人體主動脈體外流場特性解析

曾豐育、楊安石

E-mail: 9608324@mail.dyu.edu.tw

摘 要

主動脈、主動脈弓以及主動脈的三個主要分岔處是發生主動脈剝離與動脈粥樣硬化現象的高危險區域，形成這些病變的關鍵因素係因主動脈內複雜的血液流動特性對血管壁面所產生的壓力與異常剪應力所引起的。有鑒於此，本研究初期藉由核磁共振影像(Phase-Contrast Magnetic Resonance Imaging, PC-MRI數據由台中榮民總醫院提供)，獲得一般正常人的主動脈弓外型，再利用快速成型(Rapid Prototyping, RP)技術製作成人體主動脈弓模型，經由體外主動脈弓實驗量測得到穩態條件下的流量與壓力，並作為數值模擬的幾何外型與邊界條件依據。本研究理論分析基於計算流體力學軟體ACE+R的三維、穩態、不可壓縮牛頓流體模型以進行數值計算，再藉由PC-MRI方法量測體外主動脈弓的速度分佈，及利用基礎粒子顯像(Particle Imaging)的方式觀察主動脈的三個主要分岔處之流場結構，前述實驗結果可用以驗證理論模型與計算程式的正確性。探討的重點是以穩態條件下主動脈、主動脈弓與主動脈三個主要分岔處的流場分布，用以決定血液於心臟脈動週期下的平均速度，有助於了解血管壁面剪應力與壓力分布的趨勢，並檢視速度分布、二次流變化等效應對壁面壓力和剪應力的影響，進而有效預測出主動脈血管壁面上較有可能發生主動脈剝離與動脈粥樣硬化的位置。本文之數值計算結果符合體外主動脈弓實驗所量測的數據分布，更說明了導致主動脈剝離與動脈粥樣硬化的相關血流動力因數與高危險區域。

關鍵詞 : 主動脈弓 ; 生物流體力學 ; 分歧管 ; 數值模擬

目錄

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書..... iii 中文摘要..... iv 英文摘要..... vi 誌謝..... vii 目錄..... viii 圖目錄..... ix 第一章　緒論..... 1 1.1 研就動機..... 1 1.2 文獻回顧..... 4 1.3 研究目的..... 8 第二章　研究方法..... 9 2.1 實驗量測..... 9 2.2 統御方程式..... 13 2.3 邊界條件..... 11 2.4 數值方法..... 14 第三章 結果與討論..... 18 3.1 理論模型..... 18 3.2 網格解析..... 19 3.3 理論模型分析與驗證..... 20 3.4 心臟脈動週期內平均速度條件流場探討..... 22 第四章 結論..... 31 參考文獻..... 32

參考文獻

[1]. Debakey, M E., McCollum, C.H., Crawford, E.S., Howell, J., Noon G. P., Lawrie G. L.,“ Dissection and Dissecting Aneurysms of the Aorta: Twenty-one Year Follow-up of 527 Patients Treated Surgically. ” Surg 92:1118-1134, 1982.

[2]. Erbel R., Delert H., Meyer J.,“ Effect of Medical and Surgical Therapy on Aortic Dissection Evaluated by Transesophageal Echocardiography : Implications for Progonosis and Therapy. Circulation. ” 87:1604-1615, 1993.

[3]. Keren, A., Kim, C B., Hu, B S.,“ Accuracy of Biplane and Multiplane Transesophageal Echocardiography in Diagnosis of Typical Acute Aortic Dissection Intramural Hematoma. ” J. Am Coll Cardiol. 28:627-636, 1996.

[4]. Sahs, A L.,“ Observations on the Pathology of Saccular Aneurysms. ” J. Neurosurg. 24:79-806, 1996.

[5]. 陳宏－等，心臟血管外科學，合計圖書出版社，民國九十三年。

[6]. Joseph S. Alpert, 馮鈞瀚編譯，簡明心臟學，合記圖書出版社，民國九十年。

[7]. Dale, J R., Pape, L A., Cohn, L H.,“ Dissection of the Aorta Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment. ” J. Prog Cardiovasc Dix. 23:237-242, 1980.

[8]. Barakat, A. I., Karino, T., Colton, C. K.,“ Microcinematographic Studies of the Flow Field in the Excised Rabbit Aorta and its Major Branches. ” Biorheology. 34:195 – 221, 1997.

[9]. Perktold, K., Hofer, M., Rappitsch, G., Loew, M., Kuban, B. D., Friedman, M. H.,“ Validated Computation of Physiologic Flow in a Realistic Coronary Artery Branch. ” Journal of Biomechanics. 31: 217 – 228, 1997.

[10]. Gijsen, F. J. H., Allanic, E., Vosse, F. N. van de., Janssen, J. D.,“ The Influence of the Non-Newtonian Properties of Blood on the Flow in Large Arteries: Unsteady Flow in a 90 ° Curved Tube, ” Journal of Biomechanics. 32:705-713, 1999.

[11]. Zabielski, L., Mestel, A. J.,“ Helical Flow Around Arterial Bendes for Varying Bond Mass. ” Journal of Biomechanical Engineering. Vol.

122, April, 2000.
[12]. Shahcheraghi, N., Dwyer, H. A., Cheer, A. Y., Barakat, A. I., Rutaganira, T.,“ Unsteady and Three-Dimensional Simulation of Blood Flow in the Human Aortic Arch, ” Journal of Biomechanical Engineering. Vol. 124, 378-387, 2002.
[13]. Buchanana, J. R., Kleinstreuera, C., Hyunb, S., Truskey, G. A.,“ Hemodynamics Simulation and Identification of Susceptible Sites of Atherosclerotic Lesion Formation in a Model Abdominal Aorta. ” Journal of Biomechanics. 36:1185 – 1196, 2003.
[14]. Hugo G., Bogren, MD, PhD, and Michael H. Buonocore, MD, PhD,“ 4D Magnetic Resonance Velocity Mapping of Blood Flow Patterns in the Aorta in Young vs. Elderly Normal Subjects, ” Journal of Magnetic Resonance Imaging. 10:861-869(1999).
[15]. Zhao, S. Z., Xu, X. Y., Hughes, A. D., Thom, S. A., Stanton, A. V., Ariff, B., Long, Q.,“ Blood flow and Vessel Mechanics in a Physiologically Realistic Model of a Human Carotid Arterial Bifurcation, ” Journal of Biomechanics. 33:975-984, 2000.
[16]. Sous S. Varghese Steven H. Frankel.“ Numerical Modeling of Pulsatile Turblent Flow in Stenotic Vessels. ” Journal of Biomechanical Engineering, 125, 460, 2003.
[17]. 丁大為，吳秉勳。植入枝架造成血管內壁呈皺摺狀變形後之血液動力及非牛頓流體效應分析。第十一屆全國計算流體力學學術研討會。中華民國九十三年八月。
[18]. 丁大為，林柏宏。於人體生理條件下左冠狀動脈之幾何形狀變化對其壁面剪應力分布之影響。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告書。NSC91-2213-E-014-008。執行期限91/08/01~92/07/31。
[19]. 湯同達，邱英世。動脈位置轉換手術後對肺動脈流場特性與動脈狹窄之相關研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告書。NSC92-2218-E-211-001。執行期限92/08/01~93/07/31。
[20]. 劉通敏，丁大為，陳禹銘。顱內彎形母管與其上側向動脈瘤之脈動流場特性數值模擬。第十一屆全國計算流體力學學術研討會。中華民國九十三年八月。
[21]. 牛仰堯，伍邦銓，虞希禹，曾文毅，彭旭霞，李隆政，鄭守成。人體主動脈之磁振造影良策與數值模擬。第十一屆全國計算流體力學學術研討會。中華民國九十三年八月。
[22]. 李明龍，周朝宜，李隆政，沈澄宇，施仁傑，林錫慶。冠狀動脈繞道血管之三維數值模擬。第十一屆全國計算流體力學學術研討會。中華民國九十三年八月。
[23]. Francis, J. G. F.,“ The QR Transformation I, ” Comput. J., vol. 4:265-271, 1961.
[24]. Nerem, R. M.,“ Vascular Fluid Mechanics, the Arterial Wall, and Atherosclerosis, ” J. Biomech. Eng., 114:274 – 282, 1992.
[25]. Nichols W., O ’ Rourke M., McDonald ’ s,“ Flow in Arterier, Lea & Febiger, Philadelphia, ” London. 1990.
[26]. Van Doormaal, J. P. and Raithby, G. D,“ Enhancements of The SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows, ” Numerical Heat Transfer, Vol. 7:147-163, 1984.
[27]. Ferguson, G. G.,“ Physical Factors in the Initiation, Growth, and Rupture of Human Intracranial Saccular Aneurysms. ” J. Neurosurg. Vol.37:666-677, 1972.
[28]. Fry,D.L.,“ Acute Vascular Endothelial Changes Associated with Increased Blood Gradient. ” Circ. Res, Vol. 22:165-197, 1968.
[29]. Moore, J. E., Xu, C., Glagov, S., Zarins, C. K., Ku, D. N.,“ Fluid Wall Shear Stress Measurements in a Model of Human Abdominal Aorta: Oscillatory Behavior and Relaionship to Atheroseclerosis, Atherosclerosis. ” Vol. 110:225-240, 1994.