



Peso Predictivo de Parámetros Morfológicos y Morfométricos en la Valoración de la Ruptura del Aneurisma de Aorta Abdominal

F. Nieto Palomo¹, E. Soudah Prieto¹, C. Vaquero Puerta², MA Pérez Rueda¹

¹ Área de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. felix.nieto@uva.es, eduardo.soudah@uva.es, marper@uva.es

² Departamento de Cirugía. Hospital Clínico Universitario de Valladolid. cvaquero@med.uva.es

El aneurisma de aorta abdominal es una entidad nosológica caracterizada por la dilatación de este vaso en su trayecto abdominal. Su más grave y frecuente complicación es la ruptura, que conlleva sobre todo altas tasas de mortalidad.

Ante esta grave posibilidad, se han realizado esfuerzos para identificar los factores que permitan establecer indicadores predictivos del riesgo de ruptura. Sin embargo, aunque se han apuntado algunos de ellos, todavía no se han podido determinar cuáles son los más importantes y fiables para este fin. Entre estos indicadores, parece que no existe duda, que los morfológicos, son los más fiables para la evaluación del riesgo.

En este estudio, se busca valorar la influencia de cada uno de estos factores morfológicos en el desarrollo de una plataforma de Factores Biomecánicos. Esta plataforma combina los diferentes parámetros para generar un índice numérico y personalizado de riesgo de ruptura, denominado IR(t). Este índice está diseñado para ser de fácil aplicación y alta fiabilidad predictiva en la evaluación del riesgo de ruptura del aneurisma de aorta abdominal.

1. Introducción

La ruptura del aneurisma de aorta abdominal es la complicación más frecuente y por otro lado más grave que puede presentar este tipo de patología en una población de edad con una no despreciable incidencia y prevalencia [1-2]. Estos indicadores se han visto implementados, por una parte por un diagnóstico más fácil y preciso de esta patología que han incrementado las posibilidades del conocimiento de su existencia y que por otro lado por el envejecimiento de la población, ha aumentado la posibilidad de aparición y desarrollo del mismo, que aunque se desconozcan sus causas [3], parece evidente desde el punto de vista etiopatogénico, existe una alteración morfológica con perfil patológico del vaso generalmente con cambios en la estructura y composición del componente de la pared, con debilitamiento de la misma [4] y que conlleva un riesgo de ruptura, donde hay que considerar que este conducto vascular es el vehículo portador y de distribución de la sangre y que circula desde el punto de vista hemodinámico a oleadas de acuerdo al impulso hemático dependiendo del sístole y diástole cardíaca y que también se realiza con presión del líquido tisular vehiculizado con diferentes cifras de acuerdo a la situación hemodinámica de cada paciente [5-6].

Por otro lado, el conducto con un perfil de morfología regular en condiciones normales, por las diferentes causas soporte del desarrollo de este tipo de patología que produce una dilatación del vaso, se puede verse modificado en base a una dilatación del conducto, pudiéndose presentar en múltiples formas algunas englobables en patrones, pero otras de difícil clasificación [7-8-9].

Por un lado, está la expansión transversal y circunferencial del vaso. Por otro lado, la extensión en lo que se refiere a la afectación longitudinal, en un buen número de casos respeta la emergencia de las arterias viscerales y la emergencia de las ramas distales de la aorta, aunque evidentemente no en todos ellos [8-10]. En los aneurismas se puede detectar la presencia del trombo en el interior de su luz, ubicándose especialmente en su parte periférica en lo que respecta a su situación en el vaso arterial dilatado [11].

Por otro lado, ésta la ubicación de la dilatación no siempre circunferencial, puede expandirse en mayor o menor grado hacia la parte dorsal, lateral o ventral del vaso [12]. Otros aspectos se centran en el espesor de la pared, en su composición estructural e incluso en la presencia de elementos patológicos como pudiera ser el calcio que alteraría por lógica la posibilidad de su ruptura [13-14].

Analizando los parámetros morfológicos, e incluso cuantificando los mismos desde el punto de vista morfométrico, se podrían buscar predictores de este perfil que podría servir para disponer de una herramienta que pueda indicar cuando existe una mayor probabilidad de la evolución del aneurisma de aorta, en este caso abdominal, hacia la ruptura.

2. Materiales y métodos

Se realiza un estudio retrospectivo con la utilización de la información recogida en una base de datos de parámetros morfométricos de pacientes afectados de aneurisma de aorta abdominal que han sido intervenido por esta afectación al cumplir el criterio morfológico vigente y admitido por el grupo de tener su diámetro un tamaño de 5 cm o superior, que constituirían el primer grupo de estudio y aquellos que sufrieron la ruptura del aneurisma de aorta abdominal y que pudieron ser intervenidos al presentar un estado que lo permitía, que formarían el segundo. Se han seleccionado para la valoración, aquellos pacientes dentro de los disponibles, que presentaban información completa de todos los aspectos que se han estudiado y desestimando el resto (Figura 1).



Figura 1: Proyecciones frontal y lateral de una aneurisma de aorta abdominal tras la reconstrucción.

Los datos morfológicos y morfométricos han podido ser obtenidos del estudio morfológico más preciso utilizado en el diagnóstico y estudio de la dilatación de los aneurismas que sigue siendo el AngioTAC, es decir tomografía axial computarizada con contraste.

Del estudio, generalmente realizados en cortes transversales corporales de 3 mm de espesor o menos, ha sido posible determinar y precisar una serie de parámetros como la morfología tipo, afectación arterias viscerales, afectación arterias ilíacas, presencia arterias lumbares, permeabilidad arteria mesentérica inferior, afectación cuello aneurismático y presencia de trombo. La valoración de estos parámetros en el estudio ha sido de forma dicotómica y expresado los resultados en porcentajes (Figura 2).

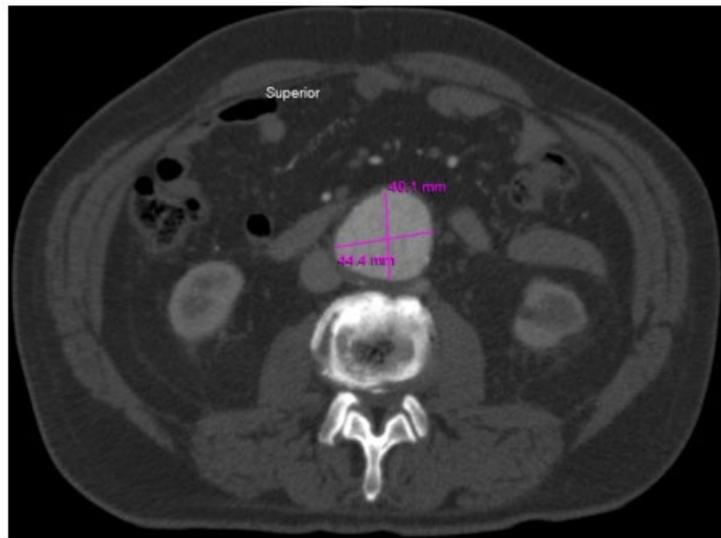


Figura 2: Corte radiográfico de un estudio AngioTAC ejemplo de los utilizados en el estudio.

Los parámetros morfométricos han sido diámetro máximo aneurisma, longitud del aneurisma, grosor máximo pared aneurisma, grosor mínimo, angulación del cuello, angulación del cuerpo, diámetro del cuello del aneurisma, longitud del cuello y grosor máximo del trombo expresados en mm los de tamaño y en grados los de angulación (Figura 3).

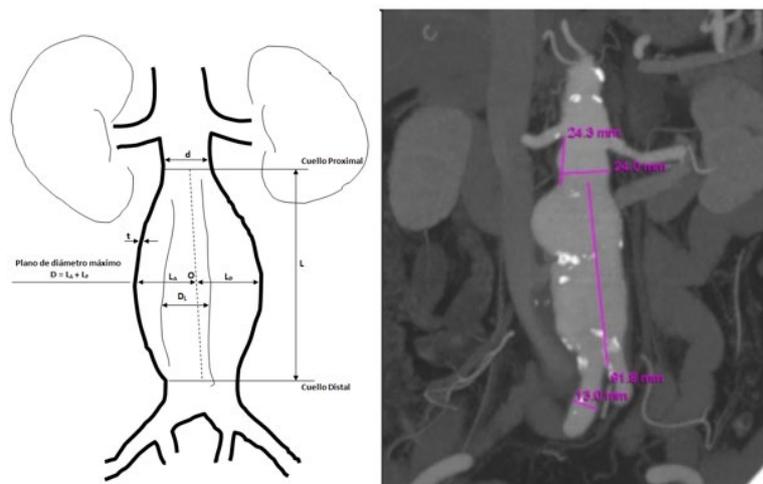


Figura 3: Aspectos morfológicos y morfométricos considerados en el estudio.

Los valores cuantitativos se han expresado como medios con su desviación standard. Se ha utilizado el t-test o prueba de la t-Student para datos cuantificables (morfométricos) y prueba no paramétrica del Chi-Cuadrado de Pearson (X^2) o prueba exacta de Fisher para variables cualitativas (morfológicos). Se ha aplicado un paquete estadístico SPSS.

3. Resultados

Los valores obtenidos en el estudio han sido agrupados en las Tablas 1 y 2. La primera representando los datos morfológicos y en la segunda los morfométricos.

De los diez parámetros del perfil morfológico estudiado en el trabajo, se ha mostrado un mayor perfil de aneurismas saculares en el grupo de aneurismas rotos, de la misma forma que han sido un menor el número en este grupo los que presentaban un perfil irregular. En el grupo de aneurismas rupturados, existía en los pacientes una mayor presencia de otros aneurismas a diferentes niveles, es decir la afectación polianeurismática. La permeabilidad de la arteria mesentérica inferior estaba de forma más ausente en el grupo de aneurismas rotos.

Tabla 1: Parámetros morfológicos en cada grupo con su peso de predicción de ruptura (X^2).

Predictor	Grupo aneurismático N=163	Grupo ruptura n=39	P Predicción	Peso paramétrico
Morfología tipo fusiforme	67 (41,1%)	17 (43,6%)	N.S	0
Morfología tipo sacular,	23 (14,1%)	10 (25,6%)	P<0,05	1
Morfología tipo irregular	73 (44,8%)	12 (30,7%)	P<0,05	1
Enfermedad polianeurimástica	59 (36,19%)	21 (53,84%)	P<0,01	1
Afectación arterias viscerales	12 (7,4%)	2 (5,1%)	N.S	0
Afectación arterias iliacas	19 (11,6%)	5 (12,8%)	N.S	0
Presencia arterias lumbares permeables	31 (19%)	11 (28,2%)	N.S	0
Permeabilidad mesentérica inferior	9 (5,5%)	4 (10,25%)	P<0,05	1
Afectación cuello	6 (3,7%)	2 (5,1%)	N.S	0
Presencia trombo	138 (84,66%)	34 (87,1%)	N.S	0

Con respecto a los parámetros morfométricos, en los grupos estudiados de aneurismas sin complicar y los rotos, los datos ofertados que en el grupo de aneurismas rotos su diámetro era mayor que en los aneurismas evaluados no rotos, y que por el contrario en el grupo de rotos los aneurismas eran más cortos. La pared del aneurisma roto mostro más grosor que en el de los aneurismas no rotos. Por último, la longitud del trombo era menor en los pacientes con aneurismas rotos.

Tabla 2: Parámetros morfométricos en cada grupo con su peso de predicción de ruptura (t-test).

Predictor	Grupo aneurismático X±DE (mm)	Grupo ruptura X±DE (mm)	P Predicción	Peso paramétrico
Diámetro máximo aneurisma	57±19	66±23	P<0,05	1
Longitud aneurisma	66±17	41±18	P<0,05	1
Diámetro medio cuello	26,32±10,21	24,23±9,13	N.S	0
Longitud media cuello	20,98±9,99	25,43±11,67	P<0,05	0
Grosor máximo pared aneurisma	3,6±1,1	9,4±2,1	N.S	1
Grosor mínimo pared aneurisma	1,6±0,9	1,4±0,8	N.S	0
Angulación eje cuello y aneurisma	15,67±8,12	16,21±7,23	N.S	0
Angulación aorta suprarrenal y eje aneurisma	145,56±27,12	139,56±23,74	N.S	0
Grosor máximo trombo	23±16	29±16	N.S	0
Longitud del trombo	53±16	24±16	P<0,001	1

El peso de cada parámetro, teniendo en cuenta que se han seleccionado 10 morfológicos y 10 morfométricos, se le otorga a cada uno un valor 1, que sufrirá las pertinentes correcciones de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio.

4. Discusión

Aplicando la lógica, parece que la morfología de una alteración con este perfil de dilatación y con riesgo de romperse, debería de ser un perfil de relevancia y sus distintas configuraciones conferir peculiaridades que pueden variar las posibilidades futuras de desarrollar la ruptura [15-16]. Aunque a estos parámetros basados en la morfología o las dimensiones aneurismáticas, deberían entrar en el desarrollo y precipitación de la complicación de otros que en el momento actual se podría tener acceso a esta información [17].

Sin embargo, siempre existirá la imposibilidad de disponer de toda la información que pudiera entrar en juego en el proceso de ruptura, como pudiera ser la composición de la pared y determinados aspectos de la distribución de los diferentes elementos estructurales e incluso otros como la composición histológica o incluso molecular [18]. Además de estos factores pueden influir, por lo menos teóricamente, otros menos que dependería del propio individuo, o de la situación que se encuentre el mismo, donde ya se han realizado aportaciones al respecto como pudieran ser factores ambientales de difícil control, valoración e incluso en relación tan variados como situaciones sexuales [19-20].

Sin embargo, posiblemente no sea necesario disponer de la totalidad de la información que influye sobre la ruptura aneurismática, sino para tomar medidas preventivas e incluso de protocolización en la aplicación de cualquier plataforma de indicación terapéutica en la prevención de la ruptura [1-21].

Los factores predictores son aquellas características que se presentan con una mayor frecuencia con respecto a la población de referencia en el grupo a valorar y que se pueden utilizar como indicadores, que en este caso el aneurisma de aorta abdominal, representan un mayor riesgo de ruptura [8-22-23].

En el presente estudio, la herramienta utilizada para la valoración y medición de los parámetros morfológicos y morfométricos ha sido el estudio radiológico con AngioTAC al considerarse en el momento actual el método más fiable y de mayor precisión aportando una información muy precisa y objetiva [24].

El trabajo elaborado se ha basado en el hecho conceptual de detectar cuáles son los factores predictores de ruptura para posteriormente poderles integrar en una plataforma (combina los diferentes parámetros relacionados entre sí mediante una serie de Factores Biomecánicos que se integran en un modelo multiescala para generar un índice numérico y personalizado de riesgo de ruptura), factible en el momento actual de inteligencia artificial [25-26-27] con el necesario soporte informático que permita al responsable de la valoración del paciente, tomar las decisiones terapéuticas disponiendo de una información fiable y contrastada para poder tomar decisiones en el sentido correcto. La herramienta para poder tener un uso generalizado, debe de ser sencilla, de fácil aplicación, utilizando una mínima información y que evidentemente haya sido contrastada su eficacia en valoraciones previas [23].

A través de los denominados Factores Biomecánicos, el modelo multiescala define relaciones funcionales entre factores de diferente naturaleza (biológicos, estructurales y geométricos) y las escalas temporal y dimensional a niveles molecular, celular, de tejido y de órgano, que permitan describir cuantitativamente las propiedades y el comportamiento de los materiales biológicos. El modelo multiescala [27] está concebido como la interrelación de cuatro submodelos interdependientes a diferentes escalas temporal y dimensional: SubModelo de Remodelación Arterial (MRA), SubModelo de Formulación Constitutiva (MFC), SubModelo de Condiciones de Contorno (MCC) y SubModelo de Daño (MCD) (Figura 4).

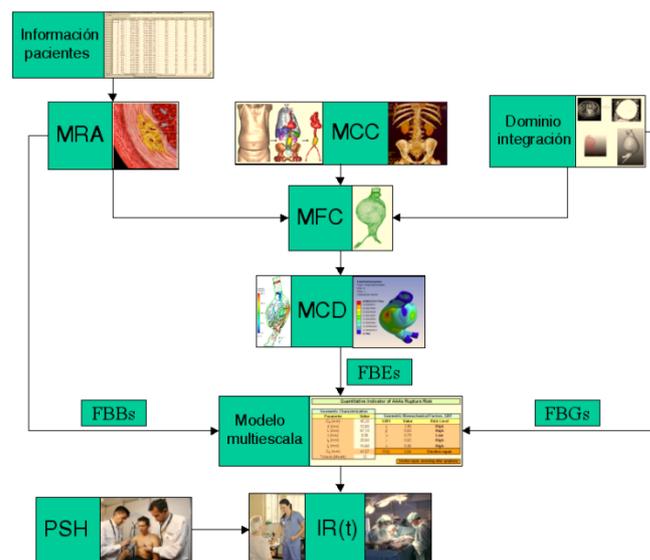


Figura 4: Enfoque biomecánico para predecir la ruptura de los AAAs.

Desde el punto de vista de las aportaciones del estudio, se podría considerar que analizando los datos, que son los aneurismas saculares, los que más probabilidad tienen de ruptura, siendo difícil de ponderar la forma irregular al haberse mostrado con menor frecuencia en las rupturas en base al propio perfil y definición de la forma. En los pacientes polianeurismáticos existe una mayor frecuencia de ruptura, sin poder aportar datos si también tienen esta predisposición a la ruptura, en las otras localizaciones. El hecho de encontrar ocluida en el grupo de rotos la arteria mesentérica inferior no la hemos podido dar mucho valor por las circunstancias de la propia ruptura, con desorganización estructural de la zona con presencia de hematoma, unido a la mayor dificultad de valorar el estudio de imagen, soporte del diagnóstico, como es el AngioTAC en este grupo.

Parece lógico, el dato ofertado que los aneurismas rotos presenten un mayor diámetro con respecto al grupo de referencia, pero también hay que realizar la observación que se ha valorado un aneurisma ya con ruptura y cierta desorganización estructural con hematoma. Los aneurismas rotos parecen ser, que fueron de menor longitud, algo que también podría ser atribuible al hecho de presentarse con frecuencia la ruptura en aneurismas saculares que son más cortos que las otras formas fusiformes e irregulares. El hecho que la pared de los aneurismas rotos mostrará un mayor grosor, este posible predictor puede estar afectado por la propia ruptura y desestructuración de la pared. El hecho que los trombos en el grupo de rotos sean más cortos, no lo hemos podido interpretar en la predicción. Posiblemente, este estudio exija uno posterior, que ya se está desarrollando, entre aneurismas evaluados y en vigilancia en su crecimiento en comparación con los que posteriormente sufrirán ruptura, pero el estudio presenta la limitación de lograr una muestra con tamaño suficiente en donde se puedan extraer datos y lograr conclusiones. Sin embargo, a pesar del hecho de valorar en el grupo de rotos, estos cuando se ha producido la clínica inicial como indicador de ruptura, y seleccionando aquellos que por su presentación no mostraban grandes alteraciones estructurales, nos puede suponer una limitación para poder sacar conclusiones válidas en el estudio.

Posiblemente, la aplicación de inteligencia artificial pueda ser una gran ayuda para lograr herramientas precisas, sencillas y eficaces para predecir la ruptura [28]. Tras el estudio y análisis de los resultados teniendo en cuenta que solo cuatro parámetros del grupo de los morfológicos y 4 del grupo de los morfométricos sirven de indicadores, el peso otorgado previamente era de 1 punto, al mantenerse el criterio la valoración se hará en base de criterios genéricos de predicción en 8 puntos [29].

En el momento actual, el predictor utilizado de forma generalizada es muy simple y burdo, soportado en probabilidad estadística, y que se ciñe exclusivamente en el diámetro del aneurisma, que, aunque se admite una cifra alrededor de los 5 cm, tan siquiera está reconocido de forma generalizada, aceptado otros, los diferentes grupos de profesionales que abordan y tratan el problema asumiendo como indicador diferentes tamaños [30-31]. Es preciso seguir insistiendo que parece que la lógica indica que, una vez detectado la patología aneurismática, debería ser tratada, pero eso conllevaría situaciones de riesgo beneficio no aceptable para la totalidad de los pacientes por lo que es necesario aplicar criterios racionales que son los que se pretenden desarrollar buscando herramienta con este fin [32-33-34-35].

5. Referencias

- [1] San Norberto EM., Taylor J, Salvador R, Revilla A., Merino B, Vaquero C., “Calidad de la información disponible en internet sobre el aneurisma de aorta y su tratamiento endovascular”, *Revista Española de Investigaciones Quirúrgicas* 64(10):869-875 (2011)
- [2] Basnyat PS., Aiono S., Warsi AA., Magee TR., Galland RB., Lewis MH., “Natural history of the ectatic aorta”, *Cardiovasc Surgery* 11(4):273-276 (2023)
- [3] Calgi MP., McNeil JS., “Abdominal Aortic Aneurysms (Etiology, Epidemiology, and Natural History)”, *Anesthesiol Clinics* 40(4):657-669 (2022)
- [4] Bhagavan D., Di Achille P., Humphrey JD., “Strongly Coupled Morphological Features of Aortic Aneurysms Drive Intraluminal Thrombus”, *Scientific Reports* 8(1):13273 (2018)
- [5] Goodney PP., Wang G., “Improving Screening for Aortic Aneurysm With Data Science”, *JAMA* 328(19):1906-1907 (2022)
- [6] Lee R., Bellamkonda K., Jones A., Killough N., Woodgate F., Williams M., Cassimjee I., Handa A., “Oxford Abdominal Aortic Aneurysm Study. Flow Mediated Dilatation and Progression of Abdominal Aortic Aneurysms”, *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* 53(6):820-882 (2017)
- [7] Kubíček L., Staffa R., Vlachovský R., Novotný T., Biroš E., “Modern diagnostic approach to patients with abdominal aortic aneurysm”, *Rozhl Chir.* Fall;101(8):401-409 (2022)
- [8] Vilalta G., Nieto F., Mihai L., Vilalta JA., Vaquero C., Perez MA., “Predicción del riesgo de ruptura de aneurismas de aorta abdominal. Método basado en los biodeterminantes geométricos”, *DYNA Ingeniería e Industria* 87(1):66-73 (2012)
- [9] Ren S., Guidoin R., Xu Z., Deng X., Fan Y., Chen Z., Sun A., “Narrative Review of Risk Assessment of Abdominal Aortic Aneurysm Rupture Based on Biomechanics-Related Morphology”, *Journal of Endovascular Therapy* 31(2):178-190 (2024)
- [10] San Juan M., Vallejo A., Del Río L., Gutiérrez VM., Vaquero C., “Estudio anatómico y planimétrico de los aneurismas de aorta abdominal”, *Revista Iberoamericana de la Cirugía Vascul ar* 4(2):72-78 (2016)
- [11] Lu C., Gordon AC., Murphy P., Sicely L., Aiono S., “Use of radiological information system data in Clinical Portal database to screen for missed abdominal aortic aneurysms”, *Annals of The Royal College of Surgeons of England* 105(5):422-427 (2023)
- [12] Vaquero C., Vilalta G., Vilalta JA., Nieto F., Pérez MA., Soudah E., Lipsa L., Del Río L., San Norberto E., Cenizo N., Brizuela JA., Martín Pedrosa M., Montes JM., “Estudio de las angulaciones de las arterias viscerales abdominales en su emergencia de la aorta abdominal”, *Revista Iberoamericana de la Cirugía Vascul ar* 4(4):184-189 (2016)
- [13] Zúñiga-Reyes A., Rojas-Mazaira L., Vilalta-Alonso G., Montesinos-Otero ME., Pinto-Ortiz J., Rodríguez-Madrigal M., Vaquero C., “Evaluación del riesgo de ruptura de aneurismas de aorta abdominal personalizados mediante factores mecánicos”, *Ingeniería Mecánica* 17(2):157-167 (2014)
- [14] Soudah E., Vilalta G., Bordone M., Nieto F., Vilalta JA., Vaquero C., “Estudio paramétrico de tensiones hemodinámicas en modelos de aneurismas de aorta abdominal”, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 31(2):106-112 (2015)

- [15] Thorsted B., Bjerregaard L., Jensen PS, Rasmussen LM., Lindholt JS., Bloksgaard M., “Artificial intelligence assisted compositional analyses of human abdominal aortic aneurysms ex vivo”, *Frontiers in Physiology* 22 (13):840965 (2022)
- [16] Sen I, Kanzafarova I., Yonkus J., Mendes BC., Colglazier JJ., Shuja F., DeMartino RR., Kalra M., Rasmussen TE., “Clinical presentation, operative management, and long-term outcomes of rupture after previous abdominal aortic aneurysm repair”, *Journal of Vascular Surgery* 77(2):396-405 (2023)
- [17] Ferreira R., Barreira R., Mendes P., Couto P., Peixoto F., Aguiar M., Neto M., Rolim D., Pinto J., Freitas A., Dias PG., Mansilha A., Teixeira JF., Sampaio SM., Leite-Moreira A., “First Population Based Screening of Abdominal Aortic Aneurysm in Portugal”, *Annals of Vascular Surgery* 59:48-53 (2019)
- [18] Meuli L., Zimmermann A., Menges AL., Stefanikova S., Reutersberg B., Makaloski V., “Prognostic model for survival of patients with abdominal aortic aneurysms treated with endovascular aneurysm repair”, *Scientific Reports* 12(1):19540 (2022)
- [19] Opacic D., Ilic N., Sladojevic M., Schönleitner P., Markovic D., Kostic D., Davidovic L., “Effects of atmospheric pressure dynamics on abdominal aortic aneurysm rupture onset”, *Vasa*. 47(2):137-142 (2018)
- [20] Salvador-Calvo R., González-Fajardo JA., Mengibar-Fuentes L., Revilla-Calavia A., Del Río-solá ML., Vaquero-Puerta C., “Impacto ambiental sobre la rotura de aneurisma de aorta abdominal”, *Angiología* 5(61):259-264 (2009)
- [21] Wołoszko T., Skórski M., Kwasiborski P., Kmin E., Gałazka Z., Pogorzelski R., “Influence of Selective Biochemical and Morphological Agents on Natural History of Aneurysm of Abdominal Aorta Development”, *Medical Science Monitor* 9(22):431-437 (2016)
- [22] Vilalta G., Soudach E., Vilalta JA., Nieto F., Bordone M., Pérez MA., Vaquero C., “Hemodynamic features associated with abdominal aortic aneurysm (AAA) geometry”, *Journal of Biomechanics* 45(S1):S37 (2012)
- [23] Vilalta G., Vilalta JA., Nieto F., Pérez MA., Salgado G., Vaquero C., “Abdominal Aortic Aneurysm (AAA) morphological as predictor of peak wall stress”, *Journal of Biomechanics* 45(S1):S11 (2012)
- [24] Borgbjerg J., Christensen HS., Al-Mashhadi R., Bøgsted M., Frøkjær JB., Medrud L., Larsen NE., Lindholt JS., “Ultra-low-dose non-contrast CT and CT angiography can be used interchangeably for assessing maximal abdominal aortic diameter”, *Acta Radiologica Open*. 11(10) (2022)
- [25] Ng E., Looi LJC., “Numerical analysis of biothermal-fluids and cardiac thermal pulse of abdominal aortic aneurysm”, *Mathematical Biosciences & Engineering* 19(10):10213-10251 (2022)
- [26] Vilalta-Alonso JA., Soudah-Prieto E., Nieto-Palomo F., Lipsa L., Pérez-Rueda MA., Lopez-Aguiar B., Vaquero-Puerta C., Vilalta-Alonso G., “Correlation between hemodynamics stresses and morphologic indices as a predictor potential of abdominal aortic aneurysm rupture”, *Austin Journal of Vascular Medicine* 3(1):1-8 (2016)
- [27] Nieto Palomo, F., “Predicción del riesgo de ruptura de aneurismas de aorta abdominal. método basado en los biodeterminantes geométricos”, Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, Valladolid (2016)
- [28] Chung TK., Gueldner PH., Kickliter TM., Liang NL., Vorp DA., “An Objective and Repeatable Sac Isolation Technique for Comparing Biomechanical Metrics in Abdominal Aortic Aneurysms”, *Bioengineering (Basel)* 9(11):601 (2022)
- [29] Hageman SHJ., Pennells L., Pajouheshnia R., Tillmann T., Blaha MJ., McClelland RL., Matsushita K., Nambi V., Van Der Schouw YT., Verschuren WMM., Lehmann N., Jockel KH., Di Angelantonio E., Visseren FLJ., Dorresteijn JAN., “The value of additional risk factors for improving 10-year cardiovascular risk prediction in apparently healthy people”, *European Heart Journal* 43:Issue Supplement (2022)
- [30] D’Auffret A., Santilli S., Tretinyak A., Roethle S., “Fate of the ectatic infrarenal aorta: expansion rates and outcomes”, *Annals of Vascular Surgery* 16(5):534-536 (2022)
- [31] Haque K., Bhargava P., “Abdominal Aortic Aneurysm”, *American Family Physician* 106(2):165-172 (2022)
- [32] Hellenthal FA., Pulinx B., Welten RJ., Teijink JA., Van Diejen Visser MP., Wodzig WK., Schurink GW., “Circulating biomarkers and abdominal aortic aneurysm size”, *Journal of Surgical Research* 176(2):672-678 (2012)
- [33] Humphrey JD., Holzapfel GA., “Mechanics, mechanobiology, and modeling of human abdominal aorta and aneurysms”, *Journal of Biomech* 45(5):805-814 (2012)

- [34] Kang JH., Kim YW., Heo SH., Woo SY., Park YJ., Kim DI., Kim DK., “Treatment strategy based on the natural course of the disease for patients with spontaneous isolated abdominal aortic dissection”, *Journal of Vascular Surgery* 66(6):1668-1678 (2017)
- [35] Vaquero C., Del Río L., San Norberto E., Cenizo N., Brizuela JA., Martín-Pedrosa M., Vilalta G., Vilalta JA., Nieto F., Pérez MA., Soudah E., Lipsa L., Montes JA., “Valoración de los ángulos del cuello del aneurisma de aorta abdominal. Estudio en 507 pacientes”, *Revista Española de Investigaciones Quirúrgicas* 19(4):153-156 (2016)