

# 運動訓練與雌激素補充對 大白鼠骨骼組織之交互影響

洪 暉、方進隆  
台灣師範大學  
李士元、陳俊忠  
陽明大學

## 摘 要

運動訓練已被證實有助於刺激骨質增生、減緩骨質流失，而雌激素治療是目前臨床上治療停經骨質疏鬆症的有效方式，本研究嘗試將兩種有效預防骨質流失的方法加以結合，並以動物實驗的模式對骨骼組織進行下列分析：股骨頸最大受力值、股骨頸受力吸收總能量、骨質密度。實驗結果發現，在生物力學測試方面，運動組的股骨頸最大受力值高於卵巢切除組，但是未達顯著差異，運動組受力吸收總能量與卵巢切除組有明顯差異，並大幅超過未切除卵巢的控制組；骨質密度方面，皮下注射雌激素組的骨質密度高於卵巢切除組，但並未達顯著差異水準，而並用運動訓練以及雌激素治療之SE組股骨頸最大受力值顯著高於卵巢切除組(SE: 37.6667, 30.0656)，骨質密度亦顯著高於卵巢切除組(SE: 5.1661, OC:4.0863)，顯示合併兩種方式有加成性效果。

關鍵詞：運動訓練、雌激素、卵巢切除、大白鼠、動物模式、骨質密度

## 壹、緒 論

骨質疏鬆症是一種伴隨著老化一起出現的慢性疾病，這種疾病的發生的時間長而作

用緩慢，在骨質流失的初期不易發現，正是因為如此，骨質流失的情形常常被忽略，等到發現時骨骼已經脆弱不堪，研究指出（Giuseppe, Robert 等人 1992 年）雌激素有抑制骨骼組織刺激骨質吸收作用的生成細胞間白質 (interleukin-6)，此外，學者 (Armour, 1998) 亦指出雌激素刺激造骨細胞 (Osteoblast) 與骨細胞 (Osteocyte) 產生一氧化氮，抑制破骨細胞活性與成熟作用，因此血液中維持一定的雌激素含量有助於減緩骨質流失 (Jean, Nathalie 等人 1992 年)，更年期的功能減弱、血液中的雌激素含量降低，在停經後的五到十年之間骨質快速的流失，形成婦女特有的停經後骨質疏鬆症。

Estrogen Replacement Therapy (ERT) 是目前最常用於治療停經後骨質疏鬆症的方法，但造成的副作用也不容忽視，學者發現東方人的飲食中 Phytoestrogen 含量高，可能東方人較西方人少罹患骨質疏鬆症的原因，目前已有部份學者研究以 Phytoestrogen 或其衍生物取代 ERT 的可能 (Kohtora, Takeshi, 等人 1996 年) 此外，亦有學者 (Zaman, 1999) 提出以提高一氧化氮濃度以減緩因為缺乏雌激所造成的骨質流失的可能性。

本實驗中嘗試把運動與 ERT 結合，以期探討探討下列的可能：

- 一、卵巢切除手術對大白鼠股骨去脂骨質密度的影響。
- 二、運動訓練對切除卵巢後的大白鼠股骨去脂骨質密度的影響。
- 三、皮下注射 Estrogen 對卵巢切除後的大白鼠的股骨去脂骨質密度所造成的影響。
- 四、皮下注射雌激素並配合運動訓練對卵巢切除後的大白鼠的股骨去脂骨質密度所造成的影響。

## 貳、研究方法與步驟

### 一、實驗動物處理

本研究是以六十隻十二週齡的大白鼠 (Sprague-Dawley Rats)，施以卵巢切除手術，使其成為無生殖週期的狀況，藉以模擬女性停經之後的狀況，手術後大白鼠飼養於  $30 \times 45 \times 60$  公分長的飼養籠，環境控制於  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相對濕度 60%、光週期 12 小時之狀況 (7:00-19:00)，飲水以及飼料無限制供應。

大白鼠隨機分成六組，每組分別施以不同的處理：OC 組：僅切除卵巢；N 組：實施偽手術；SE 組：皮下注射減量 Estrogen，並施以運動訓練；S 組：僅施以運動訓練；E 組：皮下注射減量之 Estrogen；ER 組：施以雌激素治療。

本研究之運動訓練是以電動跑步機 (TREADMILE) 的方式進行為期十週之高強度訓練，每週三天，起始速度為 39cm/sec、坡度為 0%，持續時間則由 10min/day 開始，每天增加 5min，直到可完成 1hr/day 訓練期最後一週之強度為 48cm/sec、10% 坡度；所有的運動訓練均在下午舉行。

## 二、測驗項目及方法

### (一)股骨密度測試

股骨自髓關節切除，清除肌肉、韌帶及骨膜後，浸泡在去脂溶液中 (chloroform: methanol= 2:1) 24hr，並施以 37° 水浴，24hr 之後更換去脂溶液，再浸泡 24hr，取出之後烘乾、秤重並計算密度。

### (二)股骨承受應力的測試

股骨自鼠體內取出後，去除股骨遠端軟骨，置於長三十三釐米、直徑十二點五釐米之鋼管中，並以甲基丙烯酸甲酯 (Orthal resin) 包埋至股骨小轉子 (less trochanter) 下方，冷藏於零下二十度之冰箱中，等待進行應力測試。包埋完成之大白鼠股骨施以應力測試 (Cantilever bending test)。

## 三、資料收集與統計分析

(一)以 Cantilever Bending test 測得知受力峰值、股骨頸受力時的變化程度。

(二)骨質密度測量值、雷射掃描儀 (Molecular Dynamics) 所測得知 X 光相片之 OPTICAL DENSITY 數值。

(三)差異性統計：以單因子變異數分析 (one-way ANOVA) 分析各組別之間骨質密度、股骨頸受力值的變化，並以雪費法進行事後考驗。

(四)相關性統計：以皮爾遜機差相關係數表示骨質密度、股骨受力能力等數值與體重之間的關聯。

(五)所有資料均以 SPSS/PC+ for Windows 6.0 處理，研究統計的顯著水準訂為  $\alpha = 0.05$ 。

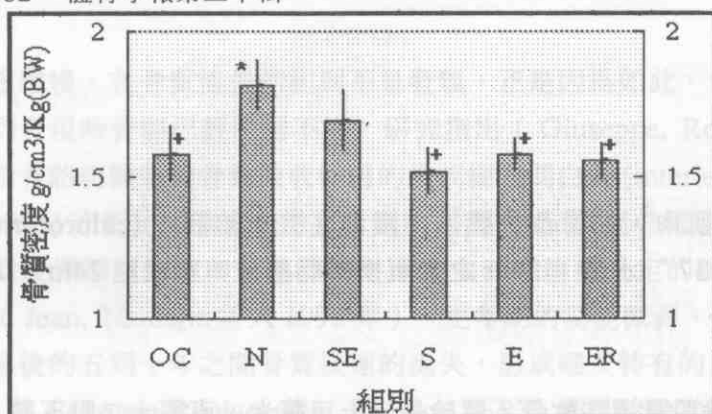
## 參、結 果

### 一、骨質密度測試結果

#### (一)骨質密度測試

骨質密度的測試結果如圖一所示，結果指出，僅接受偽手術的 N 組骨質密度為 1.812g/cm<sup>3</sup>，為六組之間最高，其次為同時實施運動訓練以及雌激素 SE 組，平均值為 1.692g/cm<sup>3</sup>，其餘各組之間平均值十分接近。

以單因子變異數分析法考驗六組之間的差異後發現，N 組的骨質密度顯著的高於 OC、S、E、ER 四組，其餘各組之間並無顯著差異。



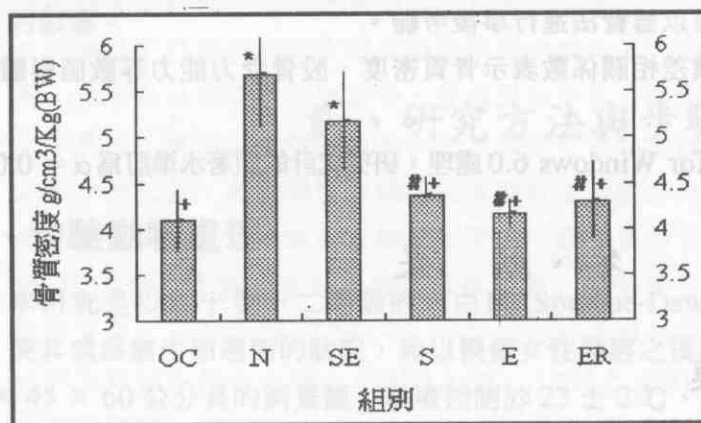
\* : 與 OC 組有顯著差異  
 + : 與 N 組有顯著差異  
 # : 與 SE 組有顯著差異

圖一 骨質密度測試

### (二) 股骨骨質密度體重比

將骨質密度測試值除以體重之後的結果詳如圖二，N 組的骨質密度體重比平均值 5.682g/cm<sup>3</sup>，在所有組別中最高，OC 組的平均值 4.086g/cm<sup>3</sup>，在六組之間最低，SE 組的平均值 5.166g/cm<sup>3</sup>，在切除卵巢的五組之間最高。

結果顯示六組之間達到顯著差異水準，N、SE 組的骨質密度體重比顯著的高於其餘四組，N、SE 兩組之間無顯著差異，OC、S、ER、E 四組之間並未達到顯著差異水準；經過體重校正之後，六組之間的平均值分佈的趨勢略有改變，由高至低分別為 N、SE、ER、S、E、OC 組。



\* : 與 OC 組有顯著差異  
 + : 與 N 組有顯著差異  
 # : 與 SE 組有顯著差異

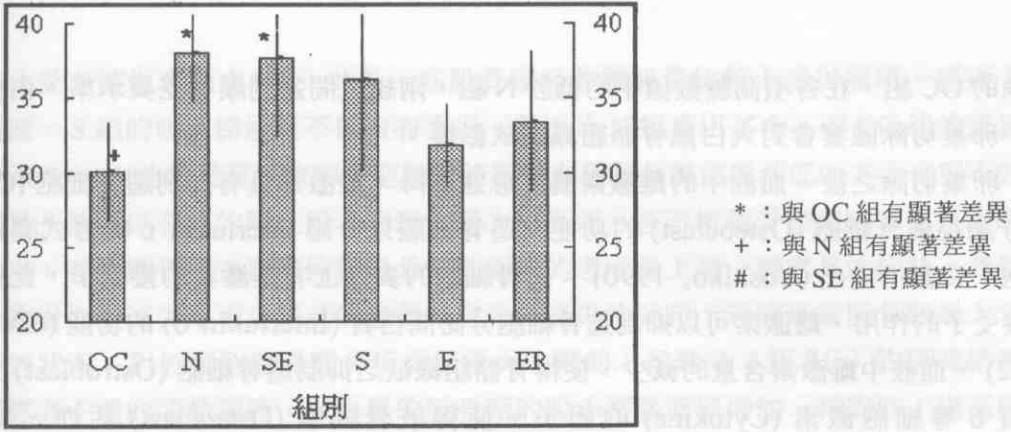
圖二 股骨骨質密度體重比

## 二、股骨耐壓測試結果

### (一) 股骨頸耐壓體重比

將股骨頸最大耐壓力值以體重作校正，結果詳如下圖所示，平均值最高為 N 組的 37.97g/g(BW)，其次為 SE 組的 37.667g/g(BW)，其他依序為 S、ER、E、OC 四組，最低的 OC 組平均值為 30.065g/g(BW)。

六組間大白鼠的股骨頸最大受力體重比達到顯著差異水準，N、SE 兩組組的股骨

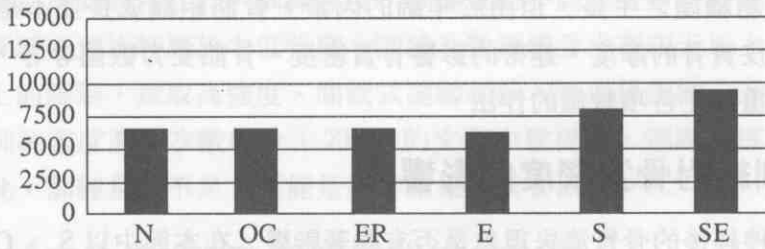


圖三 股骨耐壓值體重比 g/g/ (BW)

頸最大受力體重比顯著高於 OC 組，N、SE 兩組之間無顯著差異，S 組僅以些微的差距與 OC 組未達到統計上的顯著差異水準，而 S 組與 N、SE 組之間也無顯著差異存在，因此，S 組與 OC 組的差異不容忽視。

(二) 股骨頸受壓吸收總能量

除了股骨頸所能承受的最大外力之外，本研究並記錄股骨頸壓斷過程中所吸收之總能量，結果詳如下圖所示，平均值最高為 SE 組的 2987207g，其次為 S 組的 2838161g，其他依序為 N、ER、E、OC 四組，最低的 OC 組平均值為 2053273g。



圖四 股骨耐壓值體重比 (單位：克)

六組間大白鼠的股骨頸受力吸收總能量並未達到顯著差異水準，而值得注意的是，SE 組僅以些微的差距與 OC 組未達到統計上的顯著差異水準，而 S、SE 兩組吸收總能量數值均較其他組別為高，甚至大幅超過僅接受偽手術的 N 組，此種趨勢亦不容忽視。

肆、討 論

一、卵巢切除對大白鼠骨骼組織的影響

有關卵巢切除的 OC 組與偽手術的 N 組各項數值之間的差異，研究結果顯示，卵巢

切除的 OC 組，在各項測驗數值中均低於 N 組，兩組之間達到顯著差異水準，由此可證實，卵巢切除確實會對大白鼠骨骼組織造成影響。

卵巢切除之後，血液中的雌激素濃度急速下降，雌激素具有抑制造骨細胞 (Ostroblast) 調控破骨細胞 (Osteoclast) 的功能，造骨細胞以分泌 Interlukin 6 的方式調控破骨細胞，文獻中指出 (Yoshiko, 1990)，造骨細胞的表面上有雌激素的接受子，此經由這種接受子的作用，雌激素可以抑制造骨細胞分泌間白質 (Interlukin 6) 的功能 (Giuseppe, 1992)，血液中雌激素含量的減少，使得骨骼組織缺乏抑制造骨細胞 (Ostroblast) 分泌間白質 6 等細胞激素 (Cytokine) 的因子，使得破骨細胞 (Osteoclast) 活性、周轉率 (turnover rate) 增加，造成骨質的流失加速 (Giuseppe 1992)，文獻中指出 (Mori, 1990)，三個月大的大白鼠切除卵巢之後，僅需一個月的時間，就可以發現樑骨組織明顯的變化，骨小樑的數目明顯的降低，而其他的文獻中亦指出，大白鼠的代謝率極高，卵巢切除之後一個月之內，骨質流失的狀況十分的明顯，而在 100 天之內，樑骨可由原來的 35% 流失至剩下 5-7%。

運動給予骨骼組織的刺激除了與運動量、運動型態有關之外，本身的體重也是一個很重要的因素，在本次實驗中，由於卵巢切除後大白鼠體重均顯著上升，各組之間的體重平均值達到顯著差異，因此，在記錄股骨頸承受壓力測試值之時，去除體重的影響有其必要性，學者指出 (Zhiqi, 1993)，經過卵巢切除手術之後，由於體內代謝狀況重新分配，骨骼組織隨之生長，但由於年齡的因素，骨骼組織成長並不是增加長骨的長度，而是增加皮質骨的厚度，連帶的影響骨質密度、骨骼受力數值等等，此一論點，支持本研究以體重校正各項數值的作法。

## 二、運動訓練對骨質密度的影響

運動對於停經後的骨質流失現象是否有顯著影響，在本節中以 S、OC、N 三組作為討論運動對骨骼組織的影響之依據，由前述結果得知，S 組的股骨骨質密度比 OC 組高 6.79%，股骨頸最大耐壓值比 OC 組高 20.63%，而 N 組與 S 組僅有 4% 的差距，實驗結果顯示，運動訓練對骨骼組織雖有影響，但是其結果未達顯著水準。

由前述的比較中可以瞭解，雖然運動訓練對骨骼組織影響在本研究中以些微的差距未達顯著水準，但是，運動訓練所造成的影響仍不容忽視，長期、高負荷的運動訓練，有延緩卵巢切除後的大白鼠股骨最大耐壓能力衰退以及骨質密度降低的趨勢，在卵巢切除的 OC 組，骨質密度比未切除卵巢的 N 組低 28.09%，在切除卵巢後的短短十二週之內，骨質的流失量已經流失將近三成，而運動組在十二週的訓練其骨質流失率為 23%，流失量略低於 OC 組，以骨質密度而言，運動訓練的效果似乎並不是非常明顯，但在股骨頸最大受力值的表現方面，運動訓練的效果可為十分明顯，OC 組的股骨頸最大受力值歷經十二週的骨質流失之後，與 N 組相較衰退 20%，而經過十二週訓練的 S 組，股

骨頸最大受力值僅衰退 4.4%，此外，在股骨頸吸收總能量比較上可以發現，經過十二週的訓練，S 組的吸收總能量不僅沒有衰退，甚至比 N 組高出甚多，與 OC 組的差異更是將近 40%，由此結果可以瞭解，運動訓練雖然在延緩骨質密度減低的方面表現不如預期，但是，卻可以有效的阻止股骨頸最大受力值衰退，甚至增強骨骼組織承受外力總能量的效果，股骨頸骨折在罹患停經後骨質疏鬆症的患者身上是一種常見的症狀，骨質隨著年齡的增加而流失是不可避免的趨勢，在骨質流失的同時，若能延緩股骨頸最大受力值的衰退狀況，對於預防股骨頸骨折有相當大的幫助，侯建弘（民 81）的研究結果中指出，經過十週的運動訓練，大白鼠的股骨頸的股小樑截面積增加，相對的，提高股小樑 (trabacular bone) 與皮質骨 (cortical bone) 的比值，在 Zhiqi 的研究中也以發現，運動組的股骨有較高的股小樑總量 (trabacular bone volumn)，Zhiqi 的研究結果也指出，大白鼠經過八週或是十八週的運動訓練之後，股骨頸最大受力值顯著的高於非運動組，前述的文獻可以驗證本研究的結果，運動訓練有助減緩股骨頸最大受力值並增加骨骼承受外力的總能量。

運動訓練維持骨質密度方面，S 組骨質密度流失的狀況十分明顯，但是，Zhiq 等學者的研究文獻中卻提出不同的觀點，Zhiqi 的文獻中更是明白的指出，運動刺激骨。

前述部分學者的論點，與本研究的結果有部分不盡相同之處，本研究的結果傾向於直接運動訓練對骨骼組織生物力學特性有較大的影響，原因除了前述所提，測試方式設定條件不同可能造成的誤差之外，訓練強度、訓練量的不同也是重要影響因素，上述的學者所採用的訓練方式比較屬於中低強度，訓練次數每週至少在四天以上，而本研究由於設備、人力上的限制，採取高強度、間歇式運動訓練，每週僅訓練三天，相較於前述學者的研究，訓練強度高而次數較少，Zhiqi 的文獻中曾提出，運動訓練的量比訓練的強度重要，因此，訓練量的不足，可能是影響結果的重要原因。

### 三、雌激素補充治療 (ERT) 對骨骼組織的影響

女性在更年期過後骨質快速的流失，主要是因為血液中雌激素濃度急遽降低所致，位於造骨細胞上的雌激素接受子與雌激素接和之後，可以抑制造骨細胞以分泌 Interlukin 6 調控破骨細胞的機轉，James(1993) 的研究中指出，大白鼠切除卵巢之後，以雌激素治療確實有減緩骨質流失的效果，James 認為，ERT 有助於減緩骨小樑數目的減少，而作用的機轉可能是抑制整個骨骼組織的周轉率 (turnover rate)，此外，學者亦證實 (Armour, 1998) 雌激素有促進內皮型一氧化氮合成酶 (endothelial nitric oxide) 轉錄的效果，藉此提高一氧化氮濃度，達到抑制破骨細胞的效果。

由於有部份學者主張 (Jean, 1992)，血液中的雌激素濃度僅需維持女性生殖週期中濾泡期前期的水準，就可以有效的減緩骨質流失的速率，本研究中的雌激素治療取用兩種濃度，E 組每天皮下注射 0.001mg 的雌激素，ER 組每天皮下注射 0.01mg，並以子

宮重量作為雌激素濃度的依據，根據文獻(Naoyaki, 1995)中指出，ER組的濃度可使大白鼠的子宮重量達到600mg，接近正常大白鼠子宮可能達到的最高重量，而E組的濃度僅能使子宮重量顯著的高於OC組(約400mg)，結果顯示，劑量最高的ER組子宮重量為522.2mg，低劑量的E組子宮重量為405.6mg，與參考文獻相比較，在相同劑量下，本研究的大白鼠子宮重量略低於Naoyaki的實驗數據，原因可能是所使用的溶劑比例、投藥方式、選取鼠隻品係不同等等因素影響雌激素吸收效率，子宮重量較低，可能意味著血液中雌激素的濃度也較低，而影響到本次實驗的結果。

本次研究結果發現，卵巢切除的OC組大白鼠骨礦物質快速的流失，在切除卵巢之後的十二週之內，OC組的股骨密度顯著的流失了28.09%，流失的速率十分驚人，而以雌激素治療的結果，劑量最高的ER組骨質密度經歷十二週的實驗之後，流失了26.21%，E組流失26.87%，E、ER兩組在骨質密度、股骨最大受力值方面，均顯著的低於N組，而與OC組無顯著差異，由於上述結果可知，皮下注射雌激素並未顯著的影響骨骼組織，原因可能如前述所言，由於投藥方式與品係關係影響藥物吸收效率，導致效果不明顯。

#### 四、運動合併雌激素補充治療(ERT)對大白鼠骨骨骼組織的交互作用

運動訓練以及雌激素治療，都是延緩骨質流失的好方法，而兩者合併使用，是否有交互影響，值得探討，由前述的結果中發現，運動主要是提昇骨骼承受外力的能力，雌激素則傾向於維持骨質密度，兩者否有加成性效果，是本研究最重要的目的，結果發現，合併使用雌激素治療以及運動訓練的SE組，經過十二週的實驗期，骨質密度僅比正常的N組減低9.1%，與OC組的流失20.08%相比，流失率大幅降低；SE組的股骨頸最大受力值僅比N組降低0.79%，兩者之間幾乎沒有差異，股骨頸吸收總能量平均值更是遠高於所有的組別，顯示運動訓練與雌激素補充治療結合，除了可以有效的減輕骨質流失的症狀，更可以維持骨骼的強度，以應付外力的衝擊。

在體內缺乏自然生成雌激素的狀況下，適度補充雌激素可以降低骨骼系統的周轉率(turnover rate)，同時，會抑制骨細胞分泌諸如IL-6，前列腺素等調控破骨細胞的區域性激素，而文獻亦指出，造骨細胞受到壓力之後，會分泌前列腺素，促使骨質增生，兩者之間，似乎有所衝突，學者研究的結果卻有其他的解釋，James曾以運動訓練與雌激素結合，文中指出，在卵巢切除的大白鼠身上，運動訓練的功效主要是抑制骨質的再吸收，並無增加骨質增生的功能，而雌激素的補充，除了抑制骨細胞調控破骨細胞的功能之外，並會降低骨骼組織的周轉率，使骨質增生與再吸收的速率都下降，減緩骨質流失的速率，相類似的結果，也在其他學者的研究中得到證實(Yeh, JK 1994)，雖然前述學者強調不同的作用機轉，但大部份的學者均指出，運動的效果與雌激素治療的效果是可加成的(additive)。

本次研究結果發現，合併使用雌激素治療以及運動訓練的 SE 組各項實驗數值與僅實施偽手術的 N 組很接近，甚至在骨骼耐壓吸收總能量表現上大幅超越未做任何處理的 N 組，既有 E、ER 組緩骨質流失的效果，也有 S 組維持骨骼強健的能力，由此可知，運動訓練與雌激素治療，確實有加成的效果，此結果與前述學者的實驗結果相近，可為相互佐證，運動加上雌激素治療的效果遠勝單純的雌激素治療，而且使用的劑量僅 E 組的十分之一，劑量的減少，也同時降低了雌激素副作用的機率。

## 伍、結 語

本次研究的結果顯示，雌激素補充治療法有助於減緩骨質的流失，而背後的原因究竟是因為增加骨質增生的速率或是抑制整個骨骼組織的代謝速率，由於本次實驗中並未組織學的方式觀察細胞的數目、活性等等，不宜妄加推斷，但可以肯定的是，補充雌激素對於減緩因為缺乏雌激素所造成的骨骼重量、密度的降低有一定程度的幫助；此外，在本次研究結果發現，單獨的運動訓練在維持骨骼重量、密度等方面效果不如預期，但是對於重力作用的部位卻可以明顯提高骨骼承受外來壓力的功能，原因可能是運動訓練使骨小樑的排列方式更適合承受重壓，同時在血液中雌激素濃度顯著降低的狀況下，有助於避免骨小樑數量減少以及結構改變，兩者同時實施有一定程度的加成效果，筆者認為，雌激素治療有助於維持骨質密度，而運動可以使骨骼組織的構形以更能承受外力的方式排列，兩者作用機制不同，但合併後使用更具相輔相成之功效。

## 參考文獻

- 夏萍茵 (民 83)。淺談停經後骨質疏鬆症。護理雜誌。第四十一卷第四期。
- Armour E. kathatine and Ralston H. Stuarth (1998). Estrogen upregulate endothelial constitutive nitric oxide synthase express in human osteoblast-like cells. *Endocrinology*, 139(2) 799-783.
- Giuseppe Girasole, Robert L. Jika, Giovanni Passeri, Scott Boswell, George Boder, Daniel C. Williams, and Stavros C. Manolagas (1992). 17  $\beta$ -Estradiol Inhibits Interleukin-6 Production by Bone Marrow-derived Stromal Cells and Osteoblasts In Vitro: A Potential Mechanism for the Antiosteoporotic Effect of Estrogens. *The Journal of Clinical Investigation*, 89, 883-891.
- James K. Yeh, Chung C. Liu and John F. Aloia (1993). Additive Effect of Treadmill Exercise and 17  $\beta$ -Estradiol Replacement on Prevention of Tibia Bone loss in Adalt Ovariectomized rat. *Jownal of Bone and Mineral Research*, 8 677-682.

- Janet M. Hock, Michael Centrella, and Ernesto Canalis (1988). Insulin-Like Growth Factor I Has Independent Effects on Bone Matrix Formation and Cell Replication. Endocrinology, 254-259.
- Jean Yves Reginster, Nathalie Sarlet, Rita Deroisy, Adelin Albert, Uysse Gaspard, and Paul Franchimont (1992). Minimal Levels of Serum Estradiol Prevent Postmenopausal Bone Loss. Calcified Tissue Internatioanal, 51, 340-343.
- Kathleen M. Reich and John A. Frangos (1991). Effect of flow on prostaglandin E2 and inositoltrisphosphate levels in osteoblasts. The American Physiological Society, 428-431.
- Kohtaro kawashima, Takeshi Inoue, Naoyuki Tsutsumit and Hiroyoshi Endo (1996). Effect of KCA-098 on the Function of Osteoblast-Like Cells and the Formation of TRAP-Positive Multinucleated Cells in a Mouse Bone Marrow Cell Population. Biochemical Pharmacology, 51, 133-139.
- Mcallister T. N. and Frangos J. A. (1999). Steady and transient fluid shear stress stimulate NO release in osteoblast through distinct biochemical pathway. Journal of Bone and Mineral Research, 14(6), 930-936.
- Naoyuki Takahashi, Takuhiko Akatsu, Nobuyaki Udagawa, Takashisa Sasaki, Akria Yamaguchi, Jane M. Mosely, T. John Martin and Tatsuo suda (1988). Osteoblastic Cells Are Involved in Osteoclast Formation. Endocrinology, 2600-2602.
- Robert L. Jika, Giao Hangoc, Giuseppe Girasole, Giovanni Passeri, Daniel C. Williams, John S. Abrams, Brendan Boyce, Hal Broxmeyer, Stavros C. Manolagas (1992). Increased Osteoclast Development After Estrogen Loss: Mediation by Interleukin-6. Science, 257, 88-91.
- Wimalawansa S. J., DeMarco G., Gangula P., and Yallampalli C. (1996) Nitric oxide donor alleviates ovariectomy-induced bone loss. Bone 18(4), 301-304.
- Yang S. Chyun and Lawrence G. Raisz (1984). Stimulation of Bone Formation by Prostaglandin E2, 97-101.
- Yeh JK, Aloia JF, Barilla ML. (1994). Effects of beta-estradiol replacement and treadmill exercise on vertebral and femoral bones of the ovariectomized rat. Bone and Mineral, 24(3), 223-34n.
- Zaman G., Pitsillides A. A., Rawlinson S. C. F., Suswillo R. F. L., Mosley J. R., Cheng M. Z., Platts L. A. M., Hukkanen M., Polak J. M., and Lanyon L. E. (1999). Mechanical strain stimulates nitric oxide production by rapid activation of endothelial nitric oxide synthase in osteocyte. Journal of Bone and Mineral Research 14(7), 1123-1131.

Zhiqi Peng, Juha Tuukkanen, and H. Kalervo Vaananen (1994). Exercise Can Provide Protection Against Bone Loss and Prevent the Decrease in Mechanical Strength of Femoral Neck in Ovariectomized Rats.

Journal of Bone and Mineral Research, 9 1559-1564.

投稿日期：89年11月

審稿日期：89年11月

接受日期：89年12月

## The Interaction of Exercise Training and Estrogen Replacement Therapy on Adult Ovariectomized Rats

*Wei Hung, Chin-Lung Fang*

*National Taiwan Normal University*

*Shyh-Yran Lee, Jin-jon Chen*

*National Yang-Ming University*

### Abstract

The interaction of exercise training and estrogen replacement therapy (ERT) on adult ovariectomized rat were studied in three methods: cantilever bending test, bone density and X-ray optical density. Sixty Spraque-Dawley rats were separate into six groups: OC, ovariectomized control; N, normal control; SE, training and reduced ERT; S, exercise training; E, ovariectomized and reduced ERT; ER, ERT groups. Exercise groups (S, SE) has higher maximan loading on femur neck, while ERT groups (E, ER) has higher BMD but not maxiaml loading in femur neck. SE groups has both higher maximal loading on femur neck and higher BMD. The result indicate that exercise mainly effect biomechanics properities of bone while ERT effect on BMD. The effect of ERT and exercise training are independent and addictive.

**Keywords:** Ovariectomized rats, exercise training, estrogen, cantilever bending test