

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.

体育活动与骨骼健康

总编译: 王香生 (香港中文大学 体育运动科学系)

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

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

翻译: 余颂华 (香港大学 运动及潜能发展研究所)

宋银子 (香港中文大学 儿科学系)

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

负重的体育活动对广谱人群的骨骼健康均有良好的影响。一些能产生相对强的负荷力 (loading forces) 的体育运动, 如超等长训练法(plyometrics)、体操(gymnastics)、及高强度抗阻运动(resistance training), 均能增加儿童及青少年骨质合成。亦有证据显示, 在儿童期, 由运动所产生的骨质的增加可持续至成年, 提示我们在儿童期养成作体育活动的习惯对骨骼健康有长远持久的影响。目前, 由于仍缺乏定量的剂量 - 反应研究(quantitative dose-response studies), 故对儿童及青少年如何能达至峰值骨质仍未能提供一套详细的运动方案。但是, 许多小型的随机对照试验(randomized controlled trials)均显示, 以下的运动方案能增加儿童及青少年骨质的合成:

模式: 撞击运动(impact activities), 例如体操(gymnastics)、超等长训练法(plyometrics), 跳跃(jumping) 和中等强度抗阻运动(resistance training); 参与的体育运动项目如跑步及有跳跃成份的(足球、篮球), 亦会对骨骼健康有好处, 虽然在这方面仍缺乏科学的依据。

强度: 高强度; 即高的骨负荷力(bone-loading forces)。基于安全的原因, 抗阻运动少于最大重复次数(1-repetition maximum; 1RM)的百分之六十。

频率: 每周最少三次。

时间: 10 至 20 分钟(每天 2 次或以上会更为有效)。

在成年期, 体育活动的首要目标应为维持骨质水平。成年人能否通过运动训练以培加骨无机盐密度(BMD)意见亦不一致。一些报告指出, 成年人通过相对高强度的负重耐力(endurance)或抗阻力运动能增加骨无机盐密度, 但当停止运动时, 骨无机盐密度的增加便不能持续。一些观察性研究(observational studies)指出, 从事体育活动的人, 纵使不是特别剧烈的体育活动, 其骨无机盐密度随年龄增加而下降的情况减弱, 而其发生骨折的危机亦相对减少。虽然如此, 目前仍未有大型的随机对照试验去确认此观察, 亦没有足够的剂量 - 反应研究去检测要达到这些好处所需的体育活动量。需要指出的是, 虽然体育活动在某程度上可参与延缓老年骨质的下降, 但现在也没有很

强的证据去证明纵然是很剧烈的体育活动能减弱妇女停经后骨无机盐的流失，故此，即使是习惯性从事体育活动的、停经的妇女，以药物去预防骨质疏松症亦为适应证。由多项小型的随机对照试验及大型的观察性研究，以下是帮助保持成长时期骨骼健康的建议运动处方：

模式：负重耐力活动(如网球、爬楼梯)；至少在走路时间歇进行的缓步跑，包含有跳跃动作的活动(如排球、篮球)，及阻抗运动(举重)。

强度：中等至强度，作用于骨的负荷力。

频率：负重耐力活动每周 3-5 次，阻抗运动每周 2-3 次。

时间：每天 30 至 60 分钟针对各主要肌群的、结合负重耐力活动，包含有跳跃动作的活动和阻抗运动。

现在仍未能很容易的按作用于骨的负荷力把运动强度分类，尤其是负重耐力活动。但一般来说，骨负荷力增加的多少与运动强度(按传统的分类如最大运动心跳率百分比、最大强度百分比)的增加成正比。

对成年人从事一相对高水平的负重体育活动以促进骨骼健康这个建议一般没有年龄限制。但随着年龄的增加，则必须确保从事体育活动的安全。基于卧床制动对骨质流失所造成的迅速和明显的影响，以及恢复活动后骨盐水平亦难以回复原来水平，故即使是脆弱的老年人亦应尽量维持适量的体育活动，以保持骨骼的硬度。不论老年男性或女性，其运动处方不单要包括负重耐力和阻抗运动以保持骨质，也要包含一些改善平衡的活动以防止跌倒。终生保持高水平的体育应被视为促进和保持骨骼健康的重要良方。

引言

在白种停经后妇女中，骨质疏松症定义为骨质无机盐密度 (BMD) 低于正常成年人的平均值的 2.5 个标准差以上 (52)，有或没有伴随骨折。究竟同样的标准是否可应用在停经前妇女、其它种族的妇女、或在男性中仍有待查证。在美国及其它已发展国家，由于老年人口比例的上升，骨质疏松症的发生率是以高于预期的速度增加。多发性椎骨骨折、特别是盆骨骨折更对功能性能力及生活质量造成彻底的破坏。老年人在盆骨骨折后首年的死亡率更可高达 15 - 20% (105)。即使现在的发生率保持不变，据估计到 2025 年发生盆骨骨折的人数将会上升 2 倍至 2.6 百万，男性比女性患者的百分比为高 (38)。

由于骨密度低增加微少创伤后骨折的危机，就如跌倒在地上，使骨质达至最大值和 / 或减低跌倒的危机的方案均有减低骨质疏松性骨折的发病率和死亡率的潜在能力。虽然骨质是可以通过药物治疗去增加，但体育活动却是唯一既可增加骨质及其强度，又可减低老年人口跌倒的危机的治疗。有一些骨骼健康与运动相关的问题，包括大量的训练与压力性骨折的危机，及由月经过多引起的骨质流失。但是，在这里我们会集中论述体育活动对减低骨质疏松性骨折的效果，而不特别考虑到营养和遗传因素的影响。

众所周知的运动训练原理也被应用到体育活动对骨头的影响上。例如，超负荷必须作用于骨头以刺激适应反应的产生，而持续的适应需要一渐进增加的负荷。重要强调的是，给予骨头的刺激实际是破坏骨细胞的形态，而非来自活动有关的代谢或心血管方面的应激 (例如， $\%VO_{2max}$)。形态上的破坏可以拉力计在骨的表面去量度，但更常用以评估的替代方法为以负重运动时所产生的地面-反应力去量度。没有地面-反应力的肌肉收缩力 (例如游泳)，也可刺激骨的形成，但这是更困难去量度的。这是由于骨头对训练的适应程为一缓慢的骨组织更换过程，这是不变的因素。

因为一个骨的重建的周期大约需时 3 - 4 个月去完成骨质吸收, 成形和无机盐化 (85), 而要达到一个新的、稳定的又可供量度的骨质状态, 则最少需时 6 - 8 个月。

最常见用以量度人们体育活动对骨质影响的为骨无机盐密度 (BMD), 其描述每单位面积或体积所含的无机盐含量 (51), 双能量 X - 光谱吸收仪 (DXA) 为在临床或研究架构中面积性去量度骨无机盐密度 (BMD) 的标准方法。腰椎及股骨近端为双能量 X - 光谱吸收仪 (DXA) 最常用的量度部位, 因两者均有发生骨质疏松性骨折的倾向。其它用以评定骨质疏松危机的方法包括以计算机断层扫描 (CT) 体积性量度椎骨 BMD, 及在跟骨进行超音波扫描以提供骨头的硬度指数。超音波扫描已广泛被应用, 其操作简单, 而且不需要受试者暴露于离子化的放射线中, 故应被用作筛选检查。

目前, 骨无机盐密度(BMD)为量度人们骨的强度的最佳替代品, 而骨无机盐密度 (BMD) 亦被评估为能描述骨强度的变化 (variance)多于 60% (20,125); 但是, 在动物实验中提出机械性刺激对骨无机盐密度 (BMD) 的改变往往低估了其对骨强度的影响; 举例来说, 骨无机盐密度 (BMD) 提高 5-8%, 证实与骨强度增加 64-87%相关 (48, 116)。骨头的大小对骨强度有重要的参与, 因骨对弯曲或扭力的阻抗与骨头的直径成指数的关系; 再者, 骨头的大小在成人期中可继续增加 (93)。由于骨的结构 (即几何学) 为骨强度的一个重要决定因素 (104), 故评估机械性刺激对骨的影响不但要考虑骨质的改变, 有可能时也要考虑结构性强度, 物质及几何方面的改变 (120)。

两种能令骨骼更能抵抗骨折的、普遍被接受的方案分别为 1) 在 30 岁以前使 BMD 有最大的增长, 及 2) 在 40 岁以后尽量减少由于内分泌改变, 老化, 体育活动的及其它因素引起的骨密度下降。因骨强度及骨折的抵抗不单凭骨的质量(以 BMD 评估), 亦有骨几何学的因素, 故一些方法如利用 DXA 的技术或周围定量计算机扫描 (PQCT) 或高解像度核磁共振 (MRI) 去测定骨横切面的几何亦发展起来。跟骨的微结构, 或称骨小梁, (即椎骨体或长骨末端的梁状结构) 在股骨颈、椎骨体和其它跟骨中骨质丰富的区域对机械性强度有重要的作用; 但是, 跟骨的微结构现在只可通过骨活检来测定, 而精密的高解像度核磁共振 (MRI) 分析, 或最先进的微电脑断层扫描 (CT) 仪器仍未能普遍应用。更多宝贵的数据可从人体的尸体样本作机械性测试及把动物分别接受不同的训练方案, 再进行组织学及遗传学方面的分析中获得。最近在动物中能增强机械性负荷对骨源性反应的方案虽未能在人类中试验, 但相对能引起更多在这方面的研究 (116)。

本文的目的是去提供能增进骨骼健康的体育活动种类的建议。目前所知关于体育活动与 1) 增加峰值骨质, 2) 减少与年龄有关的骨质流失, 及 3) 防止跌倒及骨折受伤将会作进一步讨论。

动物实验

不同的动物实验模式已经被利用于研究机械性负荷对骨骼的影响; 而这一节则主要集中在老鼠实验的模式上。运动中的不同因素特性会影响到骨头的特质, 包括骨头的类型、强度、骨干对负担活动的持续能力与密度。而动物研究能容许我们对骨源性反应 (如骨的组成) 的影响因素有不同程度上的操控。

负荷的类型

若机械性压力的性质为单一、多变的或是动态的, 会对骨骼造成骨源性的影响。稳定的骨骼负荷 (即单一持续的力量的应用) 则不会产生适应性反应; 而动态的骨骼负荷则会产生此反应 (11)。老鼠实验用以评估不同类型的单一运动(即非日常笼内活动), 包括跑(趋导性或自愿性的)、游泳、跳、站立、攀爬和阻抗训练, 对骨骼产生的骨源性反应。实验的结果是不一致的, 分别说明结构性机械性压力能增加 (26, 40, 47, 48, 121, 127, 131) 或损害 (8, 26, 92, 132) 骨质, 骨的形成, 和/

或结构性物质。一般来说适中强度的跑步和游泳对生长中或成熟的老鼠胫骨和股骨的皮质和骨小梁有正面的影响。反之强度过大或过多的运动会使骨质下降，骨小梁变薄和结构性物质的流失，在成长中的老鼠尤为严重 (26, 47, 92, 132)。与人类阻抗运动相似的活动，包括跳高至一平台，爬高塔，及模拟‘蹲’的运动，亦被证明对腓骨和胫骨的皮质及骨小梁有正面的影响。

其它的实验模式主要为对动物体内施以外负荷，包括对尺骨的挤压和对胫骨的四点弯曲，以评估机械性压力对骨骼的影响。这种方法相对于以运动介入评估，更能准确地操控和量化机械性负荷的力量。多个研究均指出骨骼对机械性压力有很强的适应性 (116)。例如，老鼠实验中采用的四点弯曲模型的模式证明了当在每日负荷的循环中加以数个休息时段相隔，能有效地提高骨骼对负荷的源性反应 (116)；但这些结果暂未能证实是否和人类有关。

负荷的强度

与负荷强度有关的初级机械性参数包括拉力的大小与比率。拉力是用以量度外在负荷对骨骼造成损坏的影响，以骨头受损的程度相对于其原来长度的比例为单位。长久以来拉力的大小都被认为对骨源性反应有着正面的关系；但累积的证据建议拉力的比率同样为重要的因素 (11)。当负荷的频率和最高拉力不变，发现拉力比率的增加对骨质的改变有正面的决定性因素 (11)。在体内撞击负荷方案中 (27, 50)指出高拉力比率亦能增加内皮质区骨骼形成的比率。这些观察性的结果强调进一步关于产生高拉力和比率的运动，如弹跳运动的骨源性反应的研究是需要的。

负荷的时间与频率

在 Robin 与 Lanyon 的研究工作中 (102) 应用外负荷力证实只需数个相对高拉力负荷周期(如每日 36 次)便能达到骨质形成的反应，增加负荷周期至十次或以上并没有额外的成效。同样，在一负荷生理模型中，老鼠在四十厘米高处跳下，每日少至五次也能增加胫骨的骨质和强度，但当增加跳动次数至十次以上并没有更进一步的得益 (118)。值得注意的是，在这些的研究中，拉力的程度似乎超过其在人类典型的体育活动中所产生的。至于负荷周期的频率与强度（每日重复和每周节重复）对人类骨源性反应的结果则尚未明确。

最近的研究引证出一日多节的负荷期训练，相对于一日一节的训练更能对骨骼有刺激作用。老鼠的尺骨每日一节负重 360 次 (1 x 360)，经过十六周训练后，比对侧没有负重的尺骨多吸收 94%的能量。然而，尺骨同样接受 360 次举重 (4 x 90)，但是分开四节进行，比对侧没有负重的尺骨多吸收 165%的能量 (116)。结果建议，骨细胞在经过若干循环后对机械性刺激失去敏感性，需要经过一段恢复期才能回复其对负荷的敏感度。据估计老鼠需要八小时才能完全恢复对负荷的敏感度，但短暂 (0.5 小时 - 1 小时) 的恢复期比没有任何休息对骨源性刺激更好 (116)。对人类而言，究竟时间短而次数多的运动节数还是时间长而单一的运动节数对骨源性刺激会更好需要去探讨。

其它考虑的因素

骨骼对机械性负荷的反应能力可取决于营养或内分泌限制和促进因素。例如当钙不足，机械性负荷增加骨质的效果便会减弱 (66)。另一例子是雌激素的状态：雌激素在骨质新陈代谢的作用中有着独特的角色；但最近的研究指出骨细胞对机械性刺激的适应性反应有雌激素感受器的参与；当雌激素感受器受阻隔时，骨形成的反应亦受损 (133)。这些观察可引出一个假设：停经后由于雌激素不足，使雌激素感受器的功能下调，这令骨头对机械性负荷的敏感度下降。

骨的机械性传导机制 (即如何把机械性力转化为代谢性的信号) 依然需要更多的阐明；而找出在这机械性传导通路中的重要元素将会更能有效地解释其在负荷对骨源性反应的影响。例如，

据观察，骨细胞受机械性负荷后，能产生前列腺素和一氧化氮，而阻碍其产生会对骨形成的反应造成损害 (16, 115)。这些从动物实验转换过来的数据以及骨细胞培养的研究将会对寻找使骨源性反应达最大效果的体育活动方案提供了重要的依据。

人类研究

体育活动在人类不同成长阶段都扮演着重要的角色：在童年及青少年阶段帮助骨质达峰值；在成年期至 50 岁期间有助保持骨质；在老年阶段有助减慢骨质流失，及减少老人跌倒及骨折的机会。体育活动水平和骨质的关系的研究，以及一些关于骨折发生率、或评估体育活动水平的改变或参与运动课程对骨质反应的影响的研究亦被用作评估体育活动对骨骼健康的好处。在衡量运动课程对骨源性反应的影响时，有以下几项原则需要注意：

特异性：只有受到日常负荷重量改变的骨骼部份作出适应

超负荷：只有超出骨干日常承受的重量而产生的适应反应；要持续刺激骨质增长，便需循序渐进地增加骨骼的负荷。

可逆性：当体育活动明显减少时，它为骨骼带来好处便不能维持。但是我们对当运动计划停止后骨质流失的速率在年轻人和老人中是否有所不同则未有深入的了解。

一直以来，体育活动和一些特别种类的运动与骨质的关系也有进行不同层面的研究。像早前提及过 (51, 123)，大部份的研究均为横断面的，比较非运动员和参与一系列体育项目的运动员骨质的情况、或比较报称不经常进行体育活动和经常进行体育活动的人士骨质的情况。由于横断面研究存在着很多的固有因素，在这里只会作简单的介绍。体育活动和运动训练的改变对骨质的反应也被评估，包括追踪性研究（例如，运动员在高峰和非高峰季节训练周期的随访）和对照介入试验，当中包括体育活动的增加（例如运动训练）或减少（例如卧床）。或许机械性负荷对骨质硬度的重要性最有力证据，在于一些如卧床、太空漫游和脊椎受伤的研究显示，当机械性负荷作用于骨的强度明显减少时，骨质便有明显的流失 (31)。

体育活动在童年及青少年期间使骨质达最大值的角色

骨质疏松危机的主要因素，在于童年及青少年期间所能达到的最高骨质量。一些横断面研究提出，骨小梁可早在 30 岁时开始流失，而皮质骨在 50 岁之前可增加或保持稳定 (74, 100)。一项纵向研究指出健康妇女的皮质和骨小梁的骨质仍会继续有轻微的增长直至 30 岁。

据观察，积极参与体育活动的儿童，其骨质会较不积极参与体育活动的儿童为高 (108)，而参与能产生高撞击力的活动 (如体操、芭蕾舞) 的儿童，相对于参与只引起低撞击力的活动 (如走路) 和无需负重的运动 (如游泳) 的儿童，有较高的骨质含量 (12,19,58)。基于高强度而快速的力量较低至中等强度的力量能产生更多骨质的增加的这个理论 (29,70,72,78,83,96)，最近有研究集中于跳跃和其它高撞击活动对骨质的影响。跳跃动作所产生的地面反应力，可达体重的六至八倍；而体操中的某些动作所产生的反应力更可达体重的十至十五倍；对比起来，走路和跑出的反应力则只是体重的一至两倍 (79)。这些研究都普遍认为，参与实验性高撞击跳跃及柔软体操的儿童其骨质较参与一般运动的儿童有更大程度的增加。一项研究把举重加插在高撞击负荷运动中，结果发现盆骨、椎骨及全身的骨质更有明显的增长 (83)。就以上引述研究所得，儿童的体育活动应建议包括能产生高地面反应力的活动，如跳跃、跳绳、跑步与力量训练。

据研究报导，骨无机盐增长的峰值发生在青春期 (26)；而有 26% 的成年人全身的总骨无机盐含量更在这段时期中的两年间完成增长 (3)。因此，青春期前后的时间或许可代表一相对短的窗口

期去使骨密度达最大峰值。横断面研究显示，男性及女性青年运动员比非运动员有较高的、特定部位的 BMD 增长 (123)。在参与能产生高强度地面或关节反应力的体育项目 (如体操、举重) 的运动员中，BMD 增长的效果更为明显。相对来说，在参与只产生低强度负荷力的运动员，BMD 增长的效果则不大明显。

有少量关于女性运动员的运动介入研究，却有相反的结果。无论经过六个月的阻抗训练 (7)、九个月的阻抗训练及加上重量腰带的超等长训练 (129)、或九个月的踏步有氧运动及超等长训练 (44)，BMD 也没有明显改变。相反，经过三年的艺术体操训练 (65)，或十五个月的阻抗训练 (89)，BMD 也有明显增加。这些能引起或不能引起运动效果的研究，最主要的分别为运动介入时间的长短。但是，由于参与研究的人数较少，所以在分析时要份外小心。目前仍没有设计完善的研究能隔离了运动训练时间的长短对骨反应的影响，而独立的了解运动量或运动强度对骨密度的影响。

有三项研究尝试去厘定在青春期前后的什么时间体育活动或训练对骨骼的影响是最具反应性的。其中一项研究探讨九个月的踏步有氧运动和超等长训练对未来月经及已来月经的女孩的骨无机盐含量的影响；对照组与实验组的来经情况相同。运动后 BMC 在未来月经的女孩中有明显增加 (44)。另一项研究探讨青春期前 (Tanner Stage I) 及青春期早期 (Tanner Stage II & III) 的女孩经七个月的超等长训练对其骨无机盐含量及骨密度的影响。结果发现与对照组比较，骨质在青春期早期的女孩有明显增加，但在青春期前的女孩则没有明显变化 (71)。一个横断面研究将青年女网球员和一批发育程度相近的对照组的左右侧肱骨的骨密度作比较 (39)。属 Tanner Stage I (9.4 岁) 的网球员和对照组在的左右两侧肱骨密度差别程度相若，但网球员的左右两侧肱骨密度差别在往后的 Tanner Stage II (10.8 岁)，Tanner Stage III (12.6 岁)，和 Tanner Stage IV (13.5 岁) 会渐进的有较大的差别，直至到了 Tanner Stage V (15.5 岁)，差别达峰而变得平稳。就以上观察所得，骨质对机械性刺激似乎在 Tanner Stage II 至 Tanner Stage IV 期为最明显。这正与上文提及的在青春期附近为期两年的供骨密度达峰的窗口期相近 (3)。

目前仍需要有进一步的研究去阐明最佳的运动种类和时间以增加骨质量以及在成长期中什么时间对使用负荷最有效。现在的证据亦支持以上探讨过的儿童运动处方 (即相对高的撞击力及强化肌力运动，如超等长训练、体操、足球、排球及阻抗训练)。如能在青春期前或青春期早期开始这些活动，则对骨质的增长应最为有效。再者，因骨的几何结构对骨的强度也有重要的影响 (96)，而在生长期中，骨的几何因素能对机械性刺激起反应，故在儿童及青少年中，运动对骨几何结构的影响是重要的一环。

体育活动在年青成年期的角色

由于骨质的增长被认为是在 30 岁左右前达峰值，年青成年期便应为骨质增加的最后机会。很多横断面研究指出，参与不同体育项目的男女运动员与非运动员比较，他们有更高的特定部位的骨密度 (123)。骨密度在参与高强度负重运动，如体操，举重，健身等的运动员中倾向为最高，而参与非负重运动如游泳的运动员，其骨密度则倾向为最低。如上文所提及，横断面研究有很多固有的限制，例如有遗传、自身选择、饮食、荷尔蒙及其它等因素干扰。

有极少数追踪性、对照研究对运动员在训练期和停止训练期的骨质量的转变作了监测。国家级的男性网球员双侧手臂骨质量的差别 (13-25%) 显著大于对照组 (1-5%)，而这种情况能维持到退休后四年 (63)。对跑步运动员、划艇手、力量运动员，和体操选手进行为期七个月至两年的研究，发现他们在训练期间，所参与运动需骨骼负重的部位骨质含量和骨密度均有明显增长 (1-5%) (123)。在跟进 2 年的竞技性体操运动员中 (111)，骨密度在赛季时有所增加 (2-4%)，而在赛季后则减少 (1%)。

多项运动介入研究对从前不经常进行体育活动的女性进行了为期六至三十六个月不等的训练，去评估那些产生相对高地面-反应和 / 或关节-反应力的运动 (如阻抗训练、超等长训练) 对骨质的影响。大部份的结果显示，股骨颈及 / 或腰椎的骨密度有明显增长 (1-5%) (4, 5, 28, 43, 68, 77, 112, 128)。

在三项有关阻抗训练的研究中，其中两项研究的训练强度为轻微至中等 (1RM 的 60%)，并未能引起骨密度有明显的改变。而在第三个研究中，训练的为高强度的 (即 1RM 的 80%；五组；每组重复十次；每星期四日) (122)，但这项研究的只进行了单侧腿部的按压训练，而且由于是坐着进行的，故并没有对腰椎和股骨颈带来特定的负重刺激 (109)。有两项研究得出相对高撞击的运动反而令骨密度减少的预料以外的结果。其中一项 (101) 研究在进行了中等强度 (1RM 的 70%) 为期九个月的阻抗训练后，受试者股骨颈的骨密度没有变化，但腰椎的骨密度则减少了 4%；另外的一项研究 (124) 在经过两年的阻抗训练及跳绳运动后，受试者整体的骨质含量有明显增长 (1-2%)，椎骨密度则无明显改变 (1%)，而股骨颈骨密度更明显减少 (1.5%)。但是，这项研究的受试者对训练的参与性低 (45%)。因此，虽然有证据显示运动训练能增加成人女性的骨密度，很多因素如负荷力的强度、于特定部位的运动、及对运动训练的参与性也是衡量相对效果的重要决定因素。

产生高强度负荷力的运动训练 (如张力大的) 也能产生身体组成 (如脂肪及无脂肪组织) 和肌肉强度的改变。这两者的改变与机械性负荷对骨密度的直接影响，有着潜在性的加和相交作用因而刺激起业界对此的兴趣。在几项研究中，身体质量、脂肪、无脂肪组织、及强度与全身及局部的骨密度均呈显著性相关，而这些因素能解释 50% 骨密度的变化 (109,113)。与其它运动员比较，举重运动员典型地有高水平的无脂肪组织及肌肉强度，而骨密度亦倾向是运动员当中最高的。运动例如举重，是通过关节-反应力 (即肌肉收缩) 去引入负荷力予骨头，骨质含量的增加似乎要在该运动达足够强度去引起肌肉的增加时才会发生。

虽然包含有高强度骨负荷的体育活动为提高及维持年青成人的骨质含量的建议，但若有荷尔蒙或膳食缺乏或有过度使用综合征，则此等运动的好处便不能显现出来。女性运动员三联征，包括有饮食失调、闭经、和骨质疏松症，便为一个运动没发挥其效用去抵抗对骨骼健康有害的因素的例子；这课题在 ACSM Position Stand 中亦有作探讨 (94)。钙和其它营养成分缺乏可限制运动的骨源性反应 (67) 和过度使用综合征例如由过度重复的负荷力引起的压力性骨折 (10) 的课题也曾被论述。

体育活动对中老年人的重要性

在四十岁以后，骨质每年平均减少百分之零点五或以上，程度会因性别和种族的不同而有所差异。在这里要特别强调的是，运动对中老年人的好处可反映在骨质流失的减慢，而不是增加骨质；骨质流失的速度视乎骨骼不同的部位而有所不同，更受到一些因素如遗传、营养、激素水平及日常体育活动的影响；故要评定由老化过程所致的骨质下降程度会有一定困难。妇女停经后由于雌激素水平的下降导致骨质迅速流失与老年性骨质慢慢减少的情况很不同；以停经前后的运动员作比较，结果显示纵使非常重量的体育活动亦未能防止由停经所引发的骨无机盐流失 (32,41,59,81,103)。目前仍未有介入性的研究去探讨运动是否能减慢正处于停经期转变中 (perimenopausal) 的妇女的骨质流失。一项护士健康研究 (24) 就激素治疗及进行体育活动与盆骨骨折发生的相对危机之间的关系进行了调查，结果显示接受激素治疗的妇女其与少从事体育活动而又没有接受激素治疗的妇女比较，盆骨骨折的危机减低约百分之六十至七十；这仍未有评估她们的体育活动水平。而在没有接受激素治疗的妇女，她们当中活动水平最高那一组 ($>24 \text{ MET} \cdot \text{h} \cdot \text{wk}^{-1}$)，其盆骨骨折的危机亦减少百分之六十七，提示高水平的体育活动能防止骨折发生，即使其未能延缓骨质流失，虽然脂肪亦占有一定的比例，但无脂肪体重在老年人骨质中仍占最大比例

(与身体重量和脂肪量相比) (1,6)。故此, 那些能帮助保持肌肉量的体育活动 (如阻抗运动)亦能有效保持骨质。

在过去三十年中, 运动介入对停经后妇女骨质的影响已得到相当的重视; 运动处方包括有快步走路、缓步口人跑、上下楼梯、划艇、举重、及/或跳绳, 而从已发表研究中的综合统计分析普遍认为对老年妇女来说, 多种运动也感有效的保存其骨质 (54,55)。

维期多至一年的走路运动计划, 对保存骨质只能有少量的效果 (88), 或甚至没有效果 (13,88)。这并不惊奇, 因走路并不能产生高强度负荷力, 或在大多数人中并不能给予骨头特别的刺激。这些结果并未能排除由于多年的惯常走路对保持骨质已有帮助的可能性。研究包括有高强度负荷力的活动, 例如爬楼梯及缓步跑, 并遍能对骨骼有更正面的反应 (17,23,60,90,95,98)。

在雌激素缺乏 (22,56,57,60,82,87) 和正接受激素治疗 (35,82) 的妇人中, 进行包括有渐进式高强度阻抗训练的运动介入试验, 证实能增加其盆骨及脊椎的骨无机盐密度(BMD)。相比较之下, 中等强度的阻抗训练未能达到相同程度的骨盆骨无机盐密度的增加 (56,57)。在一项研究中, 骨无机盐密度的增加与在渐进式高强度阻抗训练的所举重的总重量成线性相关 (22)。

对停经后妇女来说, 跳绳运动动作(如直立跳高)的骨源性反应不及在儿童及成年人中理想。在停经前妇女跳绳运动能增加其骨盆骨无机盐密度, 但在停经后无接受激素治疗(HT)的妇女中, 即使运动计划的时间加长, 骨盆骨无机盐密度亦未见增加 (5)。虽然未达到显著性差异, 在停经后接受 HT 的妇女其在运动训练后骨无机盐密度的增长介乎停经前和停经后无接受 HT 的妇女之间。必须提出的是: 试验中的运动刺激是恒定的, 而非像往常渐进式的运动处方。在一项为期五年有关停经妇女的研究中, 运动组穿着平均重 5 千克的重量背心进行跳跃活动, 与对照组比较, 运动组能更大程度的保存盆骨骨无机盐密度 (110)。目前有些初步的证据显示, 结合运动和双磷酸盐 (bisphosphonate) 治疗能有效预防骨质疏松性骨折的发生 (119)。

最近有研究指出, 雌激素受体拮抗剂能减弱骨细胞对机械性刺激的反应 (15)。此论点提出了停经后由于雌激素的缺乏减低了骨对机械性负荷的敏感度从而引致雌激素受体下调现象发生的可能性 (49)。事实上, 有证据显示, 停经后接受激素治疗的妇女与没有接受激素治疗的妇女比较, 从事能产生高强度负荷力的运动后能更有效增加骨密度 (61,62,82,90), 虽然此结论并不完全一致 (42)。而究竟机械性刺激和激素是否独立地影响骨骼, 又或是激素调节骨骼对机械刺激的反应仍不清楚。

大量预防骨质疏松的研究多集中在妇女中, 这是有因为男性中骨质疏松性骨折的发生率在八十至九十岁前并无明显增加 (21)。因此, 那些关于体育活动对维持男性骨骼健康的效果的研究数量很少。不过, 随着老年男性的人数渐增, 这些研究便渐趋重要。

在一项对 4254 名年龄介乎 20 至 59 岁男性的研究发现, 骨密度与缓步跑有很强的关系 (86)。男仕若每月作缓步跑 9 次或以上, 其骨密度会较跑步次数较少的男仕为高。在一为期 5 年的对中老年跑手的预期描述性研究中, 发现跑手的骨质流失速度较对照组为慢 (81)。而在跑手中, 又以明显减少其跑步总量的男仕其骨密度的下降最明显。从已发表的关于运动介入研究的文宪所作的各项综合统计分析所得的结论为运动能改善或维持男性的骨密度 (53)。

几项研究评估了阻抗运动对老年男性骨质的影响 (9,73,76,80,130)。其运动的持续时间由 3 至 24 个月, 运动强度由中等至高强度。除了一项研究以外 (76), 其余的均证实了阻抗训练对骨密度有好的影响, 而影响最常见于股骨。那项未有证实阻抗训练的好处的研究采用了中等强度的运动。通常来说, 男性在运动后骨密度改善的幅度与在女性中观察到的相似, 虽然在心脏移植的男性病人中进行 6 个月的阻抗试验后, 其骨密度的增加会更大 (9)。因此, 能帮助老年妇女保持骨质的各种运动计划对男性也会有效。

体育活动与骨折危机

骨质疏松性骨折会因较弱的骨头受微少创伤而发生，这是由于该处的骨密度低或几何学方面不利的因素造成（例如，股骨颈近端的长度或角度）。骨质疏松性骨折最常发生的部位为桡骨远端，脊椎骨，股骨颈及股骨头。现在仍未有随机对照试点去检测运动对减低骨折的效果，而要进行这些试验亦具相当的难度，其中一个原因是这些试验需要很大的样本数目，也需要很长时间的观察才能完成。一项关于停经后妇女的小型研究得出令人鼓舞的结果 - 该项研究发现经过两年背肌强化的锻炼能减少往后八年椎骨骨折的发生率 (106)。但是，从追踪性研究所得的关于体育活动减低椎骨和腕骨骨折发生率的证据仍不多 (36)。

流行病学研究中，有不少的证据显示，不常进行体育活动为盆骨骨折的一项危险因素。经常进行体育活动的人，其盆骨骨折的发生率较不经常进行体育活动的人低 20 - 40% (37,75)。而长期不进行体育活动的老年女性和男性（即甚少爬楼梯，栽种或其它负重活动），其发生盆骨骨折的机会较经常进行体育活动者高出两倍，纵使调整了他们的其它因素如身体质量指数，吸烟，酒精摄入及日常活动的独立性等的差异 (18)。一项对多于 30,000 名丹麦男性及女性进行的追踪性研究显示，经常进行体育活动的人若变得停止体育活动，其盆骨骨折的发生率会较一直保持经常进行体育活动的人高出两倍 (45)。在一项芬兰孪生儿的调查中，经常积极参与体育活动的男性其发生盆骨骨折的相对危机较不积极参与体育活动的男性低 62% (64)。而有超过 61,000 名停经后女性参与的护士健康研究指出，若每周作 1 小时 3 MET 的体育活动，即大约相等于每周 1 小时的走路，则发生盆骨骨折的相对危机会减少 6% (24)。有趣地，那些汇报她们每周走路至少 4 小时的妇女，其发生盆骨骨折的危机较那些不经常进行体育活动的、每周走路少于 1 小时的妇女低 41%。由此显示，就算是低强度负重运动，如走路，也有减低骨折危机的益处，即使其只能对骨密度作很少的改变。

定期的体育活动可通过保存骨质及 / 或减少跌倒受伤的发生从而防止骨折。很多因素可以导致跌倒，包括体位控制减弱，视力不良，肌肉强度减低，下肢动作幅度减少，认知力受损，及一些外在因素如精神性药物和兴奋剂。运动治疗会对减少跌倒有效，若果对象为其跌倒的原因包括那些可通过运动去改善的因素（例如，肌肉强度差，平衡和动作幅度）。文宪回顾和随机试验的综合统计分析 (14,30,37) 提出，包括有平衡，脚的强度，柔软度及 / 和耐力的训练可有效减少老年人跌倒的危机。

必须指出的是，有些研究只能找到运动介入对跌倒发生率有很少或没有影响 (69, 84)。最近一项 Cochrane 数据库回顾指出运动本身不能减低老年男性或女性跌倒的危机 (33)。其中一个原因导致其缺乏正面影响的，是那些研究常常针对体弱的、居住在护老院的老人。这些老人似乎拥有很多可致跌倒的危险因素，而这些因素相信亦不能由运动去改变（例如：视力差）。再者，若运动强度太低（常见于对体弱老人的研究），则肌肉强度只能有很少的增长去减低跌倒的危机。最后，我们仍要知道随着人们变得更经常进行体育活动，尤其是在寓所居住的老人，其跌倒的机会亦可能会增加 (97,114)。

那种最能减少跌倒发生的运动方案仍不大清楚 (14)，因为那些具正面或负面结果的研究所采用的活动种类（即以强度、耐力、平衡和柔软度、运动的时间和训练的频率为方向的）也有很大程度的相同 (51)。当中平衡的训练似乎是这些运动处方的重要环节，故此亦应把其包括在那些针对有跌倒危机的老年人的运动处方中。改善肌肉强度亦被视为其中最有效的方法去减低老年人跌倒及骨折的发生率，因其对多项骨折的危险因素例如骨密度低，走路速度慢，低水平吸收能量的软组织及制动都有好的影响 (75)。有进一步的证据认为，在接受阻抗训练后，功能性能力的提高，可促进年纪稍大的 (46) 及住在护理院的年纪老迈的老人 (25) 参与体育活动的自发性。对体弱的老年人作相对高强度运动的能力常惯性的被低估，然而，要成立一些以强度训练去增加肌肉强

度及增强功能能力 (25) 的社区计划的可能性似乎受到要在研究架构以外去执行这些计划的难度所限。

结论

负重的体育活动对广谱人群的骨骼健康有良好影响。一些能产生相对强的负荷力的体育运动，如超等长训练法、体操、及高强度抗阻运动，均能增加儿童及青少年骨质合成。这与动物实验中机械性刺激引起的骨源性反应可在动力负荷产生的高拉力及速率作用下达到最大化一致。再者，目前也有证据显示在童年时期由运动产生的骨质增加可持续至成年，提示在童年期体育运动的习惯对骨骼健康有长远的良好影响。现在未能详细论述能帮助骨质过峰的对儿童及青少年的运动计划，这是因为量的剂量—反应研究仍然缺乏。但是，许多小型的随机对照试验均显示，以下的运动方案能增加儿童及青少年骨质的合成：

模式：撞击运动，例如体操、超等长训练法，跳跃和中等强度抗阻运动；参与的体育运动项目如跑步及有跳跃成份的(足球、篮球)，亦会对骨骼健康有好处，虽然在这方面仍缺乏科学的依据。

强度：高强度；即高的骨负荷力。基于安全的原因，抗阻运动少于最大重复次数(1RM) 的百分之六十。

频率：每周最少三次。

时间：10 至 20 分钟(每天 2 次或以上会更为有效)。

成年期作体育活动的首要目标应为维持骨质水平。成年人能否通过运动训练来增加骨无机盐密度(BMD) 的意见仍不一致。一些报告指出，成年人通过相对高强度的负重耐力或抗阻力运动能增加骨无机盐密度，但当停止运动时，骨无机盐密度的增加便不能持续。一些观察性研究指出，从事体育活动的人，纵使不是特别剧烈的体育活动，其骨无机盐密度随年龄增加而下降的情况减弱，而其发生骨折的危机亦相对减少。虽然如此，目前仍未有大型的随机对照试验去确认此观察，亦没有足够的剂量 - 反应研究去检测要达到这些好处所需的体育活动量。动物研究中显示机械性负荷所产生的骨强度的改善(即对骨折的抵抗) 不成正比的大于骨质的增加。这支持了即使没有骨质无机盐密度 (BMD)的改变，体育活动也可减低骨折危机的论点。要在人类中证实此点，必需作大型的关于体育活动对骨折发生率的影响的随机对照试验去论证，虽然进一步技术的提高使之能在活体中测定骨强度可对此问题提供更深刻的了解。从多项小型的关于以运动去增加或维持骨质无机盐密度的效果随机对照试验显示，维持高水平的日常体育活动，对成人的骨骼健康会有良好的影响，正如美国普通外科医生建议(117)，若这些活动的性质为负重的。重要指出的是，虽然体育活动可能抵消某程度的随年龄下降的骨质，但现在也没有很强的证据去证明纵使是很剧烈的体育活动能减弱妇女停经后骨无机盐的流失，故此，即使是习惯性从事体育活动的、停经的妇女，以药物去预防骨质疏松症亦为适应证。由多项小型的随机对照试验及大型观察性研究，以下是帮助保持成长时期骨骼健康的建议运动处方：

模式：负重耐力活动(如网球、爬楼梯)；至少在走路时间歇进行的缓步跑，包含有跳跃动作的活动(如排球、篮球)，及阻抗运动(举重)。

强度：中等至强度，作用于骨的负荷力。

频率：负重耐力活动每周 3-5 次，阻抗运动每周 2-3 次。

时间：每天 30 至 60 分钟针对各主要肌群的、结合负重耐力活动，包括有跳跃动作的活动和阻抗

运动。

对成年人从事某种水平相对较高的负重体育活动可以促进骨骼健康，此建议一般没有年龄限制。但随着年龄的增加，必须确保从事体育活动的安全。基于卧床制动对骨质流失所造成的快速、明显的形响，以及恢复活动后骨盐水平仍难以回复至原来水平，故即使是脆弱的老年人亦应尽量维持适量的体育活动，以保持骨骼的硬度。不论老年男性或女性，其运动处方不单要包括负重耐力和阻抗运动以保持骨质，也要包含一些改善平衡的活动以防止跌倒。终生保持高水平的体育活动应被视为促进和保持骨骼健康的重要良方。关于有效发展和维持骨骼硬度和减少骨折危机的体育活动种类的厘定，还需要未来进一步的研究。

参考文献（略）