhar para os vasos onde se apresenta uma maior velocidade de fluxo (HAWKINS, WILCOX, KERNS e SABATELLI, 1994; MIYAZONO, INOUE, KANETSUK e NAKAJO, 1994; ZWAAN, KUMMER-KLOESS, WEISS, LINK e SCHURTZ, 1994; TESHIMA e IWASAKI, 1994; GABAGNATI, SPREAFICO, MARCHIANO, FRIGERIO, PATELLI, GERVASONI, GIOVANNARDI e DAMASCELLI, 1995; ROLAND, DUVAUFERRIER, GOURLAY, RAMBEAU, MORCET e CHAPERON, 1997; WILHEM, TEXTOR, STRUNK, BRENSING, SCHULLER e SCHILD, 1997; GORRIZ, CARREIRA, REYERS, GALLARDO, PULIDO, ROMERO e MAYNAR, 1999; NICOLINI, LOVARIA, MEREGAGLIA e PALATRESI, 2000).

Com o objetivo de avaliar o gás carbônico como meio de contraste, estudando sua qualidade técnica comparada ao “padrão ouro” do estudo – o contraste iodado –, foram escolhidos três parâmetros para que essa mensuração fosse possível. Com os resultados obtidos, e comparados com a literatura, permiti-se afirmar que o gás é um meio de contraste

alternativo confiável, apresentando boa qualidade de imagem, e com as vantagens de não apresentar reação alérgica e de não ser nefrotóxico (KERNS e HAWKINS, 1995; HAWKINS e CARIDI, 1995).

Outro tópico analisado no estudo foi a frequência respiratória, que foi verificada antes de o doente entrar na sala de exame e depois do término do exame, expressa em movimentos/minuto. Essa análise foi realizada com o objetivo de comprovar que a infusão do gás carbônico não apresentava alterações significativas da fisiologia respiratória. Esses dados foram planilhados e, posteriormente, submetidos à análise estatística com medidas de posição e dispersão nos dois momentos, com teste t-pareado e $p = 0,1498$, evidenciando não haver variação significativa entre os dois momentos. Portanto, não houve variação da frequência respiratória após a injeção de gás carbônico para execução do estudo. Resultados obtidos na literatura confirmam os aqui encontrados. YUSUF (1995), em seu estudo analisando pH, PaCO₂ e PO₂ em arteriografia com gás carbônico, não apresentou variação significativa desses gases, concluindo que o gás carbônico era eliminado sem causar qualquer complicação.

A difusão do gás carbônico é cerca de 20 vezes maior que a do oxigênio – o que foi observado neste estudo quando, logo após sua injeção, havia uma tendência de desaparecimento das bolhas ou de elas se separarem. Esse gás é de ligação fraca, o que facilita sua liberação para com as vias respiratórias, e em sua maior parte é transportado na corrente sangüínea sob forma de bicarbonato.

Depois é ligado à molécula de hemoglobina, enquanto uma pequena parte está sob a forma de gás carbônico livre. Sua liberação nos pulmões depende de sua pressão parcial (GUYTON e HALL, 1996).

Neste estudo, as seqüências realizadas com gás carbônico foram executadas de forma manual, injetando-se 10 ml, com seringas de 10ml, em intervalos de tempo de aproximadamente 60 segundos entre cada injeção. A velocidade de difusão do gás carbônico em repouso é cerca de 400 ml/minuto em situação de repouso, chegando a 1.300 ml/minuto durante o exercício. Com base nesses dados, comparando a diferença da frequência nas duas situações e o volume utilizado neste estudo, que é de aproximadamente 10 ml/minuto, observamos que esse valor é bem inferior à diferença do valor encontrado nas duas situações mencionadas acima (GUYTON e HALL, 1996).



7. CONCLUSÃO

Foram propostos aqui cinco parâmetros para avaliação que possibilitariam apresentar uma conclusão da viabilidade deste método: a opacificação dos vasos, o diagnóstico radiológico, a análise de calibre, a análise comparativa das medidas da artéria e da veia com os dois métodos e a frequência respiratória antes e depois do exame. Todos esses aspectos apresentaram resultados significativos utilizando gás carbônico, comparado com o “padrão ouro”, que é o iodo, como meio de contraste.

Diante dos argumentos apresentados, permite-se concluir ser o uso do gás carbônico um método alternativo no estudo angiográfico digital em doentes com fistulas arteriovenosas para realização de hemodiálise.



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGREST, A.; FINLAY, B. – **Statistical methods for the social sciences**. San Francisco : Dellen Publishing Company, 1986.
- ALBRICH, H.; GMEINWIESER, J.; MANKE, C.; STROTZER, M.; KASPRZAK, P.; FEUERBACH, S. – Transfemoral pelvic vein angiography with CO₂: experiences with pressure and volume-controlled injections. **Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildged Verfahr**, 170(4):384-90, 1999.
- ARAUJO, A. P.; LOPEZ, G. E.; GOMES, C. P. A. – Fios-guias, introdutores e cateteres para angiografia e procedimentos endovasculares. In: MAFFEI, F. H. A.; LASTÓRIA, S.; YOSHIDA, W. B.; ROLLO, H. A. – **Doenças vasculares periféricas**. 3ª ed. Rio de Janeiro : MEDSI Editora Médica e Científica, 2002. p. 347-65.
- BACK, M. R.; CARIDI, J. G.; HAWKINS, I. F. Jr.; SEEGER, J. M. – Angiography with carbon dioxide (CO₂). **Surg. Clin. North Am.**, 78(4):575-91, 1998.
- BAIOCCHI, M. T. P.; MENEZES, F. H.; LUCCAS, G. C. – Angiografia com gás dióxido de carbono – **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, 6-435, 1998.
- BARBEY, M. M.; FARBER, A.; MARIENHOFF, N.; GMELIN, E. – Digital subtraction angiography with carbon dioxide – basic principles, technique and clinical application. **Vasa**, 28(4):243-9, 1999.
- BEESE, R. C.; BEES, N. R.; BELLI, A. M.; BUCKERNHAM, T. M. – Carbon dioxide angiography of the lower limbs: initial experience with an automated carbon dioxide injector. **Clin. Radiol.**, 54(12):833-8, 1999.
- BEESE, R. C.; BEES, N. R.; BELLI, A. M. – Renal angiography using carbon dioxide. **Br. J. Radiol.**, 73(865):3-6, 2000.
- BLACK, C. M.; LANG, E. V.; KUSNICK, C. A.; SIEBES, M.; BARNHART, W.; HOFFMAN, E. A. – 1996 AUR Memorial Award. Densitometric analysis of eccentric vascular stenoses: comparasion of CO₂ and iodinated contrast material media. **Acad. Radiol.**, 3(12):985-93, 1996.

- CARIDI, J. G.; STAVROPOULOS, S. W.; HAWKINS, I. F. Jr. – Carbon dioxide digital subtraction angiography for renal artery stent placement. **J. Vasc. Interv. Radiol.**,10(5):635-40, 1999.
- CARIDI, J. G.; STAVROPOULOS, S. W.; HAWKINS, I. F. Jr. – CO2 digital subtraction angiography for renal artery angioplasty in high-risk patients. **AJR. Am. J. Roentgenol**, 173(6):1551-6, 1999.
- CARVAJAL, A.; RUGILO, C.; SHUSTER, G. – Angiografia por resonancia magnética. Un paso más en la evolución tecnológica. **Diagnostico**, 37:807-20, 1995.
- CHRISTENSSON, A. – Renovascular disease and renal insufficiency – diagnosis and treatment. **Scand. J. Urol. Nephrol.**, 33(6):400-5, 1999.
- DIMAKAKOS, P. B.; STEFANOPOULOS, T.; DOUFAS, A. G.; PAPASAVA, M.; GOULIAMOS, A.; MOURIKIS, D.; DELIGIORGI, H. – The cerebral effects of carbon dioxide during digital subtraction angiography in the aortic arch and its in rabbits. **AJNR Am. J. Neuroradiol.**, 19(2):261-6, 1998.
- EHRMAN, K. O.; TABER, T. E.; GAYLORD, G. M.; BROWN, P. B.; HAGE, J. P. – Comparison of diagnostic accuracy with carbon dioxide versus iodinated contrast material in the imaging of hemodialysis access fistulas. **J. Vasc. Interv. Radiol.**, 5(5):771-5, 1994.
- EISENBERG, R. L. – Roentgen and the discovery of X-rays. **Radiology an illustrated history**. St. Louis, Missouri : Mosby Year Book, 1992. p. 22-42.
- FECURI, R. Jr. – Arteriografia convencional. In: MAFFEI, F. H. A.; LASTÓRIA, S.; YOSHIDA, W. B.; ROLLO, H. A. – **Doenças vasculares periféricas**. 3ª ed. Rio de Janeiro : MEDSI Editora Médica e Científica, 2002. p. 368-81.
- FERMAND, M.; MARZELLE, J.; CORMIER, J. M. – Aorto-arteriography of the lower limbs using carbon dioxide. **Presse Med.**, 23(1):19-22, 1994.

- FITRIDGE, R. A.; PERUCCO, M.; DUNLOP, C. M.; THOMPSON, M. M.; SEBBEN, R. A. – Arteryography in cronic renal failure: a case for carbon dioxide. **Cardiovasc. Surg.**, 7(3):323-6, 1999.
- FLEISS, J. L. – **Statistical Methods for Rates and Proportions**. 2ª ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1981.
- FRANKHOUSE, J. H.; RYAN, M. G.; PAPANICOLAOU, G.; YELLIN, A. E.; WEAVER, F. A. – Carbon dioxide/digital subtraction arteriography-assisted transluminal angioplasty. **Ann. Vasc. Surg.**, 9(5):448-52, 1995.
- GABAGNATI, F.; SPREAFICO, G.; MARCHIANO, A.; FRIGERIO, L. F.; PATELLI, G.; GERVASONI, M.; GIOVANNARDI, G.; DAMASCELLI, B. – Carbon dioxide digital subtraction angiography in oncological-interventional radiology. **Tumori**, 81(1): 52-5, 1995.
- GAHLEN, J.; HANSMANN, J.; SCHUMACHER, H.; SEELOS, R.; RICHTER, G. M.; ALLENBERG, J. R. – Carbon dioxide angiography for endovascular grafting in high-risk patients with infrarenal abdominal aortic aneurysms. **J. Vasc. Surg.**, 33(3):646-9, 2001.
- GORRIZ, E.; CARREIRA, J. M.; REYERS, R.; GALLARDO, L.; PULIDO, J. M.; ROMERO, A.; MAYNAR, M. – CO₂ as a contrast medium in endoluminal treatment of high flow vascular malformations. **Eur. J. Radiol.**, 31(3):182-7, 1999.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. – Princípios físicos das trocas gasosas; difusão do oxigênio e do dióxido de carbono através da membrana alveolar. In: **Tratado de fisiologia médica**. 9ª ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 1996. p. 453-63.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. – Transporte de oxigênio e de dióxido de carbono no sangue e em outros líquidos corporais. In: **Tratado de fisiologia médica**. 9ª ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 1996. p. 455-74.
- HAWKINS, I. F.; CARIDI, J. G. – Carbon dioxide digital subtraction angiography; 26-year experience at the University of Florida. **Eur. Radiol.**, 8(3):391-402, 1998.

HAWKINS, I. F. Jr.; WILCOX, C. S.; KERNS, S. R.; SABATELLI, F. W. – CO2 digital angiography: a safer contrast agent for renal vascular imaging? **Am. J. Kidney Dis.**, 24(4):685-94, 1994.

KERNS, S. R.; HAWKINS, I. F. Jr. – Carbon dioxide digital subtraction angiography: expanding applications and technical evolution. **AJR. Am. J. Roentgenol**, 164(3):735-41, 1995.

KERNS, S. R.; HAWKINS, I. F. Jr.; SABATELLI, F. W. – Current status of carbon dioxide angiography. **Radiol. Clin. North Am.**, 33(1):15-29, 1995.

KRISS, V. M.; COTTRILL, C. M.; GURLEY, J. C. – Carbon dioxide angiography in children. **Pediatr. Radiol.**, 27(10):807-10, 1997.

KUMMER-KLOESS, W.; KLOESS, W.; MARIENHOFF, N.; SCHURTZ, R. M.; ZWAAN, M.; WEISS, H. D. – Angiography during intervencional procedures with carbon dioxide (CO2) (carboangiography) in patients with increased contrast media risk. **Zentralbl Chir.**, 122(9):725-9, 1997.

KUO, P. C.; PERTENSEN, J.; SEMBA, C.; ALFREY, E. J.; DAFOE, D. C. – CO2 angiography – a technique for vascular imaging in renal allograft dysfunction. **Transplantation**, 61(4):652-4, 1996.

LARANJA, S. M. R.; SCHOR, N. – Nefrotoxicidade por contrastes radiológicos. In: SCHOR, N.; BOIM, M. A.; SANTOS, O. F. P. – **Insuficiência renal aguda – fisiopatologia clínica e tratamento**. São Paulo : Sarvier Editora de Livros Médicos Ltda., 1997. p. 129-32.

LINSTEDT, U.; LINK, J.; GRABENER, M.; KLOESS, W. – Effects of selective angiography of the carotid artery with carbon dioxide on electroencephalogram somatosensory evoked potentials and histopathologic findings. A pilot study in pigs. **Invest. Radiol.**, 32(9):507-10, 2000.

MIYAZONO, N.; INOUE, H. KANETSUK, I.; NAKAJO, M. – Retrograde visualization of the portal venous system using CO2 intraarterial digital subtraction angiography. **Abdom Imaging**, 19(4):330-3,1994.

MORESCO, K. P.; PATEL, N. H.; JOHNSON, M. S.; TROBRIDGE, B.; BERGAN, K. A.; LALKA, S. G. – Accuracy of CO2 angiography in vessel diameter assessment: a comparative study of CO2 versus iodinated contrast contrast in an aortoiliac flow model. **J. Vasc. Interv. Radiol.**, 11(4):437-44, 2000.

MORESCO, K. P.; PATEL, N. H.; NAMMYSLOWSKI, Y.; SHAH, H.; JOHNSON, M. S.; TREROTOLA, S. O. – Carbon dioxide angiography of the transplanted kidney: technical considerations and imaging findings. **AJR. Am. J. Roentgenol**, 171(5):1271-6, 1998.

MOURA, R. – Angiografia por Subtração Digital. In: MAFFEI, F. H. A.; LASTÓRIA, S.; YOSHIDA, W. B.; ROLLO, H. A. – **Doenças vasculares periféricas**. 3ª ed. Rio de Janeiro : MEDSI Editora Médica e Científica, 2002. p. 383-98.

MURPHY, W.; BARRETT, B. J.; PARFREY, P. S. – Contrast nephropathy. **J. Am. Soc. Nephrol.**, 11:177-182, 2000.

NICOLINI, U. M.; LOVARIA, U. M.; MEREGAGLIA, D.; PALATRESI, S. – Carbon dioxide angiography. A new injection system. **Radiol. Med.**, 99(1-2):51-5, 2000.

OLIVA, V. L.; DENBOW, N.; THERASSE, E.; COMMON, A. A.; HAREL, C.; GIROUX, M. F.; SOULEZ, G. – Digital subtraction angiography of the abdominal aorta and lower extremities: carbon dioxide versus iodinated contrast material. **J. Vasc. Interv. Radiol.**, 10(6):723-31, 1999.

ROLAND, Y.; DUVAUFERRIER, R.; LUCAS, A; GOURLAY, C.; RAMBEAU, M.; MORCET, N.; CHAPERON, J. – Lower Limb angiography: a prospective study comparing carbon dioxide with iodinated contrast material in 30 patients. **AJR AM J. ROENTGENOL.**,171(2):333-7, 1998.

SCHMITZ-RODE, T.; ALZEN, G.; GUNTHER, R. W. – Digital subtraction angiography with carbon dioxide using a new dosage system. **Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildged Verfahr**, 167(1):71-8, 1997.

SCHREIER, D. Z.; WEAVER, F. A.; FRANKHOUSE, J.; PAPANICOLAOU, G.; SHORE, E.; YELLIN, A. E.; HARVEY, F. – A prospective study of carbon dioxide-digital subtraction vs standard contrast arteriography in the evaluation of the renal arteries. **Arch. Surg.**, 131(5):503-7, 1996.

SING, R. F.; STACKHOUSE, D. J.; JACOBS, D. G.; HENIFORD, B. T. – Safety and accuracy of bedside carbon dioxide cavography for insertion vena cava filters in the intensive care unit. **J. Am. Coll. Surg.**, 192(2):168-71, 2001.

SONG, K.; CHO, D.; SHINN, K.; CHARLTON, E.; CHO, K. – Gas dynamics in CO₂ angiography: in vitro evaluation in a circulatory system model. **Invest. Radiol.**, 34(2):151-5; 1999.

SPINOSA, D. J.; ANGLE, J. F.; HAGSPIEL, K. D.; KERN, J. A.; HARTEWELL, J. A.; MATSUMOTO, A. H. – Lower extremity arteriography with use of iodinated contrast material or gadodiamide to supplement CO₂ angiography in patients with renal insufficiency. **J. Vasc. Interv. Radiol.**, 11(1):35-43, 2000.

SPINOSA, D. J.; ANGLE, J. F.; HAGSPIEL, K. D.; SCHENK, W. G. 3rd.; MATSUMOTO, A. H. – CO₂ and gadopentetate dimeglumine as alternative contrast agents for malfunctioning dialysis grafts and fistulas. **Kidney Int.**, 54(3):945-50, 1998.

SPINOSA, D. J.; MATSUMOTO, A. H. ANGLE, J. F.; HAGSPIEL, K. D.; MCGRAW, J. K.; AYERS, C. – Renal insufficiency: usefulness of gadodiamide-enhanced renal angiography to supplement CO₂-enhanced renal angiography for diagnosis and percutaneous treatment. **Radiology**, 210(3):663-72, 1999.

SULLIVAN, K. L.; BONN, J.; SHAPIRO, M. J.; GARDINER, G. A. – Venography with carbon dioxide as a contrast agent. **Cardiovasc. Interv. Radiol.**, 18(3):141-5, 1995.

TESHIMA, Y.; IWASAKI, N. – Efficacy of CO₂-DSA in embolization. **Cancer Chemother Pharmacol.**, 33:109-10, 1994.

TEXTOR, H. J.; WILHELM, K.; STRUNK, H.; SCHULLER, H.; SCHILD, H. H. – The diagnosis of intra-abdominal hemorrhages with CO₂ as the contrast medium. **Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildged Verfahr**, 166(1):51-3, 1997.

WILHELM, K.; TEXTOR, T. J.; STRUNK, H.; BRENSING, K. A.; SCHULLER, H.; SCHILD, H. – Carbon dioxide (CO₂) as contrast medium for the new installation and follow-up of a TIPS. **Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildged Verfahr**, 1997.

YOSHIDA, W. B. – Contrastes utilizados em angiografias. In: MAFFEI, F. H. A.; LASTÓRIA, S.; YOSHIDA, W. B.; ROLLO, H. A. – **Doenças vasculares periféricas**. 3ª ed. Rio de Janeiro : MEDSI Editora Médica e Científica, 2002. p. 360-5.

YUSUF, S. W.; WHITAKER, S. C.; HINDWOOD, D.; HENDERSON, M. J.; GREGSON, R. H. S.; WENHAN, P. W.; HOPKINSON, B. R.; MAKIN, G. S. – Carbon dioxide: an alternative to iodinated contrast media. **Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.**, 10:156-61, 1995.

ZWAAN, M.; KUMMER-KLOESS, D.; WEISS, H. D.; LINK, J.; SCHURTZ, R. M. – Carbon dioxide as an alternative contrast medium in peripheral angiography. **Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildged Verfahr**, 164(5):445-8, 1996.

ZWAAN, M.; KUMMER-KLOESS, D.; WEISS, H. D.; LINK, J.; SCHURTZ, R. M. – DSA with mechanically injected carbon dioxide. Animal experimental results. **Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildged Verfahr**, 161(1):75-80, 1994.

ZWAAN, M.; STEINHOFF, J.; FRICKE, L.; KAGEL, C.; LORCH, H.; WEISS, H. D. – The angiography of kidney transplant arteries using carbon dioxide. **Dtsch. Med. Wochenschr**, 122(38):1133-6, 1997.