Aprendizado de máquina na predição individual de reinternações após endarterectomia de carótida eletiva, ponte aortofemoral/correção de aneurisma da aorta e ponte arterial femorodistal

Amato ACM, Santos RV, Saucedo DZ, Amato SJTA

SAGE Open Medicine, 2020;8:2050312120909057

Tradução para o português do artigo publicado em inglês, feita com auxílio de inteligência artificial. Não é a versão oficial: em caso de divergência, vale o texto publicado pela revista.

Para citar, use a referência da versão publicada:

Amato ACM, Santos RV, Saucedo DZ, Amato SJTA. Machine learning in prediction of individual patient readmissions for elective carotid endarterectomy, aortofemoral bypass/aortic aneurysm repair, and femor - al-distal arterial bypass. SAGE Open Medicine. 2020;8:2050312120909057. doi:10.1177/2050312120909057

Versão publicada: https://doi.org/10.1177/2050312120909057

Esta tradução on-line: https://vascular.cc/artigos/machine-learning-in-prediction-of-individual-patient-readmissi- ons-for-elective-carotid-endarterectomy-aortofemoral-bypass-aortic-aneurysm-repair-and-femoral-distal-arterial- bypass/pt/

Publicado originalmente sob a licença CC BY-NC 4.0. Esta tradução é distribuída sob a mesma licença; alteração feita: tradução do inglês para o português.

Resumo

Objetivo: As reinternações hospitalares precoces vêm aumentando e são cada vez mais usadas em re - latórios públicos e na remuneração por desempenho. O problema da reinternação é fundamentalmente diferente nos pacientes cirúrgicos em comparação com os clínicos. Há uma oportunidade de intervir no pré-operatório para reduzir o risco de reinternação no pós-operatório.

Métodos: Desenvolveu-se um modelo preditivo de reinternação hospitalar em 90 dias para pacientes submetidos a endarterectomia de carótida eletiva, ponte aortofemoral/correção de aneurisma da aorta e ponte arterial femorodistal, com dados do Healthcare Cost and Utilization Project State Inpatient Da - tabase do estado da Flórida. O treinamento do modelo seguiu um método de reamostragem aninhada com subamostragem, para aumentar a velocidade de execução e reduzir o sobreajuste. Foram usados os seguintes preditores: idade, sexo, raça, renda domiciliar mediana, fonte pagadora principal prevista, local de residência do paciente, tipo de admissão, Índice de Comorbidade de Elixhauser–van Walraven, escore de comorbidade de Charlson, procedimento cirúrgico principal, tempo de internação, destino do paciente na alta, período do ano, volume do hospital e volume do cirurgião.

Resultados: Nossa amostra incluiu dados de 246.405 pacientes, dos quais 30,3% foram reinternados em 90 dias. Os pacientes reinternados tiveram mais admissões pela emergência (47,2% vs. 30%), maior porcentagem de escore de Charlson acima de 3 (35,8% vs. 18,7%), maior escore médio de van Walraven (8,32 vs. 5,34) e maior tempo médio de internação hospitalar (6,59 vs. 3,51). A endarterectomia foi o procedimento mais comum, respondendo por 19,9% de todos os procedimentos. Na predição da rein -

ternação em 90 dias, a análise discriminante por encolhimento (Shrinkage Discriminant Analysis) foi o modelo de melhor desempenho (área sob a curva = 0,68). As variáveis importantes do melhor modelo preditivo incluíram o tempo de internação hospitalar, os escores de comorbidade, o procedimento de endarterectomia e o tipo de admissão eletiva. A análise de sobrevida do tempo até a reinternação após os procedimentos cirúrgicos demonstrou razões de risco mais altas nos indivíduos com escore de comorbidade de Charlson acima de três (2,29 (2,26; 2,33)), nos pacientes transferidos para hospital de curta permanência (2,4 (2,23; 2,59)), para atendimento domiciliar (1,64 (1,61; 1,68)) ou para outro tipo de instituição (2,59 (2,54; 2,63)), nos que receberam alta contra a recomendação médica (2,06 (1,88; 2,26)) e nos que tiveram maior tempo de internação (1,89 (1,86; 1,91)).

Conclusão: O modelo estratifica o risco de reinternação com base no tipo de procedimento vascular, o que sugere que as tentativas de reduzir a reinternação vascular devem se concentrar nos procedimentos de emergência. Dado o foco atual nas reinternações e a pressão crescente para evitar reinternações não planejadas, este escore estratifica os pacientes pelo risco de reinternação, oferecendo um recurso adicional para identificar e prevenir reinternações desnecessárias.

Palavras-chave: Aneurisma, tratamento da carótida, análise de desfechos, doença arterial periférica oclusiva, centros vasculares, questões da prática.

Recebido em 19 de março de 2019; aceito em 21 de janeiro de 2020.

Introdução

À medida que o tempo de internação hospitalar diminui, a incidência de reinternações precoces vem aumentando.[1] A maioria das reinternações cirúrgicas está relacionada a complicações pós-operatórias.[1] A necessidade de reinternação hospitalar após cirurgia de grande porte também se associa a aumento significativo do risco de mortalidade.[2,3] As reinternações hospitalares são cada vez mais usadas em relatórios públicos e na remuneração por desempenho, o que dá aos sistemas de saúde fortes incentivos para estudar e reduzir as taxas de reinternação.[4] Isso levou a um interesse crescente no estudo das taxas de re-hospitalização e dos fatores que contribuem para elas.[5] A identificação de métricas para a predição de reinternação tornou-se uma das grandes prioridades dos prestadores de serviços de saúde.

O problema da reinternação é fundamentalmente diferente nos pacientes cirúrgicos em comparação com os clínicos: após um procedimento cirúrgico, as reinternações frequentemente se devem a uma condição clínica.[6] Os pacientes cirúrgicos têm comorbidades subjacentes semelhantes às dos pacientes clínicos, mas o que os diferencia é o fato de serem submetidos a um procedimento específico que, por si só, acarreta um risco associado de reinternação.[6] O outro grande fator de diferenciação dos pacientes cirúrgicos é que a intervenção que os coloca em risco costuma ser planejada. Isso sugere que existe uma oportunidade de ouro para intervir no pré-operatório e reduzir o risco de reinternação no pós-operatório.[6] As taxas de reinternação entre pacientes vasculares são estimadas em ~24%[7] e, segundo relatos, custam mais que qualquer outra reinternação estudada.[7]

Como não está claro quais fatores se associam a desfechos melhores e piores,[2] realizamos este estudo para examinar dados de reinternação e criar um modelo preditivo para doenças e procedimentos vasculares com altas taxas de reinternação. O objetivo deste estudo é examinar os fatores associados à reinternação hospitalar em 90 dias após procedimentos vasculares. O estudo foi realizado para melhorar a compreensão de quais fatores se associam com mais frequência à reinternação e para oferecer uma ferramenta que oriente o desenvolvimento de uma intervenção dirigida a reduzir as reinternações precoces e melhorar os desfechos dos pacientes de cirurgia vascular, usando big data e um sistema de aprendizado de máquina.

Métodos

Delineamento do estudo

Nosso objetivo foi realizar uma análise de dados secundários do Healthcare Cost and Utilization Project (HCUP) State Inpatient Database (SID) do estado da Flórida para desenvolver um modelo preditivo, baseado em algoritmos de aprendizado de máquina, de reinternação hospitalar em 90 dias em pacientes submetidos a endarterectomia de carótida eletiva (EAC), ponte aortofemoral/correção de aneurisma da aorta (PAF/CAA) e ponte arterial femorodistal (PAFD). Nossa estratégia de modelagem é descrita de acordo com a declaração TRIPOD.[8]

Ética

O protocolo de pesquisa deste estudo foi revisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (nú - mero 00112018).

Descrição dos dados

O HCUP[9] é um conjunto de bancos de dados mantido pela Agency for Healthcare Research and Quality e desenvolvido por meio de uma parceria federal, estadual e da indústria. O SID é um dos bancos de dados desenvolvidos como parte do HCUP e contém informações sobre as altas hospitalares de todos os hospitais de determinado estado, incluindo os registros de todos os pacientes, independentemente da idade ou da fonte pagadora. As variáveis de revisita do HCUP são vinculadas aos bancos estaduais do HCUP para rastrear múltiplas visitas hospitalares de uma mesma pessoa, determinar o tempo decorrido entre as visitas e avaliar as informações clínicas no momento da alta. Uma revisita pode ser definida como uma internação hospitalar, uma visita ao serviço de emergência ou uma visita para procedimento ambulatorial.[10] Calculamos a reinternação hospitalar em 90 dias, definida como uma revisita com in - ternação hospitalar em até 90 dias do procedimento índice. Nosso estudo analisou dados de procedi - mentos eletivos de EAC, PAF/CAA e PAFD no estado da Flórida de 2010 a 2013.

Participantes

Os critérios de inclusão foram pacientes submetidos a EAC, PAF/CAA e PAFD, identificados pela In - ternational Classification of Disease Version-9-Clinical Modification. Para a EAC, foram selecionados os seguintes códigos de procedimento: 3812-Endarterectomia, outros vasos da cabeça e do pescoço; 3950-Angioplastia ou aterectomia de outro(s) vaso(s) não coronariano(s); e 3990-Inserção de stent(s) vas - cular(es) periférico(s) não farmacológico(s). Para a PAF/CAA, foram selecionados os seguintes códigos: 3925-Ponte aorto-ilíaco-femoral; 3834-Ressecção de vaso com anastomose, aorta; 3864-Outra excisão de vasos, aorta, abdominal; 3844-Ressecção de vaso com substituição, aorta, abdominal; 3884-Outra oclusão cirúrgica de vasos, aorta, abdominal; 3924-Ponte aortorrenal; e 3952-Outra correção de aneu - risma. Para a PAFD, o código selecionado foi 3929-Outra derivação ou ponte vascular (periférica), que inclui as seguintes pontes (enxertos): axilobraquial, axilofemoral (superficial), braquial, femorofemoral, femorofibular, femoropoplítea (artérias), femorotibial (anterior) (posterior), poplítea e óxido nítrico sintase vascular (NOS). Selecionamos também os seguintes códigos adicionais relacionados aos proce - dimentos-alvo: 3846-Ressecção de vaso com substituição, artérias abdominais; 3836-Ressecção de vaso com anastomose, artérias abdominais; 3840-Ressecção de vaso com substituição, local não especifica - do; 3860-Outra excisão de vasos, local não especificado; 3866-Outra excisão de vasos, artérias abdo - minais; 3926-Outra derivação ou ponte vascular intra-abdominal; 3956-Reparo de vaso sanguíneo com enxerto de remendo de tecido; e 3957-Reparo de vaso sanguíneo com enxerto de remendo sintético.[10,11] Como nosso modelo foi criado para ser usado no momento da alta, excluímos os pacientes que morre - ram durante a internação, assim como os menores de 18 anos.

Desfechos

Os desfechos de interesse foram a reinternação (sim/não) em até 90 dias da alta após EAC, PAF/CAA ou PAFD e o tempo até a reinternação após a alta. O acompanhamento longitudinal foi obtido com as variáveis de vinculação de visitas entre os atendimentos dos pacientes, disponíveis para os pacientes do estado da Flórida.

Preditores

Selecionamos os seguintes preditores: (1) idade em anos; (2) sexo; (3) raça (branca, negra, hispânica e outras); (4) renda domiciliar mediana (percentil 0 a 25, percentil 26 a 50, percentil 51 a 75 e percentil 76 a 100); (5) fonte pagadora principal prevista (Medicare, Medicaid, seguro privado, pagamento próprio e outra); (6) local de residência do paciente (área rural ou Micropolitan Statistical Area, e Metropolitan Statistical Area); (7) tipo de admissão (emergência, urgência, eletiva e outra); (8) Índice de Comorbidade de Elixhauser–van Walraven, que prediz a mortalidade intra-hospitalar com base em um conjunto de 30 comorbidades agudas e crônicas dos códigos diagnósticos da International Classification of Diseases;[12,13] (9) escore de comorbidade de Charlson, para a classificação prognóstica de comorbidades, um escore ponderado derivado da soma dos escores de cada comorbidade;[13,14] (10) procedimento cirúrgico principal, incluindo endarterectomia, ponte aorto-ilíaco-femoral e outra correção de aneurisma; (11) tempo de internação hospitalar, contado em dias e definido como o tempo da data de admissão à data da alta; (12) destino do paciente na alta (rotina, atendimento domiciliar, transferência para hospital de curta permanência, transferência para outro tipo de instituição e alta contra a recomendação médica); (13) o período do ano em que o paciente recebeu alta, como primeiro trimestre (janeiro a março), segundo trimestre (abril a junho), terceiro trimestre (julho a setembro) e quarto trimestre (outubro a dezembro); (14) volume do hospital, definido como o número total de procedimentos realizados por ano em determinado hospital; e (15) volume do cirurgião, definido como o número de procedimentos realizados por um cirurgião por ano.

Análise dos dados e estatística

Nossa análise exploratória começou com uma exploração visual de todas as variáveis para avaliar a frequência, a porcentagem e a variância próxima de zero das variáveis categóricas (sexo feminino, raça, renda, local de residência, procedimento principal, fonte pagadora principal prevista, tipo de admissão, destino na alta, trimestre da alta), a distribuição das variáveis numéricas (idade na admissão, escore de comorbidade de van Walraven (escore numérico único que resume a carga de doença e é adequadamente discriminativo para óbito hospitalar),[12] escore de comorbidade de Charlson (prediz a sobrevida em 10 anos de pacientes com múltiplas comorbidades),[13] tempo de internação, volume do hospital, volume do cirurgião) e os respectivos padrões de valores ausentes.[15] A variância próxima de zero é identificada quando uma variável categórica tem uma porcentagem pequena em determinada categoria e foi tratada pela combinação de categorias da variável. Os valores ausentes foram tratados por algoritmos de imputação, seguidos de análises de sensibilidade para verificar se os resultados eram estáveis com e sem imputação.[16] As comparações da análise exploratória foram feitas por análise de variância (sendo os testes t uma categoria da análise de variância) e testes do qui-quadrado (teste exato de Fisher quando alguma célula apresentava frequência inferior a 5).

Modelamos a reinternação em até 90 dias após EAC, PAF/CAA e PAFD e o tempo até a reinternação como variáveis de desfecho, usando como preditores as seguintes variáveis: idade, sexo, raça, renda, tipo de fonte pagadora, local de residência, tipo de admissão, escore de comorbidade de van Walraven, escore de comorbidade de Charlson, procedimento principal realizado, tempo de internação, destino do paciente na alta, trimestre da alta, volume do hospital e volume do cirurgião. O treinamento do modelo

seguiu um método de reamostragem aninhada com subamostragem, para aumentar a velocidade de execução e reduzir o sobreajuste. A reamostragem aninhada consiste em duas etapas: a reamostragem externa seleciona aleatoriamente dois terços dos dados para treinamento, até o máximo de 20.000 observações, e os dados restantes para validação; a reamostragem interna usa os dados de treinamento fornecidos pela reamostragem externa e também os divide em dois terços para treinamento, até o máximo de 10.000 observações, e o restante para teste. Essa estratégia oferece uma arquitetura eficiente para evitar o sobreajuste, mantendo boa velocidade de execução e bom desempenho. Os modelos de classificação para a predição da presença ou ausência de reinternação nos primeiros 90 dias após a alta incluíram Random Forest, análise discriminante linear (Linear Discriminant Analysis), análise discriminante penalizada (Penalized Discriminant Analysis) e Stochastic Gradient Boosting. A comparação entre os modelos foi feita com as métricas de área sob a curva, sensibilidade, especificidade, Kappa e valores preditivos positivo e negativo. A curva ROC (receiver operating characteristic) é um gráfico da sensibilidade no eixo y e de 1 – especificidade no eixo x. A área sob a curva varia de 0 a 1, sendo 1 a predição perfeita e 0,5 o correspondente ao acaso.

Para entender melhor como o modelo classificava cada paciente, usamos o algoritmo Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME), que fornece informações sobre os fatores de risco que contribuíram para as predições de cada paciente.[17]

Avaliamos a sobrevida com um modelo de riscos proporcionais de Cox,[18] avaliando o risco de reinternação associado a diferentes preditores. Foram selecionados para essa análise os seguintes preditores: idade em anos (categorizada em ≤69 e >69), sexo, escore de comorbidade de Charlson (categorizado em ≤2, >2 a 3 e >3, usando três percentis estatisticamente iguais), raça (branca e outras), tipo de admissão (não eletiva e eletiva), fonte pagadora principal (Medicare, Medicaid, seguro privado, pagamento próprio e outras), renda domiciliar (percentil 0 a 25, percentil 26 a 50, percentil 51 a 75 e percentil 76 a 100), destino do paciente na alta (rotina, transferência para hospital de curta permanência, transferência para outro tipo de instituição, atendimento domiciliar e alta contra a recomendação médica), trimestre da alta (janeiro a março, abril a junho, julho a setembro e outubro a dezembro), tempo de internação (categorizado pela mediana em ≤1 e >1), volume anual do hospital (categorizado pela mediana em ≤454 e >454), volume anual do cirurgião (categorizado em ≥13, 14 a 70 e >70, usando três percentis estatisticamente iguais) e presença e ausência dos procedimentos principais, incluindo endarterectomia, ponte aorto-ilíaco-femoral e outras cirurgias relacionadas à correção de aneurisma. Os resultados são apresentados como razões de risco (hazard ratios) com intervalos de confiança de 95%, interpretados como significativos quando os intervalos de confiança não cruzavam 1,0.

Todas as análises foram realizadas na linguagem estatística R.[19]

Resultados

A Tabela 1 descreve a amostra total do estudo e compara os pacientes reinternados em até 90 dias da alta com os que não foram reinternados. As variáveis numéricas são comparadas por testes t e análise de variância de um fator (ANOVA), e as variáveis categóricas, por testes do qui-quadrado. Nossa amostra incluiu 246.405 pacientes, dos quais 30,3% foram reinternados em 90 dias. A maioria dos pacientes da amostra era do sexo masculino (57%), a maioria era branca (70,7%), e a média de idade foi de 67,8 (±12,9) anos. A maior parte dos pacientes (36,1%) tinha renda mediana abaixo do percentil 25, e 92,6% residiam em áreas metropolitanas. O Medicare foi a fonte pagadora mais comum (75,6%). Em comparação com os que não foram reinternados em até 90 dias da alta, os pacientes reinternados tiveram mais admissões pela emergência (47,2% vs. 30%), maior porcentagem de indivíduos com escore de Charlson acima de 3 (35,8% vs. 18,7%), maior escore médio de van Walraven (8,32 vs. 5,34) e maior

tempo médio de internação hospitalar (6,59 vs. 3,51). Os pacientes reinternados também tenderam a ser tratados por cirurgiões com menor volume anual médio de pacientes (56,3 vs. 68,3) e em hospitais com maior volume anual médio (535 vs. 522). Da amostra total, 74% tiveram alta de rotina, e a maior pro - porção de altas (25,9%) ocorreu no segundo trimestre (abril a junho). A endarterectomia foi o mais co - mum dos três procedimentos principais avaliados, com um total de 19,9% de todos os procedimentos envolvendo endarterectomia.

Ao avaliar a associação entre os procedimentos principais e o tempo até a reinternação, verificamos que os pacientes submetidos a PAF/CAA tiveram tempo até a reinternação significativamente menor que os que não foram submetidos a esses procedimentos (Figuras 1 e 2).

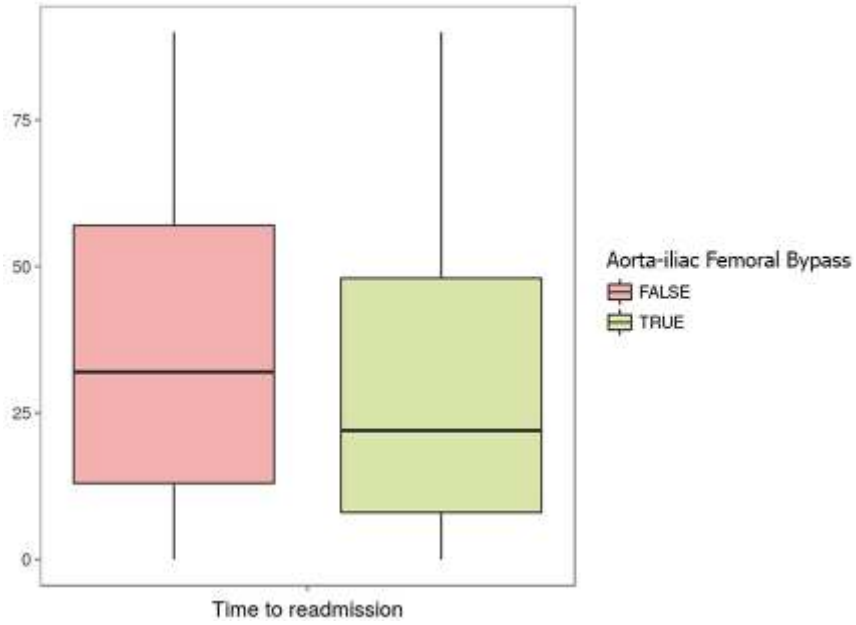


Figura 1. Associação entre a ponte aorto-ilíaco-femoral e o tempo até a reinternação após a alta hospitalar. (FALSE: procedimento ausente; TRUE: presente.)

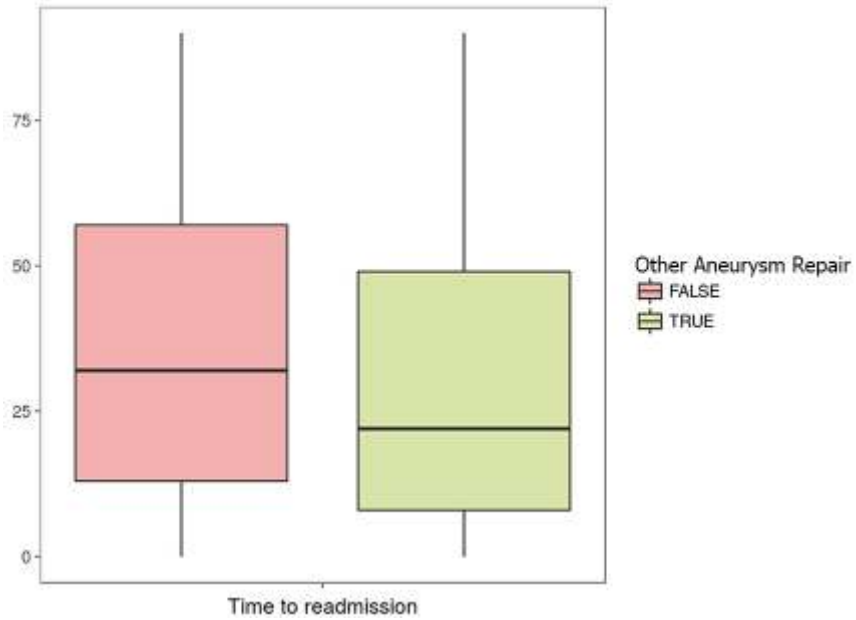


Figura 2. Associação entre outra correção de aneurisma e o tempo até a reinternação após a alta hospitalar. (FALSE: procedimento ausente; TRUE: presente.)

Verificamos que a análise discriminante por encolhimento (Shrinkage Discriminant Analysis) foi o modelo de melhor desempenho na predição da reinternação em 90 dias após EAC, PAF/CAA e PAFD, com área sob a curva de 0,68 (Figura 3). Teve valor preditivo positivo de 0,74 e valor preditivo negativo de 0,55. As variáveis importantes do melhor modelo preditivo incluíram o tempo de internação hospi - talar, os escores de comorbidade, o procedimento de endarterectomia e o tipo de admissão eletiva (Fi - gura 4).

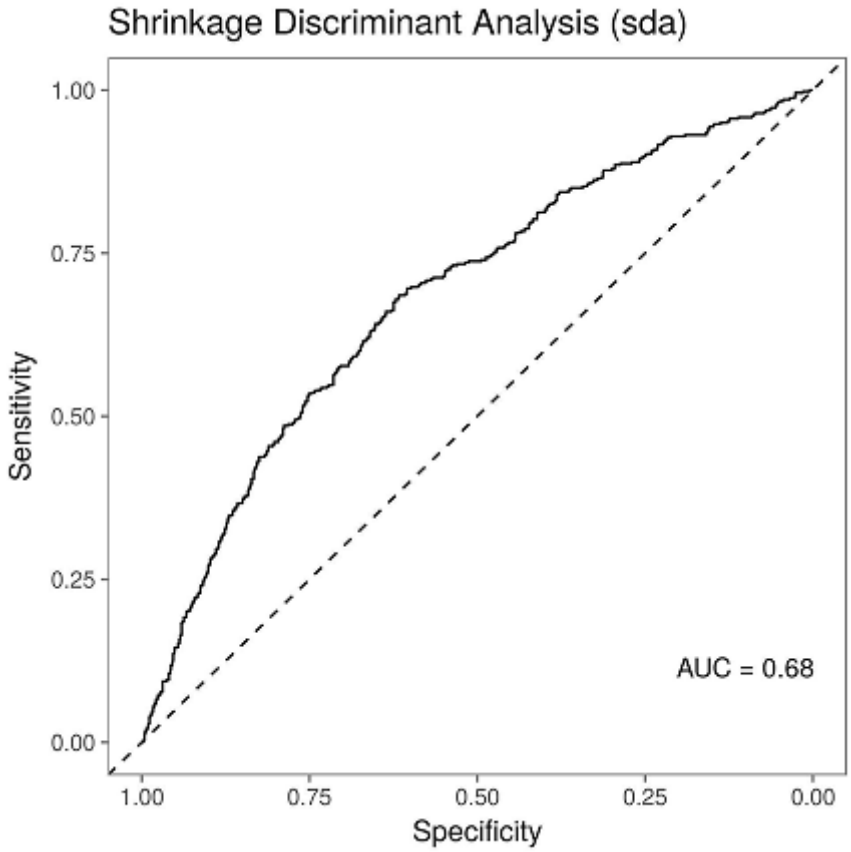


Figura 3. Curvas ROC dos modelos de melhor desempenho na predição da reinternação em até 90 dias da alta.

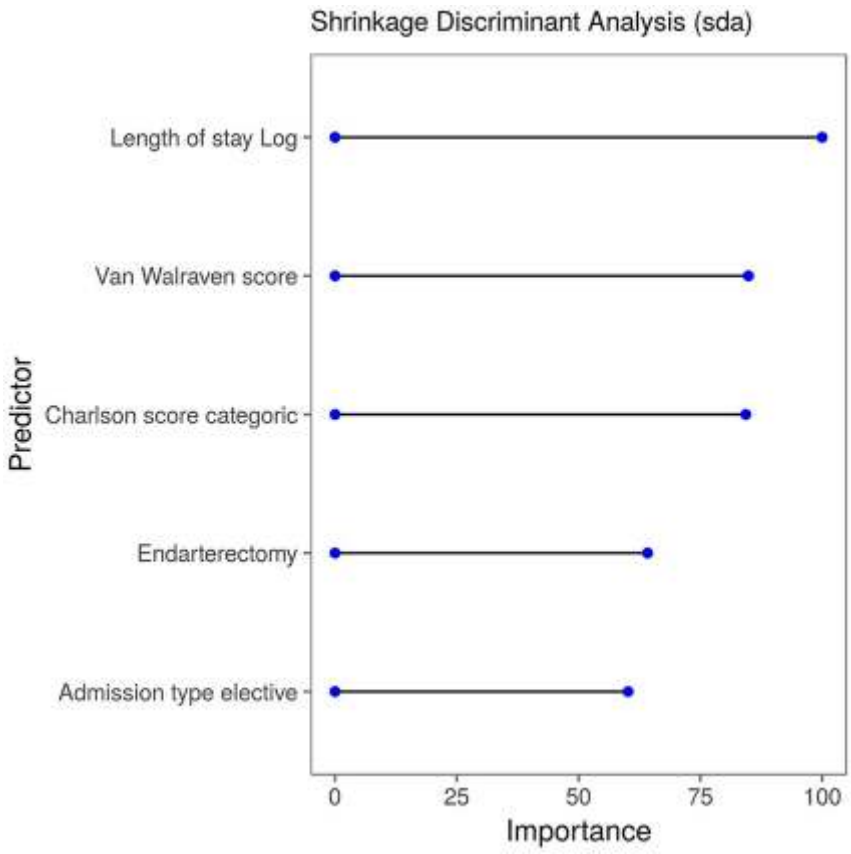


Figura 4. Importância das variáveis nos modelos preditivos de melhor desempenho para a reinternação em até 90 dias da alta.

A Figura 5 ilustra as probabilidades de predição dos modelos, mostrando aproximações de quanto e em que direção cada variável contribuiu para a predição em quatro pacientes específicos. As barras verdes representam o quanto a variável aumenta o risco do desfecho, enquanto as barras vermelhas mostram o risco na direção oposta. Por exemplo, ao avaliar o risco de reinternação em 90 dias de determinado paciente (caso #139417), o gráfico detectou que não ter sido submetido a endarterectomia, ter escore de Charlson inferior ou igual a três e o tempo de internação foram as variáveis que mais contribuíram para as predições do modelo naquele paciente específico.

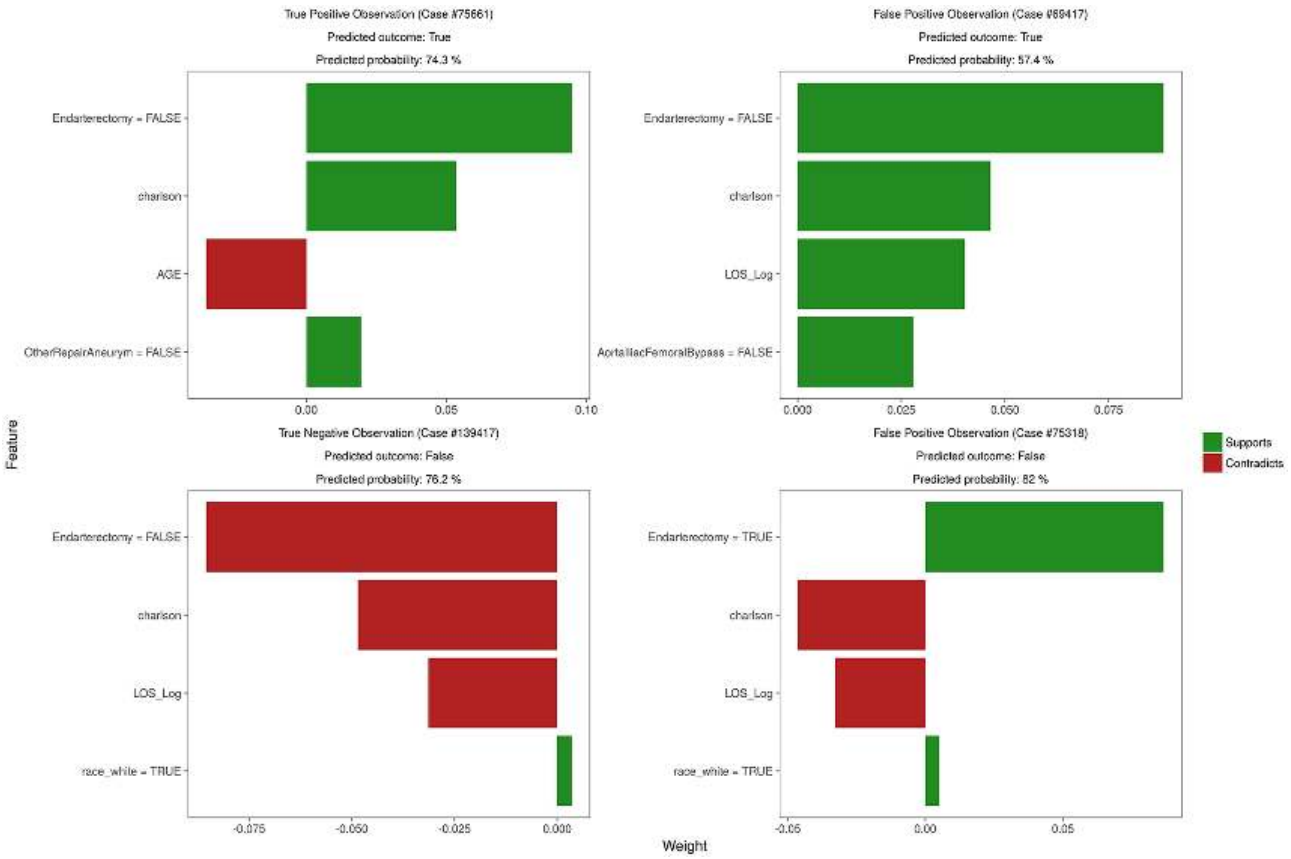


Figura 5. Importância das variáveis nas predições de pacientes individuais. (Rótulos do gráfico em inglês, como publicado: *Supports*, apoia; *Contradicts*, contradiz; *Predicted probability*, probabilidade prevista.)

Na análise de sobrevida do tempo até a reinternação após os procedimentos cirúrgicos, todas as variáveis analisadas foram consideradas estatisticamente significativas (p < 0,001), e as razões de risco foram mais altas nos indivíduos com escore de comorbidade de Charlson acima de três (2,29 (2,26; 2,33)), nos pacientes transferidos para hospital de curta permanência (2,4 (2,23; 2,59)), para atendimento domiciliar (1,64 (1,61; 1,68)) ou para outro tipo de instituição (2,59 (2,54; 2,63)), nos que receberam alta contra a recomendação médica (2,06 (1,88; 2,26)) e nos pacientes que permaneceram internados por mais tempo (1,89 (1,86; 1,91)) (Tabela 2). Os pacientes submetidos a endarterectomia tiveram risco de reinternação significativamente menor que os que não foram submetidos a esse procedimento (0,58 (0,57; 0,59), p < 0,001) (Figura 6).

Para disponibilizar o modelo para uso clínico, desenvolvemos um aplicativo web que calcula o risco de reinternação de determinado paciente, com os respectivos fatores de risco: https://vascular.pro/content/prediction-individual-patient-readmissions-elective-carotid-endarterectomy-aortofemoral.

Variável (ausentes)	Total (246.405)	Sem reinternação (171.627)	Reinternação (74.778)	Valor de p
Idade (0)	67,8 (±12,9)	68,1 (±12,6)	67,3 (±13,5)	<0,001
Sexo feminino (0)	105.951 (43%)	72.687 (42,4%)	33.264 (44,5%)	<0,001
Raça (1464)				<0,001
Branca	174.329 (70,7%)	125.626 (73,7%)	48.703 (65,4%)	
Negra	42.585 (17,3%)	26.199 (15,4%)	16.386 (22%)	

Variável (ausentes)	Total (246.405)	Sem reinternação (171.627)	Reinternação (74.778)	Valor de p
Hispânica	22.425 (9,1%)	14.767 (8,66%)	7658 (10,3%)	
Outra	5602 (2,27%)	3907 (2,29%)	1695 (2,28%)	
Quartil de renda (4791)				<0,001
0 a 25	89.069 (36,1%)	60.501 (36%)	28.568 (38,9%)	
26 a 50	82.182 (33,4%)	57.662 (34,3%)	24.520 (33,4%)	
51 a 75	52.323 (21,2%)	36.873 (21,9%)	15.450 (21%)	
76 a 100	18.040 (7,32%)	13.118 (7,8%)	4922 (6,7%)	
Local de residência (772)				<0,001
Rural ou Micropolitan	17.559 (7,13%)	12.723 (7,44%)	4836 (6,48%)	
Metropolitan Statistical Area	228.074 (92,6%)	158.277 (92,6%)	69.797 (93,5%)	
Fonte pagadora principal (1)				<0,001
Medicare	186.265 (75,6%)	127.769 (74,4%)	58.496 (78,2%)	
Medicaid	13.768 (5,59%)	8482 (4,94%)	5286 (7,07%)	
Seguro privado	34.916 (14,2%)	26.967 (15,7%)	7949 (10,6%)	
Pagamento próprio	4293 (1,74%)	3178 (1,85%)	1115 (1,49%)	
Outra	7162 (2,91%)	5230 (3,05%)	1932 (2,58%)	
Tipo de admissão (90.661)				
Emergência	55.735 (22,6%)	30.882 (30%)	24.853 (47,2%)	
Urgência	19.065 (7,74%)	12.017 (11,7%)	7048 (13,4%)	
Eletiva	80.944 (32,8%)	60.204 (58,4%)	20.740 (39,4%)	
Outra	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
Escore de Charlson (0)				<0,001
⩽2	141.106 (57,3%)	108.346 (63,1%)	32.760 (43,8%)	
>2 a ⩽3	46.525 (18,9%)	31.268 (18,2%)	15.257 (20,4%)	
>3	58.774 (23,9%)	32.013 (18,7%)	26.761 (35,8%)	
Escore de van Walraven (0)	6,25 (±6,7)	5,34 (±6,03)	8,32 (±7,64)	<0,001

Variável (ausentes)	Total (246.405)	Sem reinternação (171.627)	Reinternação (74.778)	Valor de p
Destino na alta (0)				<0,001
Rotina	182.423 (74%)	136.207 (79,4%)	46.216 (61,8%)	
Transferência para hospital de curta permanência	1451 (0,59%)	735 (0,43%)	716 (0,96%)	
Transferência para outro tipo de instituição	28.982 (11,8%)	13.880 (8,09%)	15.102 (20,2%)	
Atendimento domiciliar	32.506 (13,2%)	20.224 (11,8%)	12.282 (16,4%)	
Alta contra a recomendação médica	1043 (0,42%)	581 (0,34%)	462 (0,62%)	
Trimestre da alta (0)				<0,001
Primeiro trimestre (janeiro a março)	62.980 (25,6%)	43.431 (25,3%)	19.549 (26,1%)	
Segundo trimestre (abril a junho)	63.861 (25,9%)	44.455 (25,9%)	19.406 (26%)	
Terceiro trimestre (julho a setembro)	60.159 (24,4%)	41.536 (24,2%)	18.623 (24,9%)	
Quarto trimestre (outubro a dezembro)	59.405 (24,1%)	42.205 (24,6%)	17.200 (23%)	
Tempo de internação (638)	4,45 (±8,21)	3,51 (±6,87)	6,59 (±10,4)	<0,001
Volume anual do hospital (162)	526 (±336)	522 (±329)	535 (±350)	<0,001
Volume anual do cirurgião (0)	64,6 (±78,2)	68,3 (±78,8)	56,3 (±76,2)	<0,001
Procedimento principal				
Endarterectomia (0)	49.021 (19,9%)	38.982 (22,7%)	10.039 (13,4%)	<0,001
Ponte aorto-ilíaco-femoral (0)	4093 (1,66%)	2972 (1,73%)	1121 (1,5%)	<0,001
Outra correção de aneurisma (0)	3330 (1,35%)	2226 (1,3%)	1104 (1,48%)	<0,001

Tabela 1. Características da amostra do estudo.

Preditores	Tempo até a reinternação	Valor de p
Idade (anos)		
⩽69	1 [Referência]	
>69	0,94 (0,92; 0,95)	<0,001
Sexo		
Masculino	1 [Referência]	
Feminino	1,07 (1,06; 1,09)	<0,001
Escore de comorbidade de Charlson		
⩽2	1 [Referência]	
>2 a ⩽3	1,5 (1,47; 1,53)	<0,001
>3	2,29 (2,26; 2,33)	<0,001

Preditores	Tempo até a reinternação	Valor de p
Raça		
Outras	1 [Referência]	
Branca	0,73 (0,72; 0,74)	<0,001
Tipo de admissão		
Não eletiva	1 [Referência]	
Eletiva	0,54 (0,53; 0,55)	<0,001
Fonte pagadora principal		
Medicare	1 [Referência]	
Medicaid	1,28 (1,25; 1,32)	<0,001
Seguro privado	0,69 (0,67; 0,7)	<0,001
Pagamento próprio	0,81 (0,76; 0,85)	<0,001
Outra	0,84 (0,8; 0,87)	<0,001
Quartil de renda		
0 a 25	1 [Referência]	
26 a 50	0,92 (0,9; 0,93)	<0,001
51 a 75	0,91 (0,89; 0,93)	<0,001
76 a 100	0,83 (0,8; 0,85)	<0,001
Destino na alta		
Rotina	1 [Referência]	
Transferência para hospital de curta permanência	2,4 (2,23; 2,59)	<0,001
Transferência para outro tipo de instituição	2,59 (2,54; 2,63)	<0,001
Atendimento domiciliar	1,64 (1,61; 1,68)	<0,001
Alta contra a recomendação médica	2,06 (1,88; 2,26)	<0,001
Trimestre da alta		
Primeiro trimestre (janeiro a março)	1 [Referência]	
Segundo trimestre (abril a junho)	0,98 (0,96; 1)	0,017
Terceiro trimestre (julho a setembro)	1 (0,98; 1,02)	0,826
Quarto trimestre (outubro a dezembro)	0,93 (0,91; 0,95)	<0,001
Tempo de internação		
⩾1	1 [Referência]	
>1	1,89 (1,86; 1,91)	<0,001
Volume anual do hospital		
⩽54	1 [Referência]	
>54	1,01 (0,99; 1,02)	0,333
Volume anual do cirurgião		
⩽13	1 [Referência]	
>13 a 70	0,69 (0,68; 0,7)	<0,001

Preditores	Tempo até a reinternação	Valor de p
>70	0,63 (0,62; 0,64)	<0,001
Endarterectomia ausente	1 [Referência]	
Endarterectomia presente	0,58 (0,57; 0,59)	<0,001
Ponte aortofemoral ausente	1 [Referência]	
Ponte aortofemoral presente	0,91 (0,85; 0,96)	<0,001
Outra correção de aneurisma ausente	1 [Referência]	
Outra correção de aneurisma presente	1,14 (1,08; 1,21)	<0,001

Tabela 2. Análise de sobrevida: razão de risco do tempo até a reinternação para os procedimentos cirúrgicos de endarterectomia de carótida, ponte aortofemoral/correção de aneurisma da aorta e ponte arterial femorodistal.

Discussão

Embora haja ampla literatura sobre a re-hospitalização atribuída a condições específicas, especialmente a insuficiência cardíaca,[20] a pesquisa sobre as doenças e os procedimentos vasculares que contribuem para a re-hospitalização é muito limitada.[7,21–23] Em relação à doença arterial oclusiva dos membros inferiores, no fim da década de 1990, Goodney et al.[24] relataram taxas de reinternação de 19,3% para os pacientes submetidos a ponte nos membros inferiores, de 11,2% para a EAC e de 10,9% para a CAA eletiva. A reinternação após EAC foi de 7% em um estudo de 2007.[25] Em 2009, relatou-se uma taxa de reinternação em 30 dias de 24% para os pacientes submetidos a cirurgia vascular periférica.[21] Recentemente, também foram relatadas, para todos os procedimentos vasculares, uma taxa de reinternação em 30 dias de 23,3% e uma taxa de reinternação em 1 ano de 53,8%, e os pacientes reinternados eram com mais frequência diabéticos (69%), hipertensos (92%), dislipidêmicos (66%) e ex-tabagistas ou tabagistas ativos (62%), e tinham mais comorbidades cardiovasculares (87%).[26] Em outro estudo, as taxas de reinternação em 30 dias foram equivalentes para a correção endovascular do aneurisma (13,3%) e para a correção aberta do aneurisma (12,8%).[3] Observamos uma porcentagem de reinternações após procedimentos vasculares maior que a de trabalhos anteriores,[24] mas nosso trabalho se baseia em dados de reinternação em 90 dias. Qualquer que seja a causa, é bem sabido que o custo da reinternação é muito alto.[27] Isso ressalta a importância de compreender os fatores modificáveis que influenciam as diversas causas de re-hospitalização.[21] As reinternações pós-operatórias são frequentes nos pacientes de cirurgia vascular,[7] mas falta-nos compreensão das razões e ferramentas para evitá-las.[7]

Demonstrou-se que as infecções após a alta foram as causas mais comuns de reinternação não planejada em cirurgia vascular,[7,28] e as operações vasculares mais comumente associadas à reinternação por infecção foram a ponte nos membros inferiores, a amputação e a ponte suprainguinal.[7] Esses achados sugerem que os esforços para reduzir as reinternações vasculares concentrados nos dados da internação hospitalar podem ser ineficazes e que as intervenções para reduzir as reinternações vasculares devem, portanto, concentrar-se na identificação imediata das complicações modificáveis após a alta.[28] Assim, foram propostas várias calculadoras de risco pré-operatório[22,23] usando dados de reinternação em 30 dias. Criou-se um modelo preditivo de complicações infecciosas para as reinternações vasculares não planejadas usando variáveis pré-operatórias dos pacientes.[7] Nesse modelo, Hicks et al.[7] identificaram os 5 principais fatores de risco pré-operatórios: presença de ferida aberta no pré-operatório, operação em regime de internação, obesidade classe III, unidade de valor relativo de trabalho e diabetes insulinodependente. Uma metanálise de 44 estudos publicados antes de 1990 revelou que a idade, o tempo de internação na hospitalização índice e o uso prévio de recursos hospitalares estavam entre os principais preditores independentes de reinternação.[29] Outros autores identificaram como preditores de reinter-

nação o sexo masculino,[30] a etnia branca,[27,31] o baixo nível socioeconômico,[32] o estado civil solteiro,[33] a comorbidade psiquiátrica,[34] os problemas comportamentais,[32] o diagnóstico,[30] a gravidade da doença,[35] o estado nutricional[36] e a comorbidade.[37]

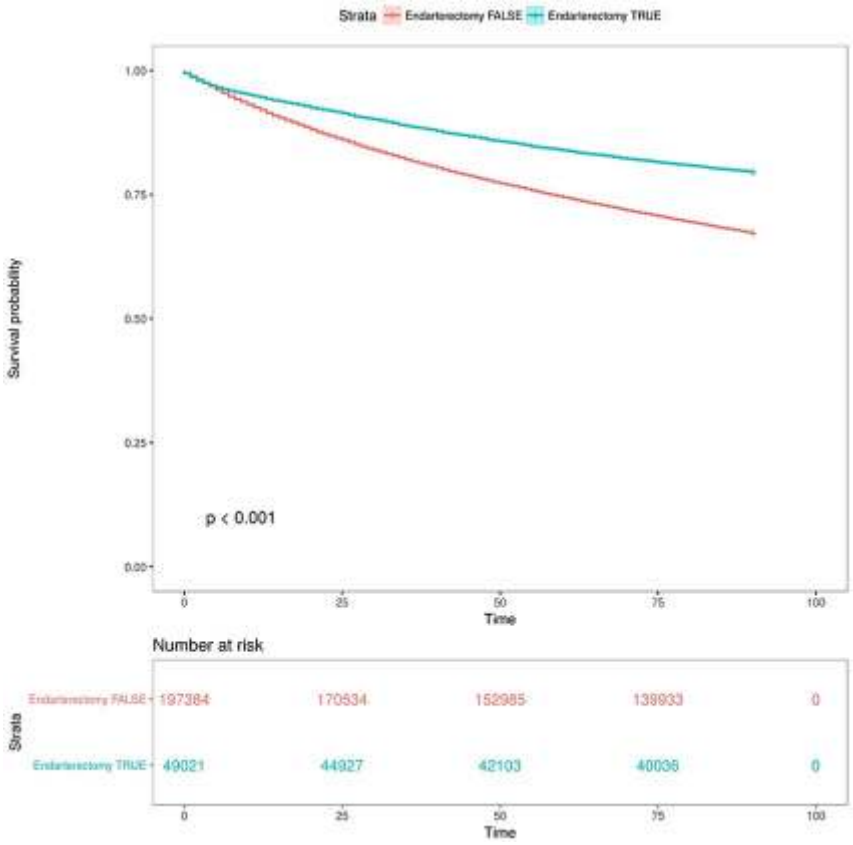


Figura 6. Reinternação após o procedimento de endarterectomia. (Rótulos do gráfico em inglês, como publicado: *Survival probability*, probabilidade de sobrevida livre de reinternação; *Number at risk*, número em risco; *Time*, tempo.)

Usando um grande banco de dados nacional, nossa análise examinou as associações entre a taxa de reinternação e os fatores de risco de procedimentos cirúrgicos vasculares comuns. Também criamos um escore de risco para prever a reinternação não planejada em pacientes vasculares, que incorpora as co‐morbidades pré-operatórias. O maior volume do hospital relacionou-se consistentemente a maior taxa de reinternação, em contraste com estudos anteriores.[24] Além disso, cirurgiões com menor volume anual de pacientes e maior tempo de internação associaram-se ambos a maiores taxas de reinternação. A cirurgia de emergência e a cirurgia de urgência associaram-se a mais reinternações, enquanto a ci‐rurgia eletiva associou-se à ausência de reinternação. Os procedimentos envolvendo a aorta também se relacionaram à reinternação. Embora nosso estudo não seja o primeiro a examinar a associação entre reinternação e fatores de risco em procedimentos vasculares e a desenvolver um método para calcular o risco de reinternação, e outros tenham relatado a reinternação hospitalar como medida de qualidade da assistência,[37] é o primeiro estudo a considerar dados de reinternação em 90 dias e a usar métodos de aprendizado de máquina para obter resultados precisos. Ao contrário da análise estatística tradicional, focada em fatores de risco de grupos de pacientes, o aprendizado de máquina permite fazer predições para pacientes individuais. Essa predição leva em conta todos os fatores em interação que tornam aquele paciente único: idade, sexo, comorbidades, admissão eletiva, raça, tempo de internação e quais‐quer outras características que possam associar-se aos desfechos.

A confiança é crucial para a interação eficaz entre seres humanos e sistemas de aprendizado de máqui‐na, e explicar as predições individuais é importante para construir essa confiança.[17] Os gráficos LIME

apresentados para a avaliação de cada paciente (Figura 5) são criados por um algoritmo capaz de explicar de forma fiel as predições de qualquer classificador ou regressor, aproximando-o localmente por um modelo interpretável.[17] O usuário pode, assim, compreender facilmente qual é a variável mais eficaz a ser modificada em cada paciente. O gráfico fornece uma grande quantidade de informação detalhada sobre cada variável selecionada.[38]

As variáveis importantes do modelo preditivo foram o tempo de internação, os escores de comorbidade, o procedimento de endarterectomia e o tipo de admissão eletiva. De todas as reinternações, a proporção das consideradas evitáveis em auditorias retrospectivas de prontuários variou de 9% a 50%.[37] Ashton et al.[39] mostraram que até 55% das reinternações poderiam dever-se a cuidados potencialmente modificáveis. Concentrar-se na reinternação de pacientes internados com condições específicas pode levar à identificação de necessidades clínicas, educacionais e psicossociais não atendidas.[37] Hospitais com taxas de reinternação semelhantes podem diferir na forma como os recursos são usados durante a internação. Sabe-se que a intensidade do cuidado difere entre hospitais de ensino e hospitais que não são de ensino.[24,40] É importante considerar também o uso de serviços de atendimento domiciliar, que também aumentou drasticamente nos últimos anos.[24] No entanto, não se sabe se o uso de serviços de atendimento domiciliar varia por hospital ou por procedimento.

Este estudo concentrou-se na reinternação de médio prazo e tem três pontos fortes principais. Primeiro, usamos um método estatístico novo, que fornece uma estimativa para um paciente específico; segundo, o grande banco de dados usado oferece uma base excelente e profunda para o aprendizado de máquina e a criação de algoritmos; e, terceiro, o método é amplamente disponível e prontamente aplicável, com um resultado gráfico de compreensão visual.

Nosso estudo tem limitações inerentes, em razão de sua natureza retrospectiva. Faltam variáveis específicas relacionadas à cirurgia vascular no banco de dados, e ele se limita a uma única localização geográfica. O banco de dados não diferenciava as reintervenções planejadas, como nos tratamentos híbridos,[41] e, teoricamente, as reinternações não planejadas são as do tipo mais evitável.[26] O aprendizado de máquina é frequentemente visto como um problema de "caixa-preta", o que significa que não fica evidente qual fator específico levou a determinada predição. Assim, um paciente com um grupo particular de características clínicas pode ter maior probabilidade de apresentar uma complicação, mas o modelo de aprendizado de máquina não dirá quais atributos daquele paciente específico foram responsáveis pela predição. É por isso que desenvolvemos o gráfico LIME, que mostra os principais fatores que contribuem para a reinternação hospitalar. Além das questões de disponibilidade de dados, estamos plenamente cientes de que os dados administrativos de acesso público podem ser bastante ruidosos, com erros de codificação e inconsistências de registro.[42] O aprendizado de máquina só terá sentido se médicos e pacientes se concentrarem nos fatores de risco modificáveis. O fluxo de trabalho para alcançar esse objetivo com o modelo fornecido é: (1) o médico usa os dados do paciente para simular tanto uma predição relacionada a determinado desfecho, por exemplo, uma complicação pós-operatória, quanto para detectar fatores que possam estar aumentando ou atenuando o risco. (2) A relação médico-paciente pode ser aprimorada pela construção de um plano para agir sobre quaisquer fatores de risco modificáveis, com simulações em tempo real. É possível criar cenários hipotéticos nos quais reduzimos os fatores de risco ou reforçamos os fatores de proteção, e então usar o modelo para comparar os níveis de risco com e sem essas intervenções.[37]

Estudar as causas de reinternação e desenvolver ferramentas de prevenção permite reduzir as taxas de reinternação após a implementação de revisões antes da alta e de melhor acompanhamento após a alta.[37] Dado o foco atual nas reinternações e a pressão crescente para evitar reinternações não planeja-

das, este escore estratifica os pacientes pelo risco de reinternação, ajudando a direcionar recursos para os de maior risco.

Conclusão

Este estudo identifica fatores de risco para reinternação após procedimentos vasculares selecionados e oferece um escore de risco preditivo simples, que identifica com precisão os pacientes de alto risco de reinternação. O modelo estratifica o risco de reinternação com base no tipo de procedimento vascular, o que sugere que as tentativas de reduzir a reinternação vascular devem se concentrar nos procedimentos de emergência.

Declaração de conflitos de interesse

Os autores declararam não haver potenciais conflitos de interesse em relação à pesquisa, à autoria e/ou à publicação deste artigo.

Aprovação ética

O protocolo de pesquisa deste estudo foi revisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (nú - mero 00112018).

Financiamento

Os autores não receberam apoio financeiro para a pesquisa, a autoria e/ou a publicação deste artigo.

Consentimento informado

O consentimento informado por escrito foi obtido dos representantes legalmente autorizados antes do estudo.

Referências

1. Aziz F, Lehman EB and Reed AB. Unplanned return to operating room after lower extremity arterial bypass is an independent predictor for hospital readmission. J Vasc Surg 2016; 63(3): 678–687.
2. Brooke BS, Goodney PP, Kraiss LW, et al. Readmission destination and risk of mortality after major surgery: an observational cohort study. Lancet 2015; 386(9996): 884–895.
3. Greenblatt DY, Greenberg CC, Kind AJ, et al. Causes and implications of readmission after abdominal aortic aneurysm repair. Ann Surg 2012; 256(4): 595–605.
4. Rosen AK, Chen Q, Shin MH, et al. Medical and surgical readmissions in the Veterans Health Administration: what proportion are related to the index hospitalization. Med Care 2014; 52(3): 243–249.
5. Zhang JQ, Curran T, McCallum JC, et al. Risk factors for readmission after lower extremity bypass in the American College of Surgeons National surgery quality improvement program. J Vasc Surg 2014; 59(5): 1331–1339.
6. Kassin MT, Owen RM, Perez SD, et al. Risk factors for 30-day hospital readmission among general surgery patients. J Am Coll Surg 2012; 215(3): 322–330.

7. Hicks CW, Bronsert M, Hammermeister KE, et al. Operative variables are better predictors of postdischarge infections and unplanned readmissions in vascular surgery patients than patient characteristics. J Vasc Surg 2017; 65(4): 1130–1141.
8. Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, et al. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement. Eur Urol 2015; 67: 1142–1151.
9. Healthcare cost and utilization project (HCUP). Overview of the State Inpatient Databases (SID): agency for healthcare research and quality, Rockville, 2018, https://www.hcup-us.ahrq.gov/sidoverview.jsp (accessed 6 November 2018).
10. Steiner C, Elixhauser A and Schnaier J. The healthcare cost and utilization project: an overview. Eff Clin Pract 2002; 5: 143–151.
11. Huber TS, Wang JG, Derrow AE, et al. Experience in the United States with intact abdominal aortic aneurysm repair. J Vasc Surg 2001; 33(2): 304–310; discussion 310.
12. Elixhauser A, Steiner C, Harris DR, et al. Comorbidity measures for use with administrative data. Med Care 1998; 36: 8–27.
13. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, et al. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. J Chronic Dis 1987; 40(5): 373–383.
14. Deyo RA, Cherkin DC and Ciol MA. Adapting a clinical comorbidity index for use with ICD-9-CM administrative databases. J Clin Epidemiol 1992; 45(6): 613–619.
15. Kuhn M and Johnson K. Applied predictive modeling. New York: Springer, 2013.
16. Prantner B. Visualization of imputed values using the R-package VIM, 2011, pp. 1–45, https://cran.r-project.org/web/packages/VIMGUI/vignettes/VIM-Imputation.pdf (accessed 6 November 2018).
17. Ribeiro MT, Singh S and Guestrin C. "Why should I trust you?" Explaining the predictions of any classifier, 2016, pp. 1–10, https://www.kdd.org/kdd2016/papers/files/rfp0573-ribeiroA.pdf (accessed 6 November 2018).
18. Roodnat JI, Mulder PG, Tielens ET, et al. The Cox proportional hazards analysis in words: examples in the renal transplantation field. Transplantation 2004; 77(4): 483–488.
19. The R and Foundation. The R Project for Statistical Computing, 2015, http://www.r-project.org/ (accessed 6 November 2018).
20. Ross JS, Mulvey GK, Stauffer B, et al. Statistical models and patient predictors of readmission for heart failure: a systematic review. Arch Intern Med 2008; 168(13): 1371–1386.
21. Jencks SF, Williams MV and Coleman EA. Rehospitalizations among patients in the Medicare fee-for-service program. N Engl J Med 2009; 360: 1418–1428.
22. Iannuzzi JC, Chandra A, Kelly KN, et al. Risk score for unplanned vascular readmissions. J Vasc Surg 2014; 59(5): 1340–1347.
23. Vanniyasingam T, Rodseth RN, Lurati Buse GA, et al. Predicting the occurrence of major adverse cardiac events within 30 days of a vascular surgery: an empirical comparison of the minimum p value method and ROC curve approach using individual patient data meta-analysis. Springerplus 2016; 5: 304.
24. Goodney PP, Stukel TA, Lucas FL, et al. Hospital volume, length of stay, and readmission rates in high-risk surgery. Ann Surg 2003; 238(2): 161–167.

25. Kennedy BS, Fortmann SP and Stafford RS. Elective and isolated carotid endarterectomy: health disparities in utilization and outcomes, but not readmission. J Natl Med Assoc 2007; 99: 480–488.
26. Qian LY, Png CYM, Safir S, et al. PC138 not all vascular surgery readmissions are created equal. J Vasc Surg 2017; 65: 176S.
27. Anderson GF and Steinberg EP. Hospital readmissions in the Medicare population. N Engl J Med 1984; 311: 1349–1353.
28. Glebova NO, Bronsert M, Hammermeister KE, et al. Drivers of readmissions in vascular surgery patients. J Vasc Surg 2016; 64(1): 185–194.
29. Soeken KL, Prescott PA, Herron DG, et al. Predictors of hospital readmission: a meta-analysis. Eval Health Prof 1991; 14: 262–281.
30. Krumholz HM, Parent EM, Tu N, et al. Readmission after hospitalization for congestive heart failure among Medicare beneficiaries. Arch Intern Med 1997; 157(1): 99–104.
31. Anderson GF and Steinberg EP. Predicting hospital readmissions in the Medicare population. Inquiry 1985; 22(3): 251–258.
32. Kovacs M, Charron-Prochownik D and Obrosky DS. A longitudinal study of biomedical and psychosocial predictors of multiple hospitalizations among young people with insulin-dependent diabetes mellitus. Diabet Med 1995; 12(2): 142–148.
33. Berkman B, Millar S, Holmes W, et al. Predicting elderly cardiac patients at risk for readmission. Soc Work Health Care 1991; 16(1): 21–38.
34. Gitlin DF, Levenson JL and Lyketsos CG. Psychosomatic medicine: a new psychiatric subspecialty. Acad Psychiatry 2004; 28: 4–11.
35. Burns R and Nichols LO. Factors predicting readmission of older general medicine patients. J Gen Intern Med 1991; 6(5): 389–393.
36. Friedmann JM, Jensen GL, Smiciklas-Wright H, et al. Predicting early nonelective hospital readmission in nutritionally compromised older adults. Am J Clin Nutr 1997; 65(6): 1714–1720.
37. Benbassat J and Taragin M. Hospital readmissions as a measure of quality of health care: advantages and limitations. Arch Intern Med 2000; 160(8): 1074–1081.
38. Pedersen TL and Benesty M. Understanding lime, 2018, https://cran.r-project.org/web/packages/lime/vignettes/Understanding_lime.html (accessed 6 November 2018).
39. Ashton CM, Del Junco DJ, Souchek J, et al. The association between the quality of inpatient care and early readmission: a meta-analysis of the evidence. Med Care 1997; 35(10): 1044–1059.
40. Taylor DH Jr, Whellan DJ and Sloan FA. Effects of admission to a teaching hospital on the cost and quality of care for Medicare beneficiaries. N Engl J Med 1999; 340(4): 293–299.
41. Chiesa R and Amato AC. Hybrid procedures for complex thoracoabdominal aortic aneurysms in high-risk patients. J Vasc Bras 2009; 8: 199–201.
42. Sun X, Lou Z, Li M, et al. Predictive modeling of care demand and transition. In: Li J, Kong N and Xie X (eds) Stochastic modeling and analytics in healthcare delivery systems. Singapore: World Scientific Publishing, 2017, pp. 135–166.

Tradução não oficial — Amato ACM, Santos RV, Saucedo DZ, Amato SJTA. Machine learning in prediction of individual patient readmissions for elective carotid endarterectomy, aortofemoral bypass/aortic aneurysm repair, and femoral-distal arterial bypass. SAGE Open Medicine. 2020;8:2050312120909057. doi:10.1177/2050312120909057 — https://vascular.cc/artigos/machine-learning-in-prediction-of-individual-patient-readmissions-for-elective-carotid-endarterectomy-aortofemoral-bypass-aortic-aneurysm-repair-and-femoral-distal-arterial-bypass/pt/