

Artículo Original de Investigación

Determinación de puntaje de Registro Global de Eventos Coronarios Agudos basado en síntomas iniciales de síndrome coronario mediante perceptrón multicapa

Determination of Global Registry of Acute Coronary Events score based on initial symptoms of coronary syndrome using multilayer perceptron

Alberto Guevara Tirado.

Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 11 de Octubre de 2024

Aceptado después de revisión

el 2 de Enero de 2025

www.revistafac.org.ar

El autor declara no tener

conflicto de intereses.

Palabras clave:

Síndrome Coronario Agudo;

Escala GRACE; Modelos Predictivos;

Mortalidad Cardiovascular;

Redes Neuronales de la Computación.

Keywords:

Acute Coronary Syndrome;

GRACE Scale; Predictive Models;

Cardiovascular Mortality;

Artificial Neural Networks.

RESUMEN

Introducción: la escala GRACE estima el pronóstico y mortalidad por síndrome coronario agudo.

Objetivo: predecir el puntaje GRACE según características de ingreso por síndrome coronario agudo en un hospital peruano mediante perceptrón multicapa.

Material y método: estudio analítico y transversal de una base de datos secundaria de 106 pacientes de un hospital peruano ingresados por síndrome coronario agudo. Las variables fueron puntaje GRACE, frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica, dolor en brazo izquierdo, dolor de cuello, dolor abdominal, edad y elevación del segmento ST. Se utilizó redes neuronales tipo perceptrón multicapa.

Resultados: la red neuronal tuvo un error relativo fue 0,168 y 0,139 en el entrenamiento y prueba, respectivamente. El gráfico de dispersión tuvo una distribución homogénea, con un coeficiente R² de 0,847, lo que indica que el 85% de la variación en el puntaje GRACE, puede ser explicado mediante el puntaje GRACE pronosticado mediante perceptrón multicapa. El promedio de puntaje GRACE en pacientes sin elevación ST fue 104,74, mientras que con elevación ST fue 142,14, similar al puntaje GRACE obtenido mediante perceptrón multicapa, donde el promedio en ausencia de elevación ST, fue 105,52, mientras que con elevación ST fue 140,36.

Conclusiones: el uso de redes neuronales es eficiente para la predicción de puntaje GRACE basado en síntomas y signos de ingreso en pacientes con síndrome coronario agudo.

Determination of Global Registry of Acute Coronary Events score based on initial symptoms of coronary syndrome using multilayer perceptron

ABSTRACT

Introduction: the GRACE scale estimates prognosis and mortality due to acute coronary syndrome.

Objective: to predict the GRACE score according to admission characteristics for acute coronary syndrome in a Peruvian hospital using multilayer perceptron.

Materials and methods: analytical and cross-sectional study of a secondary database of 106 patients from a Peruvian hospital admitted for acute coronary syndrome. The variables were GRACE score, heart rate, systolic blood pressure, left arm pain, neck pain, abdominal pain, age, and ST-segment elevation. Multilayer perceptron-type neural networks were used.

Results: The neural network had a relative error of 0.168 and 0.139 in training and testing, respectively. The scatter plot had a homogeneous distribution, with an R-squared of 0.847, indicating that 85% of the variation in the GRACE score can be explained by the GRACE score predicted by multilayer perceptron. The average GRACE score in patients without ST elevation was 104.74, while with ST elevation it was 142.14, similar to the GRACE score obtained using

multilayer perceptron, where the average in the absence of ST elevation was 105.52, while with ST elevation it was 140.36.

Conclusions: the use of neural networks is efficient for the prediction of GRACE score based on symptoms and signs upon admission in patients with acute coronary syndrome.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares son mundialmente la primera causa de muerte, habiéndose incrementado 60% en las últimas décadas, representando una carga socioeconómica importante en todos los países, con costos indirectos calculados de 237 mil millones de dólares por año y un aumento proyectado a 368 mil millones de dólares para 2035 a nivel mundial^{1,2}. En Perú, más de 4 mil personas mueren por infarto de miocardio³.

El síndrome coronario agudo (SCA), es una afección que cursa con una disminución de flujo arterial coronario, afectando la función y vitalidad del miocardio, provocando la muerte de este tejido. Puede cursar con elevación del segmento ST (bloqueo coronario total), asociado a ruptura de placa aterosclerótica, o sin elevación del segmento ST (bloqueo coronario parcial) asociado a erosión de la placa⁴. Los síntomas de ambos tipos de SCA son similares, siendo cardinal el dolor torácico, experimentado como opresión o ardor pudiendo irradiarse o localizarse en el brazo, hombro, cuello, espalda, abdomen superior o mandíbula, asociado a náuseas, diaforesis y disnea⁵.

Se han desarrollado puntuaciones para estimar el pronóstico y mortalidad por el síndrome coronario, como la Thrombolysis In Myocardial Infarction (TIMI), así como el puntaje de riesgo GRACE (*Global Register of Acute Coronary Events*). Respecto a la escala GRACE, evalúa el riesgo de mortalidad hospitalaria y a los 6 meses de alta, tanto en pacientes con elevación o sin elevación del segmento ST. Para ello utiliza como marcadores a la edad, presión arterial sistólica, frecuencia cardíaca, creatinina, biomarcadores elevados (como la troponina), cambios en el segmento ST, paro cardíaco durante la hospitalización y clasificación Killip para falla cardíaca⁶. Esta escala, desarrollada a partir de datos de más de 100 países es un recurso valioso para la toma de decisiones clínicas a corto y largo plazo⁷.

Para obtener estimaciones precisas de la escala GRACE, se requieren de marcadores bioquímicos, hemodinámicos y electrocardiográficos no siempre disponibles a corto plazo debido a la saturación de los servicios hospitalarios, lo que podría generar una leve, pero significativa brecha de tiempo hasta obtener las variables requeridas para alcanzar resultados predictores, por lo que tener un dato provisional podría orientar al médico cardiólogo o de emergencias a tener una perspectiva de planificación de la conducta a tomar (junto a su criterio clínico), hasta el momento en que disponga de la suficiente información para llegar a nuevas decisiones. Generalmente los datos más tempranamente disponibles son los síntomas físicos, la presión arterial y el patrón electrocardiográfico.

En ese sentido, el desarrollo de posibles factores predictores puede beneficiarse del uso de métodos de aprendizaje profundo, capaces de modelar relaciones complejas, flexibles, y que pueda resolver problemas complejos. Por ello, el objetivo de esta investigación fue predecir el puntaje GRACE según características de ingreso por síndrome coronario agudo en un hospital peruano mediante perceptrón multicapa.

MATERIAL Y MÉTODO

Diseño y población de estudio

Estudio analítico y transversal proveniente de una base de datos secundaria, perteneciente a Herrera-Castillo et al, del artículo "*Performance of the TIMI and GRACE scores in identifying the risk of death from acute coronary ischemic syndrome: a retrospective study in patients with chest pain at a Peruvian Hospital*" (en español "Desempeño de los puntajes TIMI y GRACE en la identificación del riesgo de muerte por síndrome isquémico coronario agudo: un estudio retrospectivo en pacientes con dolor torácico en un hospital peruano") subido a la plataforma F1000research.com⁸. La población estuvo conformada por 106 pacientes atendidos en el hospital Regional José Alfredo Mendoza Olavarría de Tumbes, Perú por síndrome coronario agudo (SCA) evaluados dentro de los 10 minutos de las manifestaciones clínicas, incluyendo dolor precordial dentro de las 48 horas previas al ingreso por urgencias, siendo evaluados mediante la escala GRACE. El total de la población de la base de datos fue de 106 pacientes, utilizando el total de la población para esta investigación. Las características de la población estudiada se encuentran en la [tabla 1](#).

Variables y mediciones

La variable dependiente fue la escala GRACE, la cual es un modelo aplicado a todos los síndromes coronarios, estimando la mortalidad hospitalaria y a seis meses, basado en la puntuación que considera las siguientes variables: edad, frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica, creatinina en sangre, paro cardíaco al ingreso, desviación del segmento ST en el ECG, enzimas cardíacas anormales (troponina) y clasificación Killip⁹. Las variables independientes incluidas como predictores en la red neuronal perceptrón multicapa fueron: edad (continua, en años), presión arterial sistólica (continua, en milímetros de mercurio), dolor abdominal (categórica, si y no), elevación del segmento ST (categórica, si y no), dolor de cuello (categórica, si y no), frecuencia cardíaca (continua) y dolor de brazo izquierdo (categórica, si y no).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó redes neuronales tipo perceptrón multicapa, la cual es una red neuronal artificial constituida por varias capas de neuronas interconectadas análogas a las neuronas biológicas, y organizado por tres capas: una capa de entrada, una o más ocultas y una de salida. Cada neurona de las capas ocultas y de salida posee una función de activación no lineal, permitiéndole al perceptrón modelar relaciones complejas. El perceptrón posee capacidad para realizar tareas de clasificación, predicción y regresión. Es un sistema que mediante retropropagación, puede aprender a partir de datos etiquetados, ajustando los pesos de las conexiones durante el entrenamiento. La red neuronal fue entrenada para predecir el puntaje GRACE a partir de edad, presión

arterial sistólica, dolor abdominal, de cuello y brazo izquierdo, elevación del segmento ST y frecuencia cardiaca.

Después de obtener los datos cuantitativos predichos por el perceptrón, se realizó un gráfico de dispersión para determinar en qué grado la distribución fue lineal. El gráfico incluyó el coeficiente de determinación R², el cual mide la precisión con la que un modelo estadístico predice un resultado, en este caso, en qué medida la variación del puntaje GRACE puede ser explicada por el puntaje GRACE derivado del perceptrón multicapa¹⁰. Finalmente, para complementar los hallazgos del gráfico de dispersión, se realizó una tabla donde, según la presencia o ausencia de elevación del segmento ST; se comparó el promedio de puntuación GRACE obtenida en el hospital, y la puntuación GRACE pronosticada mediante perceptrón multicapa. Ello con el fin de observar si los promedios fueron similares en ambos tipos de puntuaciones. Para la comparación de promedios se hizo uso de la prueba t de Student. El procesamiento y análisis de datos, incluido el modelado de la red neuronal, se realizó con el programa SPSS statistics 25TM, siendo la ruta para el entrenamiento de la red neuronal la siguiente: analizar → redes neuronales → perceptrón multicapa, colocando la puntuación GRACE como variable dependiente, y la edad, dolor abdominal, dolor de brazo izquierdo, dolor de cuello, presión arterial sistólica, elevación del segmento ST, y frecuencia cardiaca como covariables.

TABLA 1.

Características de la población estudiada

		Frecuencia	Porcentaje
Sexo	Hombre	67	63,20
	Mujer	39	36,80
Mayor de 50 años	No	54	50,90
	Si	52	49,10
Elevación ST	No	70	66
	Si	36	34
Dolor precordial	No	3	2,80
	Si	103	97,20
Dolor brazo izquierdo	No	28	26,40
	Si	78	73,60
Dolor de cuello	No	83	78,30
	Si	23	21,70
Diaforesis	No	63	59,40
	Si	43	40,60
Dolor abdominal	No	92	86,80
	Si	14	13,20
Disnea	No	45	42,50
	Si	61	57,50
Náuseas	No	77	72,60
	Si	29	27,40
Sincope	No	93	87,70
	Si	13	12,30
HTA	No	46	43,40
	Si	60	56,60
Hipercolesterolemia	Si	44	41,50
	No	62	58,50
Diabetes	Si	38	35,80
	No	68	64,20
Fumador	Si	82	77,40
	No	24	22,60
Paro cardíaco	Si	103	97,20
	No	3	2,80
Biomarcadores elevados (troponina)	Si	22	20,80
	No	84	79,20
Muerte	Si	97	91,50
	No	9	8,50

Consideraciones éticas

El estudio fue de carácter observacional y provino de una base de datos secundaria, por tanto, no existió intervención ni uso o manipulación de muestras biológicas, empleándose solo registros clínicos y datos anónimos proporcionados libremente por el autor de la base de datos original bajo licencia creative commons, por lo que no se requirió de evaluación por un comité de ética. La información complementaria, incluido la base de datos donde se realizó el entrenamiento de la red neuronal, están disponibles por medio del siguiente enlace:

https://figshare.com/articles/dataset/data_csv/23897043/1?file=41896686

RESULTADOS

La red neuronal realizó el entrenamiento con 72 pacientes, mientras que la prueba fue con 26. El error de suma de cuadrados fue 5,947 y 2,195 en el entrenamiento y prueba, respectivamente, y el error relativo fue 0,168 en el entrenamiento y 0,139 en la prueba (tabla 2)

La red neuronal tuvo 1 capa de entrada con 7 unidades, 1 capa oculta con 3 unidades, y una capa de salida con una unidad. La función de activación de capa oculta fue mediante tangente hiperbólica, mientras que la función de activación de capa de salida fue identidad. Las variables, de mayor a menor peso fueron la edad, presión arterial sistólica, dolor abdominal, elevación del segmento ST, dolor de cuello, frecuencia cardiaca y dolor de brazo izquierdo (Figura 1).

TABLA 2.

Resumen del modelo de redes neuronales para predicción de puntaje GRACE a partir de síntomas clínicos de ingreso

Entrenamiento (n=72)	Error de suma de cuadrados	5.947
	Error relativo	0.168
	Regla de parada utilizada	1 paso(s) consecutivo(s) sin disminución del error
	Tiempo de entrenamiento	0:00:00.01
Pruebas (n=36)	Error de suma de cuadrados	2.195
	Error relativo	0.139

El grafico de dispersión entre el puntaje GRACE y el valor pronosticado mediante perceptrón multicapa, tuvo una distribución homogénea, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,847, lo que indica que el 85% de la variación en el puntaje GRACE, puede ser explicado mediante el puntaje GRACE obtenido mediante síntomas y signos de ingreso a emergencia por síndrome coronario agudo (Figura 2).

El promedio de puntaje GRACE en pacientes sin elevación del segmento ST fue 104,74, mientras que con elevación del segmento ST fue 142,14. Respecto al puntaje GRACE obtenido mediante perceptrón multicapa, el promedio en ausencia de elevación ST, fue 105,52, mientras que con elevación ST fue 140,36 (Tabla 3).

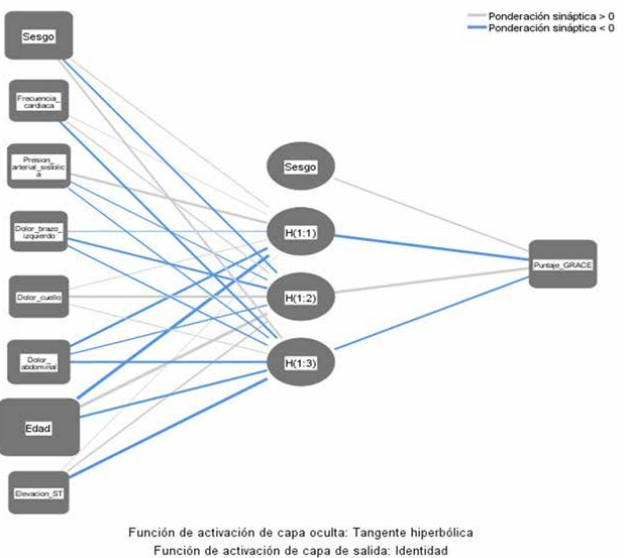


FIGURA 1.

Estructura de red neuronal tipo perceptrón multicapa para predicción de puntaje GRACE según síntomas y signos de ingreso en pacientes con síndrome coronario agudo

TABLA 3.

Promedio de puntaje GRACE basado en marcadores clínicos y promedio de puntaje GRACE pronosticado mediante perceptrón multicapa según presencia de elevación de segmento ST

	Puntaje GRACE (p<0,001)		Puntaje GRACE pronosticado mediante perceptrón multicapa (p<0,001)	
	Elevación ST	Promedio	DS	Promedio
No		104.74	29.593	105.52
Si		142.14	37.037	142.36

DS: desviación estándar

DISCUSIÓN

El modelo de red neuronal basado en edad, presión arterial sistólica, dolor abdominal, elevación del segmento ST, dolor de cuello, frecuencia cardiaca y dolor de brazo izquierdo tuvo un rendimiento adecuado para pronosticar la puntuación GRACE. En esta red neuronal, que además de incluir parámetros propios del puntaje GRACE, como la edad, frecuencia, cardiaca, presión arterial y elevación del segmento ST, también incluyó características asociadas a síntomas tempranos del síndrome coronario, como el dolor abdominal, de cuello y de brazo izquierdo. Estos síntomas tuvieron un peso para la red neuronal menor a la edad y presión arterial, pero similar a la frecuencia cardiaca y la elevación del segmento ST, y siendo mayores que el dolor de brazo izquierdo, el cual es un síntoma frecuente del síndrome coronario agudo.

El aporte a la red neuronal por parte del dolor abdominal y de cuello sugiere que su presencia durante las primeras etapas del SCA son relevantes predictores de gravedad. Respecto a las presentaciones atípicas, estudios previos han encontrado que las formas de dolor como el abdominal se asocian a tasas más altas de morbilidad y mortalidad incluso cuando se presentan en pacientes ambulatorios, mu-

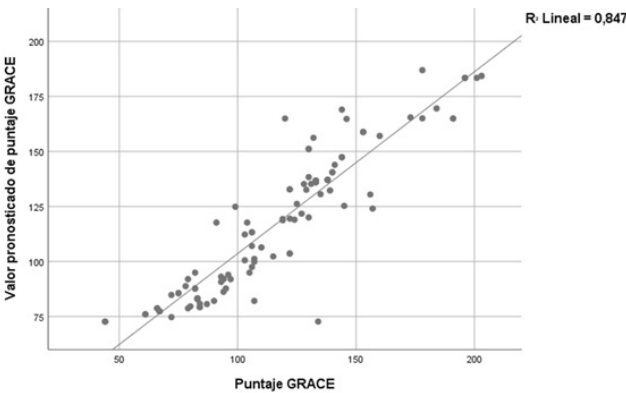


FIGURA 2.

Dispersión entre puntaje GRACE y valores pronosticados con perceptrón multicapa para puntaje GRACE

chas veces siendo subdiagnosticados o infradiagnosticados debido a que inicialmente puede impresionar cuadros gastrointestinales o respiratorios, en algunos casos presentándose como otalgia severa y dolor de garganta^{11,12,13,14,15}.

Sin embargo, los fundamentos fisiopatológicos de la mayor gravedad de los síntomas atípicos aún no han sido dilucidados completamente en la literatura médica, conociéndose factores de riesgo como la edad, antecedentes tabáquicos y la hipertensión¹⁶. Sin embargo, se conoce que el dolor craneofacial es un dolor referido del nervio vago aferente del corazón a los nervios somáticos eferentes a la cabeza y el cuello, de forma similar a la innervación simpática y parasimpática vinculada a nivel del abdomen^{17,18}. Posiblemente la presentación atípica extratorácica sea una manifestación de una extensión temprana de daño miocárdico adyacente a la zona infartada. Sin embargo, es necesario el desarrollo de estudios que expliquen este fenómeno.

La red neuronal tuvo un coeficiente R2 superior al 80%, lo que indica que los resultados son cercanos a la puntuación GRACE, lo que pudo apreciarse también al comparar los promedios de puntaje según la presencia o ausencia de supradesnivel ST, donde los promedios fueron virtualmente idénticos cuando se comparó con los valores GRACE y cuando se comparó con los valores del perceptrón multicapa. Este resultado abre la posibilidad de implementar algoritmos de redes neuronales artificiales en servicios de emergencias, permitiendo obtener estimaciones rápidas del estado de gravedad del paciente con síndrome coronario agudo, hasta poder tener todos los valores bioquímicos y hemodinámicos que forman parte de los criterios de la escala GRACE. En ese sentido, esta red neuronal entrenada no implica un reemplazo de escalas de gravedad validadas a nivel internacional, sin embargo, puede ser un complemento provisional durante etapas prematuras de la atención del paciente con síndrome coronario agudo, durante la brecha de tiempo previo a la obtención de todos los elementos que permitan al médico cardiólogo y emergenciólogo, optar por escalas como TIMI o GRACE, sobre todo considerando contextos donde los servicios de emergencia tengan un alto flujo de pacientes y una baja disponibilidad de personal y equipos médicos.

Entre las limitaciones de esta investigación estuvieron el hecho de que la información provino de una base de datos secundaria, por lo que podría existir sesgos de información y clasificación. Además, respecto a las variables relacionadas al dolor abdominal y de cuello, no estuvo disponibles especificaciones como la ubicación del abdomen o región cervical donde ocurrió el dolor, ni el tiempo transcurrido desde que aparecieron los síntomas. Asimismo, si bien el uso de esta red neuronal puede sugerir una utilidad inmediata, debe ser perfeccionada en lo que concierne al tamaño de la población de estudio, el cual fue de 106 pacientes, por lo que se invita a investigadores del campo de la cardiología a desarrollar modelos entrenados con mayores números de pacientes, de ser posible incrementando los datos de esta red entrenada, la cual se pone a disposición.

En conclusión, la red neuronal basada en edad, presión arterial sistólica, dolor abdominal, elevación del segmento ST, dolor de cuello, frecuencia cardíaca y dolor de brazo izquierdo tuvo un rendimiento adecuado para pronosticar la puntuación GRACE en pacientes atendidos por síndrome coronario agudo de un hospital peruano. Su implementación podría dar una aproximación al puntaje de gravedad hasta que se dispongan de los elementos que conforman los criterios de puntaje GRACE, permitiendo que el médico tenga una herramienta que complemente el criterio clínico y conducta a seguir durante etapas prematuras de la atención por síndrome coronario agudo. Sin embargo, se requiere estudios con mayor número poblacional para mejorar la predicción del modelo de red neuronal.

BIBLIOGRAFIA

- Deaths from cardiovascular disease surged 60% globally over the last 30 years: Report [Internet]. World Heart Federation. 2023. Disponible en <https://world-heart-federation.org/news/deaths-from-cardiovascular-disease-surged-60-globally-over-the-last-30-years-report/> Acceso 24 de Agosto de 2025.
- Vaduganathan M, Mensah GA, Turco JV, et al. The global burden of cardiovascular diseases and risk. *J Am Coll Cardiol* 2022; 80: 2361 – 2371.
- Al año más de 4 mil personas mueren por infarto en el Perú (3) [Internet]. Gob.pe. Disponible en <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/34838-al-ano-mas-de-4-mil-personas-mueren-por-infarto-en-el-peru> Acceso 24 de Agosto de 2025.
- Sweis RN. Overview of Acute Coronary Syndromes (ACS) [Internet]. MSD Manual Professional Edition. Disponible en <https://www.msdmanuals.com/professional/cardiovascular-disorders/coronary-artery-disease/overview-of-acute-coronary-syndromes-acs> Acceso 24 de Agosto de 2025.
- Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, et al. 2021 AHA/ACC/AASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR guideline for the evaluation and diagnosis of Chest Pain: A report of the American college of cardiology/American heart association joint committee on clinical practice guidelines. *Circulation*. 2021; 144: e455.
- Kumar D, Ashok A, Saghir T, et al. Prognostic value of GRACE score for in-hospital and 6 months outcomes after non-ST elevation acute coronary syndrome. *Egypt Heart J*. 2021; 73: 22.
- Fox KAA, Eagle KA, Gore JM, et al, for the GRACE and GRACE Investigators. The global registry of acute coronary events, 1999 to 2009-GRACE. *Heart* 2010; 96: 1095 – 1101.
- Herrera-Castillo Y, Inolopú J, Bendezu-Quispe G, et al. Performance of the TIMI and GRACE scores in identifying the risk of death from acute coronary ischemic syndrome: a retrospective study in patients with chest pain at a Peruvian Hospital. *F1000Res* 2023; 12: 1246.
- Zalewska-Adamiec M, Kuzma L, Dobrzycki S, et al. The GRACE scale in the prognosis of patients with Takotsubo syndrome. *J Interv Cardiol* 2020; 2020: 4340930.
- Fernando J. R-Squared: Definition, Formula, Uses, and Limitations [Internet]. Investopedia. 2003. Disponible en <https://www.investopedia.com/terms/r/r-squared.asp> Acceso 24 de Agosto de 2025.
- Nier LM, Hansen PS. Coronary artery disease presenting with left upper quadrant pain in a patient with chronic cervical tetraplegia. *Spinal Cord Ser Cases* 2017; 3: 17048.
- Goodman DA, Kavsak PA, Hill SA, et al. Presenting characteristics of patients undergoing cardiac troponin measurements in the emergency department. *CJEM* 2015; 17: 62 – 66.
- Tsipouras S. Nonabdominal causes of abdominal pain--finding your heart in your stomach! *Aust Fam Physician* 2008; 37: 620 – 623.
- Ahmed EK, Alkodaymi MS, Soliman MM, et al. ST-elevation myocardial infarction due to left anterior descending artery occlusion presenting primarily with otalgia. *Am J Case Rep* 2017; 18: 1044 – 1047.

15. Kyaw K, Latt H, Aung SSM, et al. Atypical presentation of acute coronary syndrome and importance of Wellens' syndrome. *Am J Case Rep* **2018**; 19: 199 – 202.
16. Kirchberger I, Meisinger C, Heier M, et al. Patient-reported symptoms in acute myocardial infarction: differences related to ST-segment elevation: The MONICA/KORA Myocardial Infarction Registry. *J Intern Med* **2011**; 270: 58 – 64.
17. Kreiner M, Okeson JP, Michelis V, et al. Craniofacial pain as the sole symptom of cardiac ischemia. *J Am Dent Assoc* **2007**; 138: 74 – 79.
18. Jolobe OMP. Differential diagnosis of the association of gastrointestinal symptoms and ST segment elevation, in the absence of chest pain. *Am J Emerg Med* **2021**; 49: 137 – 141.