

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 主動脈剝離之計算流體力學之分析及研究(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-216-002-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：中華大學機械工程學系

計畫主持人：牛仰堯

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93年9月8日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※

※

※ 主動脈剝離之計算流體力學之分析及研究 (2/2) ※

※

※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2212-E-216-002

執行期間：92年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：牛仰堯

成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：中華大學

中華民國 93 年 8 月 20 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 主動脈剝離之計算流體力學之分析及研究 (2/2)

計畫編號：NSC 92-2212-E-216-002

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：牛仰堯 中華大學機械工程學系

協同研究人員：虞希禹、曾文毅、彭旭霞，

臺大醫院心臟外科

鄭守成、李隆正 國家高速電腦中心

參與人員：吳鴻銘、伍邦銓

### 中文摘要

本研究為一期二年之第二年計劃，希藉由計算流體力學(CFD)探討人體主動脈剝離現象，主要合作對象為台大醫院及國家高速電腦中心。人體主動脈剝離之危險因子包括高血壓，主動脈出口處狹窄，馬方症候群。而發生之主因可大致歸納為主動脈之血液流動產生之動脈壁面剪力異常之現象所致。因此準確預測壁面剪力分佈為本研究努力之方向。本研究探討人體主動脈剝離病變所導致的血管壁面剪應力變化之分佈，以及相關血液流動之物理行為。我們藉由台大醫院提供 MRI 之主動脈病變剝離外型，作計算流體力學的分析與探討。計算結果得動脈剝離加分歧管模式在入口血液流量加速之相位時，血液流體在動脈下游完全發展，且類似窄化的病變剝離現象加速流體，使得在下游產生剪應力較高的區域，在分歧管的效應下，在減速相位時，位於剝離病變處的下流，亦有一對旋轉方向相反之二次迴流。

**關鍵字：**主動脈，牛頓流體，剪應力，分歧管、二次流、MRI

### Abstract

In this work, shear stress distributions on the three-dimensional realistic health and dissected aortic vessels are simulated by the Computational Fluid Dynamics (CFD) Technique. A health aorta model demonstrates that the maximum wall stress distribution is presented on the aortic arch in the systole. Also, it is observed that an anti-clockwise pair of vortices of a

secondary flow appears in the downstream of aortic arch in the late systolic and turn out to be a pair of counter-clockwise vortex in the early diastole. The aortic stenosis model demonstrates that the maximum shear stress is shown to distribute around the stenosis. In addition, it is also shown that a counter-clockwise vortex migrates from the stenotic region to the downstream of the stenosis, and then becomes a clockwise vortex in the systole. However, the clockwise single vortex becomes a pair of vortex in the early diastolic

**Keywords:** Keywords; Aorta, Aortic Stenosis, Secondary Flow, Wall Stress

### INTRODUCTION

腔主動脈為一三維彎管，且血液在動脈內的流動是一種相當複雜的現象，MRI 或其他血管造影法亦為觀察血液流動之先進技術，用之量測動脈血管外型並將其簡化成計算用模型，使得能利用計算出血液流動對於血管疾病的趨勢。

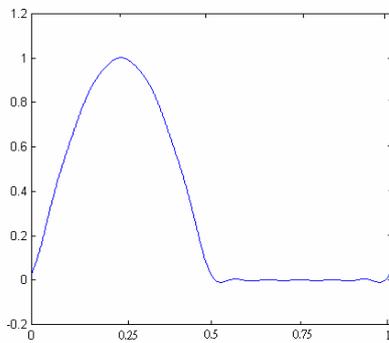
由於前述研究較少考慮胸腔內之主動脈病例，且未考慮動脈弓及上昇歧管對血液流動造成的影響。而動脈剝離為血管肉壁充血腫脹，在下行主動脈血液形成一類似次流道流動的疾病。因此本文利用臺大醫院所提供 MRI 真實動脈剝離的外型，利用 CFX5 前處理軟體建構計算可用之網格。動脈剝離為血管肉壁充血腫脹，在下行主動脈，血液形成一類似次流道流動的疾病。因此本文利用臺大醫院所提供 MRI 真實動脈剝離的外型，利用 CFX5 前處理軟體建構計算可用之網格，本例為截取原始

MRI 動脈剝離外型，假設次流道(外分支)無連通之模型並考慮 MRI 真實外型有分歧管，故將分歧管加入計算，但由於三支小分歧管的效應有限，故以一根管徑為三根分歧管管徑總和之分歧管代替之。所使用格點為非結構性網格，總格點為 49055，入口管徑 2.8cm 出口 2.1cm 總長度 34cm，剝離病變處管徑 0.9cm，分歧管長 17cm 管徑 1.8cm。

### 數值模式

本文藉由商用計算流體軟體 CFX5 來求解，其中採用三維的不可壓縮流，牛頓流體之 Navier-Stokes 方程式，本文使用了 CFX5 之標準  $k-\epsilon$  紊流模式來模擬血液紊流模動現象。

而所採用之入口邊界條件為如圖一之波形流速，雷諾數峰值為 5600，而出口邊界條件為一般人下行主動脈出口的平均壓力 80mmHG 並假設血管壁面為剛性無滑動之邊界。所使用之血液流體物理參數為一般人之平均值密度  $1057 \frac{kg}{m^3}$ ，黏滯係數  $0.0067 \frac{N \cdot s}{m^2}$ ，由於人體為恆溫，故不考慮溫度熱傳的效應



圖一 入口流量示意圖

### 結果與討論

本文計算結果得到：在入口血液流量加速之相位時，我們由圖 1 得到病變剝離處負壓產生的位置，相對的剪應力亦較大，且外壁剪應力明顯較大，在其他週期時大部外壁剪力亦比內壁大。圖 9 觀察得到分歧管剪應力在 1/4 週期時，從入口至出口呈現上升的狀態至約 0.1m 處下降趨於穩定。在週期 1/2(圖 10)和 3/4(圖 11)的時候剪應力上下震盪但由於速度

較慢的關係，分佈範圍很小。而在週期 1(圖 12)時則呈緩慢下降的趨勢而分佈範圍開始又開始變大。在入口流速減速相時，病變剝離處下游有較高且發生二次迴流的速度向量。

### 結論

本文的模擬為週期式往復入口波形，對於真實動脈病變的各項分佈有一定相對較高之處。本文計算結果得(一)在週期 1/4 理想化健康主動脈的動脈弓末端由於迴流的產生局部低壓區並有較高的剪應力。(二)動脈剝離在入口流量加速相時，由於病變剝離處速度變化大，產生了相當大的剪應力以及負壓或局部低壓，血液流體的完全發展流動在下游壁面也造成不小的剪應力。故動脈疾病產生時，在動脈弓末端、病變處以及下游血管壁面(也就是下行動脈壁面)都是較易損害之部分。(三)分歧管的加入，使得主動脈的壓力以及剪力震盪範圍變小，卻使得剝離病變處之剪應力向上延伸，並造成了分歧管與主動脈接合之處有局部迴流區，在此產生較高的壁面剪應力，而計算動脈剝離模式 I 的結果，由於兩分支管管徑小，造成了管內流動速度差大，故無分歧管所造成之效應。(四)通常在入口流量加速相時，由於血液流體經過動脈弓的離心力加速，造成流體在通過動脈弓末端之後產生迴流，產生了局部低壓。

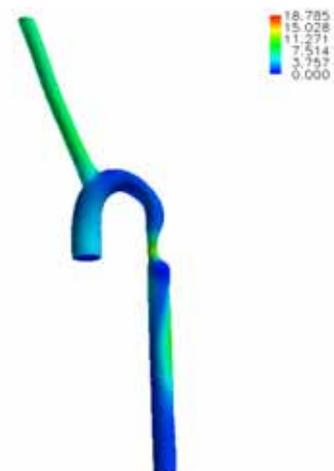


圖 1 動脈剝離加分歧管模式 II 週期 1/4 剪力圖



圖 2 動脈剝離加分歧管模式 II 週期 1/2 剪力圖

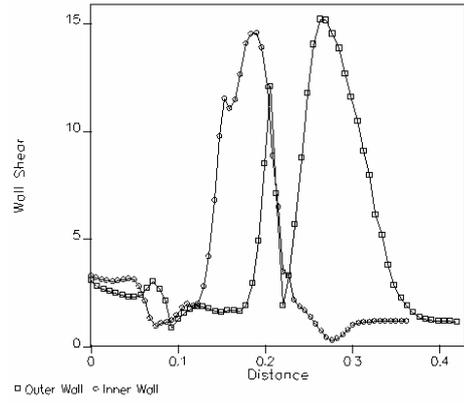


圖 5 動脈剝離加分歧管模式 II 壁面剪力分佈週期 1/4 圖



圖 3 動脈剝離加分歧管模式 II 週期 3/4 剪力圖

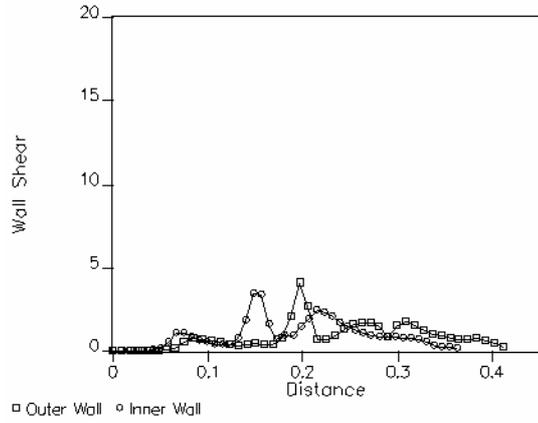


圖 6 動脈剝離加分歧管模式 II 壁面剪力分佈週期 1/2 圖



圖 4 動脈剝離加分歧管模式 II 週期 1 剪力圖

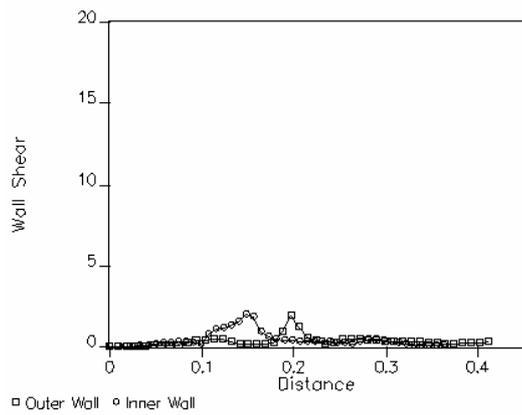


圖 7 動脈剝離加分歧管模式 II 壁面剪力分佈週期 3/4 圖

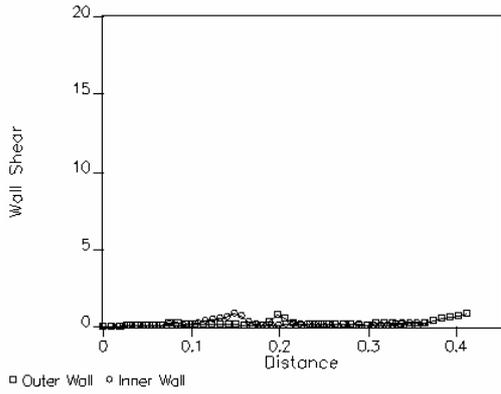


圖 8 動脈剝離加分歧管模式 II 壁面剪力分佈週期 1 圖

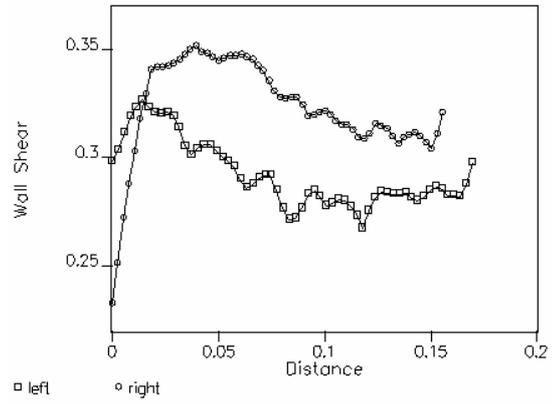


圖 11 動脈剝離加分歧管模式 II 分歧管壁面剪分佈週期 3/4 圖

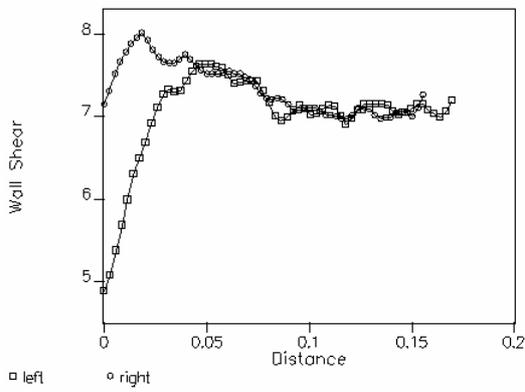


圖 9 動脈剝離加分歧管模式 II 分歧管壁面剪力分佈週期 1/4 圖

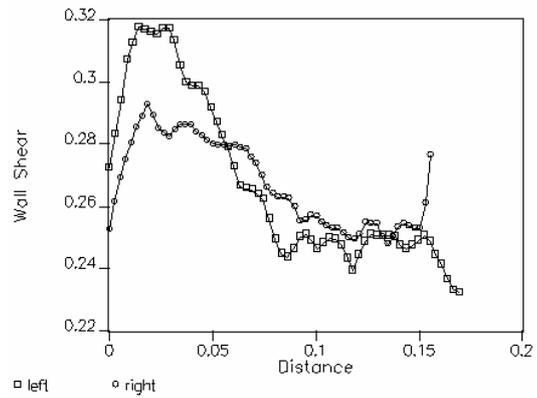


圖 12 動脈剝離加分歧管模式 II 分歧管壁面剪力分佈週期 1 圖

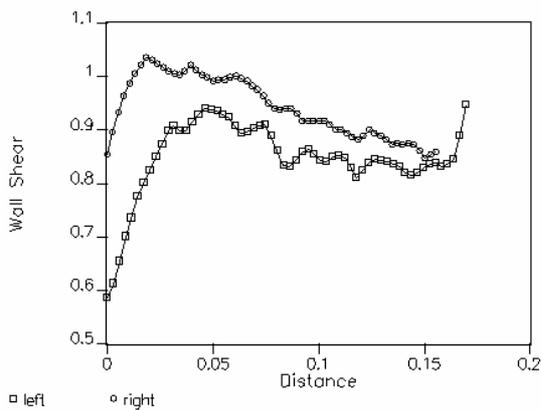


圖 10 動脈剝離加分歧管模式 II 分歧管壁面剪力分佈週期 1/2 圖