

## 置於樓板之跑步機對環境振動之影響及分析研究

黎文龍<sup>1</sup>、吳韋德<sup>2</sup>、張庭源<sup>2</sup>

<sup>1</sup>台北科技大學機械系教授

<sup>2</sup>台北科技大學機電整合所研究生

國科會計畫編號：NSC 95-2221-E-027 -010

### 摘要

基於都市之開發，將會有越來越多的運動機械進入家庭，而其中又以跑步機佔多數，本研究乃針對置於樓板上之跑步機之振動對環境可能帶來之影響，做深入之研究與分析。經本研究之分析及實測後，可得以下結論：(1)由 CAE 之分析顯示，本研究的跑步機若不考慮安全扶手等附件，其主要結構之最低自然頻率約在 21 Hz，與跑帶各速度下之步頻 2~3 Hz 差異太大，故跑步機無共振、產生更大振、噪之虞；(2)跑步機對於樓板之振動，可簡化成探討垂直 z 方向之振動，而其主要的振源是來自馬達所帶動之跑帶與其傳動機構。

本研究中另再考慮市面容易取得之兩緩衝材料來做為跑步機樓版介面之隔振墊，包括人工草皮及巧拚等，巧拚在跑步之情況有最佳之隔振效果，但跑步機也易產生低頻之晃動，對跑者膝關節容易造成傷害；人工草皮材料幾無隔振效果。另外，跑速較快者，較容易對樓板產生較高之振幅，然而體重較重者，未必比輕者嚴重，跑步姿態也是另一項影響因子。

關鍵字：跑步機、樓板振動、訊號量測。

### 1. 前言

健身俱樂部中一整排的跑步機(Treadmills)，總是比較吸引眾人的目光，其所帶來之便利的娛樂與運動效果，使得可能擁有之家庭有逐漸增高的趨勢，然而人們在跑步機上跑步時所發出的碰撞聲及衝擊振動仍會帶來相當的噪音，易透過樓板傳遞至樓下住戶。

根據日本集合住宅音環境進行日常生活噪音之項目調查，其結論指出住宅內給排水噪音及來自「上層樓板衝擊音」之干擾最為嚴重，而國內亦有針對不同居住型態建築之室內生活噪音進行調查，由其相關結論中可發現交通及鄰家生活噪音之干擾，皆造成民眾生活上之主要困擾[1, 2]。可是，另一方面，隨著國內都市之發展趨勢，將會有越來越多的運動機器會進入家庭，而其中又以跑步機佔多數，更可能擴大「上層樓板」可能之噪音影響，因此，有必要對樓板上之跑步機之振動，做進一步之研究。

國內外對於跑步機之研究，多數是以生物力學

為出發點，也就是以受測者生理狀況為主要議題，而跑步機與樓板間微振動或噪音傳遞方面之研究，數量實在有限。因此，本研究首先透過跑步機減振架構之專利資料，將有關減振裝置的專利節選、分類並加以討論，再比較各類型減振機構模組之差異處。結果發現絕大多數的機構皆以減少或緩衝跑者跑步時所產生的衝擊力，且多數是以彈性體或彈簧元件來達到效果[e.g. 3~5]。這些機構之設計全都是在開發階段之構想，故已完成之成品跑步機而言，若是要以這些緩衝裝置為改善基礎，則必大幅改變跑步機的架構及結構。再者，這些減振機構主要是減低運動者具跑步機介面間之振動，然而，跑步機與其置放之樓地板介面間之議題，目前均闕如。

在正常跑步下，地面為靜止不動，而人體在不斷的移動，腳在身體平衡落地後，再帶動身體向前移動；而跑步機的機制則是扮演著替代地面的跑步台的角色在移動，以腳向前的跑動配合跑帶向後移動的速度。Elliott 等[6]發現，不論是男性或女性跑者，在跑步機上以相同速度跑步時會有步幅(stride length)降低、步頻(stride rate)增加、非支撐期時間縮短的現象。再者，由[e.g. 7~13]等文獻所述，有關人員步行對樓板之衝擊，多採用衝擊鉗模擬、有限元素分析及輪胎高處落下的方式來做人體步行模擬之預測，這對於跑步機放置於既有之樓板，所可能產生之衝擊與振動，無法有絲毫之助益。因此，本研究將透過受測者於跑步機上的實際量測，以真實之步行/跑步運動做為樓板振動之成因探討，並於實驗結果中所呈現。

### 2. 跑步機之模態分析

本研究針對跑步機之有限元素分析，設定各元件之材料參數進行分析，所設定之機械性質，詳如[14]所示。在跑步機之模態分析中，最低的兩個模態，分別依序發生於扶手部位及跑步機台(跑板)，如圖 1 所示，而前者所得之最低模態頻率約為 21 Hz，其與人類所能激振之步頻 3 Hz 差距甚大，故人體於跑步機上運動時，兩者應無產生交互作用之可能；另外，從圖 1(b)之模態二可見自然頻率下之跑板振形，故跑板相對來說是整個結構最弱之處，但對於跑步機之設計理念來說，較為適當，畢竟過於剛性之跑板，可能造成跑者之運動傷害也未可知。另外，附加之扶手，圖

1(a)，實際上也是最容易晃動產生音、振的零組件。

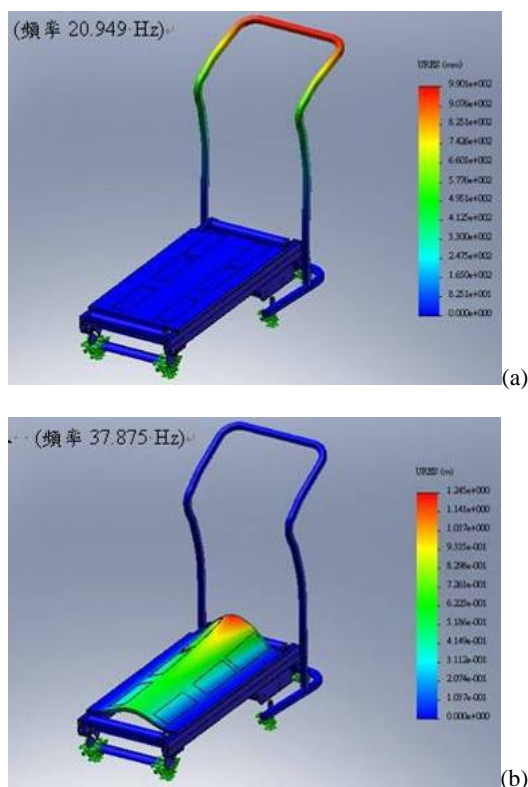


圖 1. 跑步機之模態：(a)模態一、(b)模態二

### 3. 實驗與量測

#### 3.1 流程與設備

本研究之實驗與軟硬體之架構流程圖，如圖2所示硬體。硬體係由筆記型電腦、B&K 頻譜分析儀、加速規、實驗室樓板及跑步機所構成，軟體為 Pulse Labshop 6.1。振動源是由人員步行、跑步所施與之振動訊號為輸入，並藉由加速度計做為輸出，所得到之時域訊號做為後續評估依據，而實驗中並不討論受測者所施加之振動衝擊力，僅將分析重點擺在跑步機及樓板之響應。下列為實驗具體流程順序：人員步行、跑步=> 跑步機(單軸加速計) => 樓板(三軸加速計) => PULSE 3560C-頻譜分析儀 => Pulse Labshop => PC訊號輸出 => Matlab資料處理。

#### 3.2 實驗結果與討論

##### 3.2.1 速度及區塊

由於本研究使用之跑步機屬於舊型，其面板上之調變旋鈕雖可從刻度 0 調變至 7、8，但跑帶之確實速度資訊不清楚，故須做進一步的測量，以獲取現時的速度資訊。本實驗選擇調變鈕中 3、5、7 之刻度來做為整個實驗的基準速度。為計算跑帶迴轉圈數，需於跑步帶上貼上一白色標記，並於跑步板上選定一參考點，接著分別調至實驗所需之三個刻度，使其空

轉一段時間，再進行一百圈之計量，同時用碼錶量測總時間，每種速度共計 3 次量測。

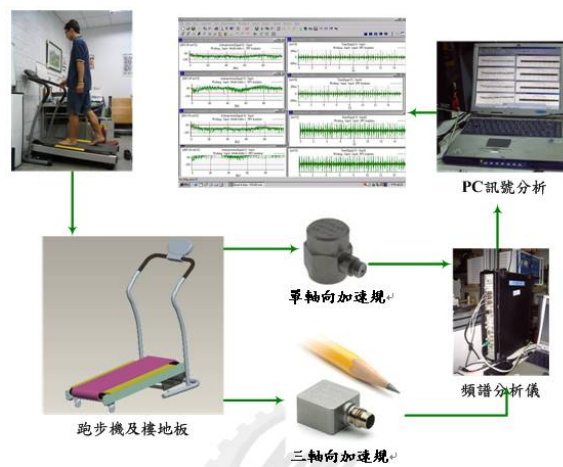


圖 2. 實驗設備架構系統流程圖

本研究中亦使用轉速計量測三刻度之馬達轉速，得 3n 轉速頻率為 4.433 Hz、5n 為 7.318 Hz、7n 為 10.271 Hz，量測資訊如表 1 所示。此外，為減少後續受測者之測量誤差，也從人員跑動之範圍，制定一合理的區塊，並於影片中觀察人員之跑步位置。受測者以不穿鞋的方式進行量測，以儘可能維持量測時相同的狀態。

表 1. 三種刻度下之電動跑步機實際速率

跑帶總長	2.2215 (m)		
總距離(S)	跑帶長 × 100圈 = 2.2215 * 100		
調變速度	刻度3	刻度5	刻度7
量測時間(t)	266.6秒	159.1秒	111.6秒
平均跑帶速率(V)	約0.83 (m/s)	約1.40 (m/s)	約1.99 (m/s)
跑帶轉速 rpm (Hz)	22.42 (0.374)	37.8 (0.63)	53.75 (0.896)
馬達轉速 rpm (Hz)	266 (4.43)	439 (7.32)	616.3 (10.27)

##### 3.2.2 步頻量測實驗

本研究以實驗的方式，觀察在跑步機三種速度下實際量測的步頻數據，做為訊號處理判別的一項依據。實驗方法如下：受測者於跑步機之三種速度下，分別光腳步行及跑步，在運動狀態穩定後，不通知受測者即開始量測，連續量測各 60 秒，四組狀態各實驗 3 次，過程中同時以碼錶計測。由於制定了跑步區塊基準，所以步頻較不會因人不同有太大差異，跑者只須配合跑步帶速度跟上即可，測量結果如表 2 所示。

表 2. 跑步機速度、步頻量測表

	步行		跑步	
	第一組	第二組	第三組	第四組
刻度	3	5	3	5
速度 (m/s)	0.83	1.4	1.4	1.99
平均步頻(步/秒)	1.96	2.29	2.73	2.91

由於跑帶之運動方向與跑步者相反，故依據相對速度之原理，跑者於定點區域跑步時，其跑速剛好等於跑帶，故觀察表 2 之結果顯示，跑者之速度越快，代表其(平均)步頻也會相對提高。

### 3.2.3 背景振動量測

本研究實驗之外部環境大樓樓板背景振動之結果如圖 3 所示，從圖中可看出於樓板之  $x$ 、 $y$ 、 $z$  (垂直向)三個軸向加速度訊號約在  $\pm 0.002 \text{ m/s}^2$  上下，振幅大小差異並不明顯；而跑步機  $z$  方向振幅明顯的較樓板者為小，其原因為背景環境之微小振動，傳經實驗室樓板、跑步機底部之橡膠墊，再傳遞至跑步機，能量的散失。表 4 為量測後的比較值，樓板  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三軸向之背景振動量差異並不大，但  $z$  軸向則略小於  $x$ 、 $y$  軸。整理歸納如表 4 所示。

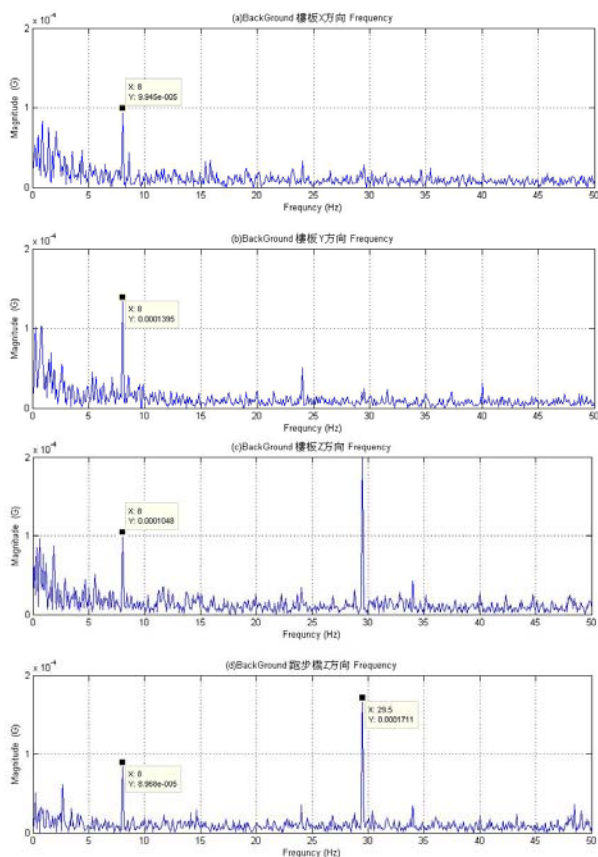


圖 3 樓板之背景振動：(a) $x$  方向、(b) $y$  方向、(c) $z$  方向、及 (d)跑步機之  $z$  方向

### 3.2.4 空轉之振動

跑步機空轉時的主要振動來源係直接來自跑步機馬達及其傳動機構等，透過馬達及傳動設備的運轉的振動傳至機體，再以傳遞至樓板。依據本研究之量測，跑步機空轉之最大振幅等整理如表 5 所示。

觀察表 5，跑步機空轉時，除了振動  $z$  方向值與背景相較，會隨跑步機馬達轉速增加，振幅增大外，其餘兩方向幾乎不變，故可以簡化成探討垂直地面之  $z$  方向，做為本研究減振改善的基礎，將僅從垂直地面的  $z$  方向探討。

表 4 樓板  $x$ 、 $y$ 、 $z$  及跑步機  $z$  方向之參考比較值

方向 參考值	樓板 $x$ 方向	樓板 $y$ 方向	樓板 $z$ 方向	跑步機 之 $z$ 方向
$a_{r.m.s}$ - (m/s <sup>2</sup> ) 加速度有效值	0.0011	0.0012	0.0012	0.00051
MAX- (m/s <sup>2</sup> ) 最大振幅	0.0031	0.0031	0.0029	0.0022
MIN- (m/s <sup>2</sup> ) 最小振幅	-0.0026	-0.0031	-0.0028	-0.0021

表 5 跑步機空轉之時域參考比較表

參考值 方向/速度 (m/s <sup>2</sup> )	$a_{r.m.s}$ - 均方根值	MAX - 最大振幅	MIN - 最小振幅
樓板 $x$ 方向/刻度 3	0.0011	0.0028	-0.0026
樓板 $x$ 方向/刻度 5	0.0011	0.0028	-0.0029
樓板 $x$ 方向/刻度 7	0.0011	0.0027	-0.003
樓板 $y$ 方向/刻度 3	0.0013	0.0031	-0.003
樓板 $y$ 方向/刻度 5	0.0013	0.0033	-0.0031
樓板 $y$ 方向/刻度 7	0.0013	0.0033	-0.003
樓板 $z$ 方向/刻度 3	0.0013	0.0038	-0.0035
樓板 $z$ 方向/刻度 5	0.0020	0.0065	-0.0063
樓板 $z$ 方向/刻度 7	0.0021	0.0082	-0.0077
跑機 $z$ 方向/刻度 3	0.0054	0.0203	-0.0173
跑機 $z$ 方向/刻度 5	0.0133	0.0409	-0.0427
跑機 $z$ 方向/刻度 7	0.0164	0.0514	-0.0609

跑步機空轉之特性中，以為 5n 例說明，參考圖 5 之  $z$ -向頻譜圖，圖 5a 中第一個峰值響應為 1.25 Hz 左右，推測為馬達透過傳動機構所驅動跑帶之所引起的(參考表 1，跑帶 0.63 Hz)，其後為其 4x、8x、及 10x 三個倍頻，而這四個頻率峰值之產生，可解釋為跑步機為帶動跑帶之傳動、減速機構所引起的，也可能是其磨耗、鬆動或跑帶之連接不良所造成，由此也可推測，跑步機可能之振動或噪音源中，傳動、減速至跑帶之機構，應該是其中重要的因子之一。

除傳動機構外，觀察圖 5a 中之圓圈峰值處，比較速度實驗所得之 5n 馬達轉速頻率(表 1、7.32 Hz)，可見 7.31 Hz 處之峰值與 5n 馬達轉速頻率(1x)非常接近，應可斷定為馬達本身轉速所造成的振動響應；另外，再看其 1/2 x 頻率處可見 3.613 Hz，其應為 5n 馬達之主要的轉速分頻，或馬達傳動之主要減速機構之影響。因此，由觀察圖 5 比對後，可以推測在跑步機無負載之空轉情況下，馬達本身及其減速、傳動機構及跑帶之迴轉，應該是造成跑步機無載振動中之主因。

此外，由圖 5b 中顯示，當跑步機在無負載之狀態下，將跑步機直接放置在樓板，顯然不會有太大得影響，圖(b)中明顯的顯示，圖(a)中各機構、馬達所造成之振動峰值，幾乎不會在圖(b)出現。

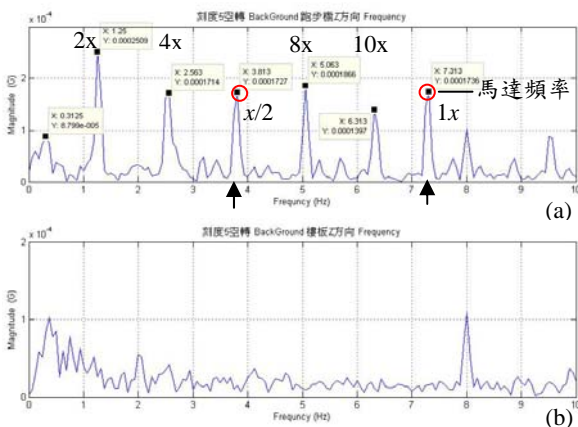


圖 5 跑步機 5n 之 z 向振動頻域圖：(a)跑步機、及 (b)樓板。

### 3.2.5 跑者之體重影響

本研究為觀察跑步機之跑者體重之與振動間之關連性，特別隨機針對五位使用者進行步行(afoot)及跑步(run)之相關測量，由於本報告之篇幅限制起見，本文中只以速度 5 者為例說明，詳細報告請參閱[14]。圖 6 及圖 7 分別為受測人員 A 於步行(5a)及跑步(5r)之結果。比較兩圖於一秒內之訊號後，可以發現：以跑步機上之振動加速度訊號而言，明顯地跑步較步行者為高，但是，當傳遞至樓板後，兩者之最大值差異似乎並不大。因此，可以推斷：利用適當之隔絕材料，可以適度地減少跑者於跑步機上之振動傳遞，但是，到底是哪一種隔絕材料為佳，應是另一項重要課題。

有鑑於此，本實驗中另於原跑步機及底部加裝入兩緩衝材料(人工草皮及厚 13 mm 之巧拼)進行實驗，以三種不同速度(刻度 3、5、及 7)及兩種運動方式(a 及 r)，並分析各受測者作用於跑機及樓板上所得之訊號差異性，在此僅以五受測者之最高速度者 7r 為例做一比較，跑步機上之振動 rms 訊號如圖 8 所示。圖中顯示，不管跑步者為何，均因加入了巧拼後，機上之訊號明顯遞增大，顯示加入巧拼之隔振墊後，跑步機容易產生放大之晃動作用，對跑步者不利；另一方

面，體重最重之 D 與最輕之 C，在相同之隔振墊下，其機上之振動訊號，並沒有明顯的差異，體重最重之 D 於巧拼上之晃動作用，反而最小，推測其主要原因是體重之靜力作用，將巧拼之彈性變化幅度減小，使得巧拼比較接近剛體，致使相對的機上晃動變小，此現象與[15]之實驗應該是一致的。除此之外，大體上滿足體重較輕者，其餘巧拼 z 方向之振動，也相對產生較小之晃動。

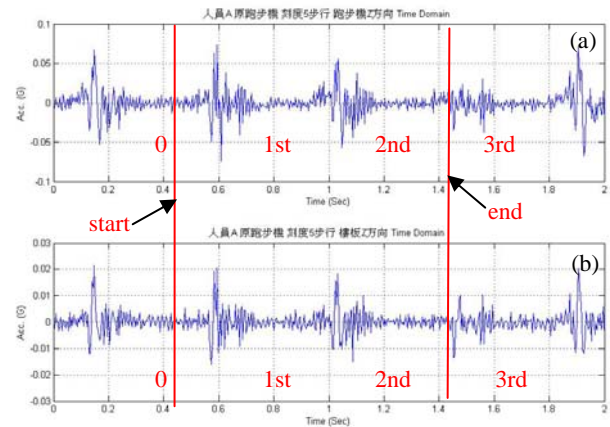


圖 6 受測人員 A 於 5a 步行狀態之振動：(a)跑步機上、及(b)樓板上 時域訊號。

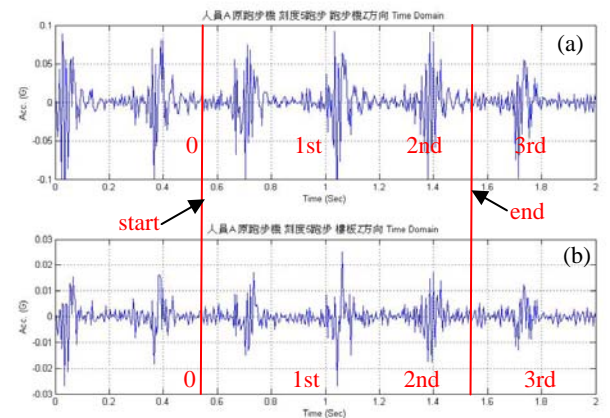


圖 7 受測人員 A 於 5r 跑步狀態之振動：(a)跑步機上、及(b)樓板上 時域訊號。

此外，由圖 8 之未加入任何隔振墊之原跑步機訊號觀察，也顯示出，體重顯然不是唯一決定受測者於跑步機上產生振動訊號大小之唯一因子，特別是腳與跑帶接觸之時間、方式，可能都是可以進一步掌握之資訊。讀者可參照表 6 之整理結果，更為清楚。

### 3.2.6 隔振墊之效果

本報告仍以 5r 狀態為例，經表 6 之整理，區分以樓板與跑步機上(單軸)之 z 向  $a_{r.ms}$  振動評估量表，而跑步機上之單軸 z 向僅列有效值比較，比較各受測者於三種不同之隔振狀態下，不同體位之運動狀態，其

樓板及跑步機上之振動評估量表參考值，另外，也將表5之三狀態空轉參考數值加入進行比較。由表6之樓板rms值觀察，基本上並未偏離我們預期，即雖然巧拚在圖8之跑機上呈現較大之晃動訊號，但卻也同時具有最佳之隔振效果；不過，當去比較各受測人員之無隔振墊狀態及加入人工草皮時，令人意外的，依傳遞至樓板之振動訊號顯示，加入之人工草皮墊，卻完全沒有預期之隔振效果，甚至可能更差。

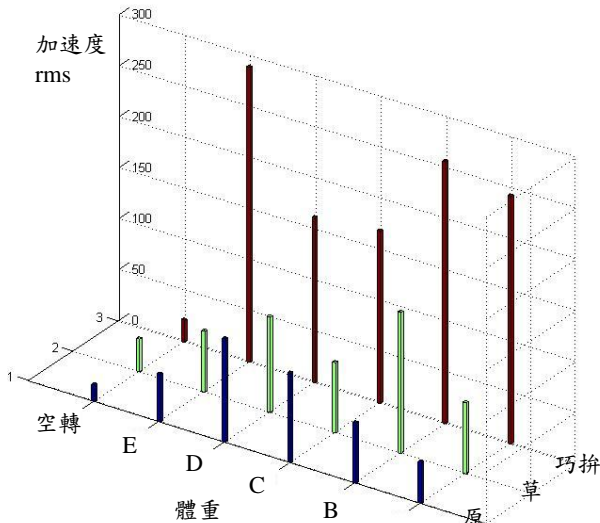


圖 8 受測人員於 7r 跑步狀態時，跑步機上之振動訊號 rms (mm/s<sup>2</sup>) 之比較。

表 6 各受測者於 5r 之樓板與跑步機上之 z 向振動評估量表

減振介質	人次	人員A	人員B	人員C	人員D	人員E	空轉
		(68kg)	(61kg)	(58kg)	(70kg)	(64kg)	
無	跑機上	0.021	0.048	0.043	0.079	0.030	0.013
	樓板	0.005	0.007	0.010	0.010	0.005	0.002
人工草皮	跑機上	0.040	0.104	0.116	0.076	0.042	0.021
	樓板	0.005	0.013	0.014	0.006	0.007	0.001
巧拚	跑機上	0.120	0.310	0.270	0.108	0.286	0.020
	樓板	0.003	0.007	0.006	0.003	0.006	0.001

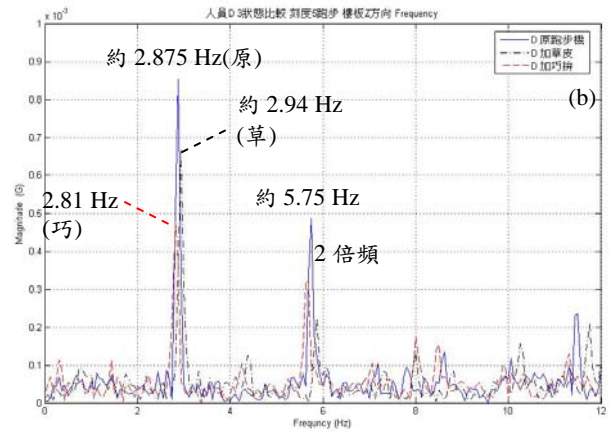
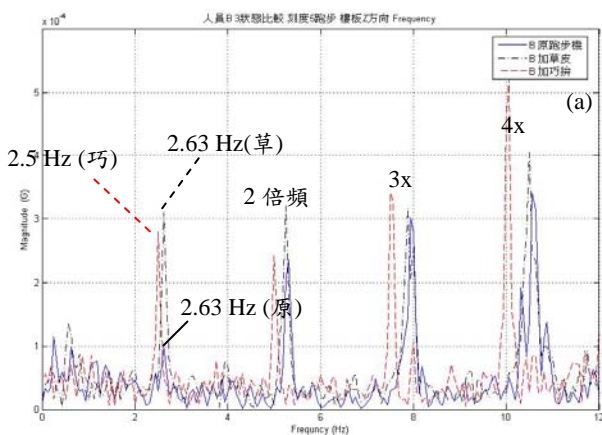


圖 9 受測者 5r 狀態之樓板頻域響應訊號：(a)受測者 B、(b)及受測者 D。

觀察表6及圖7後，不難發現，體位較輕之受測者 B 使用跑步機時，對樓板所產生之振動，遠比較重者 D 為大，故進一步比較觀察兩者之頻譜圖差異，分別如圖9(a)及(b)所示。由圖中明顯可知，不管是否加入隔振材料，前者頻譜之各峰值雖然較後者來的小，不過卻分散至多個倍頻上，甚至更可能會接近音頻；反觀圖9(b)者，雖然體位較重，由圖中卻顯示，雖然基頻之峰值遠較(a)圖者大，但絕大部分之能量集中於基頻及二倍頻，少有擴散及其他高倍頻者。因此，由所量測之訊號差異而言，如此之推測因是合理的，不過到底是哪一項因子造成兩訊號之差異，則需進一步之研究追蹤。

將五位受測人員跑步時對樓板之響應互相比較，如圖10所示，就圖中所顯示者而言，體重較重者 (cf. D)，相對地仍然會產生較大之樓板振動，可能是由於跑步之姿態不同，例如，是否為腳尖先著地跑步等因素，造成其能量集中於其倍頻，使得基頻處之加速度反而較小，參考圖中之人員 A、C 者。歸納言之，由表6、圖9及10清楚地顯示，雖然體重較重者使用跑步機是會產生較大之振動，不過，由於其跑者之姿態，也一樣會影響其振動頻率，從而使得其對環境噪音、振動傳遞至樓板之多寡也不一樣。

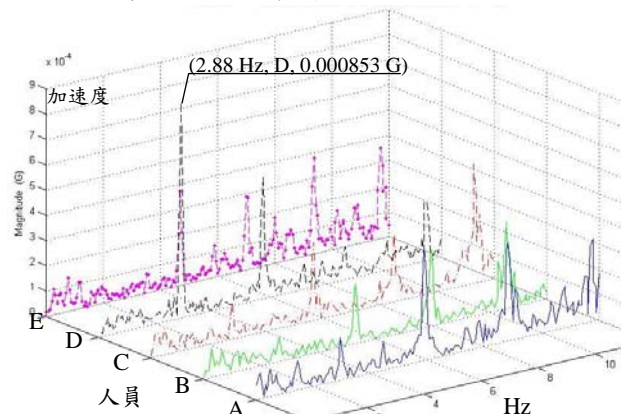


圖 10 各受測者於 5r 狀態、不加任何隔振墊時，樓板之頻域響應訊號。

### 3.3 實驗結論

本研究實驗之重點結果條列如下：

(A) 步頻頻率之差異性為跑步大於走路，且跑步所激振之振幅也較大，而跑速的提升會使步頻增加，但不會有大幅度的改變，最終將趨於平緩，畢竟兩腳之步伐跟進速度是有限的。

(B) 以受測者 A、D 為例，從時域訊號上看來，腳掌先著地的方式較腳尖著地之訊號雜亂。

(C) 背景振動中，建築物樓板水平 x、y 方向之微振動振幅稍較 z 方向來得大，相對於樓板，跑步機 z 方向之振幅為較小，在環境自然頻率為樓板 x、y 方向大於樓板 z 方向，且大於跑步機 z 方向。

(D) 由空轉實驗顯示，隨著轉速加快，在垂直 z 垂直方向會有明顯的振幅變動，其振動量較大，而水平 x、y 方向之振動振幅則無明顯變化，故欲討論之跑步機作用之振動行為，應可簡化成從垂直地面(樓板)z 方向著手。

(E) 體重不是唯一影響跑步機對樓板振動的原因，體位較重的人不一定會帶來較大的衝擊，以腳尖先著地之跑步方式使跑者之激振衝擊，較其他人員在稍高頻率處，會產生較大的振動。

(F) 隨跑帶速度的增加，跑步機上下振動的情況越見明顯，發出之聲響也較大，依著地的方式有明顯的不同，若要減少跑步衝擊所散射之噪音，修正跑者之著地方式也是可行方法之一。

(G) 雖然巧拚隔振墊在一定程度上可達到改善振動傳遞至樓板之效果，其效果為跑步優於步行，但資料顯示，跑步機本身之晃動，將更嚴重，從而增加運動傷害之機率；人工草皮則無太大成效，且加入兩緩衝材料後，受測者所響應之頻率振幅不減反增，可說明兩者低頻振動的吸收力並不是很好。

### 4. 結論

由本研究完成之 CAE 有限元素分析顯示，以研究樣品之跑步機為例，跑步機上所有模態圖中最低頻率為 21 Hz，與人類所能激振之步頻 2~3 Hz 差距甚大，故基本上跑步機之設計強度應沒有問題，也不會造成機台本身之破壞，然而由本研究之 CAE 分析中顯示，跑板相對是結構最弱之點，另外，附加之扶手，也是容易晃動產生音、振的零組件。

在跑步機空轉實驗之結果顯示，樓板之振動，隨著跑步機馬達轉速加快，不論慢速或是快速，水平向之加速度振幅不因速度提升有特別變動，相較結果皆在垂直方向有較明顯的振幅變動，故相關之研究可簡化成探討垂直方向之振動即可；而跑步機運轉中主要之頻率響應是來自馬達本身轉速頻率、跑帶之減速機構、與其所造成之倍頻等。

在不同體重之振動分析中可知，加入緩衝材料確實能減低由跑步機所傳遞至樓板的振動，而且以巧拚做為跑步機之隔振，有最佳的隔振效果，但跑步機本身之晃動將卻也更嚴重，從而增加運動傷害之機率，而人工草皮僅能用於阻隔微小振動，且效果不佳。此外，跑者之體重並非唯一影響樓板之振動因子，跑者與跑帶間之著地方式，也應列入考量。

### 5. 參考文獻

1. 郭榮學、江哲銘，「住宅音環境控制之研究(九)---高層集合住宅生活噪音測試評估」，中華民國建築學會第四屆論文集，1991，pp123-128。
2. 徐宜恆，住宅室內噪音現況調查與測試研究以台南市區鐵路沿線連棟透天式住宅為例，碩士論文，成功大學建築研究所，台南，1992。
3. TW00576227\_Gaz跑步機之跑步台緩衝元件，2004。
4. TWM254230\_Gaz跑步機之吸震機構，2005。
5. 200420058781.1跑步機的避震裝置，2006。
6. Elliott, B. C., & Blanksby, B. A., "A cinematographic analysis of over ground and treadmill running by males and females." *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 8(2), pp.84-87, 1976.
7. 李原彰，以有限元素法預測樓板衝擊振動特性之研究，成功大學建築研究所，碩士論文，台南，1997。
8. 陳尚峰，步行引致樓板振動之預測與評估，成功大學建築研究所，碩士論文，台南，1998。
9. 鍾松晉，台灣地區樓板衝擊音影響因數預測模式之研究，成功大學建築研究所，博士論文，台南，1999。
10. 蔡耀賢，人員引致架高地板振動之預測與評估，成功大學建築研究所，碩士論文，台南，2000。
11. 王敏州，以數值模擬預測鋼構樓板衝擊振動特性之研究，成功大學建築研究所，碩士論文，2000。
12. 林芳銘，建築樓板步行衝擊振動預測模式之研究，成功大學建築研究所，博士論文，台南，2001。
13. 蘇嘉瑩，以有限元素法預測天花板空氣層厚度對樓板衝擊音衰減影響之研究，成功大學建築研究所，碩士論文，台南，2004。
14. 吳韋德，置於樓板之跑步機對環境振動之影響及分析研究，國立台北科技大學機電整合所，碩士論文，2007.07。
15. 莊明治，應用於精密儀器之複合式減振平台研究，國立台北科技大學自動化研究所，碩士論文，2007.01。

## The Analyses of Ambient Vibrations Generated by a Treadmill on the Floor

Wenlung Li W.D. Wu T.Y. Chang  
Institute of Mechatronics Engineering  
National Taipei University of Technology