



Trombosis venosa profunda en extremidades inferiores: revisión de las técnicas de diagnóstico actuales y su simbiosis con el aprendizaje automático para un diagnóstico oportuno

Deep vein thrombosis in lower extremities: review of current diagnostic techniques and their symbiosis with machine learning for timely diagnosis

Fong-Mata María Berenice¹ , Inzunza-González Everardo² , García-Guerrero Enrique Efrén² , Mejía Medina David Abdel¹ , Morales Contreras Oscar Adrián¹ , Gómez-Roa Antonio¹

¹Facultad de Ciencias de la Ingeniería y la Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México.

²Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.

Autor de correspondencia: Dr. David Abdel Mejía Medina, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y la Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2860-2428>. E-mail: damejia@uabc.edu.mx.

Recibido: 15 de Septiembre del 2019 **Aceptado:** 30 de Noviembre del 2019 **Publicado:** 1 de Enero del 2020.

Resumen. – La Trombosis Venosa Profunda (TVP) es una manifestación de una Enfermedad Tromboembólica (ET). Cuando en una TVP los trombos venosos se desprenden y viajan a través del torrente sanguíneo pueden ocasionar una Trombo Embolia Pulmonar (TEP). La existencia de Trombosis Venosa Profunda (TVP) en las extremidades inferiores se ha descrito como uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de la TEP. Se considera que hasta el 90% de los émbolos pulmonares proceden de trombos venosos de las extremidades inferiores. Las técnicas más utilizadas para la detección de TVP son los modelos de probabilidad clínica, el dímero D y las pruebas de imagen no invasivas, como la ecografía para la TVP y la angiotomografía computadorizada (TC) para el embolismo pulmonar. Sin embargo, debido a la inespecificidad de los síntomas de la TVP, el umbral para ordenar una ecografía es bajo, además de ser un proceso complicado que requiere la participación de un médico especialista para su interpretación. En las últimas décadas el aprendizaje automático ha surgido como apoyo en la toma de decisiones para el diagnóstico de diversas enfermedades, algunas de las tecnologías más utilizadas en el campo de la medicina incluyen Support Vector Machine (SVM), Árboles de decisión y las Redes Neuronales Artificiales (RNA). En el presente artículo se hace una revisión de las tecnologías existentes para la detección de la TVP así como de los principales algoritmos de aprendizaje automático comúnmente utilizados en aplicaciones biomédicas; se propone el diseño de un sistema computarizado que utilice técnicas de aprendizaje automático como herramienta de apoyo para la detección oportuna de un posible padecimiento de TVP.

Palabras clave: Diagnóstico; Redes neuronales artificiales; Trombosis venosa profunda.



Abstract. – *Deep Venous Thrombosis (DVT) is a manifestation of a Thromboembolic Disease (ET). When in a DVT the venous thrombus detaches and travel through the bloodstream can cause a Pulmonary Embolism Thrombus (PET). The existence of Deep Venous Thrombosis (DVT) in the lower extremities has been described as one of the main risk factors for the development of PET. It is considered that up to 90% of pulmonary emboli come from venous thrombi of the lower extremities. The most commonly used techniques for the detection of DVT are clinical probability models, D-dimer and non-invasive imaging tests, such as ultrasound for DVT and computed angiotomography (CT) for pulmonary embolism. However, due to the non-specificity of the symptoms of DVT, the threshold for ordering an ultrasound is low, in addition to being a complicated process that requires the participation of a specialist doctor for its interpretation. In recent decades, machine learning has emerged as support in decision-making for the diagnosis of various diseases, some of the most used technologies in the field of medicine include Support Vector Machine (SVM), Decision Trees and Neural Networks Artificial (RNA). This article reviews the existing technologies for the detection of DVT as well as the main machine learning algorithms commonly used in biomedical applications; The design of a computerized system that uses machine learning techniques as a support tool for the timely detection of a possible DVT is proposed.*

Keywords: Diagnosis; Artificial neural networks; Deep venous thrombosis.

1. Introducción

Una persona en estado de hipercoagulabilidad puede llegar a padecer Trombosis Venosa Profunda (TVP), la cual involucra la formación de trombos en las paredes de las venas que impiden que la sangre fluya como lo haría en condiciones de salud normales, y puede ocurrir en extremidades superiores o inferiores. El presente estudio se ocupa de la revisión de la literatura del segundo padecimiento, debido a que el 90% de los casos en donde se presentan Embolias Pulmonares (EP) provienen de TVP en extremidades inferiores [1].

La incidencia de la TVP va de un caso entre 10,000 adultos jóvenes a un caso por cada cien adultos mayores. En personas de 65 a 69 años la incidencia es de 1.8 casos por cada 1,000 habitantes al año y aumenta a 3.1 casos por cada 1,000 habitantes por año entre 85 y 89 años. Los síntomas de la TVP suelen ser inespecíficos y al mismo tiempo

multifactoriales, por lo que se tiene que realizar un diagnóstico diferencial ante la posible sospecha.

Dicho diagnóstico debe realizarse con diversas entidades como celulitis, tromboflebitis superficial, rotura de quiste de Baker, desgarros musculares con hematoma, traumatismos de partes blandas, edema de estasis, síndrome postrombótico, artritis y linfedema [2]; aproximadamente, un 80-90% de los pacientes con clínica compatible con TVP, derivados desde la atención primaria, no presentan este diagnóstico [3].

Debido a ello, la TVP representa un desafío clínico para los médicos de todas las disciplinas, por lo que es esencial que el primer médico entre en contacto con la enfermedad para evaluar rápidamente, comenzar el tratamiento y remitir al paciente con el especialista [4], debido a que con el diagnóstico temprano es posible iniciar oportunamente el tratamiento que



evite la manifestación pulmonar de la enfermedad. Recientemente, los algoritmos de aprendizaje automático se han incorporado a la práctica médica mediante el uso de los Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones Clínicas (SADC), que complementan junto con el médico el diagnóstico de enfermedades, así como la prescripción de ciertos medicamentos. El resto del trabajo se divide como sigue, en la sección 2 se exponen las principales herramientas de diagnóstico utilizadas en la actualidad para evaluar condiciones de TVP. En la sección 3 se mencionan dos algoritmos de Inteligencia Artificial (IA) ampliamente utilizados en aplicaciones médicas. Finalmente, en la sección 4 se

presentan las conclusiones del trabajo y una propuesta de SADC para la detección oportuna de TVP en extremidades inferiores.

2. Herramientas de diagnóstico de TVP

El Trombo Embolismo Venoso (TEV) es una afección mundial como se puede apreciar en la tabla 1, es una condición con altos índices de morbilidad y mortalidad. Por lo que la detección oportuna de alguna de estas manifestaciones permite al especialista determinar el tratamiento adecuado evitando así que este avance y lleve a quien lo padece a un estado de salud que puede ser fatal.

Tabla 1. Incidencia del TEV

Incidencia habitantes	Período	País o Región	TEV			Ref.
			TVP	EP	No específica	
300,000-600,000	Anual	Estados Unidos	x	x		[5]
143 y 183 / 100, 000	Anual	Europa	x	x		[6]
63 / 100, 000	Anual	España	x	x		[6]
120 / 100,000	No específica	Francia			x	[1]
12.7 / 100, 000	Anual	Korea	x			[7]
16.6 / 100, 000				x		

La TVP se presenta de manera frecuente en la atención de urgencias; se ha estimado cerca de 2 millones de nuevos casos en EE. UU. cada año, con una tasa de incidencia de 1 a 2 casos por cada mil habitantes al año [8]. Las estimaciones detalladas del número anual de eventos de TEV son difíciles de obtener puesto que el TEV es difícil de diagnosticar. El TEV a menudo es clínicamente silencioso y, en muchos casos, el primer signo de la enfermedad es una Trombo Embolia Pulmonar repentina y fatal. El TEV a menudo es asintomático, se diagnostica erróneamente y no se reconoce

en el momento de la muerte sino a través de rutinas postmortem [9].

2.1 Modelos probabilísticos

Los modelos o algoritmos probabilísticos, clasifican el riesgo de que un paciente presente diagnóstico positivo a una TVP con base en un conjunto de síntomas y factores asociados a la enfermedad. Los principales modelos probabilísticos son la Escala de Wells [9] y la regla de Oudega [10].



2.1.1 Modelo de Wells

El modelo probabilístico más utilizado para guiar el diagnóstico de la TVP es el propuesto por Wells como lo mencionan Darwood y Smith en el trabajo “Deep vein thrombosis” [11], el cual consta de nueve criterios, en donde a cada uno de ellos se le asigna un valor numérico. Wells propone tres diferentes grupos para clasificar la probabilidad de sufrir TVP; dependiendo de la puntuación alcanzada al sumar los valores

de los criterios observados en el paciente, la probabilidad de TVP puede clasificarse como: probabilidad baja (sumatoria de la puntuación menor a uno), probabilidad moderada (sumatoria de la puntuación entre 1 y 2) y probabilidad alta (sumatoria mayor o igual a tres). En la tabla 2 se muestran los criterios establecidos, así como el valor asignado.

Tabla 2. Modelo de Wells para la predicción de TVP [12]

Criterios considerados	Puntuación
<i>Cáncer activo (en tratamiento o detectado hace menos de 6 meses o en tratamiento paliativo)</i>	1
<i>Parálisis, paresia, inmovilización con yeso del miembro sospechoso</i>	1
<i>Reposo en cama reciente de más de 3 días o cirugía mayor realizada hace menos de 4 semanas</i>	1
<i>Tumefacción de todo un miembro</i>	1
<i>Dolor localizado en el trayecto venoso profundo</i>	1
<i>Tumefacción unilateral de la pantorrilla de más de 3 cm en comparación con la pantorrilla contralateral</i>	1
<i>Edema con fóvea</i>	1
<i>Venas superficiales (no varicosas) colaterales</i>	1
<i>Presencia de un diagnóstico alternativo al menos tan probable como el de trombosis venosa profunda</i>	-2

2.1.2 Regla de Oudega

Un segundo modelo de predicción utilizado en TVP es la escala o regla de Oudega [10], la cual se utiliza en atención primaria para predecir el riesgo de que un paciente sufra TVP. En la tabla 3 se listan los criterios que permiten llevar a cabo la estimación del padecimiento.

Tabla 3. Escala de Oudega para predicción de TVP [10]

Variables	Puntuación
Hombre	1
Anticonceptivos orales	1
Presencia de malignidad	1
Cirujía reciente	1
Ausencia de trauma en la pierna	1
Distensión de la vena	1
Aumento en la pantorrilla \geq 3cm	2
D-dimero anormal	6



Al igual que en el modelo de Wells, se suman los criterios seleccionados de la Tabla 3 y el resultado obtenido permite conocer la estimación del riesgo para el paciente: riesgo alto (10-13 puntos), riesgo moderado (7-9 puntos), riesgo Bajo (5-6 puntos), riesgo muy bajo (0-3 puntos).

Aunque la escala de Wells es la más utilizada en hospitales, en el trabajo “Estudio coste efectividad del proceso diagnóstico de la trombosis venosa profunda desde la atención primaria” [3] se comenta que ambas escalas presentan “sensibilidad y especificidad similar y no difieren en su validez diagnóstica.”

2.2 Dímero D

Los dímeros D son pequeños fragmentos de proteínas generados por la fibrinólisis de un trombo o coágulo sanguíneo. Los ensayos de dímero D se emplean en el diagnóstico de TVP o TEP y se han usado para predecir la probabilidad de Tromboembolismo Venoso recurrente [13]. El dímero D opera como un marcador sensible en la detección de TEV y excluye el TEV sin necesidad de pruebas adicionales entre pacientes con baja probabilidad clínica de TEP. Sin embargo, a medida que el dímero D aumenta con la edad, los pacientes mayores con mayor frecuencia tienen resultados positivos falsos, lo que disminuye la especificidad de la prueba en estos pacientes. La tasa de falsos positivos puede reducirse utilizando un umbral de dímero-D ajustado por edad [14].

2.3 Equipo de diagnóstico

Con el paso de los años se han desarrollado diferentes tecnologías capaces de simular y

medir la hemodinámica del flujo sanguíneo lo que facilita el diagnóstico de las enfermedades tromboembólicas. A continuación, se describen los principales equipos de diagnóstico de TVP tanto en etapa de investigación, como los que se utilizan actualmente dentro de las unidades de radiología.

2.3.1 Equipo de diagnóstico en etapa de investigación

La termografía [15-20], es una técnica rápida, simple, no invasiva, sin riesgo, con un adecuado costo-beneficio y es altamente sensible en una investigación inicial cuando existe sospecha de TVP. La termografía monitorea la temperatura del cuerpo utilizando cámaras térmicas para obtener correlaciones entre la fisiología térmica y la temperatura de la piel [21]. Una termografía negativa es concluyente en un estudio de TVP. Sin embargo, una termografía positiva tiene un sin número de causas probables, lo que indicaría una evaluación adicional por venografía o Doppler para confirmar o refutar la TVP [22]. La termografía también se utiliza en el diagnóstico de enfermedades superficiales (piel, venas, arterias) midiendo la velocidad del flujo, dirección y diámetro de las venas [20].

2.3.2 Equipo de diagnóstico en Unidades de atención médica

a) Venografía

Aunque la venografía es el estándar de oro para el diagnóstico de la TVP [23] es un método invasivo, costoso y presenta cierto grado de riesgo en la salud del paciente [24], además de ser innecesario en el 50% de los casos; lo que hace limitado su uso en aplicaciones clínicas.



b) *Ecografía Doppler*

Los equipos basados en el principio del efecto Doppler son una herramienta importante para el diagnóstico vascular no invasivo. A través de las ecografías es posible conocer información como la relación de la permeabilidad arterial y venosa, el sentido del flujo sanguíneo, la presencia de estenosis y fístulas, y el estado de la vasculatura distal y proximal al sitio de examen [25]. La ecografía Doppler a color es segura, no invasiva y fácil de usar [26-28]. Los equipos ultrasónicos basan su funcionamiento en el principio del efecto Doppler y son una herramienta importante para el diagnóstico vascular. En años recientes la ecografía Doppler además de ser la técnica más utilizada para analizar el flujo sanguíneo [29], es uno de los métodos de diagnóstico fundamental en múltiples disciplinas y especialidades médicas [30-32], y es el método de diagnóstico inicial recomendado en pacientes con una alta probabilidad de sufrir una TVP en extremidades inferiores. La principal desventaja de utilizar el ultrasonido Doppler es la dependencia de un operador especializado, sobre todo partiendo de que el radiólogo tiene un entrenamiento que

presenta una curva lenta de aprendizaje [33]. Así mismo, Bolado et al., comentan en uno de sus trabajos que las exploraciones realizadas fueron hechas por radiólogos con diferentes formaciones por lo que no todos tenían la misma experiencia en las técnicas utilizadas [34]. De manera que realizar un diagnóstico clínico de TVP puede ser un proceso no tan fácil de llevar a cabo. Como los signos y síntomas de la TVP a menudo son inespecíficos, hay un umbral bajo para ordenar un estudio de ultrasonido de las extremidades inferiores para descartar la TVP [35, 36], Dronkers et al. señalaron que debido a que el diagnóstico de las enfermedades Tromboembólicas se sospechan con frecuencia, pero se confirma en menos del 20% de los casos, no es ideal realizar imágenes en todos los casos sospechosos [14, 37].

En la tabla 4 se puede observar una comparación entre las principales herramientas de diagnóstico de TVP utilizadas en hospitales y centros de atención médica.

Tabla 4. Comparación de las herramientas de diagnóstico de TVP

Método de Diagnóstico	Invasivo	Sensibilidad %	Especificidad %	Ref.
Escala de Wells	No	77-98	37-58	[11]
Regla de Oudega	No			[10]
Dímero D		94	68	[11]
Dímero D	No	100	66.3	[38]
ajustado a la edad				[39]
				[40]
				[41]
Ultrasonido Doppler	No	>95		[2]
Venografía	Sí	100%		[2]



3. Inteligencia Artificial (IA) en el diagnóstico médico

La IA se ha introducido en el área médica no para sustituir al personal, sino como un complemento de apoyo en la toma de decisiones. Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) y las Máquinas de Soporte Vectorial (MSV) entre otros algoritmos, han aportado a la medicina en conjunto con el personal médico, mayor exactitud en el diagnóstico de enfermedades, mejores sugerencias de tratamientos y dosis de medicamentos.

3.1 Máquinas de Soporte Vectorial (MSV)

Las máquinas de soporte vectorial son un grupo de métodos de aprendizaje supervisado que pueden ser aplicados a problemas de clasificación o regresión. Fueron inicialmente introducidos para clasificar clases de objetos linealmente separables. Representan hiperplanos o fronteras de decisión en términos de un pequeño subconjunto de todos los ejemplos de entrenamiento que maximizan la separación entre conjuntos y por lo tanto la

capacidad de clasificación entre clases, denominados vectores de soporte [42].

3.2 Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Las redes neuronales son paradigmas computacionales basados en modelos matemáticos con capacidad de un fuerte patrón de reconocimiento. Una red neuronal es un algoritmo de cálculo que se basa en una analogía del sistema nervioso. Se intenta imitar la capacidad de aprendizaje de este, haciendo que reconozca gradualmente patrones de asociación entre las entradas (variables predictivas) y los estados dependientes de ellas (salidas).

La señal progresa desde las entradas, luego por la capa oculta, hasta obtener una respuesta traducida en el nivel de activación de los nodos de salida, los cuales predicen el resultado con base en las variables de entrada [43].

En la tabla 5 se presentan algunas aplicaciones médicas en las que se ha utilizado la IA para mejorar el diagnóstico médico.

Tabla 5. Inteligencia Artificial con aplicaciones médicas.

Algoritmo	Aplicación	Exactitud [%]	Especificidad [%]	Sensibilidad [%]	AUC	Ref.
	Diagnóstico diferencial de enfermedad pulmonar intersticial			NA		[44]
ANN		85	NA			
ANN	Plasma	0.882	76.9	88.2	0.882	
	Orina		76.9	80.9	0.839	
SVM	Plasma	0.827	NA	NA	0.817	[45]
	Orina		NA	NA	0.664	
SVM	Infección del tracto	96.61	92.85	97.77		[46]
ANN	urinario	98.9	100	97.77		



4. Conclusiones

La implementación de la IA en sistemas de apoyo a la toma de decisiones clínicas está dando lugar a que se lleven a cabo diagnósticos de enfermedades más acertados y oportunos, lo que permite a los pacientes una mejor calidad de vida o incluso la vida misma ya que en el caso de las enfermedades Tromboembólicas, un diagnóstico equivocado puede ser fatal.

En el presente trabajo se revisaron las principales herramientas de diagnóstico de TVP, así como algunos algoritmos de IA que se han implementado en aplicaciones de diagnóstico médico.

Dicho lo anterior, la investigación realizada da lugar a la propuesta de desarrollo de un sistema de toma de decisiones clínico, que opere en conjunto con el médico para la detección de TVP en extremidades inferiores utilizando RNA; ya que según la literatura mencionada se puede alcanzar mayor exactitud en la clasificación.

Como se mencionó en la sección 2, no es fácil tener una estadística del número de casos de TVP que suceden en un determinado período de tiempo ya que en la mayoría de las ocasiones los pacientes llegan al hospital directamente a la Unidad de Urgencias teniendo ya una condición avanzada de TVP, por lo que se sugiere que el SADC sea utilizado como un sistema de apoyo al médico de atención primaria, para complementar la detección de las primeras manifestaciones de este padecimiento de manera oportuna.

A su vez, el médico de atención primaria no dispone del equipo para realizar estudios de imagen como la venografía o la ecografía Doppler, por lo que se sugiere además que el SADC incluya alguno de los modelos probabilísticos utilizados como pre-test.



Referencias

- [1] T. Moumneh, A. Penaloza, and P. M. Roy, "Trombosis venosa profunda," *EMC - Tratado Med.*, vol. 22, no. 1, pp. 1-6, Mar. 2018. [https://doi.org/10.1016/S1636-5410\(17\)87867-3](https://doi.org/10.1016/S1636-5410(17)87867-3).
- [2] R. B. Resano and F. J. B. Resano, "Estudio básico ante una trombosis venosa profunda," *FMC Form. Medica Contin. en Aten. Primaria*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fmc.2018.01.006>.
- [3] E. Fuentes Camps, J. Luis Del Val García, S. Bellmunt Montoya, S. Hmimina Hmimina, E. Gómez Jabalera, and M. Á. Muñoz Pérez, "Estudio coste efectividad del proceso diagnóstico de la trombosis venosa profunda desde la atención primaria," *Aten. Primaria*, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2015.05.006>.
- [4] A. Ziga-Martínez, P. M. Córdova-Quintal, N. E. Lecuona-Huet, R. Muñoz-Vigna, and N. Blum-Gilbert, "Catastrophic presentation of venous thromboembolic disease," *Rev. Médica del Hosp. Gen. México*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.hgmx.2017.01.001>.
- [5] D. Mozaffarian et al., "Heart Disease and Stroke Statistics-2016 Update," *Circulation*, 2015. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000350>.
- [6] E. Fuentes Camps, J. L. Del Val García, S. Bellmunt Montoya, S. Hmimina Hmimina, E. Gómez Jabalera, and M. Muñoz Pérez, "Factores clínicos que influyen en la probabilidad diagnóstica pretest de trombosis venosa profunda en pacientes ambulatorios," *Angiologia*, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2015.03.003>.
- [7] J. Hong et al., "Incidence of venous thromboembolism in Korea from 2009 to 2013," *PLoS ONE*, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191897>.
- [8] J. M. Benavides Bermúdez, J. J. Vivas Díaz, G. Jaramillo Trujillo, and W. Bernal Torres, "Trombosis venosa profunda en un paciente con hipertiroidismo de novo. Presentación de caso," *Repert. Med. y Cirugía*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.reper.2017.03.004>.
- [9] P. S. Wells et al., "Value of assessment of pretest probability of deep-vein thrombosis in clinical management," *Lancet*, vol. 350, no. 9094, pp. 1795-1798, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(97\)08140-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(97)08140-3).
- [10] R. Oudega, K. G. M. Moons, and A. W. Hoes, "Ruling out deep venous thrombosis in primary care. A simple diagnostic algorithm including D-dimer testing," *Thromb. Haemost.*, 2005. <https://doi.org/10.1160/TH04-12-0829>.
- [11] R. J. Darwood and F. C. T. Smith, "Deep vein thrombosis," *Surgery (United Kingdom)*, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2013.02.001>.
- [12] P. Priollet and V. Bossy, "Actitud práctica y tratamiento de una trombosis venosa profunda," *EMC - Tratado Med.*, vol. 6, no. 3, pp. 1-4, Jan. 2002. [https://doi.org/10.1016/S1636-5410\(02\)70215-8](https://doi.org/10.1016/S1636-5410(02)70215-8).
- [13] M. G. Kirchhof, A. Y. Y. Lee, and J. P. Dutz, "D-Dimer Levels as a Marker of Cutaneous Disease Activity: Case Reports of Cutaneous Polyarteritis Nodosa and Atypical



Recurrent Urticaria," JAMA Dermatology, vol. 150, no. 8, pp. 880-884, 2014. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2013.9944>.

[14] T. T, K. N, L. G. G, and W. PS, "Venous thromboembolism: Advances in diagnosis and treatment," JAMA, vol. 320, no. 15, pp. 1583-1594, 2018. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.14346>.

[15] J. E. Francis, R. Roggli, T. J. Love, and C. P. Robinson, "Thermography as a means of blood perfusion measurement.," J. Biomech. Eng., 1979. <https://doi.org/10.1115/1.3426253>.

[16] C. L. Huang et al., "The application of infrared thermography in evaluation of patients at high risk for lower extremity peripheral arterial disease," J. Vasc. Surg., 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2011.03.287>.

[17] C. Jin et al., "A feasible method for measuring the blood flow velocity in superficial artery based on the laser induced dynamic thermography," Infrared Phys. Technol., 2012. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.07.007>.

[18] F. Deng, Q. Tang, G. Zeng, H. Wu, N. Zhang, and N. Zhong, "Effectiveness of digital infrared thermal imaging in detecting lower extremity deep venous thrombosis," Med. Phys., 2015. <https://doi.org/10.1183/13993003.congress-2015.PA2259>.

[19] S. Kacmaz, E. Ercelebi, S. Zengin, and S. Cindoruk, "The use of infrared thermal imaging in the diagnosis of deep vein thrombosis," Infrared Phys. Technol., vol. 86, pp. 120-129, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2017.09.005>.

[20] A. Saxena, E. Y. K. Ng, and V. Raman, "Thermographic venous blood flow characterization with external cooling stimulation," Infrared Phys. Technol., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.02.001>.

[21] B. B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, and J. Philip, "Medical applications of infrared thermography: A review," Infrared Physics and Technology. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>.

[22] J. R. Harding, "Thermal imaging in the investigation of deep venous thrombosis," Proc. 17th Int. Conf. Eng. Med. Biol. Soc., vol. 2, pp. 1972-1974, 1995.

[23] S. Z. Goldhaber and H. Bounameaux, "Pulmonary embolism and deep vein thrombosis," in The Lancet, 2012. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)61904-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)61904-1).

[24] A. T. Cohen et al., "Venous thromboembolism (VTE) in Europe. The number of VTE events and associated morbidity and mortality.," Thromb. Haemost., 2007. <https://doi.org/10.1160/TH07-03-0212>.

[25] G. Paola Paolinelli, "Principios físicos e indicaciones clínicas del ultrasonido doppler," Rev. Médica Clínica Las Condes, vol. 24, no. 1, pp. 139-148, 2013. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70139-1](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70139-1).

[26] C. Kearon, J. A. Julian, T. E. Newman, and J. S. Ginsberg, "Noninvasive diagnosis of deep venous thrombosis. McMaster Diagnostic Imaging Practice Guidelines Initiative.," Ann. Intern. Med., 1998. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-128-8-199804150-00011>.



- [27] J. B. Segal, J. Eng, L. J. Tamariz, and E. B. Bass, "Review of the evidence on diagnosis of deep venous thrombosis and pulmonary embolism," *Annals of Family Medicine*. 2007. <https://doi.org/10.1370/afm.648>.
- [28] C. Landefeld, "Noninvasive diagnosis of deep vein thrombosis," *JAMA*, vol. 300, no. 14, pp. 1696-1697, Oct. 2008. <https://doi.org/10.1001/jama.300.14.1696>.
- [29] S. Muth, S. Dort, I. A. Sebag, M.-J. Blais, and D. Garcia, "Unsupervised dealiasing and denoising of color-Doppler data," *Med. Image Anal.*, vol. 15, no. 4, pp. 577-588, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.media.2011.03.003>.
- [30] J. G. Stevenson, "The Development of Color Doppler Echocardiography: Innovation and Collaboration," *J. Am. Soc. Echocardiogr.*, vol. 31, no. 12, pp. 1344-1352, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.08.005>.
- [31] J. Torres Macho et al., "Positioning document on incorporating point-of-care ultrasound in Internal Medicine departments," *Rev. Clin. Esp.*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2018.02.004>.
- [32] N. Fortier O'brien et al., "Transcranial Doppler Ultrasonography Provides Insights into Neurovascular Changes in Children with Cerebral Malaria Article in Press the Journal of Pediatrics. www.jpeds.com," *J. Pediatr.*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.07.075>.
- [33] G. Paola Paolinelli, "Principios físicos e indicaciones clínicas del ultrasonido doppler," *Rev. Médica Clínica Las Condes*, 2013. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70139-1](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70139-1).
- [34] A. G. Bolado, M. V. Bárcena, J. L. del Cura, O. Gorriño, and D. Grande, "Indicación de eco-Doppler venosa de extremidades inferiores en el diagnóstico de la enfermedad tromboembólica ante una sospecha de tromboembolismo pulmonar Diagnostic Indication for Venous Echo-Doppler of the Lower Limbs in the Diagnosis of Thromboembolic," *Radiología*, vol. 45, no. 5, pp. 213-218, 2011. [https://doi.org/10.1016/S0033-8338\(03\)77905-3](https://doi.org/10.1016/S0033-8338(03)77905-3).
- [35] J. Kelly and B. J. Hunt, "The utility of pretest probability assessment in patients with clinically suspected venous thromboembolism," *Journal of Thrombosis and Haemostasis*. 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1538-7836.2003.00382.x>.
- [36] S. PC, I. IK, G. SZ, P. G, B. CB, and K. R, "Performance of wells score for deep vein thrombosis in the inpatient setting," *JAMA Intern. Med.*, vol. 175, no. 7, pp. 1112-1117, 2015. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.1687>.
- [37] C. E. A. Dronkers et al., "Disease prevalence dependent failure rate in diagnostic management studies on suspected deep vein thrombosis: communication from the SSC of the ISTH," *J. Thromb. Haemost.*, 2017. <https://doi.org/10.1111/jth.13805>.
- [38] P. M. Reardon et al., "Diagnostic Accuracy and Financial Implications of Age-Adjusted D-Dimer Strategies for the Diagnosis of Deep Venous Thrombosis in the Emergency Department," *J. Emerg. Med.*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2019.01.027>.
- [39] B. A. Parry et al., "International, multicenter evaluation of a new D-dimer assay for the exclusion of venous thromboembolism



using standard and age-adjusted cut-offs," *Thromb. Res.*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2018.04.003>.

[40] K. Broen, B. Scholtes, and R. Vossen, "Predicting the need for further thrombosis diagnostics in suspected DVT is increased by using age adjusted D-dimer values," *Thrombosis Research*. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2016.08.011>.

[41] S. Sharif et al., "Comparison of the age-adjusted and clinical probability-adjusted D-dimer to exclude pulmonary embolism in the ED," *Am. J. Emerg. Med.*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.07.053>.

[42] G. Cano et al., "Predicción de solubilidad de fármacos usando máquinas de soporte vectorial sobre unidades de procesamiento gráfico," *Rev. Int. Metod. Numer. para Calc. y Disen. en Ing.*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2015.12.001>.

[43] J. J. Sprockel, J. J. Diaztagle, W. Alzate, and E. González, "Redes neuronales en el diagnóstico del infarto agudo de miocardio," *Rev. Colomb. Cardiol.*, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2013.10.001>.

[44] H. Abe et al., "Artificial neural networks (ANNs) for differential diagnosis of interstitial

lung disease: results of a simulation test with actual clinical cases1," *Acad. Radiol.*, vol. 11, no. 1, pp. 29-37, 2004. [https://doi.org/10.1016/S1076-6332\(03\)00572-5](https://doi.org/10.1016/S1076-6332(03)00572-5).

[45] C. Peña-autista, T. Durand, C. Oger, M. Baquero, M. Vento, and C. Cháfer-Pericás, "Assessment of lipid peroxidation and artificial neural network models in early Alzheimer Disease diagnosis," *Clin. Biochem.*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2019.07.008>.

[46] I. A. Ozkan, M. Koklu, and I. U. Sert, "Diagnosis of urinary tract infection based on artificial intelligence methods," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 166, pp. 51-59, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.10.007>.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)