

第五章 結論與未來工作

(一)脈衝位置對頻率及頻率強度的影響

在人體中，心臟對動脈系統輸入一個週期性的力量，這些週期性的力量在動脈系統中，則由 $n=1、2、3、\dots$ 整數的天然諧頻組成。所以一個有效的動脈系統應該回應所有諧頻的函數，而非天然諧頻部分的能量則會損耗。

動脈系統的回應與心臟的位置有密切關係，當心臟位於動脈系統中間($\xi=L/2$)的時候 $W_n=\sin(n\pi\xi/L)$ 這一項在 $n=2、4、6、\dots$ 偶數諧頻都會不見；若是位於三分之一的位置($\xi=L/3$)則看不到 $n=3、6、9、\dots$ 等諧頻。如果心臟在動脈的一個末端($\xi=0$)，則只會產生 $n=1、3、5、\dots$ 的奇數諧頻。由這些現象我們可以解釋，為什麼為哺乳動物的心臟不會位於動脈系統的中心、一端或是一些比較特殊的位置(如：三分之一、四分之一、 \dots)。因為在這幾個特殊位置上，會有一些天然諧頻消失而浪費了心臟提供的能量[20]。

由 Fig.4-1-1(a) (impulse $\xi=L/8=22.5\text{cm}$)， $Z=60\text{cm}$ 比 $Z=40\text{cm}$ 更遠離心臟脈衝的位置，而其振動強度卻比較大。這個結果為哺乳類動物悸動壓力隨著遠離心臟而增加提供了另一個解釋(Milnor 1989)。

(二) 主動脈弓對 TKE 的影響

我們在管子的模擬實驗中找到了，在自然設計上：主動脈弓 180 度的轉彎、升高穩定的血壓、軸向的伸長[16]和動脈的高的彈性[8,17]；是喜歡擁有較大的徑向動能。

此外，心臟與血管的觀察中動脈的硬度可以預測高血壓病人的死亡率[18]意味著這個橫向振動對於一個正常的身體不可少的。

林玉英教授與王唯工教授[8,10]提出脈壓的生理的目的要把動脈壁保持在穩定橫向振動。而橫向振動的好處有：

1. 由動脈管壁環向長度的增加，可以將能量儲存成環向的彈性能。
2. 在軸向引起斜率的變化，也增加了軸向的長度及儲存彈性能量的能力，而軸向的恢復力才可以將能量往主要的動脈傳輸。
3. 大部分能量的傳送是經由管壁的振動及血壓波的能量，軸向流動的動能則很少，這樣可以減少因血液黏滯造成的熱量損耗。
4. 軸向血液的流量不只是由壓力梯度力所引起，也受伴隨的面積梯度力影響[15]。因為，在動脈系統中靜態的壓力梯度力是很小的[17]，而動脈管壁上大的徑向振動是引起面積梯度力的主要原因，同時也是形成壓力梯度力的主因。
5. 大多數連接主要動脈與器官的分支動脈都與主要動脈垂直，最大的脈壓才能將最大的脈動血流打進分支動脈中[10]。

6. 動脈管壁上大的徑向振動，也可能幫助鄰近平行的靜脈將血液送回心臟。

當血液從左心室打出馬上碰到彎曲 180 度的主動脈弓，則是為了將大部分血液流動的動能轉換成壓力能量，使血液軸向動能變小以減小熱量損耗。保持較高的動脈管壁的徑向振動能量比率，則能減少能量的耗損。這就像電力系統中最終的目的是要傳送能量給使用者，然而在傳送電力的過程中，提高電壓的大小可以降低傳送過程中能量的損耗[19]。

(三) 靜水壓 P_0 對 E_p 的影響

在真實的生理系統中，所有血液循環系統中的各項物理性質都是息息相關的，由實驗結果(Fig.4-3)可以得知當靜水壓 P_0 變大時， E_p 會隨著變小。由於老化或心臟與血管疾病造成的血管硬化會使 E_p 變大，而透過改變血壓可以使動脈系統回歸正常的 E_p 及徑向振動能量。

理論與實驗結果對照生理的現象相當吻合，未來主要工作可將單一脈衝改成週期波(與心臟輸出的週期性脈衝)，利用豬血管模擬並使用黏滯力與血液相近的流體，並增大靜壓 P_0 (增加至靜壓與人體舒張壓 100mmHg 的大小)，再考慮分支管、器官和末梢的環狀動脈的影

響等等，這些都有待繼續深入探索。