



## Estudio hemodinámico mediante simulación numérica para completar el diagnóstico en estenosis carotídeas tributarias de endarterectomía



J. Rivera<sup>a,\*</sup>, F. Arias<sup>a</sup>, A. Badrenas<sup>b</sup> y J. Grau<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España

<sup>b</sup> Servicio de Cirugía Vasculardel Hospital Althaia, Xarxa Assistencial Universitària de Manresa, Manresa, España

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 7 de noviembre de 2014

Aceptado el 13 de febrero de 2015

On-line el 13 de junio de 2015

#### Palabras clave:

Embolización

Estenosis carotídea

Hiperplasia de la íntima

Índice de oscilación

Simulación numérica

Tensión de cizallamiento en la pared arterial

Tiempo de exposición

### R E S U M E N

**Introducción:** En pacientes con estenosis carotídeas sintomáticas moderadas o asintomáticas severas, antes de realizar una endarterectomía se recomienda hacer un estudio detallado en que se incluya el mayor número posible de parámetros morfológicos y hemodinámicos.

Este trabajo analiza el efecto que la localización y la forma de la estenosis tienen sobre la distribución de las tensiones de cizallamiento y su repercusión en el diagnóstico clínico en estos casos.

**Materiales y métodos:** Se genera el modelo de la zona objeto de estudio y se realiza la simulación numérica. Se determinan las tensiones de cizallamiento, el índice de oscilación y el tiempo de exposición a dichas tensiones, y se analiza el riesgo de embolización o de crecimiento de la placa arterial. Se aplica la metodología a 3 carótidas idealizadas con diferente localización y pendiente de la estenosis y a un caso clínico.

**Resultados:** Para las carótidas idealizadas, se obtiene que la estenosis cercana a la bifurcación presenta un riesgo de embolización superior a la más alejada y tanto más riesgo cuanto más pendiente tiene la estenosis. Para el caso clínico, los resultados indican un riesgo alto de embolización por rotura cerca de la placa ateromatosa. Asimismo, también se concluye que el riesgo de que la placa continúe progresando es bajo.

**Conclusiones:** Los resultados obtenidos muestran que la localización de una estenosis moderada en relación con la bifurcación carotídea y su forma geométrica son factores que es bueno conocer para completar el diagnóstico y el pronóstico de la lesión.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Hemodynamic study by numerical simulation to complete the diagnosis in carotid stenosis tributary of endarterectomy

#### A B S T R A C T

#### Keywords:

Embolization

Carotid stenosis

Intimal hyperplasia

Oscillatory shear index

Numerical simulation

Wall shear stress

Exposition time

**Introduction:** In patients with moderate symptomatic or severe asymptomatic carotid stenosis, prior to an endarterectomy it is recommended to do a detailed study, in which the complete set of morphological and hemodynamic parameters are included.

In this work the effect that the location and shape of the stenosis has on the distribution of wall shear stresses and their impact on clinical diagnosis in these cases is analyzed.

**Materials and methods:** First the model of the area to study is generated and the numerical simulation is done. Then the wall shear stress, the oscillation index and the wall shear stress exposure time are

\* Autor para correspondencia: Av. de les Bases, 61. Manresa 08240. Barcelona.  
Correo electrónico: [rivera@epsem.upc.edu](mailto:rivera@epsem.upc.edu) (J. Rivera).

established, and the impact of the results for embolization risk or the growth of arterial plaque because of intimal hiperplasia are analysed. The methodology is applied to three idealized carotids with different localization and geometrical slope of the stenosis.

**Results:** For the idealized carotids it is obtained that stenosis close to bifurcation present a higher embolization risk that the most distant one and has more risk as more stenosis slope it has. For the clinical case, the results show a high risk of embolization by break located near the atheromatous plaque. As well, it is obtained that the risk the arterial plaque to continue growing is low.

**Conclusions:** The results show that the location of a moderate stenosis related to carotid bifurcation and their geometry they are factors that aid to complete the diagnosis of lesion.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La presencia de placa ateromatosa en la zona carotídea es un factor importante de riesgo de ictus cerebral, así como de accidentes vasculares mayores como el infarto de miocardio [1]. Las causas básicas por las cuales se produce el ictus cerebral son: la obstrucción de los vasos por embolias provocadas por la ruptura de placa carotídea o una perfusión insuficiente debida a estenosis carotídeas significativas. El primer caso se da si la placa está fragmentada o ulcerada y sobre ella se registran valores elevados de las fuerzas de arrastre capaces de romperla y embolizarla. El segundo caso se produce con estenosis cuya reducción de la sección transversal del vaso es suficiente para disminuir el flujo sanguíneo de manera notable. En ambos casos, la hemodinámica juega un papel importante.

La elección del tipo de tratamiento a seguir en este tipo de patología se basa principalmente en el grado de estenosis carotídea y en la sintomatología neurológica asociada. La endarterectomía es uno de los posibles tratamientos en estos casos, su efecto beneficioso depende de si se trata de una estenosis sintomática o asintomática. Para estenosis carotídeas sintomáticas, los estudios de NASCET [2] y de ECST [3] concluyeron que, en pacientes con estenosis severa (>70%, según la medición de NASCET), la endarterectomía obtiene unos buenos resultados. En pacientes con estenosis inferiores al 50% no se obtiene beneficio alguno con la cirugía. En la franja de estenosis moderadas, es decir, entre el 50 y el 70%, el beneficio de la cirugía es moderado. En este caso, se recomienda hacer un estudio personalizado del paciente en el cual se incluya el mayor número posible de parámetros morfológicos y hemodinámicos.

Para estenosis carotídeas asintomáticas, los estudios de ECST [4] y de NASCET [5] concluyen que el riesgo de accidente cardiovascular es bajo, sea cual sea el grado de estenosis, y que el uso de la endarterectomía solo está justificado en estenosis severas.

En resumen, en estenosis sintomáticas moderadas y en estenosis asintomáticas severas, es aconsejable que la decisión de usar la endarterectomía como tratamiento vaya precedida de un estudio detallado de la zona afectada.

Para completar el diagnóstico en los casos en que se requiere un análisis detallado, puede ser de gran interés estudiar las fuerzas de arrastre que actúan directamente sobre el endotelio, es decir, las tensiones de cizallamiento en la pared arterial (*Wall Shear Stress* [WSS]). Si dichas tensiones de cizallamiento son altas, pueden provocar que la placa aterosclerótica se ulcere, se desencadene sobre ella la activación plaquetaria y, posteriormente, se rompa y se produzca la embolización [6]. Si son bajas y de carácter oscilatorio, pueden provocar que la estenosis continúe progresando por hiperplasia de la íntima (HI) [7]. Por tanto, el estudio directo de estas tensiones, para determinar su intensidad y su localización precisa, puede aportar una información adicional que ayude a clarificar y completar el diagnóstico.

Existen diversos procedimientos para calcular el WSS de manera no invasiva. Uno de ellos consiste en medir *in vivo* el perfil de velocidades cerca de la pared, lo cual se puede realizar mediante ultrasonidos o bien mediante angio-RM [8,9]. El inconveniente

principal de la aplicación de este procedimiento en la zona carotídea es la baja resolución de los equipos. Un método alternativo no invasivo es la simulación numérica que consiste en reproducir mediante ordenador la hemodinámica del segmento arterial de interés, es decir, resolver las ecuaciones de movimiento del flujo sanguíneo y obtener la distribución de velocidades y magnitudes relacionadas como el WSS. Los datos necesarios para realizar la simulación numérica son la geometría del segmento arterial, las condiciones en la frontera de dicho segmento, y la densidad y viscosidad de la sangre, aunque para estos 2 últimos datos se pueden utilizar valores de referencia realizando una buena aproximación. La geometría se puede extraer a partir de la angio-TC o de la angio-RM y las condiciones en la frontera pueden ser datos de velocidad, obtenidos mediante ecografía Doppler.

En los últimos años, los estudios realizados mediante simulación numérica se han convertido en una herramienta muy útil para analizar los detalles hemodinámicos, en particular en la zona carotídea. Aunque existen numerosos trabajos con carótidas sanas o casi sanas [10–13] y, en menor medida, con estenosis severas [14,15], conocemos muy pocos con estenosis moderadas y condiciones fisiológicas. Tang et al. [16] han investigado el efecto que la severidad y la asimetría de la estenosis tienen en diversos parámetros hemodinámicos utilizando, para ello, un modelo de tubo elástico. Groen et al. [17] establecen, en un estudio temporal para un paciente con estenosis carotídea moderada, que la ulceración de la placa se produce exclusivamente en la zona donde el WSS es alto. Jeong y Rhee [18] utilizan un segmento rectilíneo de arteria coronaria con estenosis moderada para analizar el efecto hemodinámico de la irregularidad superficial y de un modelo no-newtoniano.

En este trabajo se analiza mediante simulación numérica el efecto de la localización y la forma de la estenosis sobre las tensiones de cizallamiento y su repercusión en el diagnóstico clínico en una patología de estenosis carotídea moderada. Para ello, se estudian 3 modelos idealizados de carótidas con el mismo grado de estenosis pero con diferente localización y diferente forma geométrica. También se estudia un caso clínico sintomático.

## 2. Materiales y métodos

En virtud de un convenio de colaboración entre la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC) y Althaia, la Red Asistencial Universitaria de Manresa, hemos establecido una metodología de trabajo para incorporar la simulación numérica al estudio de pacientes afectados de estenosis carotídea tributaria de endarterectomía.

El primer paso es la selección de la zona objeto de estudio. Se elige un segmento arterial centrado en la bifurcación carotídea y que contenga tramos lo más largos posible de la arteria carótida común (ACC), de la arteria carótida externa (ACE) y de la arteria carótida interna (ACI).

A continuación, se miden las velocidades mediante una ecografía Doppler (Eco Doppler Siemens Acuson, con transductor lineal de 7 MHz) en el centro de las secciones transversales de la frontera del

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702510>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702510>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)