

# Desenvolvimento de modelo clínico para predição da possibilidade de identificação da artéria de Adamkiewicz por angiotomografia

## *Development of a clinical model to predict the likelihood of identification of the Adamkiewicz artery by angiotomography*

Alexandre Campos Moraes Amato<sup>1,2</sup>, José Rodrigues Parga Filho<sup>3</sup>, Noedir Antônio Groppo Stolf<sup>4</sup>

### Resumo

**Contexto:** Diferenças morfológicas da artéria de Adamkiewicz (AKA) entre a população portadora e não portadora de doença aórtica têm importância clínica, influenciando as complicações neuroisquêmicas da medula espinhal em procedimentos operatórios. Ainda não é conhecida a correlação entre parâmetros clínicos e a previsibilidade da identificação dessa artéria pela angiotomografia. **Objetivo:** Desenvolver um modelo matemático que, através de parâmetros clínicos correlacionados com aterosclerose, possa prever a probabilidade de identificação da AKA em pacientes submetidos a angiotomografias. **Método:** Estudo observacional transversal utilizando banco de imagens e dados de pacientes. Foi feita análise estatística multivariada e criado modelo matemático logit de predição para identificação da AKA. Variáveis significativas foram utilizadas na montagem da fórmula para cálculo da probabilidade de identificação. O modelo foi calibrado, e a discriminação foi avaliada pela curva *receiver operating characteristic* (ROC). A seleção das variáveis explanatórias foi guiada pela maior área na curva ROC ( $p = 0,041$ ) e pela significância combinada das variáveis. **Resultados:** Foram avaliados 110 casos (54,5% do sexo masculino, com idade média de 60,97 anos e etnia com coeficiente B -2,471, M -1,297, N -0,971), com AKA identificada em 60,9%. Índice de massa corporal:  $27,06 \pm 0,98$  (coef. -0,101); fumantes: 55,5% (coef. -1,614/-1,439); diabéticos: 13,6%; hipertensos: 65,5% (coef. -1,469); dislipidêmicos: 58,2%; aneurisma aórtico: 38,2%; dissecação aórtica: 12,7%; e trombo mural: 24,5%. Constante de 6,262. Fórmula para cálculo da probabilidade de detecção:  $(e^{-(\text{Coef. Etnia} + (\text{Coef. IMC} \times \text{IMC}) + \text{Coef. fumante} + \text{Coef. HAS} + \text{Coef. dislip} + \text{Cons tan } \tau)} + 1)^{-1}$ . O modelo de predição foi criado e disponibilizado no link <https://vascular.pro/aka-model>. **Conclusão:** Com as covariáveis etnia, índice de massa corporal, tabagismo, hipertensão arterial e dislipidemia, foi possível criar um modelo matemático de predição de identificação da AKA com significância combinada de nove coeficientes ( $p = 0,042$ ).

**Palavras-chave:** medula espinhal; coluna vertebral; aorta; Adamkiewicz.

### Abstract

**Background:** There are clinically important morphological differences in the Adamkiewicz artery (AKA) between populations that do and do not have aortic disease and they have an influence on the neuroischemic complications involving the spinal cord during surgical operations. It is not yet known whether clinical parameters correlate with the predictability of identification of the artery using angiotomography. **Objective:** To develop a mathematical model that by correlating clinical parameters with atherosclerosis enables prediction of the probability of identification of the AKA in patients examined with angiotomography. **Method:** This is a cross-sectional, observational study using a patient database and image bank. A multivariate statistical analysis was conducted and a logit mathematical model was constructed to predict AKA identification. Significant variables were used to build a formula for calculation of the probability of identification. This model was calibrated and its power of discrimination was assessed using receiver operating characteristic (ROC) curves. Selection of explanatory variables was based on largest area under the ROC curve ( $p = 0.041$ ) and combined significance of variables. **Results:** A total of 110 cases were analyzed (54.5% were male, mean age was 60.97 years, and ethnicity coefficients were white -2.471, brown -1.297, and black -0.971) and the AKA was identified in 60.9%. Body mass index:  $27.06 \pm 0.98$  (coef. -0.101); smokers: 55.5% (coef. -1.614/-1.439); diabetes: 13.6%; hypertension: 65.5% (coef. -1.469); dyslipidemia: 58.2%; aortic aneurysm: 38.2%; aortic dissection: 12.7%; and mural thrombus: 24.5%. The constant was 6.262. The formula for calculating the probability of detection is as follows:  $(e^{-(\text{Coef. Ethnicity} + (\text{Coef. BMI} \times \text{BMI}) + \text{Coef. smoker} + \text{Coef. SAH} + \text{Coef. dyslip} + \text{Cons tan } \tau)} + 1)^{-1}$ . The prediction model was constructed and made available at: <https://vascular.pro/aka-model>. **Conclusions:** Using the covariates ethnicity, body mass index, smoking, arterial hypertension, and dyslipidemia, it proved possible to create a mathematical model for predicting identification of the AKA with a combined significance of nine coefficients ( $p = 0.042$ ).

**Keywords:** spinal marrow; spinal column; aorta; Adamkiewicz.

<sup>1</sup> Instituto de Medicina Avançada – AMATO, Cirurgia Vascular e Endovascular, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade de Santo Amaro – UNISA, Disciplina de Cirurgia Vascular, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo – USP, Departamento de Radiologia, Faculdade de Medicina, Hospital das Clínicas, Instituto do Coração, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>4</sup> Universidade de São Paulo – USP, Cirurgia Torácica e Cardiovascular, São Paulo, SP, Brasil.

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Os autores declararam não haver conflitos de interesse que precisam ser informados.

Submetido em: Agosto 01, 2017. Aceito em: Dezembro 13, 2017.

O estudo foi realizado na Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil.

## INTRODUÇÃO

O estudo das diferenças morfológicas da artéria de Adamkiewicz (AKA) entre a população de portadores e não portadores de doença tem importância clínica, pois pode influenciar as complicações neuroisquêmicas da medula espinal em procedimentos operatórios. Pode também auxiliar a estabelecer a importância de se preservar essa artéria em cirurgias aórticas e neurológicas, diminuindo o risco de isquemia medular<sup>1-3</sup>.

As artérias intercostais e lombares que alimentam a medula espinal originam-se da aorta. As artérias lombares e intercostais dividem-se três vezes antes de alcançar a medula espinal. A última bifurcação do ramo espinal é constante para o suprimento anterior e posterior do canal vertebral, somente em alguns níveis. Geralmente, uma das artérias radiculares anteriores é dominante perante as outras em calibre e é chamada de artéria radicular anterior magna ou AKA<sup>2</sup>.

O conhecimento da irrigação da medula espinal é importante no planejamento terapêutico das doenças aórticas; porém, sua vasculatura é complexa e difícil de estudar devido ao pequeno calibre de suas artérias, que correm em uma intrincada rede tridimensional com grande variabilidade anatômica<sup>2,4</sup> (Figura 1). A ausência de um consenso sobre o exame de imagem padrão-ouro também dificulta a comparação dos métodos de imagem existentes.

As diferenças na importância da AKA na irrigação medular entre as doenças, como aneurismas, dissecções, presença de trombo mural e outras, também não

são conhecidas, embora essa seja a população mais propensa à necessidade de tratamento cirúrgico e, conseqüentemente, mais exposta ao risco de isquemia medular. Foi demonstrado que a própria doença aórtica pode alterar a visualização da irrigação medular<sup>5</sup>. Apesar do conhecimento dos fatores que influenciam a identificação da irrigação medular na angiotomografia, o efeito concomitante deles não é conhecido.

## OBJETIVO

Criar um modelo matemático de predição para a identificação ou não da AKA na angiotomografia utilizando variáveis clínicas.

## MÉTODO

### Casuística

Realizamos um estudo observacional transversal envolvendo banco de dados e imagens de estudo prévio<sup>5</sup> em pacientes portadores ou não de doença aórtica, submetidos a angiotomografia entre outubro de 2011 e julho de 2012.

Nesse período, no Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (InCor-HC-FM-USP), foram realizadas 128 angiotomografias de aorta no equipamento Aquilion One (Toshiba™, Medical Systems, Otawara, Japão) no departamento de diagnóstico por imagem. Dessas, 110 foram consideradas elegíveis, com base nos critérios de inclusão e exclusão.

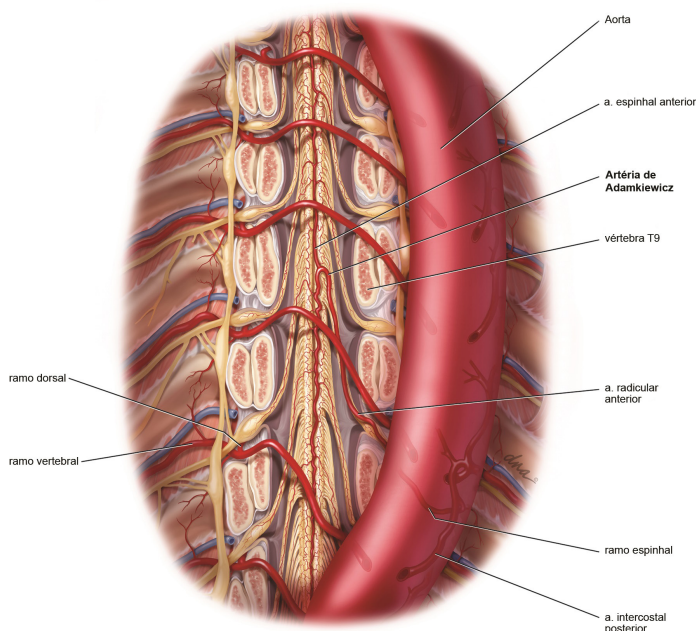


Figura 1. Representação anatômica ilustrada da irrigação medular com remoção do corpo vertebral anteriormente.

Os critérios de inclusão utilizados foram os seguintes: pacientes que realizaram angiotomografia de aorta no equipamento Aquilion One seguindo protocolo predefinido, independentemente do motivo da realização do exame; pacientes que aceitaram a realização da angiotomografia de aorta, caso não tivesse sido solicitada pelo médico de origem, como complemento do exame.

Os critérios de exclusão utilizados foram: pacientes que realizaram cirurgia prévia de aorta descendente; pacientes portadores de doenças incomuns que pudessem comprometer os resultados devido à presença de circulação colateral (Takayasu, coarctação aórtica); pacientes paraplégicos ou tetraplégicos; alergia conhecida a contraste radiológico; inclusão concomitante em outro estudo que interferisse no protocolo; pacientes com hematoma intramural e úlcera penetrante aórtica; idade menor que 25 anos para homogeneidade da amostra; falha técnica na opacificação da aorta.

Procedeu-se à análise prospectiva de angiotomografias realizadas em pacientes de rotina em ambulatório, por meio do *software open source* OsiriX® (Pixmeo, Genebra, Suíça)<sup>6</sup>. A análise das imagens foi cega; o avaliador não tinha conhecimento do motivo da realização do exame e a avaliação da presença de doença aórtica somente foi realizada em um segundo ciclo de avaliação das imagens, também sem conhecimento da identificação ou não da AKA.

A angiotomografia seguiu o padrão preestabelecido: as imagens foram adquiridas no mesmo aparelho Aquilion One de 320 detectores, com *software* para detecção helicoidal com 80 a 160 detectores, seguindo protocolo de fase arterial contrastada por 100 a 110 mL de contraste não iônico tri-iodado administrado por via intravenosa em 30 s com bomba injetora, na velocidade de 4 a 5 mL/s, com gatilho configurado para maior concentração de contraste em aorta descendente com limiar (*threshold*) de 150 HU. Os parâmetros técnicos do método angiotomográfico seguiram a recomendação das diretrizes de diagnóstico e tratamento de doenças aórticas<sup>7</sup>.

Foi realizada a estratificação das seguintes características dos pacientes: sexo, idade, grupo étnico, peso, altura e índice de massa corporal (IMC). A presença ou não da artéria espinhal anterior, a presença e localização da AKA e a presença ou não de doença aórtica, trombo e dissecação foram avaliadas por observador único e experiente diretamente nas imagens de maior qualidade *raw* DICOM do exame do paciente. Secundariamente, foram avaliados os fatores de risco dicotômicos relacionados às doenças aórticas: diabetes melito, síndrome metabólica, hiperlipidemia e hipertensão arterial. A variável tabagismo foi avaliada como fumante, ex-fumante e não fumante.

Os dados sociodemográficos foram obtidos nos prontuários e por contato direto com os pacientes e seus familiares: idade, sexo e etnia. A etnia foi definida pela cor relatada pelo participante e considerada autoavaliação. Variações multirraciais autodeclaradas, como mulato e mestiço, foram entendidas como pardo. Permitiu-se ignorar a pergunta.

A coleta dos dados se deu a partir da anamnese dos pacientes, de informações obtidas nos prontuários e por contato telefônico com familiares quando necessário. Os seguintes parâmetros foram avaliados: peso, altura e IMC. Peso e altura foram aferidos em balança antropométrica; o IMC foi calculado pela fórmula: peso (em quilogramas) dividido por altura elevada ao quadrado (em metros). Tabagismo: considerou-se tabagista atual o indivíduo que fumou um ou mais cigarros nos últimos 30 dias e ex-tabagista quem fumou há mais de 30 dias. Diabetes melito (DM): foram considerados diabéticos aqueles que faziam uso prévio de hipoglicemiante oral e/ou insulina, ou com duas dosagens de glicemia de jejum  $\geq 126$  mg/dL. Hipertensão arterial sistêmica (HAS): foram considerados hipertensos pacientes em uso de anti-hipertensivo e aqueles com pressão arterial sistólica (PAS) acima de 140 mmHg e/ou pressão arterial diastólica (PAD) acima de 90 mmHg. Dislipidemia: foram considerados dislipidêmicos aqueles pacientes em uso de hipolipemiantes e/ou elevação de colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL-C  $\geq 160$  mg/dL) e/ou elevação de triglicérides (TG  $\geq 150$  mg/dL) e/ou colesterol de lipoproteína de alta densidade (HDL-C)  $< 40$  mg/dL para homens e  $< 50$  mg/dL para mulheres<sup>8</sup>. Síndrome metabólica: o diagnóstico de síndrome metabólica foi estabelecido segundo critérios da Federação Internacional de Diabetes. Inclui a presença de obesidade abdominal como essencial e dois ou mais dos seguintes critérios: triglicérides  $\geq 150$  mg/dL; HDL-C  $< 40$  mg/dL para homens e  $< 50$  mg/dL para mulheres; PAS  $\geq 130$  mmHg e/ou PAD  $\geq 85$  mmHg ou tratamento para hipertensão; glicemia de jejum  $\geq 100$  mg/dL ou tratamento para diabetes melito<sup>8</sup>.

O método de identificação da AKA já foi utilizado pelo autor, publicado e validado previamente<sup>3,6</sup>, e o vídeo explicativo da técnica está disponibilizado em <http://vascular.cc/aka.html>.

### Análise estatística

As informações obtidas a partir da anamnese e dos prontuários dos pacientes foram digitadas em um banco de dados *online* seguro (GoogleDocs®). Após a verificação da consistência dos dados, procedeu-se à análise descritiva de cada grupo de pacientes.

A análise estatística multivariada dos dados foi efetuada utilizando o *software* Wizard 1.9.7 (Evan Miller, Chicago, US). Área da curva característica de operação

do receptor (*receiver operating characteristic*, ROC) maior que 0,7 foi considerada um bom modelo e maior que 0,85 foi considerada um excelente modelo. Optou-se pelo modelo logit pelo desfecho binário, buscando significância com  $p < 0,05$ . Após a criação do modelo, foi criada uma fórmula de predição para a variável de desfecho. A fórmula de predição calcula o valor esperado do desfecho (identificação ou não da AKA) baseada nas variáveis iniciais selecionadas que preencheram os critérios para a área da curva ROC maior que 0,7.

Considerando a amostra global, a Tabela 1 lista as variáveis coletadas e as análises preliminares do banco de dados já publicados<sup>3,5</sup>. Foi selecionado como desfecho a identificação ou não da AKA pelo método proposto. O conhecimento prévio da influência da massa corporal, da doença arterial e da aterosclerose guiou a eleição inicial das covariáveis explanatórias. Foram mantidas as covariáveis com o coeficiente significativamente diferente de zero para o nível de 10% e, assim, etnia, tabagismo, IMC, hipertensão e dislipidemia foram escolhidas para a criação do

Tabela 1. Dados sociodemográficos da população estudada.

Característica		N = 110
Sexo	Masculino	60 (54,5%)
	Feminino	50 (45,5%)
Idade	Média	60,97 ± 2,34
IMC	Média	27,06 ± 0,98
Etnia	Amarelo	6 (6,8%)
	Branco	55 (62,5%)
	Pardo	21 (23,9%)
	Negro	6 (6,8%)
AKA	Sim	67 (60,9%)
	Não	43 (39,1%)
Fumante	Sim	61 (55,5%)
	Não	32 (29,1%)
	Ex	17 (15,5%)
Diabetes	Sim	15 (13,6%)
	Não	95 (86,4%)
HAS	Sim	72 (65,5%)
	Não	38 (34,5%)
Dislipidemia	Sim	46 (58,2%)
	Não	64 (41,8%)
Síndrome metabólica	Sim	25 (22,7%)
	Não	85 (77,3%)
Aneurisma de aorta	Sim	42 (38,2%)
	Não	68 (61,8%)
Dissecção de aorta	Sim	14 (12,7%)
	Não	96 (87,3%)
Trombo mural	Sim	27 (24,5%)
	Não	83 (75,5%)

AKA, artéria de Adamkiewicz; HAS, hipertensão arterial sistêmica; IMC, índice de massa corporal.

modelo de predição (Tabela 2). A seleção das variáveis explanatórias foi guiada pela maior área da curva ROC (Figura 2A) e pela significância combinada das variáveis (Figura 2B), de modo que o equilíbrio em número de variáveis explanatórias, sem excesso, e maior influência na ROC fosse atingida.

Tabela 2. Significância da variável no modelo estudado e coeficientes de influência das variáveis no desfecho.

Variável explanatória	Coefficiente	Standard error	p	Significância
Etnia			0,0677	*
Branco	-2,471	(1,264)	0,0505	*
Mulato	-1,297	(1,329)	0,3291	
Negro	-0,971	(1,597)	0,5433	
IMC	-0,101	(0,055)	0,0664	*
Fumante			0,0196	**
Sim	-1,614	(0,801)	0,0439	**
Ex	-1,439	(0,595)	0,0156	**
HAS	-1,469	(0,604)	0,0150	**
Dislipidemia	0,97	(0,555)	0,0806	*
Constante	6,262	(2,018)	0,0019	***

\*Coeficiente significativamente diferente de zero no nível de 10%; \*\*Coeficiente significativamente diferente de zero no nível de 5%; \*\*\*Coeficiente significativamente diferente de zero no nível de 1%. HAS, hipertensão arterial sistêmica; IMC, índice de massa corporal.

Receiver operating characteristic

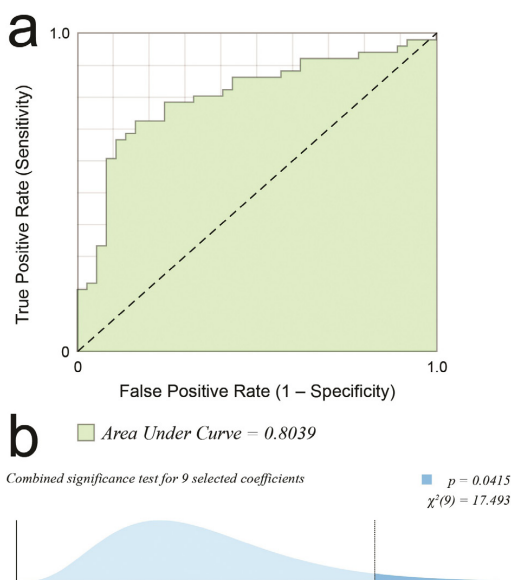


Figura 2. (a) Curva característica de operação do receptor (ROC). Quanto maior a área, melhor o ajuste (1,0 = perfeito; 0,5 = aleatório). Área sob a curva de 0,8039; (b) Distribuição t usada no teste da hipótese centrado no ponto da estimativa, com teste de significância para nove covariáveis selecionadas, resultando em  $p = 0,0415$ .

Essa investigação foi realizada de acordo com os princípios da Declaração de Helsinki. Este estudo foi aprovado pela Comissão Científica do Instituto do Coração (InCor) da Universidade de São Paulo e pelo Comitê de Ética e Pesquisa do HC-FMUSP em 05/05/2010 sob o número de referência 0089/10. Está registrado no Sistema Nacional de Informações sobre Ética em Pesquisa (SISNEP) envolvendo seres humanos da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) sob o número 0088.0.015.000-10. Todos os pacientes ou responsáveis foram esclarecidos sobre o objetivo deste estudo e concordaram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, sendo que a atual análise dos dados estava contemplada na permissão.

### RESULTADOS

A fórmula para cálculo da probabilidade de detecção da AKA  $(e^{-(Coef. Etnia + (Coef. IMC \times IMC) + Coef. fumante + Coef. HAS + Coef. dislip + Constante)} + 1)^{-1}$  permite a criação de modelo de predição criado e exportado para planilha Excel (Figura 3). A constante e os coeficientes de influência das variáveis selecionadas para cálculo do desfecho são apresentados na Tabela 2. Após formatação e envio para serviço *online*, o modelo foi publicado para utilização geral no *site* <https://vascular.pro/aka-model>. As variáveis permitem a mudança em tempo real e calculam a probabilidade de identificação da AKA.

### DISCUSSÃO

A isquemia medular é uma complicação da cirurgia aórtica que, apesar de não ser frequente, é devastadora e merece ser estudada<sup>9</sup>. O estudo *in vivo* da AKA é prejudicado, pois o método considerado padrão-ouro, a angiografia, apresenta complicações graves em uma frequência inaceitável atualmente: 8,2% para complicações locais, 3,7% para não neurológicas e 2,2% para neurológicas<sup>10</sup>, além de não apresentar detecção de 100% dos casos (sem doença aórtica: 68%<sup>10</sup>; com doença aórtica: 60%<sup>11</sup>).

As características angiotomográficas da AKA na população não portadora de doença aórtica e portadora de doença aórtica foi estudada previamente pelo autor<sup>3,5</sup>. O aprofundamento do conhecimento da irrigação medular deve alterar e subsidiar a criação de novas estratégias de prevenção de isquemia medular durante a cirurgia aórtica e outros procedimentos neurocirúrgicos. Boll et al. analisaram 100 exames de pacientes portadores de neoplasia pancreática e aplicaram um algoritmo gráfico modificado de reconstrução de imagens de vasos cerebrais. AKA foi visualizada em todos os casos, mas não podemos estabelecer se a alta detecção foi devida à ausência de doença aórtica ou ao diferente método de processamento de imagens<sup>12</sup>.

A identificação da AKA na literatura, por meio de tomografia computadorizada, é possível em torno de 70% dos casos analisados<sup>1,6,8-12</sup>, sendo que a causa da não identificação no restante não é clara. Foi sugerida a influência da aterosclerose, trombo mural, dissecção e massa corporal<sup>3,5</sup>.

	A	B	C
1	<b>variable</b>	<b>prediction 1</b>	
2	etnia	B	
3	IMC	36,594	
4	fumante	0	
5	has	0	
6	dislip.	0	
7			
8	<b>Predicted chance AKA = 0</b>	47,97%	
9	<b>Predicted chance AKA = 1</b>	52,03%	
10			

Figura 3. Aparência simplificada do modelo de predição de identificação da AKA em planilha eletrônica comum. Interface de coleta de dados para o cálculo da probabilidade do desfecho.

O protocolo de imagem utilizado foi o mais próximo da angiotomografia habitual, de modo que representa o exame feito rotineiramente em muitos centros médicos. Observou-se com critério a minimização da dose de radiação para diminuir os riscos<sup>13</sup>.

A angiotomografia, por ser um método baseado nos raios X, apresenta artefatos próximos de estruturas muito densas, como ossos. Os vasos estudados estão circundados por um arcabouço ósseo, porém o uso de equipamentos modernos permite a minimização desse problema<sup>14-16</sup> (Figura 4).

Todas as variáveis de comorbidades e fatores de risco para aterosclerose testadas apresentaram diminuição na identificação da AKA. No grupo de pacientes fumantes, ex-fumantes e hipertensos, a chance de não identificação da AKA teve significância estatística. Os pacientes em que a AKA não pôde ser demonstrada apresentaram maior incidência de síndrome metabólica (31,1%), ao passo que, naqueles em que a AKA pôde ser avaliada, o índice de síndrome metabólica foi mais baixo (15,7%). Esse fato pode ser consequência dessa síndrome estar relacionada a danos vasculares ateroscleróticos mais avançados<sup>17</sup>, aumentando em 2,42 vezes ( $p = 0,054$ ) a chance de não identificação da AKA na comparação com os que não apresentam síndrome metabólica. Todas as variáveis binárias de doenças da aorta testadas (trombo mural, dissecação e/ou trombo, aneurismas com e sem dissecação) apresentaram redução na identificação da AKA com significância estatística, provavelmente por



Figura 4. Resultado final da metodologia aplicada de identificação da AKA, em corte oblíquo no espaço medular de angiotomografia, demonstrando AKA visualizada.

alteração do fluxo sanguíneo na aorta e seus ramos, oclusão do óstio das artérias intercostais, tortuosidade das artérias por distorção anatômica, oclusão pelo *flap* da dissecação, por placa aterosclerótica ou por trombo mural. Quando a AKA não é identificada, ela pode estar ocluída, pode não existir ou pode ser fina demais para detecção pelo método utilizado.

Foram identificadas variáveis clínicas de significância para identificação da AKA, e que permitiriam a construção de modelo matemático para predição de resultado. A ausência de um método padrão-ouro com baixo risco para comparação de métodos é uma limitação deste estudo. A estipulação de um valor limite de radiação aceitável também limitou a qualidade da imagem adquirida; porém, o método utilizado necessitou, em média, de 12 mSv/(mGy·cm), dose considerada segura, reprodutível<sup>18,19</sup> e que propicia cobertura satisfatória da aorta.

## CONCLUSÃO

Com as covariáveis etnia, IMC, tabagismo, hipertensão arterial e dislipidemia, foi possível criar modelo matemático de predição de identificação da AKA.

## REFERÊNCIAS

- Melissano G, Bertoglio L, Civelli V, et al. Demonstration of the Adamkiewicz artery by multidetector computed tomography angiography analysed with the open-source software OsiriX. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2009;37(4):395-400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2008.12.022>. PMID:19230726.
- Amato ACM, Stolf NAG. Anatomy of spinal blood supply. *J Vasc Bras.* 2015;14(3):248-52. <http://dx.doi.org/10.1590/1677-5449.0004>.
- Amato ACM, Parga JR Fo, Stolf NAG. Predictors of Adamkiewicz artery and anterior spinal artery detection through computerized tomographic angiography. *SAGE Open Med.* 2017;5:1-7. <http://dx.doi.org/10.1177/2050312117711599>. PMID:28616230.
- Melissano G, Civili E, Bertoglio L, Calliari F, Amato ACM, Chiesa R. Angio-CT imaging of the spinal cord vascularisation: a pictorial essay. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2010;39(4):436-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2009.11.026>. PMID:20034815.
- Amato ACM, Parga JR Fo, Stolf NAG. Influential factors on the evaluation of Adamkiewicz artery using a 320-detector row computed tomography device. *Ann Vasc Surg.* 2017;44:136-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.avsg.2017.02.019>. PMID:28501659.
- Ou P, Schmit P, Layouss W, Sidi D, Bonnet D, Brunelle F. CT angiography of the artery of Adamkiewicz with 64-section technology: first experience in children. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007;28(2):216-9. PMID:17296982.
- Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease - executive summary: a report of the american college of cardiology foundation/american heart association task force on practice guidelines, american association for thoracic surgery, american college of radiology, american stroke association, society of cardiovascular anesthesiologists, society for cardiovascular

- angiography and interventions, society of interventional radiology, society of thoracic surgeons, and society for vascular medicine. *Anesth Analg.* 2010;111(2):279-315. <http://dx.doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181dd869b>. PMID:20664093.
8. Sposito AC, Caramelli B, Fonseca FAH, et al. IV brazilian guideline for dyslipidemia and atherosclerosis prevention: department of atherosclerosis of Brazilian Society of Cardiology. *Arq Bras Cardiol.* 2007;88:2-19. <http://dx.doi.org/10.1590/S0066-782X2007000700002>. PMID:17515982.
  9. Gao L, Wang L, Su B, Wang P, Ye J, Shen H. The vascular supply to the spinal cord and its relationship to anterior spine surgical approaches. *Spine J.* 2013;13(8):966-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2013.03.017>. PMID:23608560.
  10. Forbes G, Nichols DA, Jack CR Jr, et al. Complications of spinal cord arteriography: prospective assessment of risk for diagnostic procedures. *Radiology.* 1988;169(2):479-84. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.169.2.3174997>. PMID:3174997.
  11. Savader SJ, Williams GM, Trerotola SO, et al. Preoperative spinal artery localization and its relationship to postoperative neurologic complications. *Radiology.* 1993;189(1):165-71. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.189.1.8372189>. PMID:8372189.
  12. Boll DT, Bulow H, Blackham KA, Aschoff AJ, Schmitz BL. MDCT angiography of the spinal vasculature and the artery of Adamkiewicz. *AJR Am J Roentgenol.* 2006;187(4):1054-60. <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.05.0562>. PMID:16985157.
  13. Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, et al. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radiology.* 2009;251(1):175-84. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2511081296>. PMID:19332852.
  14. Joseph PM, Ruth C. A method for simultaneous correction of spectrum hardening artifacts in CT images containing both bone and iodine. *Med Phys.* 1997;24(10):1629-34. <http://dx.doi.org/10.1118/1.597970>. PMID:9350717.
  15. Joseph PM, Spital RD. A method for correcting bone induced artifacts in computed tomography scanners. *J Comput Assist Tomogr.* 1978;2(1):100-8. <http://dx.doi.org/10.1097/00004728-197801000-00017>. PMID:670461.
  16. Goodenough DJ, Weaver KE, Costaridou H, Eerdmans H, Huysmans P. A new software correction approach to volume averaging artifacts in CT. *Comput Radiol.* 1986;10(2-3):87-98. [http://dx.doi.org/10.1016/0730-4862\(86\)90050-8](http://dx.doi.org/10.1016/0730-4862(86)90050-8). PMID:3754803.
  17. Olijhoek JK, van der Graaf Y, Banga JD, et al. The metabolic syndrome is associated with advanced vascular damage in patients with coronary heart disease, stroke, peripheral arterial disease or abdominal aortic aneurysm. *Eur Heart J.* 2004;25(4):342-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ehj.2003.12.007>. PMID:14984924.
  18. Huda W, Ogden KM, Khorasani MR. Converting dose-length product to effective dose at CT. *Radiology.* 2008;248(3):995-1003. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2483071964>. PMID:18710988.
  19. Van Unnik JG, Broerse JJ, Geleijns J, Jansen JT, Zoetelief J, Zweers D. Survey of CT techniques and absorbed dose in various dutch hospitals. *Br J Radiol.* 1997;70(832):367-71. <http://dx.doi.org/10.1259/bjr.70.832.9166072>. PMID:9166072.

**Correspondência**

Alexandre Campos Moraes Amato  
 Av. Brasil, 2283 - Jardim América  
 CEP 01431-001 - São Paulo (SP), Brasil  
 Tel.: (11) 5053-2222  
 E-mail: dr.alexandre@amato.com.br

**Informações sobre os autores**

ACMA - Professor da Disciplina de Cirurgia Vascular, Universidade de Santo Amaro (UNISA); Titular da Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular; Especialista em Cirurgia Vascular e Endovascular pela Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular; Especialista em eco-Doppler Vascular pelo Colégio Brasileiro de Radiologia.  
 JRPF - Médico Assistente e Pesquisador do Departamento de Radiologia, Instituto do Coração (InCor), Universidade de São Paulo.  
 NAGS - Professor Emérito de Cirurgia Cardiovascular da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FAMUSP).

**Contribuições dos autores**

Concepção e desenho do estudo: ACMA, JRPF, NAGS  
 Análise e interpretação dos dados: ACMA, JRPF, NAGS  
 Coleta de dados: ACMA, JRPF, NAGS  
 Redação do artigo: ACMA, NAGS  
 Revisão crítica do texto: ACMA, JRPF, NAGS  
 Aprovação final do artigo\*: ACMA, JRPF, NAGS  
 Análise estatística: ACMA  
 Responsabilidade geral pelo estudo: ACMA

\*Todos os autores leram e aprovaram a versão final submetida ao J Vasc Bras.

# Development of a clinical model to predict the likelihood of identification of the Adamkiewicz artery by angiotomography

## *Desenvolvimento de modelo clínico para predição da possibilidade de identificação da artéria de Adamkiewicz por angiotomografia*

Alexandre Campos Moraes Amato<sup>1,2</sup>, José Rodrigues Parga Filho<sup>3</sup>, Noedir Antônio Groppo Stolf<sup>4</sup>

### Abstract

**Background:** There are clinically important morphological differences in the Adamkiewicz artery (AKA) between populations that do and do not have aortic disease and they have an influence on the neuroischemic complications involving the spinal cord during surgical operations. It is not yet known whether clinical parameters correlate with the predictability of identification of the artery using angiotomography. **Objective:** To develop a mathematical model that by correlating clinical parameters with atherosclerosis enables prediction of the probability of identification of the AKA in patients examined with angiotomography. **Method:** This is a cross-sectional, observational study using a patient database and image bank. A multivariate statistical analysis was conducted and a logit mathematical model was constructed to predict AKA identification. Significant variables were used to build a formula for calculation of the probability of identification. This model was calibrated and its power of discrimination was assessed using receiver operating characteristic (ROC) curves. Selection of explanatory variables was based on largest area under the ROC curve ( $p = 0.041$ ) and combined significance of variables. **Results:** A total of 110 cases were analyzed (54.5% were male, mean age was 60.97 years, and ethnicity coefficients were white -2.471, brown -1.297, and black -0.971) and the AKA was identified in 60.9%. Body mass index:  $27.06 \pm 0.98$  (coef. -0.101); smokers: 55.5% (coef. -1.614/-1.439); diabetes: 13.6%; hypertension: 65.5% (coef. -1.469); dyslipidemia: 58.2%; aortic aneurysm: 38.2%; aortic dissection: 12.7%; and mural thrombus: 24.5%. The constant was 6.262. The formula for calculating the probability of detection is as follows:  $(e^{-(\text{Coef. Ethnicity} + (\text{Coef. BMI} \times \text{BMI}) + \text{Coef. smoker} + \text{Coef. SAH} + \text{Coef. dyslip} + \text{Cons tan } t)} + 1)^{-1}$ . The prediction model was constructed and made available at: <https://vascular.pro/aka-model>. **Conclusions:** Using the covariates ethnicity, body mass index, smoking, arterial hypertension, and dyslipidemia, it proved possible to create a mathematical model for predicting identification of the AKA with a combined significance of nine coefficients ( $p = 0.042$ ).

**Keywords:** spinal marrow; spinal column; aorta; Adamkiewicz.

### Resumo

**Contexto:** Diferenças morfológicas da artéria de Adamkiewicz (AKA) entre a população portadora e não portadora de doença aórtica têm importância clínica, influenciando as complicações neuroisquêmicas da medula espinhal em procedimentos operatórios. Ainda não é conhecida a correlação entre parâmetros clínicos e a previsibilidade da identificação dessa artéria pela angiotomografia. **Objetivo:** Desenvolver um modelo matemático que, através de parâmetros clínicos correlacionados com aterosclerose, possa prever a probabilidade de identificação da AKA em pacientes submetidos a angiotomografias. **Método:** Estudo observacional transversal utilizando banco de imagens e dados de pacientes. Foi feita análise estatística multivariada e criado modelo matemático logit de predição para identificação da AKA. Variáveis significativas foram utilizadas na montagem da fórmula para cálculo da probabilidade de identificação. O modelo foi calibrado, e a discriminação foi avaliada pela curva *receiver operating characteristic* (ROC). A seleção das variáveis explanatórias foi guiada pela maior área na curva ROC ( $p = 0,041$ ) e pela significância combinada das variáveis. **Resultados:** Foram avaliados 110 casos (54,5% do sexo masculino, com idade média de 60,97 anos e etnia com coeficiente B -2,471, M -1,297, N -0,971), com AKA identificada em 60,9%. Índice de massa corporal:  $27,06 \pm 0,98$  (coef. -0,101); fumantes: 55,5% (coef. -1,614/-1,439); diabéticos: 13,6%; hipertensos: 65,5% (coef. -1,469); dislipidêmicos: 58,2%; aneurisma aórtico: 38,2%; dissecação aórtica: 12,7%; e trombo mural: 24,5%. Constante de 6,262. Fórmula para cálculo da probabilidade de detecção:  $(e^{-(\text{Coef. Etnia} + (\text{Coef. IMC} \times \text{IMC}) + \text{Coef. fumante} + \text{Coef. HAS} + \text{Coef. dislip} + \text{Cons tan } t)} + 1)^{-1}$ . O modelo de predição foi criado e disponibilizado no link <https://vascular.pro/aka-model>. **Conclusão:** Com as covariáveis etnia, índice de massa corporal, tabagismo, hipertensão arterial e dislipidemia, foi possível criar um modelo matemático de predição de identificação da AKA com significância combinada de nove coeficientes ( $p = 0,042$ ).

**Palavras-chave:** medula espinhal; coluna vertebral; aorta; Adamkiewicz.

<sup>1</sup> Instituto de Medicina Avançada – AMATO, Cirurgia Vascular e Endovascular, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade de Santo Amaro – UNISA, Disciplina de Cirurgia Vascular, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo – USP, Departamento de Radiologia, Faculdade de Medicina, Hospital das Clínicas, Instituto do Coração, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>4</sup> Universidade de São Paulo – USP, Cirurgia Torácica e Cardiovascular, São Paulo, SP, Brasil.

Financial support: None.

Conflicts of interest: No conflicts of interest declared concerning the publication of this article.

Submitted: August 01, 2017. Accepted: December 13, 2017.

The study was carried out at Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil.



## ■ INTRODUCTION

Studying morphological differences of the Adamkiewicz artery (AKA) between populations with and without diseases is of clinical importance, because they can influence neuroischemic complications of the spinal cord during surgical operations. The findings could also help to establish the importance of preserving this artery in aortic and neurological surgery, reducing the risk of spinal cord ischemia.<sup>1-3</sup>

The intercostal and lumbar arteries that feed the spinal cord originate from the aorta. The intercostal and lumbar arteries divide three times before reaching the spinal cord. The last bifurcation of the spinal branch is constant for anterior and posterior supply of the vertebral canal, at some levels only. Generally, one of the anterior radicular arteries is dominant over the others, in terms of caliber, and is called the great radicular artery or the AKA.<sup>2</sup>

Knowledge of the blood supply to the spinal cord is important when planning treatment for aortic diseases, but the vasculature is complex and difficult to study because of the small caliber of the arteries involved, which form an intricate three-dimensional network with a large degree of anatomic variability<sup>2,4</sup> (Figure 1). The fact that there is no consensus on a gold standard imaging exam also makes it difficult to compare existing imaging methods.

Differences in the AKA's importance to spinal blood supply between different diseases, such as aneurysms, dissections, mural thrombi, and others,

are also unknown, even though this is the population that is most likely to need surgical treatment and, consequently, most exposed to the risk of spinal cord ischemia. It has been demonstrated that aortic disease itself can change the appearance of the spinal blood supply.<sup>5</sup> While it is known which factors influence identification of the vessels of the spinal blood supply using angiotomography, their effects in combination are unknown.

## ■ OBJECTIVE

To construct a mathematical model using clinical variables to predict whether or not the AKA will be identifiable with angiotomography.

## ■ METHOD

### Patients

We conducted a cross-sectional observational study of a database and archived images from a prior study<sup>5</sup> of patients with or without aortic disease who had been examined with angiotomography between October 2011 and July 2012.

During this period, the Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo conducted a total of 128 angiotomographies of the aorta in the diagnostic imaging department, using an Aquilion One scanner (Toshiba™, Medical Systems, Otawara, Japan). One hundred and ten of these examinations were

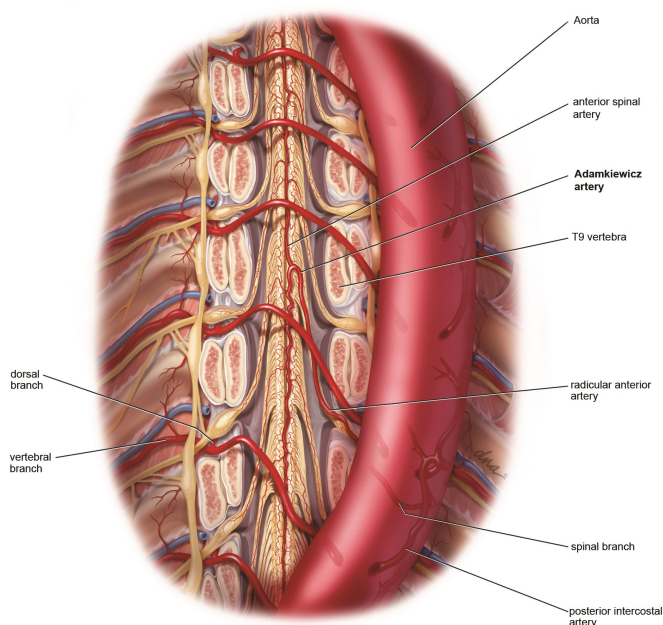


Figure 1. Illustration of the anatomy of the spinal blood supply, after removal of the vertebral body.

considered eligible for the study, on the basis of the inclusion and exclusion criteria.

The inclusion criteria were as follows: patients who had undergone angiotomography of the aorta using an Aquilion One scanner and following a predefined protocol, irrespective of the reasons for ordering the examination; patients who accepted an aortic angiotomography as a supplementary test, in cases in which the treating physician had not ordered the examination.

The exclusion criteria employed were as follows: patients who had previously undergone surgery on the descending aorta; patients with rare diseases that could compromise the results because of collateral circulation (Takayasu's disease, aortic coarction); paraplegic or tetraplegic patients; known allergy to radiology contrast; concurrent enrollment on another study that would interfere with the protocol; patients with intramural hematoma and penetrating aortic ulcer; age less than 25 years, to ensure sample homogeneity; technical failure of opacification of the aorta.

Routine outpatients angiotomographies were analyzed prospectively, using the open source software package OsiriX® (Pixmeo, Geneva, Switzerland).<sup>6</sup> Images were blindly analyzed; the evaluator was unaware of why the examination had been conducted and assessments of whether aortic disease was present were made in a second round of analyses of the images, during which the evaluator was unaware of whether or not the AKA had been identified.

Angiotomography examinations were conducted according to a preestablished routine: images were all acquired using the same Aquilion One, 320-detector scanner, with software for helical scanning with 80 to 160 detectors, following the protocol for arterial contrast studies with 100 to 110 mL of non-ionic contrast administered intravenously over 30 s with an injection pump at a velocity of 4 to 5 mL/s, with the trigger configured for a greater contrast concentration in the descending aorta and a threshold of 150 HU. The technical parameters of the angiotomographic method used follow the recommendations contained in aortic disease diagnosis and treatment guidelines.<sup>7</sup>

Patients were stratified according to the following characteristics: sex, age, ethnic group, weight, height, and body mass index (BMI). Presence or absence of the anterior spinal artery, presence and location of the AKA, and presence or absence of aortic disease, thrombus, and dissection were evaluated by a single, experienced observer directly on the highest quality raw DICOM images from the patient's examination. Additionally, dichotomous risk factors related to aortic diseases were also assessed: diabetes mellitus, metabolic syndrome, hyperlipidemia, and arterial hypertension. The variable smoking was categorized as smoker, ex-smoker, or non-smoker.

Sociodemographic data were obtained from the patients' medical records and directly from patients and their relatives, as follows: age, sex, and ethnicity. Ethnicity was defined according to the skin color reported by the participant, i.e. self-assessed. Self-reported multiracial variations were coded as brown skin. Patients were also told they could ignore this question.

Data were collected when taking patients' histories, from medical records, and by telephone from relatives when necessary. The following parameters were evaluated: weight, height, and BMI. Weight and height were measured using an anthropometric balance; BMI was calculated with the formula: weight (in kilograms) divided by the square of height (in meters). Smoking: patients were defined as current smokers if they had smoked one or more cigarettes during the preceding 30 days and as ex-smokers if they had ever smoked for more than 30 days. Diabetes mellitus (DM): patients were classified as diabetics if they had been taking oral hypoglycemic drugs and/or insulin, or had two fasting glycemia results  $\geq 126$  mg/dL. Systemic arterial hypertension (SAH): patients were considered hypertensive if they were taking antihypertensives and/or had systolic arterial blood pressure (SBP) greater than 140 mmHg and/or diastolic arterial blood pressure (DBP) greater than 90 mmHg. Dyslipidemia: patients were classified as having dyslipidemia if they were taking antihyperlipidemics and/or had elevated low density lipoprotein cholesterol (LDL-C  $\geq 160$  mg/dL) and/or elevated triglycerides (TG  $\geq 150$  mg/dL) and/or high density lipoprotein cholesterol (HDL-C)  $< 40$  mg/dL for men and  $< 50$  mg/dL for women.<sup>8</sup> Metabolic syndrome: diagnoses of metabolic syndrome were made according to International Diabetes Federation criteria. Presence of abdominal obesity is an essential criterion, combined with two or more of the following criteria: triglycerides  $\geq 150$  mg/dL; HDL-C  $< 40$  mg/dL for men and  $< 50$  mg/dL for women; SBP  $\geq 130$  mmHg and/or DBP  $\geq 85$  mmHg, or treatment for hypertension; fasting glycemia  $\geq 100$  mg/dL or treatment for diabetes mellitus.<sup>8</sup>

The method used to identify AKA has been used by the author, described and validated in a previous publication,<sup>3,6</sup> and an explanatory video illustrating the technique is available at <http://vascular.cc/aka.html>.

### Statistical analysis

The data obtained from patient histories and medical records were input on a secure online database (GoogleDocs®). After verification of the consistency of data, descriptive analyses were conducted for each group of patients.

Multivariate statistical analysis of data was conducted using Wizard 1.9.7 software (Evan Miller, Chicago,

US). Models were defined as good if the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve was greater than 0.7 and as excellent if the area under the ROC curve exceeded 0.85. The logit model was chosen since the outcome was binary and significance was defined as  $p < 0.05$ . Once the model had been constructed, a formula was derived to predict the outcome variable. The prediction formula calculates the expected value of the outcome (identification or failure to identify the AKA) based on the initial variables selected as meeting the criterion of area under the ROC curve greater than 0.7.

Considering the entire sample, Table 1 lists the variables collected and the preliminary analyses of the database that have been published previously.<sup>3,5</sup> The outcome selected was identification or failure to identify the AKA using the method proposed. The initial explanatory co-variables were chosen on the basis of prior knowledge of the influence of body mass, arterial disease, and atherosclerosis. Covariates with coefficients significantly different

Table 1. Sociodemographic data on the study population.

Characteristic		N = 110
Sex	Male	60 (54.5%)
	Female	50 (45.5%)
Age	Mean	60.97 ± 2.34
BMI	Mean	27.06 ± 0.98
Ethnicity (skin color)	Yellow	6 (6.8%)
	White	55 (62.5%)
	Brown	21 (23.9%)
	Black	6 (6.8%)
AKA	Yes	67 (60.9%)
	No	43 (39.1%)
Smoker	Yes	61 (55.5%)
	No	32 (29.1%)
	Ex-smoker	17 (15.5%)
Diabetes	Yes	15 (13.6%)
	No	95 (86.4%)
SAH	Yes	72 (65.5%)
	No	38 (34.5%)
Dyslipidemia	Yes	46 (58.2%)
	No	64 (41.8%)
Metabolic syndrome	Yes	25 (22.7%)
	No	85 (77.3%)
Aortic aneurysm	Yes	42 (38.2%)
	No	68 (61.8%)
Dissection of the aorta	Yes	14 (12.7%)
	No	96 (87.3%)
Mural thrombus	Yes	27 (24.5%)
	No	83 (75.5%)

AKA, Adamkiewicz artery; SAH, systemic arterial hypertension; BMI, body mass index.

from zero to the 10% level were maintained. Thus, ethnicity, smoking, BMI, hypertension, and dyslipidemia were chosen to construct the predictive model (Table 2). Selection of explanatory variables

Table 2. Significance of variables in the model studied and coefficients for the influence of variables on the outcome.

Explanatory variable	Coefficient	Standard error	P	Significance
Ethnicity (skin color)			0.0677	*
White	-2.471	(1.264)	0.0505	*
Brown	-1.297	(1.329)	0.3291	
Black	-0.971	(1.597)	0.5433	
BMI	-0.101	(0.055)	0.0664	*
Smoker			0.0196	**
Yes	-1.614	(0.801)	0.0439	**
Ex-smoker	-1.439	(0.595)	0.0156	**
SAH	-1.469	(0.604)	0.0150	**
Dyslipidemia	0.97	(0.555)	0.0806	*
Constant	6.262	(2.018)	0.0019	***

\*Coefficient significantly different from zero to the 10% level; \*\*Coefficient significantly different from zero to the 5% level; \*\*\*Coefficient significantly different from zero to the 1% level. SAH, systemic arterial hypertension; BMI, body mass index.

Receiver operating characteristic

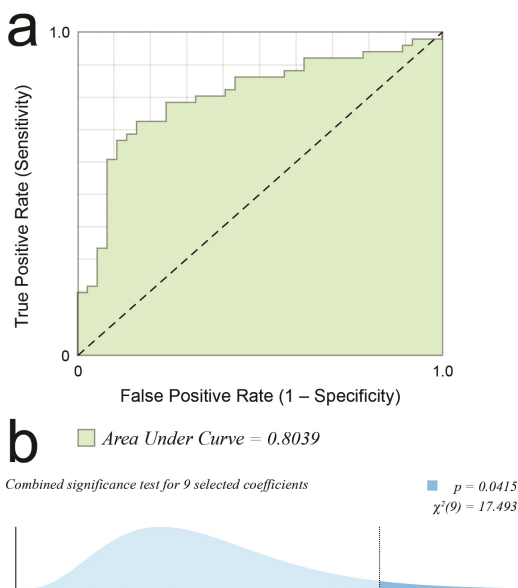


Figure 2. (a) Receiver operating characteristic (ROC) curve. The greater the area under the curve, the better the fit (1.0 = perfect; 0.5 = random). Area under the curve = 0.8039; (b) T distribution used to test the hypothesis centered on the point of estimation, with test of significance for nine selected covariates, with a result of  $p = 0.0415$ .

was guided by largest area under the ROC curve (Figure 2A) and by the combined significance of the variables (Figure 2B), so that a balance was achieved between the number of explanatory variables, without excessive variables, and the greatest influence on area under the ROC curve.

This investigation was conducted in accordance with the principles set out in the Helsinki Declaration. The study was approved by the Scientific Commission at the Instituto do Coração (InCor), Universidade de São Paulo, and the Research Ethics Commission at the HC-FMUSP on 05/05/2010, under reference number 0089/10. It is registered on the Brazilian national human research ethics register (SISNEP) maintained by the National Research Ethics Commission (CONEP - Comissão Nacional de Ética em Pesquisa), under number 0088.0.015.000-10. All patients or their guardians were given explanations about the objectives of the study, agreed to participation, and signed free and informed consent forms, which included the current data analysis in the terms of permission.

**Results**

The formula for calculating the probability of detecting the AKA  $(e^{-(Coef. Ethnicity + (Coef. BMI \times BMI) + Coef. smoker + Coef. SAH + Coef. dyslip + Constant)} + 1)^{-1}$  enabled construction of the prediction model, which was exported to an excel spreadsheet (Figure 3). Table 2 lists the constant and the coefficients for the influence of the variables selected for calculation of the outcome. The model was formatted and sent to an online service and then published for general use at the web address <https://vascular.pro/aka-model>. The variables can be changed in real-time and calculate the probability of identification of the AKA.

**DISCUSSION**

Spinal cord ischemia is a possible complication of aortic surgery and, while rare, it is devastating and merits study.<sup>9</sup> In vivo examination of the AKA is difficult because the method considered to be the gold standard, angiography, currently has unacceptably high rates of serious complications: 8.2% for localized complications, 3.7% for non-neurological complications, and 2.2% for neurological complications,<sup>10</sup> and does not achieve detection in 100% of cases (without aortic disease: 68%;<sup>10</sup> with aortic disease: 60%).<sup>11</sup>

The angiotomographic characteristics of the AKA in populations with and without aortic disease have been studied and reported in an earlier publication by the author.<sup>3,5</sup> Improved knowledge of the spinal blood supply should affect and provide a foundation for creation of new strategies for prevention of spinal cord ischemia during aortic surgery and other neurological surgical procedures. Boll et al. analyzed 100 examinations of patients with pancreatic cancer and applied a modified version of a graphical algorithm for reconstruction of images of cerebral vessels. The AKA was identified in all cases, but it is unclear whether the high rate of detection was because of the absence of aortic disease or the different method used to process the images.<sup>12</sup>

According to the literature, it is possible to identify the AKA using computed tomography in around 70% of cases analyzed,<sup>1,6,8-12</sup> although the cause of non-identification in the remaining cases is unclear. Influence from atherosclerosis, mural thrombus, dissection, and body mass has been suggested.<sup>3,5</sup>

The imaging protocol used was as close as possible to habitual angiotomography protocols, so that it represented the routine examinations conducted at many medical centers. Care was taken to minimize the radiation dose to reduce risks.<sup>13</sup>

	A	B	C
1	<b>variable</b>	<b>prediction 1</b>	
2	ethnicity	B	
3	BMI	36.594	
4	smoker	0	
5	SAH	0	
6	dyslip.	0	
7			
8	<b>Predicted chance AKA = 0</b>	47.97%	
9	<b>Predicted chance AKA = 1</b>	52.03%	
10			

**Figure 3.** Simplified appearance of the model for prediction of identification of the AKA on a basic electronic spreadsheet. Interface for data collection for calculating the probability of the outcome.



Figure 4. Final result of the methodology employed for identification of the AKA, angular angiotomography slice of the spinal space, showing the AKA.

Since angiotomography is a method based on X-rays, it suffers from artifacts close to very dense structures, such as bones. The vessels studied are surrounded by a bony framework, but modern equipment allows this problem to be reduced to a minimum<sup>14-16</sup> (Figure 4).

All of the variables tested representing comorbidities and risk factors for atherosclerosis were associated with lower rates of AKA identification. In the subset of smokers, ex-smokers, and hypertensive patients, the likelihood of non-identification of the AKA was statistically significant. Patients in whom the AKA could not be identified had a higher incidence of metabolic syndrome (31.1%), compared with those in whom the AKA could be evaluated, who had a lower rate of metabolic syndrome (15.7%). This fact may be a consequence of this syndrome being related to more advanced atherosclerotic vascular damage,<sup>17</sup> increasing the likelihood of non-identification of the AKA by 2.42 times ( $p = 0.054$ ) in comparison with those who did not have metabolic syndrome. All of the binary aortic disease variables tested (mural thrombus, dissection and/or thrombus, and aneurysms with and without dissection) were associated with reductions in identification of AKA with statistical significance, probably because of abnormal blood flow through the aorta and its branches, occlusion of the ostia of intercostal arteries, tortuosity of arteries secondary to anatomic distortion, and/or occlusion

by dissection flap, atherosclerotic plaque, or mural thrombus. When the AKA is not found, it could be occluded, it may not exist, or it may be too narrow to be detected by the method used.

Clinical variables were identified that have significance with relation to identification of the AKA, enabling a mathematical model for prediction of the result to be constructed. The absence of a low-risk gold-standard method for comparison of methods is one factor limiting this study. Setting a maximum limit for acceptable radiation dosage also limited the quality of the images acquired. However, the method employed required a mean of 12 mSv/(mGy·cm), which is considered a safe dose, is reproducible,<sup>18,19</sup> and provides satisfactory coverage of the aorta.

## CONCLUSIONS

It proved possible to use the covariates ethnicity, BMI, smoking, arterial hypertension, and dyslipidemia to create a mathematical model to predict identification of the AKA.

## REFERÊNCIAS

- Melissano G, Bertoglio L, Civelli V, et al. Demonstration of the Adamkiewicz artery by multidetector computed tomography angiography analysed with the open-source software OsiriX. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2009;37(4):395-400. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2008.12.022>. PMID:19230726.
- Amato ACM, Stolf NAG. Anatomy of spinal blood supply. *J Vasc Bras.* 2015;14(3):248-52. <http://dx.doi.org/10.1590/1677-5449.0004>.
- Amato ACM, Parga JR Fo, Stolf NAG. Predictors of Adamkiewicz artery and anterior spinal artery detection through computerized tomographic angiography. *SAGE Open Med.* 2017;5:1-7. <http://dx.doi.org/10.1177/2050312117711599>. PMID:28616230.
- Melissano G, Civilini E, Bertoglio L, Calliari F, Amato ACM, Chiesa R. Angio-CT imaging of the spinal cord vascularisation: a pictorial essay. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2010;39(4):436-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2009.11.026>. PMID:20034815.
- Amato ACM, Parga JR Fo, Stolf NAG. Influential factors on the evaluation of Adamkiewicz artery using a 320-detector row computed tomography device. *Ann Vasc Surg.* 2017;44:136-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.avsg.2017.02.019>. PMID:28501659.
- Ou P, Schmit P, Layouss W, Sidi D, Bonnet D, Brunelle F. CT angiography of the artery of Adamkiewicz with 64-section technology: first experience in children. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007;28(2):216-9. PMID:17296982.
- Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease - executive summary: a report of the american college of cardiology foundation/american heart association task force on practice guidelines, american association for thoracic surgery, american college of radiology, american stroke association, society of cardiovascular anesthesiologists, society for cardiovascular angiography and interventions, society of interventional radiology, society of thoracic surgeons, and society for vascular medicine.

- Anesth Analg. 2010;111(2):279-315. <http://dx.doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181dd869b>. PMID:20664093.
8. Sposito AC, Caramelli B, Fonseca FAH, et al. IV brazilian guideline for dyslipidemia and atherosclerosis prevention: department of atherosclerosis of Brazilian Society of Cardiology. *Arq Bras Cardiol.* 2007;88:2-19. <http://dx.doi.org/10.1590/S0066-782X2007000700002>. PMID:17515982.
  9. Gao L, Wang L, Su B, Wang P, Ye J, Shen H. The vascular supply to the spinal cord and its relationship to anterior spine surgical approaches. *Spine J.* 2013;13(8):966-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2013.03.017>. PMID:23608560.
  10. Forbes G, Nichols DA, Jack CR Jr, et al. Complications of spinal cord arteriography: prospective assessment of risk for diagnostic procedures. *Radiology.* 1988;169(2):479-84. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.169.2.3174997>. PMID:3174997.
  11. Savader SJ, Williams GM, Trerotola SO, et al. Preoperative spinal artery localization and its relationship to postoperative neurologic complications. *Radiology.* 1993;189(1):165-71. <http://dx.doi.org/10.1148/radiology.189.1.8372189>. PMID:8372189.
  12. Boll DT, Bulow H, Blackham KA, Aschoff AJ, Schmitz BL. MDCT angiography of the spinal vasculature and the artery of Adamkiewicz. *AJR Am J Roentgenol.* 2006;187(4):1054-60. <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.05.0562>. PMID:16985157.
  13. Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, et al. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radiology.* 2009;251(1):175-84. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2511081296>. PMID:19332852.
  14. Joseph PM, Ruth C. A method for simultaneous correction of spectrum hardening artifacts in CT images containing both bone and iodine. *Med Phys.* 1997;24(10):1629-34. <http://dx.doi.org/10.1118/1.597970>. PMID:9350717.
  15. Joseph PM, Spital RD. A method for correcting bone induced artifacts in computed tomography scanners. *J Comput Assist Tomogr.* 1978;2(1):100-8. <http://dx.doi.org/10.1097/00004728-197801000-00017>. PMID:670461.
  16. Goodenough DJ, Weaver KE, Costaridou H, Eerdmans H, Huysmans P. A new software correction approach to volume averaging artifacts in CT. *Comput Radiol.* 1986;10(2-3):87-98. [http://dx.doi.org/10.1016/0730-4862\(86\)90050-8](http://dx.doi.org/10.1016/0730-4862(86)90050-8). PMID:3754803.
  17. Olijhoek JK, van der Graaf Y, Banga JD, et al. The metabolic syndrome is associated with advanced vascular damage in patients with coronary heart disease, stroke, peripheral arterial disease or abdominal aortic aneurysm. *Eur Heart J.* 2004;25(4):342-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ehj.2003.12.007>. PMID:14984924.
  18. Huda W, Ogden KM, Khorasani MR. Converting dose-length product to effective dose at CT. *Radiology.* 2008;248(3):995-1003. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2483071964>. PMID:18710988.
  19. Van Unnik JG, Broerse JJ, Geleijns J, Jansen JT, Zoetelief J, Zweers D. Survey of CT techniques and absorbed dose in various dutch hospitals. *Br J Radiol.* 1997;70(832):367-71. <http://dx.doi.org/10.1259/bjr.70.832.9166072>. PMID:9166072.

---

**Correspondence**

Alexandre Campos Moraes Amato  
 Av. Brasil, 2283 - Jardim América  
 CEP 01431-001 - São Paulo (SP), Brasil  
 Tel.: +55 (11) 5053-2222  
 E-mail: dralexandre@amato.com.br

**Author information**

ACMA - Professor of Vascular Surgery, Universidade de Santo Amaro (UNISA); Full member, Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular; Board-certified in Vascular and Endovascular Surgery by Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular, and in Vascular Doppler Ultrasound by Colégio Brasileiro de Radiologia. JRPF - Assistant Physician and Investigator, Departamento de Radiologia, Instituto do Coração (InCor), Universidade de São Paulo. NAGS - Emeritus Professor of Cardiovascular Surgery, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FAMUSP).

**Author contributions**

Conception and design: ACMA, JRPF, NAGS  
 Analysis and interpretation: ACMA, JRPF, NAGS  
 Data collection: ACMA, JRPF, NAGS  
 Writing the article: ACMA, NAGS  
 Critical revision of the article: ACMA, JRPF, NAGS  
 Final approval of the article\*: ACMA, JRPF, NAGS  
 Statistical analysis: ACMA  
 Overall responsibility: ACMA

\*All authors have read and approved of the final version of the article submitted to *J Vasc Bras.*