

Simulación de la estenosis pulmonar y la regurgitación tricúspide mediante un modelo eléctrico del sistema cardiovascular humano

K. Gómez^a, A. D'Alessandro Martínez^{b,c} y M. Rodríguez^a

^aUniversidad Simón Bolívar; Sede del Litoral, Departamento de Tecnología Industrial.

^bUniversidad Simón Bolívar, Laboratorio de Biofísica.

^cUniversidad Central de Venezuela, Cátedra de Fisiología, Escuela Luis Razetti.

e-mail: kgomez@usb.ve, adaless@usb.ve, mirodriguez@usb.ve.

Recibido el 25 de noviembre de 2003; aceptado el 12 de octubre de 2004

La importancia del ventrículo derecho ha sido ignorada durante muchos años, al contrario de lo que sucede con el ventrículo izquierdo, cuyas características se han estudiado exhaustivamente. El papel del ventrículo derecho en la hemodinámica y el mantenimiento de un adecuado gasto cardíaco ha sido minimizado a un mero conducto de sangre. El objetivo del presente trabajo es simular mediante un Modelo Eléctrico del Sistema Cardiovascular Humano, enfermedades de las válvulas pulmonar y tricúspide, las cuales están ubicadas en el lado derecho del corazón, e intentaremos mostrar a través de dicha simulación la influencia que tienen estas enfermedades en la mecánica cardiovascular derecha. Para ello obtuvimos las gráficas de presión en función del tiempo de la aurícula derecha, del ventrículo derecho y la arteria pulmonar para cada una de las enfermedades mencionadas anteriormente, las cuales, de forma muy parecida a la real muestran los cambios que ocurren en la mecánica cardiovascular derecha cuando se manifiestan las patologías anteriormente mencionadas.

Descriptores: Mecánica cardiovascular; cardiología; modelo matemático; simulación.

The importance of the right ventricle has been ignored for decades, in contrast with the left ventricle, whose characteristics have received an exhaustive study. The role of the right ventricle in hemodynamics and in keeping an adequate cardiac output has been minimized to a mere passage of blood. The objective of the present work is to simulate by means of an Electrical Model of the Human Cardiovascular System, diseases of the pulmonary and tricuspid valves, which are located in the right side of the heart, and we will try to show through this simulation the influence of those diseases in the right cardiovascular mechanics. We obtained the graphs of pressure based on the time of the right auricle, of the right ventricle and the pulmonary artery for the diseases named previously, which, with very similar form to the reality, show the changes that happen in the right cardiovascular mechanics when the pathologies mentioned previously are pronounced.

Keywords: Cardiovascular mechanics; cardiology; mathematical model; simulation.

PACS: 87.80.-

Gran parte de las investigaciones realizadas en biomedicina se realizan para tener una mejor compresión de cómo funciona el cuerpo humano. En nuestro trabajo utilizamos un modelo con gran significado fisiológico con el cual se puede estudiar el sistema cardiovascular [1]. Para estudiar dicho sistema, los investigadores han realizado modelos capaces de simular algunas características relevantes [2–5], a pesar de lo cual no tienen una relevancia fisiológica importante ya que sólo representan al sistema cardiovascular de forma parcial, limitando de esta forma muchas de las funciones y elementos que lo caracterizan, como por ejemplo, el lado derecho del corazón, porción que a pesar de ser poco estudiada, influye grandemente en el comportamiento mecánico de dicho sistema.

Las enfermedades cardiovasculares son una de las causas de muertes más frecuentes en el mundo, de ahí la importancia de conocer sus manifestaciones. Es por eso que el objetivo de nuestro trabajo fue seleccionar patologías valvulares del lado derecho del corazón, (estenosis valvular y regurgitación tricúspide), las cuales se han estudiado muy poco para su simulación en un modelo eléctrico y ver los cambios que originan las mismas en la mecánica cardiovascular normal [6].

La válvula pulmonar localizada entre el ventrículo derecho y la arteria pulmonar, se abre para permitir que la sangre pase del ventrículo derecho a los pulmones. La estenosis

pulmonar se manifiesta cuando una válvula pulmonar defectuosa no se abre correctamente y hace que el corazón tenga que bombear más fuerte de lo normal para superar la obstrucción. La regurgitación tricúspide es la enfermedad en la cual la válvula tricúspide se debilita o se abomba, impidiendo el cierre adecuado de la misma, lo cual produce un subsiguiente reflujo de sangre desde la aurícula derecha (la cámara superior derecha del corazón) hasta el ventrículo derecho (la cámara inferior derecha del corazón).

El modelo empleado para realizar la simulación es similar al utilizado por los autores en [1] y se representa en la Fig. 1. En el trabajo referenciado se simuló el comportamiento de la mecánica cardiovascular en condiciones normales, obteniendo en este caso las gráficas de presión vs. tiempo para el ventrículo izquierdo, la gráfica de volumen vs. tiempo del ventrículo izquierdo y el ciclo presión vs volumen del ventrículo izquierdo. En este trabajo, se simulará el comportamiento de la mecánica cardiovascular derecha ante la presencia de las patologías previamente descritas, lo cual muestra la versatilidad del modelo utilizado, ya que con él mismo se puede simular tanto la mecánica cardiovascular del lado izquierdo del corazón como la mecánica del lado derecho, así como también tanto el comportamiento normal como patológico del sistema cardiovascular.

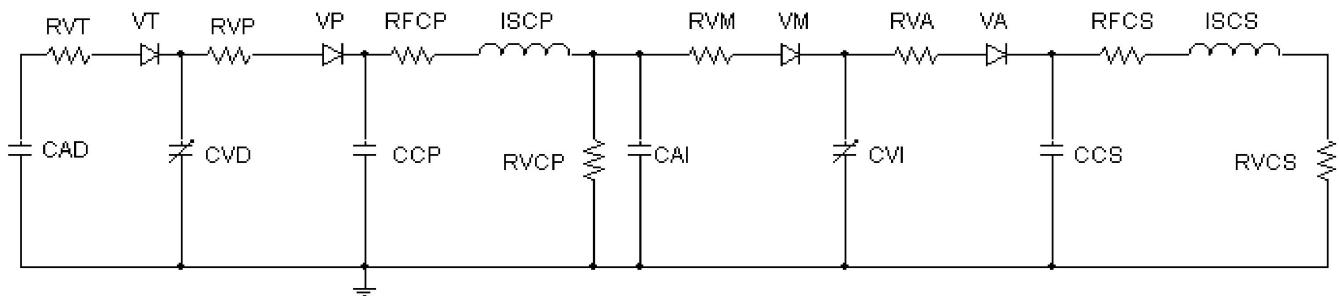


FIGURA 1. Análogo eléctrico del modelo propuesto.

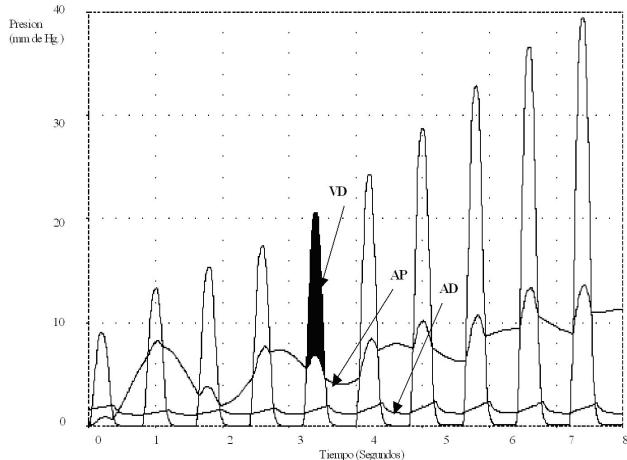


FIGURA 2. Gráficos de presión en función del tiempo obtenidos con nuestro modelo. AP, presión arterial pulmonar; VD, presión ventricular derecha y AD, presión auricular derecha.

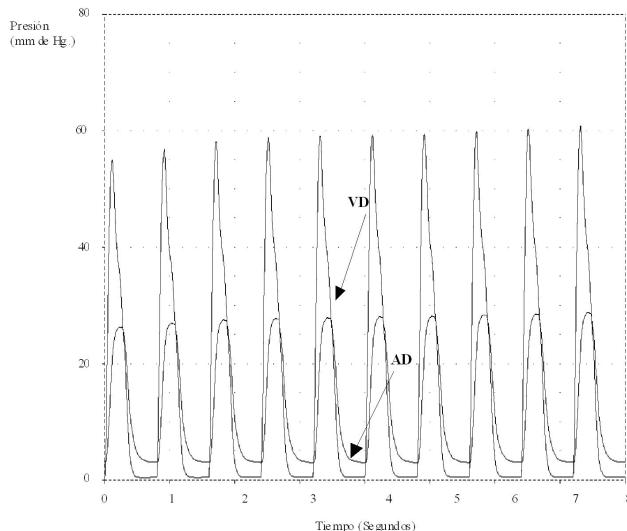


FIGURA 3. Gráficos de presión en función del tiempo obtenidos con nuestro modelo. VD, presión ventricular derecha y AD, presión auricular derecha.

Para simular la estenosis pulmonar se aumentó la resistencia al flujo de la válvula pulmonar de 0,03 Ohm a 0,3 Ohm, lo que significa una disminución del paso del flujo producto de un estrechamiento del área de la válvula.

Para simular la regurgitación tricúspide se colocó un diodo con una resistencia en reverso al diodo y a la resistencia que representan a la válvula tricúspide para simular la regurgitación que se produce debido a la insuficiencia tricúspide.

Con las simulaciones realizadas se obtuvieron las gráficas de presión en función del tiempo para la arteria pulmonar, la aurícula derecha, y el ventrículo derecho para la estenosis pulmonar y regurgitación tricúspide.

En la Fig. 2 se muestran los trazados hemodinámicos obtenidos con nuestro modelo para la estenosis pulmonar. Comparando los resultados de la simulación con los registros hemodinámicos representados en la Ref. 7, observamos que en los nuestros ocurre lo mismo que en el comportamiento patológico real, es decir, debido al aumento de la presión auricular existe un gradiente de presión transvalvular pulmonar (zona sombreada).

En la Fig. 3 se muestran los trazados hemodinámicos obtenidos con nuestro modelo para la regurgitación tricúspide. Comparando los resultados de la simulación con los registros hemodinámicos representados en la Ref. 7, observamos que en los nuestros ocurre lo mismo que en el comportamiento patológico real, es decir, la presión auricular derecha aumenta desde el principio de la sistole ventricular derecha como resultado de la regurgitación valvular tricúspide.

Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron se pudo comprobar que se cumplieron los objetivos que se esperaban, ya que las simulaciones realizadas generan curvas de presión en función del tiempo muy similares a las del comportamiento real.

Para trabajos posteriores sugerimos un modelo que además en el cual se estudie la mecánica cardiovascular tomando en cuenta la compliance (adaptabilidad) auricular ya que este es un aspecto que se podría considerar nulo dentro de lo que a la simulación del sistema cardiovascular se refiere.

1. K.C. Gómez, A.J. D'Alessandro, G. Sánchez y M. Rodríguez, *Rev. Mex. Fís. S* **49**(3) (2003) 33.
2. G.M. Drzewiecki, J.J. Pilla y W. Welkowitz, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* **37** (1990) 128.
3. H. Hirayama y K. Ono *The Annals of Applied Information Sciences* **17** 105 (1992) 91.
4. M. Guarini, J. Urzua, A. Cipriano y M. Matus, “Estimación del Flujo Cardíaco utilizando técnicas de optimización” X Congreso Chileno de Ingeniería Eléctrica. Valdivia. Chile. **I** (1993) 13.
5. H. Hirayama, H. Miyagawa, N. Tashiro y N. Izumi, *Technical Report of IEICE CS98-160* (1999) 72.
6. J.C. Gringola y F. Ginés, Left ventricle-like mechanical properties of the right ventricle due to an acute afterload increase. *First Virtual Congress of Cardiology*, 1999d <http://www.fac.com.ar/cvirtual>.
7. J.K. Morton, D. Ubeydullah, J.D. Thomas y A.C. Eugene, “The Cardiac Catheterization Handbook” chap 3: hemodynamic data, (1997) 123.