

跑步運動對青年期大白鼠骨代謝和 骨組成的影響

劉昉青

摘 要

本研究的目的是在於實驗調查短期間的跑步機訓練之運動對青年期Fischer 344系雄性大白鼠之局部運動骨與中軸骨之影響，50隻大白鼠分成四群包括2週或4週之運動群（E2, E4）和對照群（C2, C4），在8週齡時開始訓練：6°斜度的跑步機，每天60分鐘，速度每分鐘20m，每週訓練6日至2-4週。動物殺後四肢骨和腰椎骨被切離、清除、稱重。分析大白鼠的前臂骨（radius/ulna）以及腰椎骨（lumbar）之鹼性磷酸酵素（ALPase）、酸性磷酸酵素（Tr-ACPase）活性和骨鈣量、膠原蛋白含量。

實驗結果發現：

1. 前臂骨重量及其全骨鈣量有顯著的增加在4週期間訓練的運動群(E4)。
2. 4週運動群(E4)的前臂骨之ALPase活性明顯大於對照群(C4)，Tr-ACPase反而小於對照群；相對於運動群的腰椎骨之ALPase及Tr-ACPase活性則無顯著的變化。
3. 前臂骨重量及全骨鈣含量的增加和其ALPase活性的增加是一致的。
4. 血清的ALPase活性在2週運動群顯著減少，4週則有明顯的較高值。

結論此結果顯示運動增加骨特異部位之ALPase活性，促進骨的形成，2週的運動期可考慮為一適應期。

Effect of Running on Bone Metabolism and Composition in Young Male Adult Rats

Faung-Ching Liu

ABSTRACT

The purpose of this experiment was to determine the effects of exercise on the bone metabolism of selected axial and appendicular bones

of young adult rats. 50 male Fischer 344rats(7-week-old) were divided into four groups for two-week or four-week exercise(E2, E4) and matched controls(C2, C4) respectively. Exercise consisted of treadmill running for 1 hr/day, 6 days/wk at speed of 20 m/min. and 6° inclination.

After these rats were scarified their appendicular bones and lumbar vertebrae were excised, cleaned, and weighed. Blood was collected. The ALPase and Tr-ACPase of bone and serum were determined spectrophotometrically. Hydrolysates of bone powder were measured for total calcium content and hydroxyproline concentration.

Bone weight, the total calcium content and ALPase of radius/ulna in E4 group were significantly greater than control group. These lumbar were no significant difference in any group. Tr-ACPase of adius/ulna in E4 group were significantly less than control group. The serum ALPase of E4 group also was significantly greater than C4 group and that of E 2 group was significantly less than C2 group. Within four weeks, moderated exercise can increase the bone weight of specific site responded exercise and the level of its ALPase activity in the male rats.

Key Words: ALPase (alkaline phosphatase) , Tr-ACPase (tartrate-resistant acid phosphatase , Calcium content , Collagen.

一、緒 論

骨和體內其他組織一樣，不停的進行代謝的過程，以更新骨的組成，即使成長終止後，仍持續進行此一過程。已知骨代謝的調整受到局部以及全身性兩個因素的影響 (Raisz, 1988)，身體活動即被認為是，藉由局部的重力和肌收縮加之於骨頭上的一外力，使骨重塑 (remodeling) 和外形發生變化進而調整骨量 (Smith, 1986)，運動員的骨質密度明顯高於同年齡層的一般非運動員 (Jacobson, 1984; Nilsson, 1971; Talmage, 1986; Liu, 1995)；另一方面，實驗動物的研究同樣證明運動作用骨的成長 (Nilsson, 1971; Lanyon, 1984)，以生物力學上的見解，亦說明了骨

之反應外力，有其反應部位的特異性（Carter, 1984），此外不同類型運動之外力作用在骨上，同樣說明了對同一部位所反應的結果（如骨密度）有不同的效果（Menkes, 1993; Liu, 1995; Show-Harter, 1992）。雖然有不少的研究，報告身體活動對骨代謝的影響，大多集中在骨的組成（Anderson, 1971; Heikkinen, 1972; Woo, 1981; KiisKinen, 1978; Suominen, 1980; Darby, 1985），並無研究提到骨代謝和骨部位反應運動的特異性關係。

諸多實驗數據資料顯示骨中鹼性磷酸酵素活性（bone alkaline phosphatase activity; ALPase）在骨形成（bone formation）（Wlodarski, 1986; Farley, 1986; Clark, 1950）和細胞外礦物鹽化（extracellular mineralization）（Reddi, 1972; Reddi & Anderson, 1976; Register, 1986）扮演相當重要的角色。酸性磷酸酵素活性（acid phosphatase activity; ACPase）是骨吸收（bone resorption）過程中從破骨細胞（osteoclast）釋放出來，作用骨吸收的狀態，因此其活性被認為是一個良好的骨吸收標識（marker of bone resorption）（Minkin, 1982），雖有Silbermann（1990）等報告利用老齡小白鼠（aging female mice）的長期運動訓練，有減緩脊椎骨質的流失，同時有明顯減低酸性磷酸酵素ACPase活性。但與骨形成有密切關連的ALPase活性和運動間的關係，尚未被充分討論過，筆者基於以上所提的問題，以分析和骨代謝最具代表的指標ALPase、ACPase兩種骨內酵素活性以及骨的組成之生化學上的變化，來探討運動外力反應在骨部位特異性之機轉。所以利用年青動物做運動實驗即想究明(1)運動是否促進骨的形成或成長，(2)運動骨的形成是否和ALPase、ACPase兩酵素活性的變動有關，(3)跑步運動是否有其特異部位之影響。因此本研究之目的是調查跑步運動對年青期動物的骨組成不同的中軸骨（腰椎骨lumbar vertebrae）和附肢骨（radius & ulna簡稱為前臂骨）之影響，直接分析骨組成之礦物質mineral和胺基酸、血液中的和骨之ALPase與ACPase酵素活性，來說明其運動作用的機轉。

二、材料和方法

(一)動物和實驗狀況

以生後7週大之Fischer 344系雄性大白鼠50隻做為實驗動物，分為對

照群和運動群（跑步群）兩類，更進一步分爲一部份的運動群訓練2週的時間，剩餘的一部份訓練4週的時間。飼養在個別的籠子中，飼料則使用屬繁殖用高營養價（a chow diet）飼料（日本 clea CE diet）。

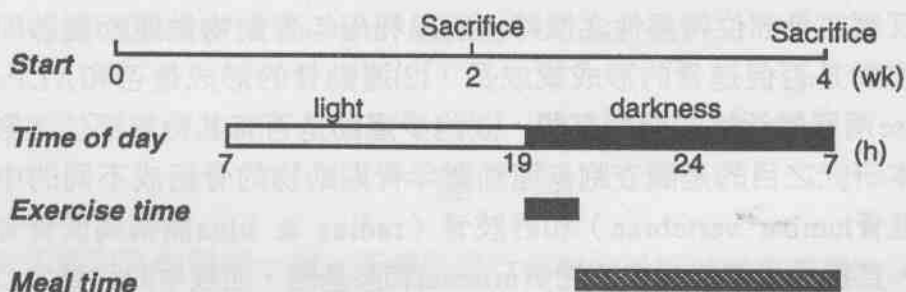
實驗設計方法，簡而言之，實驗動物大白鼠的飲水和飼料自由攝取，且記錄攝取量，飼育室的溫度保持在 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ，明暗以12小時爲交替期，明期是上午7時至下午7時，下午7時至第二天7時爲暗期，全實驗期間，每隔1日測量全部大白鼠之體重，1週的飼養適應期間後，開始跑步訓練運動，所使用的跑步裝置是大白鼠專用的電動跑步機，運動計劃是以Suominen等（1980）和Nakabayashi（1987）的方法爲基礎，運動訓練方法是讓運動的大白鼠逐漸適應 6° 傾斜之電動跑步機，第1週的跑步速度和時間，每分鐘20m，每天跑30min，每週6天，此後，訓練量改爲每天60min，同爲每分鐘20m之速度，每週6天之定常速度在設計4週實驗的後3週中實施。每天運動時間帶（定點）執行於午後時刻，從7點開始執行，給食時間在運動後之暗期（大白鼠爲夜行性動物，等於人類早晨運動後之白天）中自由攝取。（參照Figure 1）

Experimental Design

Animal 8-wk-old of Fischer 344 young male rats.

Exercise program treadmill running with 6° incline

20 m/min, 60 min/day, 6 days/wk for 2 wks and 4 wks.



Diet CE-2 (CLEA Japan) by ad libitum during experimental period.

Figure 1

(二)骨組織的準備

在實驗期間之兩週和四週的各終了時，測量動物體重、運動群和對

照群的動物予以屠殺，輕微乙醚麻醉下（under ether anathesia），以心臟穿刺收集血液4ml左右，靜置30分鐘，3000 rpm離心分離後，分取血清，貯放在 -20°C ，以方便日後的分析。利用剪刀切開並截取四肢和脊椎骨，以及清除附著的軟組織，肱骨和股骨另做其他實驗，前臂骨、脛骨和腰椎骨的重量和部份長度測量後，然後先以液態氮（liquid N_2 ）急速冷凍後，貯藏在 -70°C 下直到有時間分析。

(三) 生化學的分析 and 酵素測定 (enzyme assays)

1. 檢驗血清中鹼性磷酸酵素活性 (serum alkaline phosphatase; s-ALPase) 和耐酒石酸之酸性磷酸酵素活性 (serum Tartrate-resistant acid phosphatase; sTr-ACPase)。
2. 選擇前臂骨和各腰椎骨做為分析全骨的ALPase和Tr-ACPase之活性，以及礦物質和胺基酸之成分。最初，筆者嘗試清洗出骨髓 (bone marrow)、經驗到技術性困難，由於腰椎體極小之骨髓腔空隙，為避免去除骨髓組織而傷害到骨內膜線層組織 (endosteallinings) 致失去部分骨組織，因此所有腰椎骨用冷緩衝液清洗多次，但不執行去除骨髓手續，用濾紙拭乾後，稱重，放在用液態氮冷卻之不銹鋼研磨鉢粉碎後，一起加入含有0.15M NaCl和3mM NaHCO_3 pH7.4冰冷之緩衝液 (Wergedal, 1969) 放入勻漿器 (polytron homogenizer) 內研磨成一均質液 (homogenate)，在 4°C 狀況下，以 $12,000 \times g$ 離心15min，離心後之上清液 (supernatant) 分取做為酵素的分析，沈澱物 (sediments) 做為礦物質和胺基酸含量的測定 (Goulding, 1984)。
3. ALPase和ACPase活性的測定是依Walter & Schutt報告加以改進的方法測量 (Walter and Schutt, 1974)。用 *p*-nitropheny phosphate 2mM 為基質 (substrate)，ALPase是在0.1M sodium barbital buffer, pH9.3下，Tr-ACPase在0.1M sodium acetate、50mM sodium tartrate buffer pH5.0下分別測定 (Reddi, 1980)。ALPase活性是以spectrophotometer分光光度計 (Shimatsu 276型) 裝置測定，吸光波長在405nm測其直線反應之吸光度時間3min，再予平均。Tr-ACP的測定是在 37°C 下培養反應 (incubation) 30min後，加入2倍容積的0.1N NaOH中止其反應，然後在405nm下測其吸光度。所有的測定皆用雙份執行測定，酵素活性是以單位時間內每mg protein或g-bone所放出 *p*-nitrophenol 量來表示。(nmole/mg-protei/min or nmole/g -bone/min)。蛋白質

含量以bovine serum albumin牛血清蛋白做為標準劑 (standard)，依Smith等人的方法測定 (Smith et al, 1985)。

- 均質液的沈澱物經冷凍乾燥後，稱量此乾燥後的骨粉6mg放入有緊蓋子之玻璃試管，加入6M鹽酸6ml (大約1mg protei/1ml) 灌入氮氣N₂後密封，放入108°C恆溫電爐 (oven) 內24小時給予水解反應 (Sam-path and Reddi, 1981)。在加酸水解作用後，水解溶液 (hydrolysate) 冷卻至室溫，再予真空蒸發乾燥，餘留物再加入蒸餾水溶解，取一部分溶液調至pH2.2，做為胺基酸的分析，利用胺基酸自動分析器 (Hitachi 835型) 分析。其餘的溶液，使用ICP (Jarrel-ash inductively coupled argon plasma atomic emission spectrometer) 分析礦物質含量 (Majanti, 1983)。膠原蛋白含量之計算是依Nusgen & Lapiere法計算，collagen type I量是推算每1000 residues殘基中含有100 hydroxyproline殘基 (Lapiere, 1970)。其他之胺基酸資料省去不列。

(四)統計處理

實驗結果以平均值 (mean) 和標準差 (SD=standard deviation) 表示，兩群間的有無顯著差別的檢定，以Student's t test方法檢定 ($p < 0.05$)，相關係數的顯著差別則以F-分布檢定。以上利用麥金塔Stat view II 電腦軟體統計。

三、結 果

(一)體重、前臂骨、腰椎骨之重量

2週和4週的跑步訓練運動後之體重、前臂骨和腰椎骨重量之結果列於Table 1，在2週或4週運動群之最後體重皆顯著小於對照群 (2週之體重 $231 \pm 10g$ vs $249 \pm 9g$ ，4週為 $266 \pm 12g$ vs $282 \pm 10g$ ， $p < 0.01$)。4週的運動群之前臂骨重量反而大於對照群 ($180 \pm 8mg$ vs $171 \pm 7mg$ ， $p < 0.05$)。其他各群間之脛骨和腰椎骨重量，則無明顯的差別。以體重矯正後之骨重量來看，前臂骨和脛骨不論2週或4週運動群的骨重量皆有意義的大於對照群。

Table 1. Effects of 2 wk and 4 wk run training on body weight, wet weight of bones in the young male adult rats.

	Training		Time	
	2 wk		4 wk	
	Exercise (n=12)	Control (n=12)	Exercise (n=12)	Control (n=12)
Body weight				
final, g	231±10**	248±9	266±12**	282±10
Radius/ulna, mg	153±7	151±5	180±8*	171±7
Tibia, mg	336±22	338±15	411±16	399±22
Lumbar 4, mg	131±10	137±9	157±9	156±11
Adj. radius/ulna, mg#	159±6**	146±3	185±4**	166±5
Adj. tibia, mg	350±12**	328±10	426±12**	393±12
Adj. Lumbar 4, mg	136±7	132±9	162±11*	150±9

Values are means ± SD.

No. of rats are given in parentheses.

Significantly different from controls at * P<0.05, ** P< 0.005.

#Adj=Adjusted for body weight.

(二)前臂骨和腰椎骨的骨組成

Table 2為運動群和對照群實驗期間2週和4週的骨組成。

前臂骨全骨之鈣含量 (calcium content) 在4週的運動群明顯大於對照群 ($34.8 \pm 1.6\text{mg}$ VS $32.5 \pm 1.9\text{mg}$, $p < 0.05$)，相對於腰椎骨在運動群和對照群之間並無明顯變化。另外在每g-dry bone的鈣含量 (mg) 和膠原蛋白含量 (mg/g-dry bone) 無論在2或4週的運動群和對照群之間，骨成分組成比率則沒有變化，前臂骨之Ca/p比率 (鈣對磷的mole含量比率) 和鈣與膠原蛋白的成分組成比率隨年齡增大而有變化 ($p < 0.05$)，相對於前臂骨，腰椎骨方面則沒有明顯的變化。

(三)前臂骨和腰椎骨的酵素活性

Table 3為前臂骨和腰椎骨的bone ALPase與bone Tr-ACPase分析的結果。發現4週運動群前臂骨的ALPase明顯大於對照群 ($p < 0.05$)。2週的運動前臂骨之ALPase也有較大的傾向。但是腰椎骨之ALPase活性，無論2週或4週，在運動群和對照群兩組間，並沒有明顯的變化。在Tr-AC-

Pase活性方面，4週運動訓練的前臂骨明顯小於對照群。同樣的，腰椎骨的Tr-ACPase活性亦無明顯變化。比較ALPase和Tr-ACPase活性之比率來看，運動群的前臂骨在2週或4週皆大於對照群，且有顯著的差異，腰椎骨只有4週的運動群大於對照群 ($p < 0.05$)。

Table 2. Effects of 2 wk and 4 wk run training on the composition of radius/ulna and lumbar4 in the young male adult rats.

	Training		Time	
	2 wk		4 wk	
	Exercise (n=12)	Control (n=12)	Exercise (n=12)	Control (n=12)
radius/ulna				
Ca (mg/whole bone)	28.1±2.2	27.4±1.8	34.8±1.6*	32.5±1.9
Ca (mg/g- bone) ^a	253±5	259±5	257±4	257±3
Ca/P molar ratio ^b	1.73±0.01	1.72±0.03	1.75±0.02	1.75±0.02
Collagen (mg/g-bone) ^c	239±6	241±5	235±5	234±4
Ca/collagen wt. ratio	1.06±0.03	1.05±0.03	1.10±0.03	1.10±0.02
lumbar4				
Ca (mg/whole bone)	19.8±1.9	20.2±1.7	24.1±1.6	23.4±1.8
Ca (mg/g- bone)	248±7	246±6	241±3	242±5
Ca/P molar ratio	1.73±0.03	1.75±0.03	1.73±0.01	1.74±0.02
Collagen (mg/g-bone)	236±9	238±6	227±5	231±6
Ca/collagen wt. ratio	1.05±0.05	1.03±0.03	1.07±0.03	1.05±0.02

Values are means ±SD., no. of rats are given in parentheses.

a Value are given mg per g dry bone.

* Significantly different from controls ($P < 0.05$).

b Ca/P molar ratios are of Ca and total P in tissue samples.

c Collagen value is estimated from hydroxyproline determined by amino acid analyses.

(四)血清中酵素的活性變化

2週的運動群血清中ALPase (s-ALPase) ($207 \pm 24\text{U/L}$) 有意義的低於對照群 ($230 \pm 30\text{U/L}$)， $p < 0.05$ ，4週的運動群 ($202 \pm 16\text{U/L}$) 反而有意義的大於對照群 ($183 \pm 2\text{U/L}$) $p < 0.05$ ；血清中Tr-ACPase (sTr-ACPase) 活性方面，2週運動群有較高傾向 ($28.3 \pm 2.4\text{U/L}$ vs $24.8 \pm 3.2\text{U/L}$)，4週的運動群和對照群之間則無差別 ($21.2 \pm 2\text{U/L}$ vs $20.7 \pm 1.8\text{U/L}$)。(見Figure 2)

Table 3. Effects of 2w and 4wk run training on biochemical parameter of bone turnover of radius/ulna and lumbar4 in the young male adult rats.

	Training Time			
	2 wk		4 wk	
	Exercise (12)	Control (12)	Exercise (12)	Control (12)
Radius/ulna				
ALPase ^a	2.64±0.81	2.49±0.3	2.78±0.33*	2.46±0.37
Tr-ACPase ^b	1.29±0.15	1.38±0.28	1.29±0.27*	1.55±0.72
ALPase/Tr-ACPase	2.29±0.38**	1.77±0.29	2.22±0.42**	1.55±0.18
Lumbar4				
ALPase	3.48±0.48	3.78±0.54	3.6±0.76	3.36±0.3
Tr-ACPase	1.32±0.27	1.36±0.18	1.14±0.24	1.29±0.27
ALPase/Tr-ACPase	2.6±0.48	2.82±0.48	3.38±0.79*	2.67±0.67

Values are means ±SD.

No. of rats are given in parentheses.

Significantly different from controls at * P<0.05, ** P< 0.005.

a Alkaline phosphatase activity (umoles/mg protein/30min).

b Tartrate-resistant acid phosphatase activity (umoles/mg protein/30min).

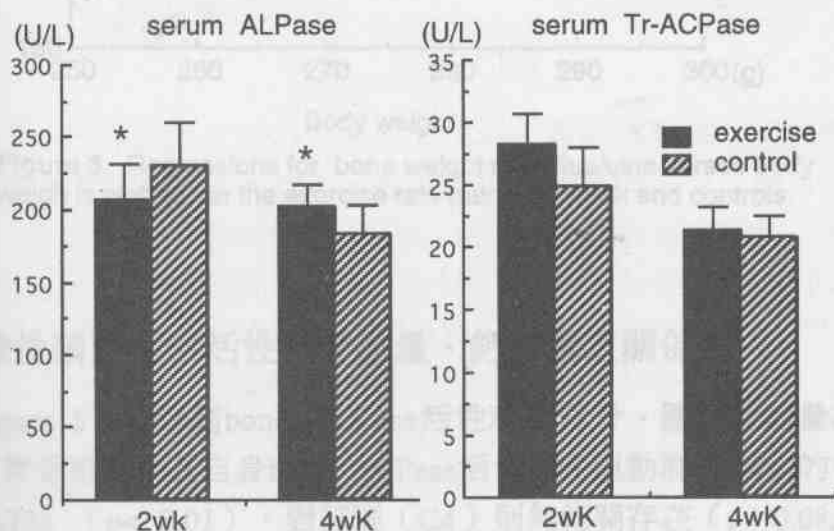


Figure 2. Effects of 2 wk and 4 wk run training on the Alkaline phosphatase and Tartrate-resistant acid phosphatase of serum in the rats. Error bars represent SD of 12 rats. Significantly different from control group at * p<0.05.

(五)骨重量和動物體重之關係

4週之動物體重和前臂骨重量之回歸直線關係圖示於Figure 3。

Figure 4 表示動物體重和腰椎骨之回歸直線關係。

體重和前臂骨重量之相關關係，無論是運動群 ($r=0.89$, $p<0.001$) 或對照群 ($r=0.66$, $p<0.05$) 皆有明顯的相關關係。

運動群的前臂骨在任何的體重點上皆有意義的較高於對照群，兩者的回歸直線有統計上的差別存在。反觀腰椎骨重量和體重之間，並無明顯之相關關係存在 (E4: $r=0.132$; C4: $r=0.53$, NS.)。

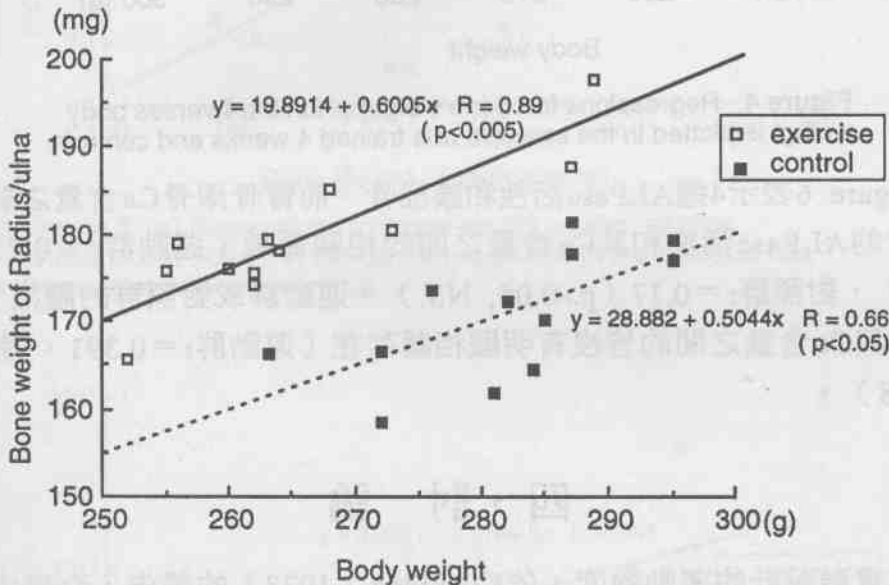


Figure 3. Regressions for bone weight of radius/ulna verses body weigh is plotted t in the exercise rats trained 4 week and controls.

(六)骨鹼性磷酸酶活性和骨重量、鈣含量之關係。

Figure 5 表示4週bone ALPase活性和前臂骨、腰椎骨重量之關係。

前臂骨重量和其自身bone ALPase活性，在運動群 (E4) 的相關係數為 $r=0.738$ ($p < 0.01$)，對照群 (C4) 則無相關存在 ($r=0.08$, NS.)，腰椎骨的骨重量和其骨ALPase活性之間的相關係數，運動群 (E4) $r=0.458$ ，對照群 (C4) $r=0.23$ ，兩者皆無相關存在。

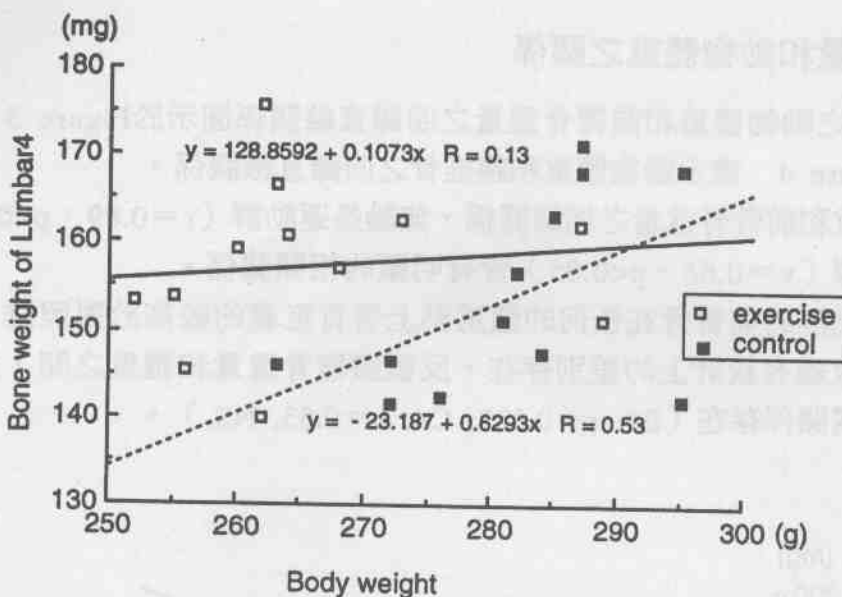


Figure 4. Regressions for bone weight of lumbar4 verses body weight is plotted in the exercise rats trained 4 weeks and controls.

Figure 6表示4週ALPase活性和腰椎骨、前臂骨兩骨Ca含量之關係。前臂骨的ALPase活性和其Ca含量之間的相關係數，運動群 $r = 0.738$ ($p < 0.05$)，對照群 $r = 0.17$ ($p > 0.05$, NS.)，運動群或對照群的腰椎骨ALPase和其Ca含量之間的皆沒有明顯相關存在(運動群 $r = 0.391$ ，對照群 $r = 0.168$)。

四、討 論

本實驗設計的運動強度，依Kiiskinen (1978)的報告，介於中強度和重強度之間，因此雖然給予自由攝食，雄性的運動群之動物體重比較於對照群，體重有較輕的情形，此一結果一致於Kiiskinen的報告。運動群雖有較輕的體重，但4週的跑步訓練運動有意的增加青年期大白鼠的前臂骨重量而不是中軸骨的腰椎骨。可見跑步運動對屬於附肢骨的前臂有較大的刺激，而屬中軸骨的腰椎骨較不受跑步訓練的影響。跑步運動是否作用在脊椎骨，仍受到爭論。Heikkinen (1991)等報告指出運動並不影響脊椎骨的密度或骨量。近年，由於DXP等測量骨鹽儀器的進步，發現運動類型不同對各部位骨密度的影響程度亦不同(Heinrich, 1990; Risser, 1990; Hamdy, 1994; Liu, 1995)。觀察大白鼠的跑步運動是利用前腳的抗力性較後腳為大；肌肉收縮之力量作用在骨膜，促進骨的堆積生長，

使前臂骨有較大的骨量。此結果和以往的研究如Steinberg & Trueta (1981) 以及Saville & Whyte (1969) 等的報告一致。

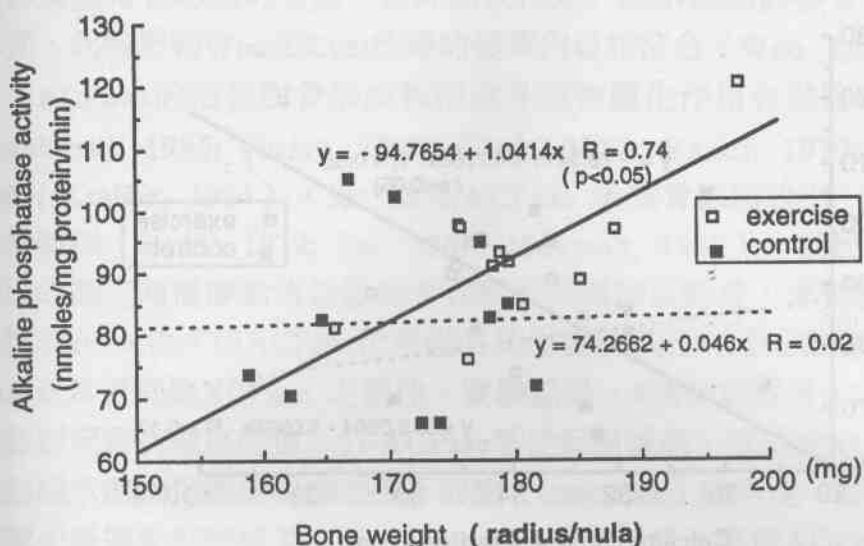


Figure 5. (a) Regressions for bone weight verses alkaline phosphatase activity of radius/ulna is plotted in the exercise rats trained 4 weeks and controls.

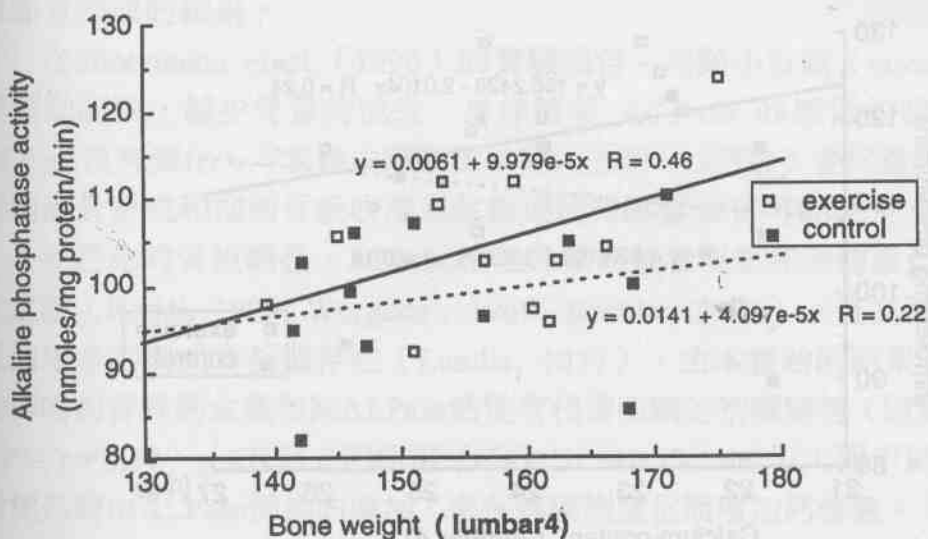


Figure 5. (b) Regressions for bone weight verses alkaline phosphatase activity of lumbar4 is plotted in the exercise rats trained 4 weeks and controls.

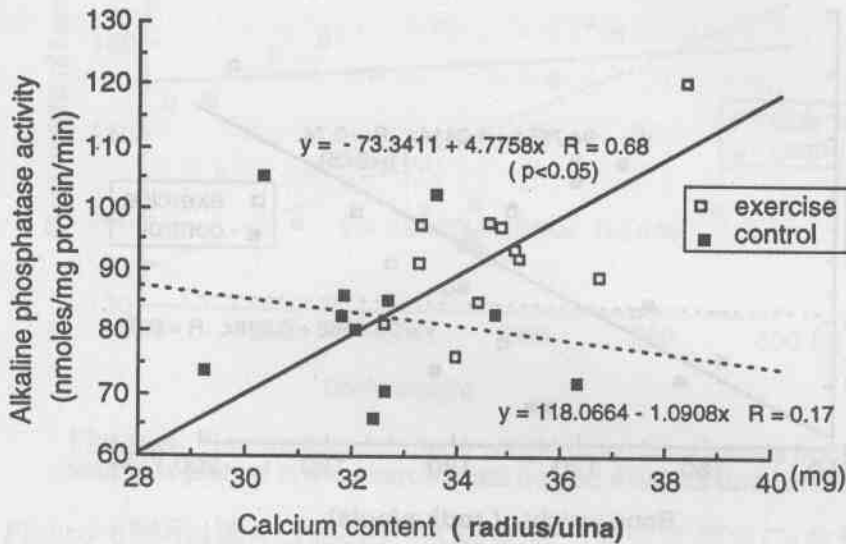


Figure 6. (a) Regressions for calcium content versus alkaline phosphatase activity of radius/ulna is plotted in the exercise rats trained 4 weeks and controls.

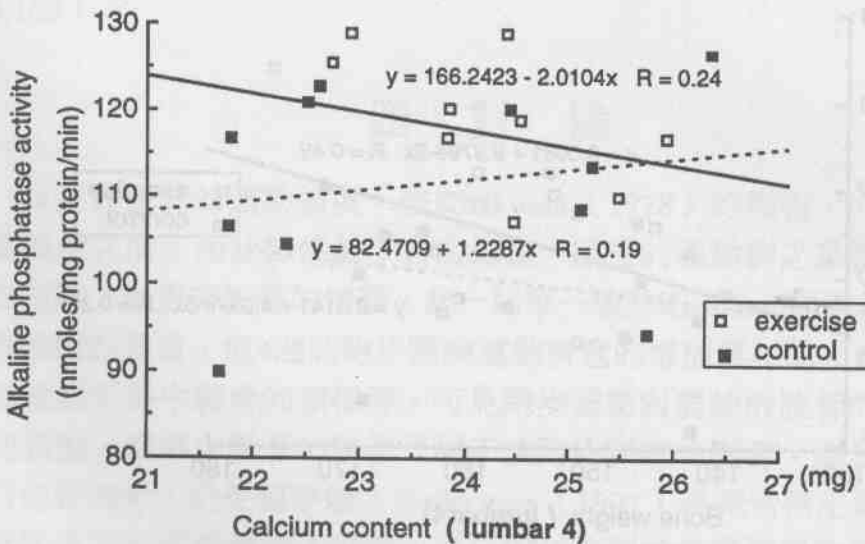


Figure 6. (b) Regressions for calcium content versus alkaline phosphatase activity of lumbar4 is plotted in the exercise rats trained 4 weeks and controls.

運動後大白鼠的骨中成分的鈣量 (Ca content) 和膠原蛋白濃度 (collagen concentration; mg/g-dry bone) 並沒有變化，此和其他的研究亦有相同的結果 (Saville, 1969; Tipton, 1972; Beyer, 1985)。運動增加大白鼠前臂骨的總鈣含量，由此結果得知，顯示運動影響骨量但不影響骨質，此情形和Woo和Kuei氏等的提案內容相符合 (Woo, 1981)。

ALPase的活性對骨形成和細胞外礦物鹽化作用有緊密的相互關係 (Woldarski, 1986; Farley, 1986; Clark, 1950; Reddi, 1972; Wergedal, 1969; Krabbe, 1984)。另一方面ACPase 由破骨細胞放出，和骨吸收有直接關係 (Reddi, 1972; Sui, 1966; Maymon, 1989)，前已提及，本實驗因此測定兩種酵素活性做為骨代謝的指標加以評量。骨細胞之ACPase 具抗Tartrate性，但ACPase仍可能由其他組織釋出，因此直接測量Tr-ACPase更具骨細胞ACPase 之活性。實驗結果，4週時前臂骨ALPase活性比較於對照群有較高的值，Tr-ACPase活性反而減低，運動骨ALPase活性的增加顯示運動促進骨組織的造骨細胞 (osteoblast) 的活性，運動骨Tr-ACPase的減少是運動抑制破骨細胞 (osteoclast) 的活性，降低ACPase，進而降低骨吸收率，減少骨的流失。從骨量和ALPase的相關關係來考量 (Figure 5)，只有運動骨的前臂骨骨量和其ALPase具有有意之相關關係，顯示骨量的增加是運動刺激造骨細胞活性 (Wlodarski, 1986)，增加ALPase，增進骨形成的結果。

在Slibermann et al. (1990) 的實驗報告：老齡小白鼠 (mice) 受長期運動訓練，減少骨量的流失，是伴隨著 ACPase 的減低的結果，而ALPase沒有變化。本實驗中運動對年青大白鼠 (12週齡) 骨代謝的影響，對刺激骨形成和抑制骨吸收兩方代謝過程的影響皆有可能性。

在鈣化的骨組織裡，ALPase活性的高峰被發現是在礦物鹽化作用增加之前 (Reddi, 1992; Wergedal, 1969; Krabbe, 1984)，且其活性和鈣量的增多的型式有相關存在 (Landis, 1977)，由本實驗的結果，4週運動群的前臂骨鈣含量和其ALPase活性有相當明顯的相關關係 (運動群 (E4) : $r=0.68$, $p<0.05$, 對照群 (C4) : $r=0.17$, NS.)，顯示鈣含量的增加是藉由ALPase活性的增加，來促進礦物鹽化而增加鈣含量。(Figure 6)

造骨細胞活性的指標可藉由血液中ALP之濃度得知，據Mauro (1989) 的報告在小孩4-15歲血清ALPase (serum ALP) 中的78到100%是由骨

ALPase (bone ALPase) 而來，在成人則總血清ALPase約有一半是由骨ALPase而來，部分來自肌肉。運動群的血清ALPase活性在運動初期低於對照群 ($p < 0.05$)，但在第二週後相對於對照群，有回升的情形 (見 Figure 2)。在著者的預備實驗中，已有同樣的情形，第4週的運動訓練反而回升到高於對照群 ($p < 0.05$)，顯示運動對身體在2週以前是一個壓力期 (stress phase) 的適應，而四週後則顯示身體對運動有正面之反應。

五、結 論

本研究之目的是為了調查運動對附肢骨和中軸骨的骨組成和ALPase、Tr-ACPase活性的影響，進行了以大白鼠為對象的動物實驗。運動方法為每分鐘跑20m，一天60分鐘，每週6天進行2週與4週的跑步運動。

實驗結果發現：

1. 前臂骨 (radius/ulna) 骨重量和全骨鈣含量有顯著的增加在4週的運動訓練。
2. 4週運動群的前臂骨之ALPase活性有顯著的大於對照群。其Tr-ACPase則相反的明顯小於對照群。
3. 前臂骨的重量、以及鈣含量的增加和其ALPase活性的增加是一致的。
4. 血清的ALPase活性在2週的運動群顯著的減低，在4週則反而明顯大於對照群。

結論此實驗結果顯示運動增加其反應的部位骨之ALPase活性，進而促進此骨的成長，2週的運動期間可考慮為一適應期。

References

1. Anderson, J.J., Milin, L. and Crackel, W.C. (1971). Effect of the exercise on mineral and organic bone turnover in swine. *J. Appl. Physiol.* 30: 810-813.
2. Beyer, R.E., Huang, J.C. and Wilshire, G.B. (1985). The effect of endurance exercise on bone dimensions, collagen, and calcium in the aged male rat. *Exp. Gerontol.* 20: 315-323.

3. Bunt, J.C., Going, S.B., Lohman, T.C., Heinrich, C.H., Perry, C.D., Pamerter, R.W. (1990). Variation in bone mineral content and estimated body fat in young adult females. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: 564-569.
4. Carter, D.R. (1984). Mechanical loading histories and cortical bone remodeling. *Calcif. Tissue Int.* 36(suppl): 19-24.
5. Clark, L.C., Beck, E. (1950). Serum alkaline phosphatase and growth in adolescent children. *J. Pediatr.* 36: 335-341.
6. Darby, L.A., Pohlman, R.L. and Lechner, A.J. (1985). Increased bone calcium following endurance exercise in the mature female rat. *Lab. Animal Sci.* 35: 382-386.
7. Farley, J.R., Baylink, D.J. (1986). Skeletal alkaline phosphatase activity as a bone formation index in vitro. *Metabolism* 35: 563-571.
8. Goulding, A. and Campbell, D.R. (1984). Effect of oral loads of sodium chloride on bone composition in growing rats consuming ample dietary calcium. *Mineral Electrolyte Metab.* 10: 58-62.
9. Hamdy, R.C., Anderson, J.S., Whalen, K.E., Harvill, L.M. (1994). Regional differences in bone density of young men involved in different exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 884-888.
10. Heikkinen, E. and Vuori, I. (1972). Effect of physical activity on the metabolism of collagen in aged mice. *Acta Physiol. Scand.* 84: 543-549.
11. Heikkinen, J., Kuttala-Matero, E., Kyllonen, E., Vuori, J., Takala, T., Vaananen, H.K. (1991) Moderate exercise does not enhance the positive effect of estrogen on bone mineral density in postmenopausal women. *Calcif. Tissue Int.* 49: S83-S84.
12. Heinrich, C.H., Going, S.B., Pamerter, R.W., Perry, C.D., Boyden, T. W., Lohman T.G. (1990). Bone mineral content of cyclically menstruating female resistance and endurance trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: 558-563.
13. Jacobson, P.C., Beaver, W., Grubb, S.A., Taft, T.N. and Talmage, R. A. (1984). Bone density in women: College athletes and older athletic

- women. *J. Orthop. Res.* 2: 328-332.
14. Kiiskinen, A. and Heikkinen, E. (1978). Physical training and connective tissue in young mice: biochemistry of long bones. *J. Appl. Physiol.* 44: 50-54.
 15. Krabbe, S. and Christiansen, C. (1984). Longitudinal study of calcium metabolism in male puberty, 1. bone mineral content, and serum levels of alkaline phosphatase, phosphate and calcium. *Acta Paediatrica Scand.* 73: 745-749.
 16. Landis, W.J., Paine, M.C. and Glimcher, M.J. (1977). Electron Microscopic observations of bone tissue prepared anhydrously in organic solvents. *J. Ultrastruct. Res.* 59: 1-30.
 17. Lapiere, Chm. and Nuegens, B. (1970). Maturation-related changes of the protein matrix of bone, In: Balazs E.A.(ed) *Chemistry and molecular biology of the intercellular matrix, collagen, basal laminae elastin.* Academic Press. London, New York, PP. 55-98.
 18. Lanyon, L.E. and Rubin, C.T. (1984). Static dynamic loads as an influence on bone remodeling. *J. Biomechanics* 17: 897-905.
 19. Lanyon, L.E. (1984). Functional strain as a determinant for bone remodeling. *Calcif. Tissue Int.* 36(suppl): 56-61.
 20. Majanti, H.S. and Barnes, R.M. (1983). Determination of major and trace elements in bone by inductively-coupled plasma emission spectrometry. *Anal. Chimica Acta* 151: 409-417.
 21. Mauro, P. and Franca, P. (1989). Reference intervals for two bone-derived enzyme activities in serum: bone isoenzyme of alkaline phosphatase (ALP) and Tartrate-resistant acid phosphatase (Tr-ACP). *Clin. Chemistry* 35: 180-181.
 22. Maymon, B.B.S., Coleman, R., Steinhagen-Thiessen, E. and Silbermann, M. (1989). Correlation between alkaline and acid phosphatase activities and age-related osteopenia in murine vertebrae. *Calcif. Tissue Int.* 44: 99-107.
 23. Menkes, A., Mazel, S., Redmond, R.A., Koffler, K., Libanati, C.R., Gundberg, C.M., Zizic T.M., Hagberg, J.M., Pratley, R.E., Hurley, B.F.

- (1993). Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J. Appl. Physiol.* 74: 2478-2484.
24. Minkin, C. (1982). Bone acid phosphatase:tartrate-resistant acid phosphatase as a marker of osteoclast function. *Calif. Tissue Int.* 34: 285-290.
25. Nakabayashi, Y. and Shiba, R. (1987). An experimental study of bone remodeling influenced by mechanical stress. *J. Jan. Orthop. Assoc.* 61: 1429-1436.
26. Nilsson, B.E., Westlin, N.E. (1971). Bone density in athletes. *Clin. Orthop.* 77: 179-182.
27. Raisz, L.G. (1988). Local and systemic factors in the pathogenesis of osteoporosis. *N. Eng. J. Med.* 318: 818-828.
28. Reddi, A.H., Huggins, C.B. (1972). Biochemical sequences in the transformation of normal fibroblasts in adolescent rats. *Pro. Natl. Acad. Sci. USA* 69: 1601-1605.
29. Reddi, A.A. and Anderson, W.A. (1976). Collagen bone matrix induced endochondral ossification and hemopoiesis. *J. Cell Biol.* 69: 557-572.
30. Reddi, A.H. and Sullivan, N.E. (1980). Matrix-induced endochondral bone differentiation: influence of hypophysectomy, growth hormone and thyroid-stimulating hormone. *Endocrinology* 107: 1291-1299.
31. Register, T.C., Mclen, F.M., Low, M.G., Wuthier, R.E. (1986). Roles of alkaline phosphatase and labile internal mineral in matrix vesicles-mediated calcification. *J. Biol. Chem.* 261: 9354-9360.
32. Risser, W.L., Lee, E.J., Leblanc, A., Poindexter, H.B.W., Risser, J.M. H., Schneider, V. (1990). Bone density in eumenorrheic female college athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: 570-574.
33. Sampath, T.K. and Reddi, A.H. (1981). Dissociative extraction and reconstitution of extracellular matrix components involved local bone differentiation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 78: 7599-7603.
34. Saville, P.D., Whyte, M.P. (1969). Muscle and bone hypertrophy, positive effect of running exercise in the rat. *Clin. Orthop.* 65: 81-88.

35. Saville, P.D. and Smith, R. (1969). Bone density, breaking force and leg muscle mass as functions of weight in bipedal rats. *AM. J. Physiol. Anthropol.* 25: 35-40.
36. Show-Harter, C., Whalen, R., Myburgh, K., Arnaud, S., Marcus, R. (1992). Bone Mineral density, muscle strength, and recreational exercise in men. *J. Bone Miner. Research.* 7: 1991-1996.
37. Silbermann, M., Bar-shira-Maymon, B., Coleman, R., Reznick, A., Weisman, Y., Helga, M. and Steinhagen-Thiessen, E. (1990). Long-term physical exercise retards trabecular bone loss in lumbar vertebrae of aging female mice. *Calcif. Tissue Int.* 46: 80-93.
38. Smith, E.L., Raab, D.M. (1986). Osteoporosis and physical activity. *Acta Med. Scand.* 711(Suppl): 149-156.
39. Smith, P.K., Krohn, R.I., Hermanson, G.T., Mallia, A.K., Gartner, F.H. et al. (1985). Measurement of protein using bicinchonibic acid. *Anal. Biochem.* 150: 76-78.
40. Steinberg, M.E. and Trueta, J. (1981). Effects of activity on bone growth and development in the rat. *Clin. Orthop.* 156: 52-60.
41. Sui, F., Goldhaber, P., Jennings, J.M. (1966). Histochemical and biochemical study of acid phosphatase in resorbing bone in culture. *Amer. J. Physiol.* 211: 959-966.
42. Suominen, H., Kiiskinen, A. and Heikkinen, E. (1980), Effects of physical training on metabolism of connective tissue in young mice. *Acta Physiol. Scand.* 108: 17-22.
43. Talmage, R.S., Stinnett, S.S., Landwehr, J.T. et al. (1986). Age-related loss of bone mineral density in non-athletic and athletic women. *Bone Miner.* 1: 115-125.
44. Tipton, C.M., Matthes, R.D. and Maynard, J.A. (1972). Influence of chronic exercise on rat bones. *Med. Sci. Sports Exerc.* 4: 55.
45. Walter, K. and Schutt, C. (1974). Acid and alkaline phosphatase in serum. In: Bergmeyer HU(ed). *Methods of enzymatic analysis*, Vol 2 Acad. Press. New York, PP. 856-862.

46. Wergedal, J.E., Baylink, D.J. (1969). Distribution of acid and alkaline phosphatase activity in undemineralized sections of the rat tibial diaphysis. *J. Histochem. Cytochem.* 17: 799-806.
47. Wlodarski, K.H., Reddi, A.H. (1986). Alkaline phosphatase as marker of osteoinductive cells. *Calcif. Tissue Int.* 39: 382-385.
48. Woo, S.L.Y., Kuei, S.C., Amiel, D., Gomez, M.A., Hayes, W.C., White, F.C., Akeson, W.H. and Jolla, L. (1981). The effect of prolonged physical training on the properties of long bone: A study of Wolff's law. *J. Bone Jt. Surg.* 63A: 780-787.
49. Liu, F.C. (1995) 運動對青少年骨質密度的影響，國立台灣體育專科學校第七期，1995年6月。

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to evaluate the effects of 12 weeks of resistance training on body composition, strength, and power in young men. Twenty-four (24) male subjects (mean age 20.5 ± 1.5 years) were recruited from National College of Physical Education, Taipei, and a battery of tests including physical characteristics, body composition, hand grip strength, maximal body strength, and maximal power were conducted. The subjects were divided into three groups: control, resistance training, and resistance training plus aerobic training. The resistance training group showed significant increases in muscle mass, hand grip strength, and maximal body strength. The resistance training plus aerobic training group showed significant increases in muscle mass, hand grip strength, and maximal body strength, and also showed a significant decrease in body fat percentage. The aerobic training group showed no significant changes in any of the variables measured. The results of this study suggest that resistance training is an effective means of increasing muscle mass, strength, and power in young men, and that the addition of aerobic training to resistance training may further enhance these adaptations.