

Plicní embolie na Tábořsku – revidované ženevské skóre a další prediktory jejího nálezu na CT angiografii

(Pulmonary embolism in the Tábor region – revised Geneva score and other predictors of PE on CT pulmonary angiogram)

Jiří Adámek, Jan Kuchař

Interní oddělení II, Nemocnice Tábor a.s., Tábor, Česká republika

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Vložen do systému: 3. 10. 2023

Přepřacován: 14. 12. 2023

Přijat: 26. 12. 2023

Dostupný online: 24. 1. 2024

Klíčová slova:

Incidence plicní embolie

Plicní embolie

Revidované ženevské skóre

SOUHRN

Cíl: Analýza dat ze souboru nemocných vyšetřených pro klinické podezření na plicní embolii (PE) pomocí CT angiografie plicnice (CTPA) v Nemocnici Tábor za jeden rok od března 2019 do února 2020. Zhodnocení užitečnosti revidovaného ženevského skóre (RGS) v tomto souboru.

Metodika: Retrospektivní analýza souboru dat všech pacientů, u nichž byla v období od března 2019 do února 2020 na Radiologickém oddělení Nemocnice Tábor provedena CTPA pro klinické podezření na PE. Byla vypočtena hodnota RGS a byla srovnána se známými výsledky CTPA. Dále byly analyzovány další klinické a laboratorní parametry a jejich užitečnost v predikci výskytu plicní embolie na CTPA.

Výsledky: Celkem bylo do souboru zařazeno 584 konsekutivních pacientů, z nichž 3 byli vyřazeni pro chybějící údaje. PE byla zjištěna u 132 (22,60 %) pacientů (71 mužů, 53,8 %); odpovídá při počtu obyvatel 102 451 v roce 2019¹ incidenci necelých 129/100 000. Nízká pravděpodobnost přítomnosti PE dle RGS byla vypočtena u 37,2 % pacientů, střední u 62,5 %, vysoká u 0,3 % nemocných. Nejčastějším symptomem, pro který pacient vyhledal lékařskou pomoc, byla dušnost (342; 58 %). RGS dosahovalo v tomto souboru plochy pod křivkou (AUC) 0,64. V multivariační analýze byly prediktory výskytu plicní embolie na CTPA v daném souboru hodnota ženevského skóre (poměr šancí [OR] 1,27 za bod, $p < 0,001$) a D-dimerů (OR 1,19 za $\mu\text{g/L}$, $p < 0,001$), dále mužské pohlaví (OR 1,99, $p = 0,031$) a jako negativní prediktor ischemické choroby srdeční (ICHS) v anamnéze (OR 0,31, $p = 0,027$). Ani kombinovaný model vytvořený z klinických a paraklinických proměnných nestačí, aby nahradil provedení CTPA (AUC 0,78).

Závěr: Incidence PE v našem souboru je na horní hranici běžně udávané a současně potvrzuje trend narůstající incidence PE v čase. Užitečnost RGS v populaci, kde je již rozhodnuto provést CTPA, je poměrně nízká a ani společně s hodnotou D-dimerů nestačí k nahrazení CTPA.

© 2024, ČKS.

ABSTRACT

Aim: Analysis of the data of patients investigated in the Tábor Hospital for suspected pulmonary embolism with CT pulmonary angiogram (CTPA) in one year from March 2019 until February 2020. Evaluation of the usefulness of the Revised Geneva Score (RGS) in this group.

Methods: Retrospective analysis of the data of all patients who underwent CTPA for suspected pulmonary embolism in the Department of Radiology in Tábor Hospital from March 2019 until February 2020. RGS value was calculated and compared with known CTPA results. Other clinical and laboratory parameters and their usefulness in prediction of pulmonary embolism diagnosis on CTPA were evaluated.

Results: Total 584 consecutive patients were analysed. Three patients were excluded due to missing data. Pulmonary embolism was diagnosed in 132 (22.6%) patients (71 men, 53.8%); given the population of the Tábor region 102 451 inhabitants it means that the pulmonary embolism incidence is almost 129/100 000. Low probability of pulmonary embolism according to RGS was estimated in 37.2% patients, intermediate probability in 62.5%, high probability in 0.3%. The most frequent symptom was dyspnea (342 patients; 58%). The AUC of RGS in this cohort was 0.64. In a multivariate analysis, the predictors of pulmonary embolism on CTPA were RGS (OR 1.27 for one point, $p < 0,001$) and D-dimers (OR 1.19 for $\mu\text{g/L}$, $p < 0,001$), masculine sex (OR 1.99, $p = 0.031$). History of ischemic heart disease was a negative predictor (OR 0.31, $p = 0.027$). Even the combined model is insufficient to replace CTPA (AUC 0.78).

Conclusion: Our cohort shows higher than usually reported incidence of pulmonary embolism. It confirms the trend of increasing pulmonary embolism incidence. The usefulness of RGS in patients already indicated to CTPA is relatively low. Even a combined model with RGS and other predictors including D-dimers is insufficient to replace CTPA in such patients.

Keywords:

Pulmonary embolism

Pulmonary embolism incidence

Revised Geneva score

Adresa pro korespondenci: MUDr. Jiří Adámek, Interní oddělení II, Nemocnice Tábor a.s., Kapitána Jaroše 2000, 390 03 Tábor, Česká republika,

e-mail: adamek.jiri@centrum.cz

DOI: 10.33678/cor.2023.098

Úvod

Plicní embolie je spolu s hlubokou žilní trombózou (dohromady jako tromboembolická nemoc) řazena na třetí místo nejčastějších kardiovaskulárních onemocnění hned za nemocí koronárních tepen a ikty.² Incidence tromboembolické nemoci je udávána v intervalu 100–200 na 100 000 obyvatel.³ Četnost samotné PE je v literatuře udávána jako 50–100/100 000. Mortalita neléčené (nepoznané) plicní embolie může být až 30 %, léčené 8 %.² V rámci diferenciální diagnostiky k odhadu předtestové pravděpodobnosti přítomnosti PE u hemodynamicky stabilních pacientů doporučuje Česká kardiologická společnost užití validovaných kritérií (např. stanovení hodnoty RGS, Wellsova skóre či algoritmu YEARS) a stanovení hodnoty D-dimerů.³ Cílem této práce je definovat skupinu pacientů z okresu Tábor, kteří byli vyšetřeni pro podezření na PE pomocí CT angiografie, a dále zhodnocení smysluplnosti využití RGS v tomto souboru.

Metodika

Výběr pacientů zařazených do studie probíhal formou retrospektivní analýzy. Byly vyhledány všechny CTPA v období od března 2019 do února 2020 provedené na Radiologickém oddělení Nemocnice Tábor bez zřetele na specializaci lékaře indikujícího vyšetření. Klinické a anamnestické informace byly vyhledávány primárně v elektronické podobě ze záznamů v nemocničním informačním systému, při její absenci pak přímo fyzicky z chorobopisu v archivu nemocnice. Z následující analýzy byly vyřazeny tři případy, u nichž chyběly údaje nutné k vypočtení ženevského skóre. Jako laboratorní hodnota byla vybrána vždy ta, která byla dokumentována jako první při ambulantním vyšetření či první za hospitalizace či jako ta nejbližší dokumentované změně zdravotního stavu během hospitalizace. Hodnota srdečního troponinu T byla stanovena pomocí Roche Troponin T high sensitive assay (hraniční hodnota > 14 ng/l). Hodnota D-dimerů (DD) byla vyšetřena pomocí Siemens INNOVANCE (hraniční hodnota > 0,5 mg/l FEU). Na základě získaných informací pak byla vypočítána hodnota RGS. Data byla zpracovávána v anonymizované podobě. Vliv hodnot natriuretických peptidů v rámci rizikové stratifikace pacientů nebyl v našem souboru hodnocen, jelikož tyto hodnoty nebyly standardně odebírány.

Vzhledem ke skutečnosti, že prakticky všech pacientů v této skupině bylo indikováno provedení CTPA buď na základě pozitivní hodnoty DD, či bez ní jen na základě klinického obrazu, není možné z daného souboru zhodnotit pozitivní a negativní prediktivní hodnoty RGS v klinickém kontextu, ve kterém je jejich použití doporučeno.

Statistické zpracování

Statistická analýza byla provedena pomocí programu R-project verze 4.2.2. U spojitých proměnných je udán průměr, medián a směrodatná odchylka; srovnání skupin je provedeno pomocí t-testu; u diskrétních proměnných je udán počet případů a procenta, srovnání je provedeno pomocí chí-kvadrát testu a Fisherova exaktního testu. Prediktory PE byly hodnoceny pomocí logistické regre-

se; opakovaná měření (v případě výskytu více vyšetření u téhož pacienta) vzhledem k velmi malému počtu těchto případů (celkem 11) nebyla při statistickém zpracování zohledňována. Hodnoty $p < 0,05$ byly považovány za statisticky významné. Ke konstrukci modelu pro multivariační analýzu byla použita Akaikeho informačního kritéria a Holmova korekce vícenásobného testování.

Výsledky

Charakteristika souboru

Základní charakteristiku souboru definují tabulky 1 a 2. Soubor čítá 584 případů, z nichž byli tři pacienti vyřazeni pro chybějící údaje. Bylo diagnostikováno 132 (22,6 %) PE (muži 71; 53,8 %; ženy 61; 46,2 %), což při spádové oblasti 102 541 obyvatel¹ odpovídá incidenci necelých 129/100 000. Příznaky pacientů shrnuje tabulka 3.

Revidované ženevské skóre

Průměrná hodnota RGS 3,924 (medián 4, SD 2,31), při potvrzené PE 4,864 (medián 5, SD 2,49), při nepotvrzené PE 3,648 (medián 4, SD 2,18).

Podle RGS bylo ve skupině nízkého rizika (0–3 b.) 216 pacientů (37 %), z nich 35 (16 %) mělo plicní embolii; ve skupině středního rizika (4–10 b.) 363 pacientů (63 %), z nichž 95 (26 %) mělo plicní embolii; ve skupině vysokého rizika (> 10 b.) 2 pacienti, z nichž oba měli plicní embolii.

Specifická, senzitivita, pozitivní a negativní prediktivní hodnoty revidovaného ženevského skóre jsou uvedeny v tabulce 4.

Predikce výskytu plicní embolie na CTPA

Hlavními prediktory výskytu plicní embolie v dané populaci při univariační analýze byly: hodnota ženevského skóre (OR 1,27 za 1 bod, 95% interval spolehlivosti [CI] 1,16–1,39, $p < 0,0001$) a D-dimerů (OR 1,19 za $\mu\text{g/l}$, 95% CI 1,13–1,26, $p < 0,0001$). Dalšími prediktory byly výška (OR 1,02 za 1 cm, 95% CI 1,00–1,04, $p < 0,029$), saturace periferní krve kyslíkem (SpO_2) (OR 0,96 za 1 %, 95% CI 0,92–0,98, $p = 0,015$), tepová frekvence (OR za 1/min 1,01, 95% CI 1,00–1,02, $p = 0,028$), hodnota C-reaktivního proteinu (CRP) (OR 1,005 za mg/l , 95% CI 1,00–1,02, $p = 0,011$), pohlaví (OR 1,67 pro mužské pohlaví, 95% CI 1,13–2,46, $p = 0,01$), anamnéza tromboembolické nemoci (OR 2,44, 95% CI 1,49–3,50, $p < 0,001$); negativními prediktory naopak byly anamnéza ICHS (OR 0,38, 95% CI 0,19–0,69, $p < 0,01$) a chronické obstrukční plicní nemoci (CHOPN) (0,44, 95% CI 0,21–0,85, $p = 0,022$) a přítomnost kolapsu jako příznaku (OR 0,43, 95% CI 0,21–0,81, $p = 0,013$). Multivariační analýza byla provedena na 441 pacientech; byly do ní zařazeny prediktory, které byly považovány za klinicky relevantní (pohlaví, RGS, saturace krve kyslíkem, systolický krevní tlak, index tělesné hmotnosti, anamnéza ICHS, CHOPN, onkologického onemocnění, arteriální hypertenze, diabetes mellitus a dyslipidemie, srdečního selhání; příznaky dušnost, bolest na hrudi a kolaps, laboratorní hodnoty kreatininu a D-dimerů); hodnoty CRP a troponinu byly vyřazeny pro množství chybějících dat (v souboru nebyla hodnota CRP systematicky zaznamenávána a odběr troponinu není vždy u plicní embolie indikován).

Tabulka 1 – Fyziologické parametry, laboratorní hodnoty pacientů v souboru, vypočtené hodnoty RGS

	Všichni pacienti			Pacienti s plicní embolií			Pacienti bez plicní embolie			p-hodnota (t-test)	Počet
	Průměr	SD	Medián	Průměr (PE)	SD (PE)	Medián (PE)	Průměr (bez PE)	SD (bez PE)	Bez PE		
Věk	68,695	15,410	71,868	67,401	16,233	70,648	69,075	15,157	71,994	0,292	581
Hmotnost (kg)	84,372	18,857	82,000	87,144	17,382	85,500	83,556	19,212	81,000	0,043	580
Výška (cm)	168,160	10,647	168,000	169,962	10,341	170,000	167,629	10,689	168,000	0,025	580
BMI (kg/m ²)	29,824	6,161	28,953	30,158	5,481	29,036	29,726	6,351	28,906	0,444	580
Systolický krevní tlak (mm Hg)	143,271	25,314	140,000	140,561	22,645	139,500	144,072	26,020	142,000	0,132	579
Diastolický krevní tlak (mm Hg)	83,301	14,485	81,000	85,136	14,714	85,000	82,758	14,389	80,000	0,103	579
Srdeční frekvence (/min)	84,611	19,944	80,000	88,008	21,287	85,000	83,612	19,444	80,000	0,035	581
Periferní saturace O ₂ (%)	95,186	5,245	97,000	94,066	5,820	95,000	95,497	5,038	97,000	0,023	488
CRP (mg/l)	29,560	50,229	7,850	42,248	53,362	16,800	26,084	48,852	6,200	0,013	400
Kreatinin (μmol/l)	90,426	30,135	83,000	88,917	24,256	82,500	90,871	31,670	83,000	0,451	580
D-dimery (mg/l)	3,299	4,514	1,800	6,072	6,682	3,800	2,562	3,380	1,485	0,000	519
Revidované ženevské skóre	3,924	2,312	4,000	4,864	2,492	5,000	3,648	2,184	4,000	0,000	581

PE – plicní embolie, RGS – revidované ženevské skóre (bodová hodnota).

Tabulka 2 – Komorbidity pacientů v souboru

	Všichni pacienti			Pacienti s plicní embolií			Pacienti bez plicní embolie				p-hodnota (chi-kvadrát test)	p-hodnota (Fisherův test)	
	Ano	Ano (%)	Ne (%)	Ano	Ano (%)	Ne (%)	Ano	Ano (%)	Ne (%)	Poměr šancí			
Arteriální hypertenze	381	65,6	200	34,4	79	59,8	53	40,2	302	67,3	147	32,7	0,12
	149	25,6	432	74,4	28	21,2	104	78,8	121	26,9	328	73,1	0,21
	137	23,6	444	76,4	23	17,4	109	82,6	114	25,4	335	74,6	0,06
Diabetes mellitus	16	2,8	565	97,2	6	4,5	126	95,5	10	2,2	439	97,8	0,22
	105	18,1	475	81,9	12	9,1	120	90,9	93	20,8	355	79,2	0,00
	80	13,8	501	86,2	10	7,6	122	92,4	70	15,6	379	84,4	0,02
CHOPN	49	8,4	532	91,6	8	6,1	124	93,9	41	9,1	408	90,9	0,37
	74	12,7	507	87,3	17	12,9	115	87,1	57	12,7	392	87,3	1,00
	17	2,9	564	97,1	3	2,3	129	97,7	14	3,1	435	96,9	0,77
Aktivní onkologické onemocnění	87	15,0	494	85,0	33	25,0	99	75,0	54	12,0	395	88,0	0,00
	26	4,5	555	95,5	9	6,8	123	93,2	17	3,8	432	96,2	0,15
	Operace/fraktura končetiny posledním měsícem												

HŽT – hluboká žilní trombóza; CHOPN – chronická obstrukční plicní nemoc; ICHS – ischemická choroba srdeční; PE – plicní embolie.

Tabulka 3 – Symptomatologie pacientů v souboru

	Všichni pacienti				Pacienti s plicní embolií				Pacienti bez plicní embolie				OR	p-hodnota (chi-kvadrát test)	p-hodnota (Fisherův test)
	Ano	Ano (%)	Ne	Ne (%)	Ano	Ano (%)	Ne	Ne (%)	Ano	Ano (%)	Ne	Ne (%)			
Bolest na hrudi	204	35,1	377	64,9	43	32,6	89	67,4	161	35,9	288	64,1	0,86	0,55	0,53
Dušnost	340	58,5	241	41,5	86	65,2	46	34,8	254	56,6	195	43,4	1,44	0,10	0,09
Kolaps	89	15,3	492	84,7	11	8,3	121	91,7	78	17,4	371	82,6	0,43	0,02	0,01
Palpitace	13	2,2	568	97,8	5	3,8	127	96,2	8	1,8	441	98,2	2,17	0,30	0,18
Vertigo	1	0,2	580	99,8	0	0,0	132	100,0	1	0,2	448	99,8	NA	1,00	1,00
Hemoptýza	7	1,2	574	98,8	2	1,5	130	98,5	5	1,1	444	98,9	1,37	1,00	0,66
Bolest břicha	3	0,5	578	99,5	1	0,8	131	99,2	2	0,4	447	99,6	1,71	1,00	0,54
Kašel	1	0,2	580	99,8	1	0,8	131	99,2	0	0,0	449	100,0	NA	0,51	0,23
Jiné	22	3,8	559	96,2	5	3,8	127	96,2	17	3,8	432	96,2	1,00	1,00	1,00

NA – neuvedeno; OR – poměr šancí.

Tabulka 4 – Výpovědní hodnoty výše revidovaného ženevského skóre

RGS (hraniční hodnota)	Senzitivita	Specifická	Pozitivní prediktivní hodnota	Negativní prediktivní hodnota
1	0,97	0,06	0,23	0,88
2	0,86	0,27	0,26	0,87
3	0,83	0,30	0,26	0,85
4	0,73	0,40	0,27	0,84
5	0,57	0,65	0,32	0,84
6	0,42	0,78	0,36	0,82
7	0,23	0,94	0,52	0,81
8	0,12	0,97	0,57	0,79
9	0,08	0,98	0,56	0,78
10	0,03	0,99	0,57	0,78
11	0,02	1,00	1,00	0,78
12	0,01	1,00	1,00	0,77

RGS – revidované ženevské skóre (bodová hodnota).

Pro tvorbu multivariačního modelu bylo použito Akaikeho informační kritérium, čímž byl získán model zahrnující kovarianty: D-dimery, RGS, anamnéza ICHS a CHOPN, kolaps a mužské pohlaví; signifikantně vyšly tyto kovarianty: hodnota D-dimerů (OR 1,19 za $\mu\text{g/l}$, $p < 0,001$), RGS (OR 1,27 za jednotku, $p < 0,001$), mužské pohlaví (OR 1,99, $p = 0,031$) a jako negativní prediktor ICHS v anamnéze (OR 0,31, $p = 0,027$). Prediktivní síla takto vytvořeného modelu ovšem není dostatečná, aby nahradila provedení CT (AUC 0,78).

Diskuse

Incidence PE v našem souboru vychází vyšší jak ve srovnání s českými soubory,^{4,5} tak ve srovnání s velkým zahraničním souborem.⁶

Možnou příčinou tohoto nálezu je odlišná metodika (analýza všech CT angiografií bez ohledu na odbornost vyšetřujícího lékaře). Pravděpodobně jde také o projev trendu nárůstu incidence PE, který je dobře dokumentován i v zahraniční literatuře.⁷

Ovlivnění nastupující pandemií covidu-19 je možné, byť první případy byly v České republice potvrzeny testováním 1. 3. 2020; nicméně incidence PE v našem souboru v únoru 2020 nebyla oproti předchozím měsícům signifikantně navýšena (7 PE; průměr 11, směrodatná odchylka [SD] 3,11; medián 12).

Naše studie měla dále za cíl retrospektivně zhodnotit výtěžnost RGS a dalších parametrů v situaci, kdy již ošetřující lékař rozhodl o provedení CTPA. Tato situace byla zkoumána četnými studiemi, které konzistentně dokazují, že záchyt plicní embolie s využitím CTPA je obecně poměrně nízký (v naší práci 22,6 %, v jiných studiích srovnatelný);^{8–10} v některých pracích je záchyt PE na CT ještě nižší,¹¹ až < 10 %, ¹² což může být dáno nízkým užíváním klinických skóre¹⁰ a malou frekvencí odběru D-dimerů^{12,13} či nevyčkáním na jejich výsledek.¹⁴

Diagnostická užitečnost revidovaného ženevského skóre závisí silně na kontextu, v němž je použito. V málo selektovaných souborech dosahuje AUC i přes 0,7;¹¹ v selektované populaci, kde je již rozhodnuto provést CTPA, je výrazně nižší,⁸ prakticky neužitečné s AUC kolem 0,5. V našem souboru je AUC ženevského skóre mezi těmito dvěma hranicemi (0,64).

Ve snaze zvýšit záchyt PE na CT angiografii, a omezit tak počet zbytečných negativních CTPA byly zkoušeny edukace,¹² elektronické rozhodovací pomůcky¹⁵ či EKG^{16,17} nebo kombinované rozhodovací nástroje vytvořené pomocí strojového učení,^{8,18} případně generovaného pomocí poloautomatického zpracování zdravotnických dat.⁹ Výsledky metod strojového učení jsou v daném klinickém kontextu lepší než RGS (v práci Silvy, 2023 – model derivovaný metodou strojového učení z EKG, klinických a laboratorních parametrů AUC 0,75 se 100% senzitivitou vs. kombinace RGS a DD s AUC 0,51). Zdá se, že v daném klinickém kontextu by metody strojového učení mohly vést k významnému zvýšení efektivity diagnostiky.

Limitem práce je její retrospektivní uspořádání. Z etických důvodů nebylo možno zhodnotit užitečnost RGS v populaci, kde je dle platných doporučení indikováno (hemodynamicky stabilní pacienti s podezřením na plicní embolii ještě před rozhodnutím, zda provést zobrazovací metodu).

Závěr

Naše práce ukazuje ve shodě s jinými studiemi nárůst incidence plicní embolie. Záchytnost plicní embolie na prováděných CT angiografiích je malá. Revidované ženevské skóre může částečně zpřesnit odhad pravděpodobnosti nálezu plicní embolie na CT, ale nemůže provedení CT nahradit.

Prohlášení autorů o možném střetu zájmů

Autoři prohlašují, že ve vztahu k tématu nemají střet zájmů.

Financování

Žádné.

Prohlášení autorů o etických aspektech publikace

Práce byla schválena příslušnou autoritou (etickou komisí) Nemocnice Tábor a.s.

Informovaný souhlas

Nebyl vyžadován, neboť šlo o retrospektivní, neintervennční studii.

Literatura

1. Vybrané ukazatele za okres Tábor v letech 2000–2020. <https://www.czso.cz/documents/11256/34995529/CZ0317.pdf/3dbc4eaa-eacf-4ee7-8718-2887991762cb?version=1.104>. Navštíveno: 23. 1. 2024.
2. Bělohávek J, Dytrych V, Linhart A. Pulmonary embolism, part I: Epidemiology, risk factors and risk stratification, pathophysiology, clinical presentation, diagnosis and nonthrombotic pulmonary embolism. *Exp Clin Cardiol* 2013;18:129–138.
3. Rokyta R, Hutýra M, Jansa P. Doporučené postupy Evropské kardiologické společnosti (ESC) pro diagnostiku a léčbu akutní plicní embolie, verze 2019. Stručný přehled vypracovaný Českou kardiologickou společností. *Cor Vasa* 2020;62:154–182.
4. Kodým M. Soubor pacientů s plicní embolií v Nemocnici Písek. *Cor Vasa*. 2019;61:15–19.
5. Kuchař J, Král R, Jansa P. Plicní embolie v Nemocnici Tábor: charakteristika souboru a výskyt plicní hypertenze v dlouhodobém sledování. *Cor Vasa* 2022;64:595–599.
6. Keller K, Hobohm L, Ebner M, et al. Trends in thrombolytic treatment and outcomes of acute pulmonary embolism in Germany. *Eur Heart J* 2020;41:522–529.
7. Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS): The Task Force for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2020;41: 543–603.
8. Valente Silva B, Marques J, Nobre Menezes M, et al. Artificial intelligence-based diagnosis of acute pulmonary embolism: Development of a machine learning model using 12-lead electrocardiogram. *Rev Port Cardiol* 2023 Jul;42:643–651.
9. Somani SS, Honarvar H, Narula S, et al. Development of a machine learning model using electrocardiogram signals to improve acute pulmonary embolism screening. *Eur Heart J Digit Health* 2021;3:56–66.
10. Láinez-Ramos-Bossini AJ, Moreno-Suárez S, Pérez-García MC, et al. Acute pulmonary embolism: appropriateness of emergency department management according to clinical guidelines. *Radiologia (Engl Ed)* 2022;64:291–299.
11. Kharawala A, Seo J, Barzallo D, et al. Assessment of the Utilization of Validated Diagnostic Predictive Tools and D-Dimer in the Evaluation of Pulmonary Embolism: A Single-Center Retrospective Cohort Study from a Public Hospital in New York City. *J Clin Med* 2023;12:3629.
12. Booker MT, Johnson JO. Optimizing CT Pulmonary Angiogram Utilization in a Community Emergency Department: A Pre- and Postintervention Study. *J Am Coll Radiol* 2017;14:65–71.
13. Molaei S, Ghanaati H, Safavi E, et al. Computed Tomography Pulmonary Angiography for Evaluation of Patients With Suspected Pulmonary Embolism: Use or Overuse. *Iran J Radiol* 2015;12:e22383.
14. Abolfotouh MA, Almadani K, Al Rowaily MA. Diagnostic Accuracy of D-Dimer Testing and the Revised Geneva Score in the Prediction of Pulmonary Embolism. *Int J Gen Med* 2020;13:1537–1543.
15. Bledsoe JR, Kelly C, Stevens SM, et al. Electronic pulmonary embolism clinical decision support and effect on yield of computerized tomographic pulmonary angiography: ePE-A pragmatic prospective cohort study. *J Am Coll Emerg Physicians Open* 2021;2:e12488.
16. Vereckei A, Simon A, Szénási G, et al. Usefulness of a Novel Electrocardiographic Score to Estimate the Pre-Test Probability of Acute Pulmonary Embolism. *Am J Cardiol*. 2020;130:143–151.
17. Su XF, Fan N, Yang XM, et al. A Novel Electrocardiography Model for the Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism. *Front Cardiovasc Med* 2022;9:825561.
18. Banerjee I, Sofela M, Yang J, et al. Development and Performance of the Pulmonary Embolism Result Forecast Model (PERFORM) for Computed Tomography Clinical Decision Support. *JAMA Netw Open* 2019;2:e198719.