

This pronouncement was written for the American College of Sports Medicine by Wendy M. Kohrt, Ph.D., FACSM (Chair); Susan A. Bloomfield, Ph.D., FACSM; Kathleen D. Little, Ph.D.; Miriam E. Nelson, Ph.D., FACSM; and Vanessa R. Yingling, Ph.D.

## 體育活動與骨骼健康

總編譯：王香生（香港中文大學 體育運動科學系）

Editor-in-Chief: Stephen H.S. WONG, Ph.D., FACSM.

(Department of Sports Science and Physical Education, The Chinese University of Hong Kong)

翻譯：余頌華（香港大學 運動及潛能發展研究所）

宋銀子（香港中文大學 兒科學系）

Translator:

Clare C.W. YU, Ph.D. (Institute of Human Performance, The University of Hong Kong)

Rita Y.T. SUNG, M.D. (Department of Paediatrics, The Chinese University of Hong Kong)

### 概要

負重的體育活動對廣譜人群的骨骼健康均有良好的影響。一些能產生相對強的負荷力 (loading forces) 的體育運動，如超等長訓練法(plyometrics)、體操(gymnastics)、及高強度抗阻運動(resistance training)，均能增加兒童及青少年骨質合成。亦有證據顯示，在兒童期，由運動所產生的骨質的增加可持續至成年，提示我們在兒童期養成作體育活動的習慣對骨骼健康有長遠持久的影響。目前，由於仍缺乏定量的劑量 - 反應研究(quantitative dose-response studies)，故對兒童及青少年如何能達至峰值骨質仍未能提供一套詳細的運動方案。但是，許多小型的隨機對照試驗(randomized controlled trials)均顯示，以下的運動方案能增加兒童及青少年骨質的合成:

**模式:**撞擊運動(impact activities)，例如體操(gymnastics)、超等長訓練法(plyometrics)，跳躍(jumping)和中等強度抗阻運動(resistance training); 參與的體育運動項目如跑步及有跳躍成份的(足球、籃球)，亦會對骨骼健康有好處，雖然在這方面仍缺乏科學的依據。

**強度:**高強度; 即高的骨負荷力(bone-loading forces)。基於安全的原因，抗阻運動少於最大重複次數(1-repetition maximum; 1RM)的百分之六十。

**頻率:**每週最少三次。

**時間:**10 至 20 分鐘(每天 2 次或以上會更為有效)。

在成年期，體育活動的首要目標應為維持骨質水平。成年人能否通過運動訓練以培加骨無機鹽密度(BMD)意見亦不一致。一些報告指出，成年人通過相對高強度的負重耐力(endurance)或抗阻力運動能增加骨無機鹽密度，但當停止運動時，骨無機鹽密度的增加便不能持續。一些觀察性研究(observational studies)指出，從事體育活動的人，縱使不是特別劇烈的體育活動，其骨無機鹽密度隨年齡增加而下降的情況減弱，而其發生骨折的危機亦相對減少。雖然如此，目前仍未有大型的隨機對照試驗去確認此觀察，亦沒有足夠的劑量 - 反應研究去檢測要達到這些好處所需的體育活動量。需要指出的是，雖然體育活動在某程度上可參與延緩老年骨質的下降，但現在也沒有很

強的證據去證明縱使是很劇烈的體育活動能減弱婦女停經後骨無機鹽的流失，故此，即使是習慣性從事體育活動的、停經的婦女，以藥物去預防骨質疏鬆症亦為適應證。由多項小型的隨機對照試驗及大型的觀察性研究，以下是幫助保持成長時期骨骼健康的建議運動處方：

**模式：**負重耐力活動(如網球、爬樓梯);至少在走路時間歇進行的緩步跑，包含有跳躍動作的活動(如排球、籃球)，及阻抗運動(舉重)。

**強度：**中等至強度，作用於骨的負荷力。

**頻率：**負重耐力活動每週 3-5 次，阻抗運動每週 2-3 次。

**時間：**每天 30 至 60 分鐘針對各主要肌群的、結合負重耐力活動，包括有跳躍動作的活動和阻抗運動。

現在仍未能很容易的按作用於骨的負荷力把運動強度分類，尤其是負重耐力活動。但一般來說，骨負荷力增加的多少與運動強度(按傳統的分類如最大運動心跳率百分比、最大強度百分比)的增加成正比。

對成年人從事一相對高水準的負重體育活動以促進骨骼健康這個建議一般沒有年齡限制。但隨著年齡的增加，則必須確保從事體育活動的安全。基於臥床制動對骨質流失所造成的迅速和明顯的影響，以及恢復活動後骨鹽水平亦難以回復原來水平，故即使是脆弱的老年人亦應盡量維持適量的體育活動，以保持骨骼的硬度。不論老年男性或女性，其運動處方不單要包括負重耐力和阻抗運動以保持骨質，也要包含一些改善平衡的活動以防止跌倒。終生保持高水準的體育應被視為促進和保持骨骼健康的重要良方。

## 引言

在白種停經後婦女中，骨質疏鬆症定義為骨質無機鹽密度 (BMD) 低於正常成年人的平均值的 2.5 個標準差以上 (52)，有或沒有伴隨骨折。究竟同樣的標準是否可應用在停經前婦女、其他種族的婦女、或在男性中仍有待查證。在美國及其它已發展國家，由於老年人口比例的上升，骨質疏鬆症的發生率是以高於預期的速度增加。多發性椎骨骨折、特別是盆骨骨折更對功能性能力及生活質量造成徹底的破壞。老年人在盆骨骨折後首年的死亡率更可高達 15 - 20% (105)。即使現在的發生率保持不變，據估計到 2025 年發生盆骨骨折的人數將會上升 2 倍至 2.6 百萬，男性比女性患者的百分比為高 (38)。

由於骨密度低增加微少創傷後骨折的危機，就如跌倒在地上，使骨質達至最大值和 / 或減低跌倒的危機的方案均有減低骨質疏鬆性骨折的發病率和死亡率的潛在能力。雖然骨質是可以通過藥物治療去增加，但體育活動卻是唯一既可增加骨質及其強度，又可減低老年人口跌倒的危機的治療。有一些骨骼健康與運動相關的問題，包括大量的訓練與壓力性骨折的危機，及由月經過多引起的骨質流失。但是，在這裏我們會集中論述體育活動對減低骨質疏鬆性骨折的效果，而不特別考慮到營養和遺傳因素的影響。

眾所周知的運動訓練原理也被應用到體育活動對骨頭的影響上。例如，超負荷必須作用於骨頭以刺激適應反應的產生，而持續的適應需要一漸進增加的負荷。重要強調的是，給予骨頭的刺激實際是破壞骨細胞的形態，而非來自活動有關的代謝或心血管方面的應激 (例如，%VO<sub>2max</sub>)。形態上的破壞可以拉力計在骨的表面去量度，但更常用以評估的替代方法為以負重運動時所產生的地面-反應力去量度。沒有地面-反應力的肌肉收縮力 (例如游泳)，也可刺激骨的形成，但這是更困難去量度的。這是由於骨頭對訓練的適應程為一緩慢的骨組織更換過程，這是不變的因素。因為一個骨的重建的週期大約需時 3 - 4 個月去完成骨質吸收，成形和無機鹽化 (85)，而要達到一個新的、穩定的又可供量度的骨質狀態，則最少需時 6 - 8 個月。

最常見用以量度人們體育活動對骨質影響的為骨無機鹽密度 (BMD)，其描述每單位面積或體積所含的無機鹽含量 (51)，雙能量 X - 光譜吸收儀 (DXA) 為在臨床或研究架構中面積性去量度骨無機鹽密度 (BMD) 的標準方法。腰椎及股骨近端為雙能量 X - 光譜吸收儀 (DXA) 最常用的量度部位，因兩者均有發生骨質疏鬆性骨折的傾向。其他用以評定骨質疏鬆危機的方法包括以電腦斷層掃描 (CT) 體積性量度椎骨 BMD，及在跟骨進行超音波掃描以提供骨頭的硬度指數。超音波掃描已廣泛被應用，其操作簡單，而且不需要受試者暴露於離子化的放射線中，故應被用作篩選檢查。

目前，骨無機鹽密度(BMD)為量度人們骨的強度的最佳替代品，而骨無機鹽密度 (BMD) 亦被評估為能描述骨強度的變化 (variance)多於 60% (20,125)；但是，在動物實驗中提出機械性刺激對骨無機鹽密度 (BMD) 的改變往往低估了其對骨強度的影響；舉例來說，骨無機鹽密度 (BMD) 提高 5-8%，證實與骨強度增加 64-87%相關 (48, 116)。骨頭的大小對骨強度有重要的參與，因骨對彎曲或扭力的阻抗與骨頭的直徑成指數的關係；再者，骨頭的大小在成人期中可繼續增加 (93)。由於骨的結構 (即幾何學) 為骨強度的一個重要決定因素 (104)，故評估機械性刺激對骨的影響不但要考慮骨質的改變，有可能時也要考慮結構性強度，物質及幾何方面的改變 (120)。

兩種能令骨骼更能抵抗骨折的、普遍被接受的方案分別為 1) 在 30 歲以前使 BMD 有最大的增長，及 2) 在 40 歲以後儘量減少由於內分泌改變，老化，體育活動的及其它因素引起的骨密度下降。因骨強度及骨折的抵抗不單憑骨的質量(以 BMD 評估)，亦有骨幾何學的因素，故一些方法如利用 DXA 的技術或周圍定量電腦掃描 (PQCT) 或高解像度核磁共振 (MRI) 去測定骨橫切面的幾何亦發展起來。跟骨的微結構，或稱骨小梁，(即椎骨體或長骨末端的梁狀結構) 在股骨頸、椎骨體和其他跟骨中骨質豐富的區域對機械性強度有重要的作用；但是，跟骨的微結構現在只可通過骨活檢來測定，而精密的高解像度核磁共振 (MRI) 分析，或最先進的微電腦斷層掃描 (CT) 儀器仍未能普遍應用。更多寶貴的資料可從人體的屍體樣本作機械性測試及把動物分別接受不同的訓練方案，再進行組織學及遺傳學方面的分析中獲得。最近在動物中能增強機械性負荷對骨源性反應的方案雖未能在人類中試驗，但相對能引起更多在這方面的研究 (116)。

本文的目的是去提供能增進骨骼健康的體育活動種類的建議。目前所知關於體育活動與 1) 增加峰值骨質，2) 減少與年齡有關的骨質流失，及 3) 防止跌倒及骨折受傷將會作進一步討論。

## 動物實驗

不同的動物實驗模式已經被利用於研究機械性負荷對骨骼的影響；而這一節則主要集中在老鼠實驗的模式上。運動中的不同因素特性會影響到骨頭的特質，包括骨頭的類型、強度、骨幹對負擔活動的持續能力與密度。而動物研究能容許我們對骨源性反應 (如骨的組成) 的影響因素有不同程度上的操控。

## 負荷的類型

若機械性壓力的性質為單一、多變的或是動態的，會對骨骼造成骨源性的影響。穩定的骨骼負荷 (即單一持續的力量的應用) 則不會產生適應性反應；而動態的骨骼負荷則會產生此反應 (11)。老鼠實驗用以評估不同類型的單一運動(即非日常籠內活動)，包括跑(趨導性或自願性的)、游泳、跳、站立、攀爬和阻抗訓練，對骨骼產生的骨源性反應。實驗的結果是不一致的，分別說明結構性機械性壓力能增加 (26, 40, 47, 48, 121, 127, 131) 或損害 (8, 26, 92, 132) 骨質，骨的形成，和/或結構性物質。一般來說適中強度的跑步和游泳對生長中或成熟的老鼠脛骨和股骨的皮質和骨小梁有正面的影響。反之強度過大或過多的運動會使骨質下降，骨小梁變薄和結構性物質的流失，

在成長中的老鼠尤為嚴重 (26, 47, 92, 132)。與人類阻抗運動相似的活動，包括跳高至一平臺，爬高塔，及模擬‘蹲’的運動，亦被證明對腓骨和脛骨的皮質及骨小梁有正面的影響。

其他的實驗模式主要為對動物體內施以外負荷，包括對尺骨的擠壓和對脛骨的四點彎曲，以評估機械性壓力對骨骼的影響。這種方法相對於以運動介入評估，更能準確地操控和量化機械性負荷的力量。多個研究均指出骨骼對機械性壓力有很強的適應性 (116)。例如，老鼠實驗中採用的四點彎曲模型的模式證明了當在每日負荷的迴圈中加以數個休息時段相隔，能有效地提高骨骼對負荷的源性反應 (116)；但這些結果暫未能證實是否和人類有關。

### 負荷的強度

與負荷強度有關的初級機械性參數包括拉力的大小與比率。拉力是用以量度外在負荷對骨骼造成損壞的影響，以骨頭受損的程度相對於其原來長度的比例為單位。長久以來拉力的大小都被認為對骨源性反應有著正面的關係；但累積的證據建議拉力的比率同樣為重要的因素 (11)。當負荷的頻率和最高拉力不變，發現拉力比率的增加對骨質的改變有正面的決定性因素 (11)。在體內撞擊負荷方案中 (27, 50)指出高拉力比率亦能增加內皮質區骨骼形成的比率。這些觀察性的結果強調進一步關於產生高拉力和比率的運動，如彈跳運動的骨源性反應的研究是需要的。

### 負荷的時間與頻率

在 Robin 與 Lanyon 的研究工作中 (102) 應用外負荷力證實只需數個相對高拉力負荷週期(如每日 36 次)便能達到骨質形成的反應，增加負荷週期至十次或以上並沒有額外的成效。同樣，在一負荷生理模型中，老鼠在四十釐米高處跳下，每日少至五次也能增加脛骨的骨質和強度，但當增加跳動次數至十次以上並沒有更進一步的得益 (118)。值得注意的是，在這些的研究中，拉力的程度似乎超過其在人類典型的體育活動中所產生的。至於負荷週期的頻率與強度（每日重複和每週節重複）對人類骨源性反應的結果則尚未明確。

最近的研究引證出一日多節的負荷期訓練，相對於一日一節的訓練更能對骨骼有刺激作用。老鼠的尺骨每日一節負重 360 次 (1 x 360)，經過十六周訓練後，比對側沒有負重的尺骨多吸收 94%的能量。然而，尺骨同樣接受 360 次舉重 (4 x 90)，但是分開四節進行，比對側沒有負重的尺骨多吸收 165%的能量 (116)。結果建議，骨細胞在經過若干迴圈後對機械性刺激失去敏感性，需要經過一段恢復期才能回復其對負荷的敏感度。據估計老鼠需要八小時才能完全恢復對負荷的敏感度，但短暫 (0.5 小時 - 1 小時) 的恢復期比沒有任何休息對骨源性刺激更好 (116)。對人類而言，究竟時間短而次數多的運動節數還是時間長而單一的運動節數對骨源性刺激會更好需要去探討。

### 其他考慮的因素

骨骼對機械性負荷的反應能力可取決於營養或內分泌限制和促進因素。例如當鈣不足，機械性負荷增加骨質的效果便會減弱 (66)。另一例子是雌激素的狀態：雌激素在骨質新陳代謝的作用中有著獨特的角色；但最近的研究指出骨細胞對機械性刺激的適應性反應有雌激素感受器的參與；當雌激素感受器受阻隔時，骨形成的反應亦受損 (133)。這些觀察可引出一個假設：停經後由於雌激素不足，使雌激素感受器的功能下調，這令骨頭對機械性負荷的敏感度下降。

骨的機械性傳導機制 (即如何把機械性力轉化為代謝性的信號) 依然需要更多的闡明；而找出在這機械性傳導通路中的重要元素將會更有效地解釋其在負荷對骨源性反應的影響。例如，據觀察，骨細胞受機械性負荷後，能產生前列腺素和一氧化氮，而阻礙其產生會對骨形成的反應造成損害 (16, 115)。這些從動物實驗轉換過來的資料以及骨細胞培養的研究將會對尋找使骨源性反應達最大效果的體育活動方案提供了重要的依據。

## 人類研究

體育活動在人類不同成長階段都扮演著重要的角色：在童年及青少年階段幫助骨質達峰值；在成年期至 50 歲期間有助保持骨質；在老年階段有助減慢骨質流失，及減少老人跌倒及骨折的機會。體育活動水平和骨質的關係的研究，以及一些關於骨折發生率、或評估體育活動水平的改變或參與運動課程對骨質反應的影響的研究亦被用作評估體育活動對骨骼健康的好處。在衡量運動課程對骨源性反應的影響時，有以下幾項原則需要注意：

**特异性：**只有受到日常負荷重量改變的骨骼部份作出適應

**超負荷：**只有超出骨幹日常承受的重量而產生的適應反應；要持續刺激骨質增長，便需循序漸進地增加骨骼的負荷。

**可逆轉性：**當體育活動明顯減少時，它為骨骼帶來好處便不能維持。但是我們對當運動計畫停止後骨質流失的速率在年輕人和老人中是否有所不同則未有深入的瞭解。

一直以來，體育活動和一些特別種類的運動與骨質的關係也有進行不同層面的研究。像早前提及過 (51, 123)，大部份的研究均為橫斷面的，比較非運動員和參與一系列體育項目的運動員骨質的情況、或比較報稱不經常進行體育活動和經常進行體育活動的人士骨質的情況。由於橫斷面研究存在著很多的固有因素，在這裏只會作簡單的介紹。體育活動和運動訓練的改變對骨質的反應也被評估，包括追蹤性研究（例如，運動員在高峰和非高峰季節訓練週期的隨訪）和對照介入試驗，當中包括體育活動的增加（例如運動訓練）或減少（例如臥床）。或許機械性負荷對骨質硬度的重要性最有力證據，在於一些如臥床、太空漫遊和脊椎受傷的研究顯示，當機械性負荷作用於骨的強度明顯減少時，骨質便有明顯的流失 (31)。

## 體育活動在童年及青少年期間使骨質達最大值的角色

骨質疏鬆危機的主要因素，在於童年及青少年期間所能達到的最高骨質量。一些橫斷面研究提出，骨小梁可早在 30 歲時開始流失，而皮質骨在 50 歲之前可增加或保持穩定 (74, 100)。一項縱向研究指出健康婦女的皮質和骨小梁的骨質仍會繼續有輕微的增長直至 30 歲。

據觀察，積極參與體育活動的兒童，其骨質會較不積極參與體育活動的兒童為高 (108)，而參與能產生高撞擊力的活動（如體操、芭蕾舞）的兒童，相對於參與只引起低撞擊力的活動（如走路）和不需負重的運動（如游泳）的兒童，有較高的骨質含量 (12,19,58)。基於高強度而快速的力量較低至中等強度的力量能產生更多骨質的增加的這個理論 (29,70,72,78,83,96)，最近有研究集中於跳躍和其他高撞擊運動對骨質的影響。跳躍動作所產生的地面反應力，可達體重的六至八倍；而體操中的某些動作所產生的反應力更可達體重的十至十五倍；對比起來，走路和跑出的反應力則只是體重的一至兩倍 (79)。這些研究都普遍認為，參與實驗性高撞擊跳躍及柔軟體操的兒童其骨質較參與一般運動的兒童有更大程度的增加。一項研究把舉重加插在高撞擊負荷運動中，結果發現盆骨、椎骨及全身的骨質更有明顯的增長(83)。就以上引述研究所得，兒童的體育活動應建議包括能產生高地面反應力的活動，如跳躍、跳繩、跑步與力量訓練。

據研究報導，骨無機鹽增長的峰值發生在青春期 (26)；而有 26%的成年人全身的總骨無機鹽含量更在這段時期中的兩年間完成增長 (3)。因此，青春期前後的時間或許可代表一相對短的視窗期去使骨密度達最大峰值。橫斷面研究顯示，男性及女性青年運動員比非運動員有較高的、特定部位的 BMD 增長 (123)。在參與能產生高強度地面或關節反應力的體育項目（如體操、舉重）的運動員中，BMD 增長的效果更為明顯。相對來說，在參與只產生低強度負荷力的運動員，BMD 增長的效果則不大明顯。

有少量關於女性運動員的運動介入研究，卻有相反的結果。無論經過六個月的阻抗訓練 (7)、九個月的阻抗訓練及加上重量腰帶的超等長訓練 (129)、或九個月的踏步有氧運動及超等長訓練 (44)，BMD 也沒有明顯改變。相反，經過三年的藝術體操訓練 (65)，或十五個月的阻抗訓練 (89)，BMD 也有明顯增加。這些能引起或不能引起運動效果的研究，最主要的分別為運動介入時間的長短。但是，由於參與研究的人數較少，所以在分析時要份外小心。目前仍沒有設計完善的研究能隔離了運動訓練時間的長短對骨反應的影響，而獨立的瞭解運動量或運動強度對骨密度的影響。

有三項研究嘗試去厘定在青春期前後的什麼時間體育活動或訓練對骨骼的影響是最具反應性的。其中一項研究探討九個月的踏步有氧運動和超等長訓練對未來月經及已來月經的女孩的骨無機鹽含量的影響；對照組與實驗組的來經情況相同。運動後 BMC 在未來月經的女孩中有明顯增加 (44)。另一項研究探討青春期前 (Tanner Stage I) 及青春期早期 (Tanner Stage II & III) 的女孩經七個月的超等長訓練對其骨無機鹽含量及骨密度的影響。結果發現與對照組比較，骨質在青春期早期的女孩有明顯增加，但在青春期前的女孩則沒有明顯變化 (71)。一個橫斷面研究將青年女網球員和一批發育程度相近的對照組的左右側肱骨的骨密度作比較 (39)。屬 Tanner Stage I (9.4 歲) 的網球員和對照組在的左右兩側肱骨密度差別程度相若，但網球員的左右兩側肱骨密度差別在往後的 Tanner Stage II (10.8 歲)，Tanner Stage III (12.6 歲)，和 Tanner Stage IV (13.5 歲) 會漸進的有較大的差別，直至到了 Tanner Stage V (15.5 歲)，差別達峰而變得平穩。就以上觀察所得，骨質對機械性刺激似乎在 Tanner Stage II 至 Tanner Stage IV 期為最明顯。這正與上文提及的在青春期附近為期兩年的供骨密度達峰的視窗期相近 (3)。

目前仍需要進一步的研究去闡明最佳的運動種類和時間以增加骨質量以及在成長期中什麼時間對使用負荷最有效。現在的證據亦支持以上探討過的兒童運動處方（即相對高的撞擊力及強化肌力運動，如超等長訓練、體操、足球、排球及阻抗訓練）。如能在青春期前或青春期早期開始這些活動，則對骨質的增長應最為有效。再者，因骨的幾何結構對骨的強度也有重要的影響 (96)，而在生長期中，骨的幾何因素能對機械性刺激起反應，故在兒童及青少年中，運動對骨幾何結構的影響是重要的一環。

### 體育活動在年青成年期的角色

由於骨質的增長被認為是在 30 歲左右前達峰值，年青成年期便應為骨質增加的最後機會。很多橫斷面研究指出，參與不同體育項目的男女運動員與非運動員比較，他們有更高的特定部位的骨密度 (123)。骨密度在參與高強度負重運動，如體操，舉重，健身等的運動員中傾向為最高，而參與非負重運動如游泳的運動員，其骨密度則傾向為最低。如上文所提及，橫斷面研究有很多固有的限制，例如有遺傳、自身選擇、飲食、荷爾蒙及其它等因素干擾。

有極少數追蹤性、對照研究對運動員在訓練期和停止訓練期的骨質量的轉變作了監測。國家級的男性網球員雙側手臂骨質量的差別 (13-25%) 顯著大於對照組 (1-5%)，而這種情況能維持到退休後四年 (63)。對跑步運動員、划艇手、力量運動員，和體操選手進行為期七個月至兩年的研究，發現他們在訓練期間，所參與運動需骨骼負重的部位骨質含量和骨密度均有明顯增長 (1-5%) (123)。在跟進 2 年的競技性體操運動員中 (111)，骨密度在賽季時有所增加 (2-4%)，而在賽季後則減少 (1%)。

多項運動介入研究對從前不經常進行體育活動的女性進行了為期六至三十六個月不等的訓練，去評估那些產生相對高地面-反應和 / 或關節-反應力的運動 (如阻抗訓練、超等長訓練) 對骨質的影響。大部份的均結果顯示，股骨頸及 / 或腰椎的骨密度有明顯增長 (1-5%) (4, 5, 28, 43, 68, 77, 112, 128)。

在三項有關阻抗訓練的研究中，其中兩項研究的訓練強度為輕微至中等 (1RM 的 60%)，並未能引起骨密度有明顯的改變。而在第三個研究中，訓練的為高強度的 (即 1RM 的 80%；五組；每組重複十次；每星期四日) (122)，但這項研究的只進行了單側腿部的按壓訓練，而且由於是坐著進行的，故並沒有對腰椎和股骨頸帶來特定的負重刺激 (109)。有兩項研究得出相對高撞擊的運動反而令骨密度減少的預料以外的結果。其中一項 (101) 研究在進行了中等強度 (1RM 的 70%) 為期九個月的阻抗訓練後，受試者股骨頸的骨密度沒有變化，但腰椎的骨密度則減少了 4%；另外的一項研究 (124) 在經過兩年的阻抗訓練及跳繩運動後，受試者整體的骨質含量有明顯增長 (1-2%)，椎骨密度則無明顯改變 (1%)，而股骨頸骨密度更明顯減少 (1.5%)。但是，這項研究的受試者對訓練的參與性低 (45%)。因此，雖然有證據顯示運動訓練能增加成人女性的骨密度，很多因素如負荷力的強度、於特定部位的運動、及對運動訓練的參與性也是衡量相對效果的重要決定因素。

產生高強度負荷力的運動訓練 (如張力大的) 也能產生身體組成 (如脂肪及無脂肪組織) 和肌肉強度的改變。這兩者的改變與機械性負荷對骨密度的直接影響，有著潛在性的加和相互作用因而刺激起業界對此的興趣。在幾項研究中，身體質量、脂肪、無脂肪組織、及強度與全身及局部的骨密度均呈顯著性相關，而這些因素能解釋 50% 骨密度的變化 (109,113)。與其他運動員比較，舉重運動員典型地有高水準的無脂肪組織及肌肉強度，而骨密度亦傾向是運動員當中最高的。運動例如舉重，是通過關節-反應力 (即肌肉收縮) 去引入負荷力予骨頭，骨質含量的增加似乎要在該運動達足夠強度去引起肌肉的增加時才會發生。

雖然包含有高強度骨負荷的體育活動為提高及維持年青成人的骨質含量的建議，但若有荷爾蒙或膳食缺乏或有過度使用綜合征，則此等運動的好處便不能顯現出來。女性運動員三聯征，包括有飲食失調、閉經、和骨質疏鬆症，便為一個運動沒發揮其效用去抵抗對骨骼健康有害的因素的例子；這課題在 ACSM Position Stand 中亦有作探討 (94)。鈣和其他營養成份缺乏可限制運動的骨源性反應 (67) 和過度使用綜合征例如由過度重複的負荷力引起的壓力性骨折 (10) 的課題也曾被論述。

### 體育活動對中老年人的重要性

在四十歲以後，骨質每年平均減少百分之零點五或以上，程度會因性別和種族的不同而有所差異。在這裏要特別強調的是，運動對中老年人的好處可反映在骨質流失的減慢，而不是增加骨質；骨質流失的速度視乎骨骼不同的部位而有所不同，更受到一些因素如遺傳、營養、激素水平及日常體育活動的影響；故要評定由老化過程所致的骨質下降程度會有一定困難。婦女停經後由於雌激素水平的下降導致骨質迅速流失與老年性骨質慢慢減少的情況很不同；以停經前後的運動員作比較，結果顯示縱使非常重量的體育活動亦未能防止由停經所引發的骨無機鹽流失 (32,41,59,81,103)。目前仍未有介入性的研究去探討運動是否能減慢正處於停經期轉變中 (perimenopausal) 的婦女的骨質流失。一項護士健康研究 (24) 就激素治療及進行體育活動與盆骨骨折發生的相對危機之間的關係進行了調查，結果顯示接受激素治療的婦女其與少從事體育活動而又沒有接受激素治療的婦女比較，盆骨骨折的危機減低約百分之六十至七十；這仍未有評估她們的體育活動水平。而在沒有接受激素治療的婦女，她們當中活動水平最高那一組 (>24 MET · h · wk<sup>-1</sup>)，其盆骨骨折的危機亦減少百分之六十七，提示高水準的體育活動能防止骨折發生，即使其未能延緩骨質流失，雖然脂肪亦佔有一定的比例，但無脂肪體重在老年人骨質中仍占最大比例 (與身體重量和脂肪量相比) (1,6)。故此，那些能幫助保持肌肉量的體育活動 (如阻抗運動) 亦能有效保持骨質。

在過去三十年中，運動介入對停經後婦女骨質的影響已得到相當的重視；運動處方包括有快步走路、緩步口人跑、上下樓梯、划艇、舉重、及/或跳繩，而從已發表研究中的綜合統計分析普遍認為對老年婦女來說，多種運動也感有效的保存其骨質 (54,55)。

維期多至一年的走路運動計畫，對保存骨質只能有少量的效果 (88)，或甚至沒有效果 (13,88)。這並不驚奇，因走路並不能產生高強度負荷力，或在對大多數人中並不能給予骨頭特別的刺激。這些結果並未能排除由於多年的慣常走路對保持骨質已有幫助的可能性。研究包括有高強度負荷力的活動，例如爬樓梯及緩步跑，並遍能對骨骼有更正面的反應 (17,23,60,90,95,98)。

在雌激素缺乏 (22,56,57,60,82,87) 和正接受激素治療 (35,82) 的婦人中，進行包括有漸進式高強度阻抗訓練的運動介入試驗，證實能增加其盆骨及脊椎的骨無機鹽密度(BMD)。相比較之下，中等強度的阻抗訓練則未能達到相同程度的骨盆骨無機鹽密度的增加 (56,57)。在一項研究中，骨無機鹽密度的增加與在漸進式高強度阻抗訓練的所舉重的總重量成線性相關 (22)。

對停經後婦女來說，跳繩運動動作(如直立式跳高)的骨源性反應不及在兒童及成年人中理想。在停經前婦女跳繩運動能增加其骨盆骨無機鹽密度，但在停經後無接受激素治療(HT)的婦女中，即使運動計畫的時間加長，骨盆骨無機鹽密度亦未見增加 (5)。雖然未達到顯著性差異，在停經後接受 HT 的婦女其在運動訓練後骨無機鹽密度的增長介乎停經前和停經後無接受 HT 的婦女之間。必須提出的是：試驗中的運動刺激是恒定的，而非像往常漸進式的運動處方。在一項為期五年有關停經婦女的研究中，運動組穿著平均重 5 千克的重量背心進行跳躍活動，與對照組比較，運動組能更大程度的保存盆骨骨無機鹽密度 (110)。目前有些初步的證據顯示，結合運動和雙磷酸鹽 (bisphosphonate) 治療能有效預防骨質疏鬆性骨折的發生 (119)。

最近有研究指出，雌激素受體拮抗劑能減弱骨細胞對機械性刺激的反應 (15)。此論點提出了停經後由於雌激素的缺乏減低了骨對機械性負荷的敏感度從而引致雌激素受體下調現象發生的可能性 (49)。事實上，有證據顯示，停經後接受激素治療的婦女與沒有接受激素治療的婦女比較，從事能產生高強度負荷力的運動後能更有效增加骨密度 (61,62,82,90)，雖然此結論並不完全一致 (42)。而究竟機械性刺激和激素是否獨立地影響骨骼，又或是激素調節骨骼對機械刺激的反應仍不清楚。

大量預防骨質疏鬆的研究多集中在婦女中，這是有因為男性中骨質疏鬆性骨折的發生率在八十至九十歲前並無明顯增加 (21)。因此，那些關於體育活動對維持男性骨骼健康的效果的研究數量很少。不過，隨著老年男性的人數漸增，這些研究便漸趨重要。

在一項對 4254 名年齡介乎 20 至 59 歲男性的研究發現，骨密度與緩步跑有很強的關係 (86)。男仕若每月作緩步跑 9 次或以上，其骨密度會較跑步次數較少的男仕為高。在一為期 5 年的對中老年跑手的預期描述性研究中，發現跑手的骨質流失速度較對照組為慢 (81)。而在跑手中，又以明顯減少其跑步總量的男仕其骨密度的下降最明顯。從已發表的關於運動介入研究的文憲所作的各項綜合統計分析所得的結論為運動能改善或維持男性的骨密度 (53)。

幾項研究評估了阻抗運動對老年男性骨質的影響 (9,73,76,80,130)。其運動的持續時間由 3 至 24 個月，運動強度由中等至高強度。除了一項研究以外 (76)，其餘的均證實了阻抗訓練對骨密度有好的影響，而影響最常見於股骨。那項未有證實阻抗訓練的好處的研究採用了中等強度的運動。通常來說，男性在運動後骨密度改善的幅度與在女性中觀察到的相似，雖然在心臟移植的男性病人中進行 6 個月的阻抗試驗後，其骨密度的增加會更大 (9)。因此，能幫助老年婦女保持骨質的各種運動計畫對男性也會有效。

## 體育活動與骨折危機

骨質疏鬆性骨折會因較弱的骨頭受微少創傷而發生，這是由於該處的骨密度低或幾何學方面不利的因素造成 (例如，股骨頸近端的長度或角度)。骨質疏鬆性骨折最常發生的部位為橈骨遠程，脊椎骨，股骨頸及股骨頭。現在仍未有隨機對照試點去檢測運動對減低骨折的效果，而要進行這些試驗亦具相當的難度，其中一個原因是這些試驗需要很大的樣本數目，也需要很長時間的觀察才能完成。一項關於停經後婦女的小型研究得出令人鼓舞的結果 - 該項研究發現經過兩年背



肌強化的鍛煉能減少往後八年椎骨骨折的發生率 (106)。但是，從追蹤性研究所得的關於體育活動減低椎骨和腕骨骨折發生率的證據仍不多 (36)。

流行病學研究中，有不少的證據顯示，不常進行體育活動為盆骨骨折的一項危險因素。經常進行體育活動的人，其盆骨骨折的發生率較不經常進行體育活動的人低 20 - 40% (37,75)。而長期不進行體育活動的老年女性和男性（即甚少爬樓梯，栽種或其他負重活動），其發生盆骨骨折的機會較經常進行體育活動者高出兩倍，縱使調整了他們的其他因素如身體質量指數，吸煙，酒精攝入及日常活動的獨立性等差異 (18)。一項對多於 30,000 名丹麥男性及女性進行的追蹤性研究顯示，經常進行體育活動的人若變得停止體育活動，其盆骨骨折的發生率會較一直保持經常進行體育活動的人高出兩倍 (45)。在一項芬蘭學生兒的調查中，經常積極參與體育活動的男性其發生盆骨骨折的相對危機較不積極參與體育活動的男性低 62% (64)。而有超過 61,000 名停經後女性參與的護士健康研究指出，若每週作 1 小時 3 MET 的體育活動，即大約相等於每週 1 小時的走路，則發生盆骨骨折的相對危機會減少 6% (24)。有趣地，那些彙報她們每週走路至少 4 小時的婦女，其發生盆骨骨折的危機較那些不經常進行體育活動的、每週走路少於 1 小時的婦女低 41%。由此顯示，就算是低強度負重運動，如走路，也有減低骨折危機的好處，即使其只能對骨密度作很少的改變。

定期的體育活動可通過保存骨質及 / 或減少跌倒受傷的發生從而防止骨折。很多因素可以導致跌倒，包括體位控制減弱，視力不良，肌肉強度減低，下肢動作幅度減少，認知力受損，及一些外在因素如精神性藥物和興奮劑。運動治療會對減少跌倒有效，若果物件為其跌倒的原因包括那些可通過運動去改善的因素（例如，肌肉強度差，平衡和動作幅度）。文憲回顧和隨機試驗的綜合統計分析 (14,30,37) 提出，包括有平衡，腳的強度，柔軟度及 / 和耐力的訓練可有效減少老年人跌倒的危機。

必須指出的是，有些研究只能找到運動介入對跌倒發生率有很少或沒有影響 (69, 84)。最近一項 Cochrane 資料庫回顧指出運動本身不能減低老年男性或女性跌倒的危機 (33)。其中一個原因導致其缺乏正面影響的，是那些研究常常針對體弱的、居住在護老院的老人。這些老人似乎擁有很多可致跌倒的危險因素，而這些因素相信亦不能由運動去改變（例如：視力差）。再者，若運動強度太低（常見於對體弱老人的研究），則肌肉強度只能有很少的增長去減低跌倒的危機。最後，我們仍要知道隨著人們變得更經常進行體育活動，尤其是在寓所居住的老人，其跌倒的機會亦可能會增加 (97,114)。

那種最能減少跌倒發生的運動方案仍不大清楚 (14)，因為那些具正面或負面結果的研究所採用的活動種類（即以強度、耐力、平衡和柔軟度、運動的時間和訓練的頻率為方向的）也有很大程度的相同 (51)。當中平衡的訓練似乎是這些運動處方的重要環節，故此亦應把其包括在那些針對有跌倒危機的老年人的運動處方中。改善肌肉強度亦被視為其中最有效的方法去減低老年人跌倒及骨折的發生率，因其對多項骨折的危險因素例如骨密度低，走路速度慢，低水平吸收能量的軟組織及制動都有好的影響 (75)。有進一步的證據認為，在接受阻抗訓練後，功能性能力的提高，可促進年紀稍大的 (46) 及住在護理院的年紀老邁的老人 (25) 參與體育活動的自發性。對體弱的老年人作相對高強度運動的能力常慣性的被低估，然而，要成立一些以強度訓練去增加肌肉強度及增強功能能力 (25) 的社區計畫的可能性似乎受到要在研究架構以外去執行這些計畫的難度所限。

## 結論

負重的體育活動對廣譜人群的骨骼健康有良好影響。一些能產生相對強的負荷力的體育運動，如超等長訓練法、體操、及高強度阻抗運動，均能增加兒童及青少年骨質合成。這與動物實驗中機械性刺激引起的骨源性反應可在動力負荷產生的高拉力及速率作用下達到最大化一致。再

者，目前也有證據顯示在童年時期由運動產生的骨質增加可持續至成年，提示在童年期體育運動的習慣對骨骼健康有長遠的良好影響。現在未能詳細論述能幫助骨質過峰的對兒童及青少年的運動計畫，這是因為量的劑量－反應研究仍然缺乏。但是，許多小型的隨機對照試驗均顯示，以下的運動方案能增加兒童及青少年骨質的合成：

**模式：**撞擊運動，例如體操、超等長訓練法，跳躍和中等強度抗阻運動；參與的體育運動項目如跑步及有跳躍成份的(足球、籃球)，亦會對骨骼健康有好處，雖然在這方面仍缺乏科學的依據。

**強度：**高強度；即高的骨負荷力。基於安全的原因，抗阻運動少於最大重複次數(1RM)的百分之六十。

**頻率：**每週最少三次。

**時間：**10 至 20 分鐘(每天 2 次或以上會更為有效)。

成年期作體育活動的首要目標應為維持骨質水平。成年人能否通過運動訓練來增加骨無機鹽密度(BMD)的意見仍不一致。一些報告指出，成年人通過相對高強度的負重耐力或抗阻力運動能增加骨無機鹽密度，但當停止運動時，骨無機鹽密度的增加便不能持續。一些觀察性研究指出，從事體育活動的人，縱使不是特別劇烈的體育活動，其骨無機鹽密度隨年齡增加而下降的情況減弱，而其發生骨折的危機亦相對減少。雖然如此，目前仍未有大型的隨機對照試驗去確認此觀察，亦沒有足夠的劑量－反應研究去檢測要達到這些好處所需的體育活動量。動物研究中顯示機械性負荷所產生的骨強度的改善(即對骨折的抵抗)不成正比的大於骨質的增加。這支援了即使沒有骨質無機鹽密度(BMD)的改變，體育活動也可減低骨折危機的論點。要在人類中證實此點，必需作大型的關於體育活動對骨折發生率的影響的隨機對照試驗去論證，雖然進一步技術的提高使之能在活體中測定骨強度可對此問題提供更深刻的瞭解。從多項小型的關於以運動去增加或維持骨質無機鹽密度的效果隨機對照試驗顯示，維持高水準的日常體育活動，對成人的骨骼健康會有良好的影響，正如美國普通外科醫生建議(117)，若這些活動的性質為負重的。重要指出的是，雖然體育活動可能抵消某程度的隨年齡下降的骨質，但現在也沒有很強的證據去證明縱使是很劇烈的體育活動能減弱婦女停經後骨無機鹽的流失，故此，即使是習慣性從事體育活動的、停經的婦女，以藥物去預防骨質疏鬆症亦為適應證。由多項小型的隨機對照試驗及大型的觀察性研究，以下是幫助保持成長時期骨骼健康的建議運動處方：

**模式：**負重耐力活動(如網球、爬樓梯)；至少在走路時間歇進行的緩步跑，包含有跳躍動作的活動(如排球、籃球)，及阻抗運動(舉重)。

**強度：**中等至強度，作用於骨的負荷力。

**頻率：**負重耐力活動每週 3-5 次，阻抗運動每週 2-3 次。

**時間：**每天 30 至 60 分鐘針對各主要肌群的、結合負重耐力活動，包含有跳躍動作的活動和阻抗運動。

對成年人從事某種水平相對較高的負重體育活動可以促進骨骼健康，此建議一般沒有年齡限制。但隨著年齡的增加，必須確保從事體育活動的安全。基於臥床制動對骨質流失所造成的快速、明顯的影響，以及恢復活動後骨鹽水平仍難以回復至原來水平，故即使是脆弱的老年人亦應盡量維持適量的體育活動，以保持骨骼的硬度。不論老年男性或女性，其運動處方不單要包括負重耐力和阻抗運動以保持骨質，也要包含一些改善平衡的活動以防止跌倒。終生保持高水準的體育活

動應被視為促進和保持骨骼健康的重要良方。關於有效發展和維持骨骼硬度和減少骨折危機的體育活動種類的厘定，還需要未來進一步的研究。

**參考文獻（略）**