Physiothérapie

Os et muscles – Activité physique

Swissmilk symposium – 27.09.2022

Anna Stitelmann, MSc, PT

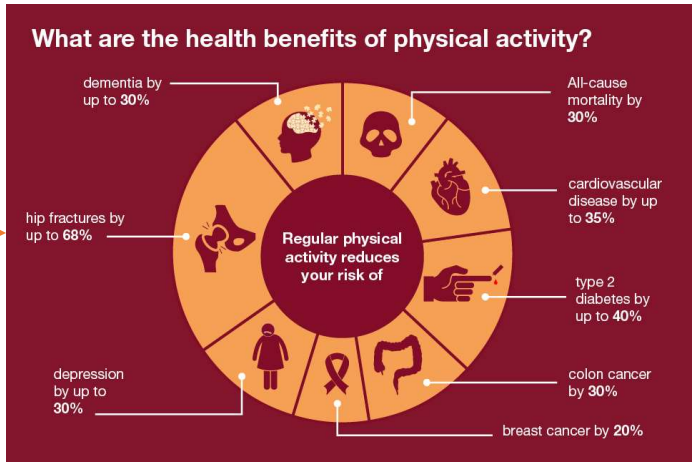
h e d s
Haute école de santé Genève
HEdS
Haute école de santé de Genève
47, av. de Champel
1206 Genève
+41 22 388 56 00
info.heds@hesge.ch
www.hesge.ch/heds
Hes·so GENÈVE
HUG Hôpitaux Universitaires Genève

Objectifs

- Rôle de l'activité physique dans la construction et l'entretien de nos muscles et nos os
- Au travers des âges
- Quelles recommandations donner ?

Bénéfices de l'activité physique

Effet dose réponse : Le risque diminue autant que la quantité d'AP augmente (Gregg et al. 2000 & Karlssaon et al. 2002)



(Bone health England, 2016b)

Fonction de l'os

- Organe en constante évolution pour s'adapter au besoin
- Fonction:
  - Structurelle : permettant la mobilité, le soutien et protection du corps
  - Réservoir: entrepôt pour les minéraux essentiels (phosphore et calcium)

Résistance osseuse

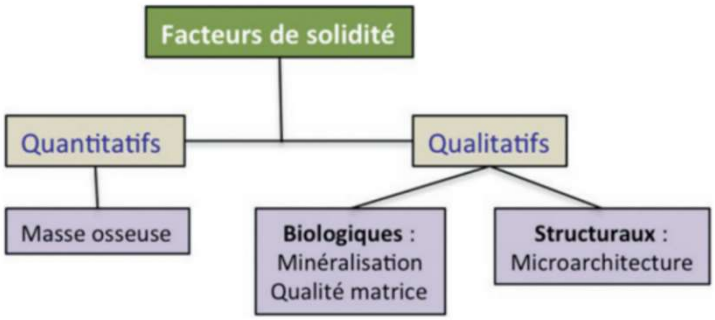
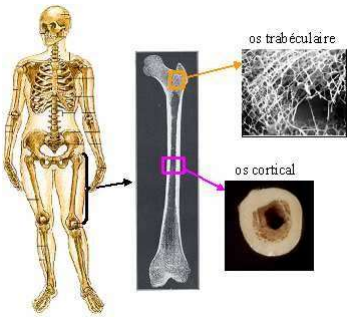
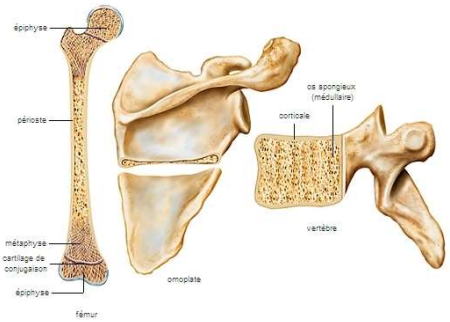


Figure 1.1 Facteurs de solidité de l'os.

Structure osseuse

- Os cortical/compact
- Os trabéculaire/spongieux





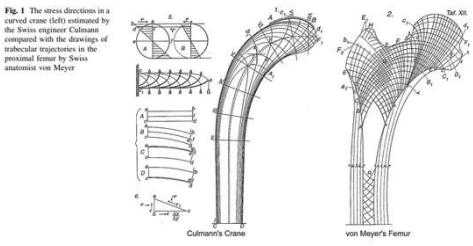


Tableau 1.1 **Structure d'un os long.**

	Os cortical (os compact)	Os trabéculaire (os spongieux)
% de la masse squelettique totale	80 %	20 %
% du remodelage osseux	20 %	80 %
Structure générale	tissu osseux dense	tissu osseux lâche
Structure élémentaire	**l'ostéon** lamelles osseuses concentriques autour du canal de Havers	**la trabécule** orientée selon les contraintes mécaniques locales
Fonctions essentielles	résistance mécanique insertion tendons et capsules (enthèses) protection contre les traumatismes	résistance et élasticité homéostasie minérale
Renouvellement	2–3 % par an	25 % par an

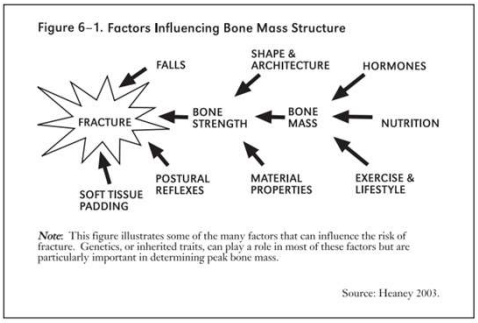
Défis de l'étude de l'impact de l'AP sur la santé osseuse

- Comment obtenir des résultats précis et mesurables ?
- En général on utilise la densité de la masse osseuse (DMO) mesurée par absorptiométrie à rayons X à double énergie (DXA)
  - Teneur en minéraux des os en g
  - Densité minérale osseuse g/cm2
- Mesure pratique mais la DMO peut ne pas être sensible aux multiples effets de l'AP sur le système MSQ!
- Ne mesure pas directement la taille des os ou ne reflètent pas leur géométrie.
- Par ex: ↑ 5-8% de la DMO = ↑ 64-87% de la résistance osseuse
- Sous estimation de manière significative de l'effet de l'AP sur la solidité globale des os

(Jarvinen et al. 1999)

Déterminants de la santé osseuse

- Génétique (taille et forme): 50-90% qualité et de la masse osseuse (Recker & Deng 2002)
- Environnement
- Facteurs extrinsèques (lifestyle) 10-50%: de la qualité et de la masse osseuse
- Âge
- Sexe
- Alcool
- Alimentation
- Tabac
- Manque d'exposition au soleil
- **Immobilisation prolongée**
- **Pratique insuffisante d'AP imposant un stress mécanique aux os!**



« USE IT OR LOSE IT»

Comment l'os s'adapte-t-il aux contraintes?

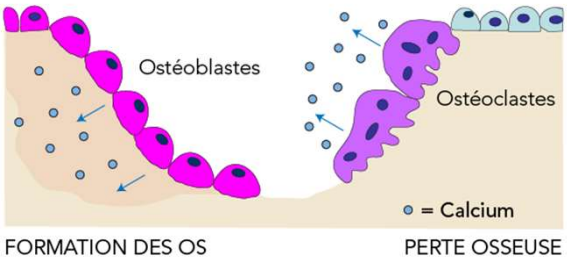
L'os change au cours de la vie

- L'os est un tissu vivant qui est en perpétuel remaniement
- Au cours de la vie, l'os change en taille, forme et position

⇒ s'adapte aux contraintes mécaniques selon les besoins fonctionnels

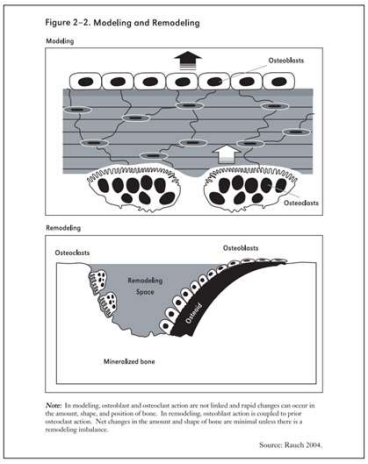
Activité cellulaire

- Régulé par 2 principaux types de cellules:
  - Ostéoblastes: cellules de revêtement qui construisent de l'os
  - Ostéoclastes: responsables de l'effritement des os et de leur réabsorption dans le corps
- Ostéoclastes > ostéoblastes env. 20:1



Mécanismes

- Modelage:
  - un os se forme à un endroit et se décompose à un autre endroit = forme et position sont modifiées
  - Activité des ostéoblastes principale
  - Cesse lorsque l'individu atteint sa taille et son capital osseux (peak bone mass)
  - Dans un squelette adulte peut être activé sous des stimuli particulièrement intenses = cals fractuaires, phase d'intégration de biomatériaux
- Remodelage:
  - activité cellulaire principale = entretien du capital osseux
  - enlèvement et remplacement au même endroit
  - Action coordonnée des ostéoblastes et ostéoclastes
- La charge mécanique influence à la fois le remodelage et modelage osseux



Adaptation aux contraintes mécaniques

Clinic Rev Bone Miner Metab (2007) 5:181–194
DOI 10.1007/s12018-008-9010-x

ORIGINAL PAPER

Skeletal Adaptation to Mechanical Loading

Charles H. Turner

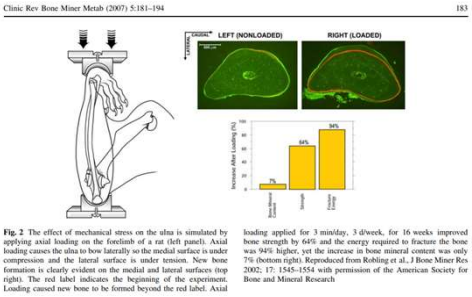


Fig. 2 The effect of mechanical stress on the ulna is simulated by applying axial loading on the forelimb of a rat (left panel). Axial loading causes the ulna to bow laterally so the medial surface is under compression and the lateral surface is under tension. New bone formation is clearly evident on the medial and lateral surfaces (top right). The red label indicates the beginning of the experiment. Loading caused new bone to be formed beyond the red label. Axial loading applied for 3 min/day, 3 d/week, for 16 weeks improved bone strength by 64% and the energy required to fracture the bone was 94% higher, yet the increase in bone mineral content was only 7% (bottom right). Reproduced from Robling et al., J Bone Miner Res 2002; 17: 1545–1554 with permission of the American Society for Bone and Mineral Research

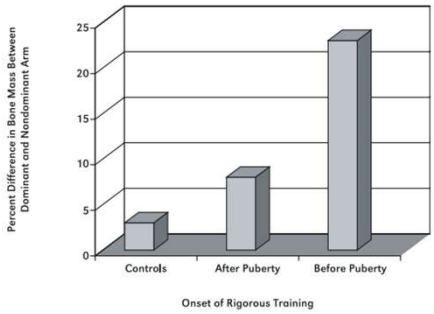
Charge sur membre antérieurs de rats 3x/sem pendant 16 semaines
⇒ +64% résistance par rapport au contrôle
⇒ +94% d'augmentation d'énergie absorbée avant fracture
⇒ +7% teneur minérale osseuse

⇒ Le stimulus osseux est du à la déformation physique des cellules osseuses plutôt que la contrainte métabolique ou cardiovasculaire généralement associées à l'exercice!

Adaptation aux contraintes mécaniques

- Comparaison de la DMO entre le bras dominant et non-dominant chez les joueuses de tennis et squash
- La plupart des gens ont une différence d'environ 3-5% (+ grande utilisation du bras dans les AVQ)
- Chez les joueurs de raquette diff. 12-16% en raison de leur régime d'entrainement.
- Mais diff. 2x plus importante lorsque la comparaison a été limitée aux femmes qui ont commencé à s'entrainer avant la puberté par rapport à celles qui ont commencé à pratiquer ce sport plus tard!

Figure 6–6. Bone Mass Differences in the Playing Arms of Women Racquet Players



Note: Most people (controls) have a small difference in bone mass between their dominant and nondominant arm due to greater daily, though not strenuous, use of the arm. In competitive racquet sport players (tennis or squash), the differences in the two arms are exaggerated. Moreover, if the player began rigorous training before puberty the differences can be greater than 20%. This indicates the powerful influence of physical activity during the adolescent period.

Source: Kannus et al. 1995.

Saturation de l'os à un stress mécanique

- Rats avec entrainement pliométrique plusieurs fois/jour

→ Augmentation masse osseuse mais saturation après env. 40 cycles de charge

→ formation osseuse améliorée si le régime de charge était divisé en 4 périodes de 90 cycles entrecoupées de périodes de repos

→ Les cellules perdent en sensibilité après un certain nombre de cycles et un temps de récupération est nécessaire pour restaurer la sensibilité.

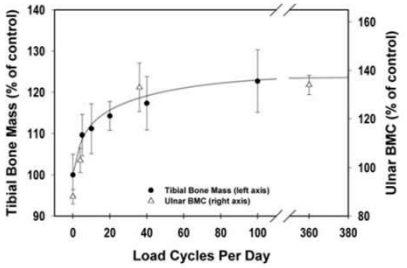
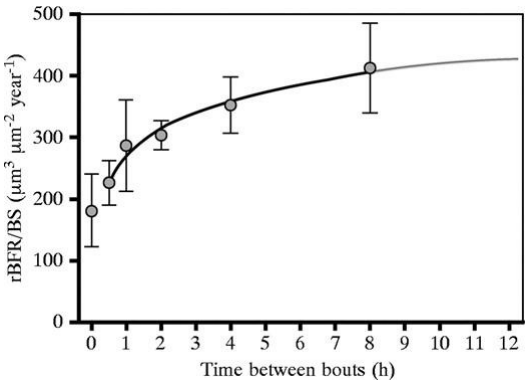


Fig. 8 Bone mass in the tibia of rats (closed circles [28]) or ulna of turkeys (open triangles [26]) increases after applied mechanical loading. However, the anabolic effect of loading saturates as the number of loading cycles increases. There is limited benefit of additional loading cycles above about 40 cycles per day. Reprinted from [29]: Bone, Vol 30, Burr et al. Effects of biomechanical stress on bones in animals, pp. 781–786, Copyright (2002), with permission from Elsevier Science

(Umemura et al. 1997)

Récupération de l'os à un stress mécanique

- Force mécanique → réponse des cellules osseuses
- Après un stimulu (surtout si continu)→ diminution de la mécanosensibilité
- Récuperation d'environ 8h était suffisante pour restaurer la mécanosensibilité



(Robling et al. 2001)

Contraintes mécaniques dynamiques

- La charge statique n'a pas d'effet significatif sur la formation osseuse
- Les ostéoblastes ne répondent qu'à une charge dynamique
- Avec la charge dynamique la déformation du tissu change constamment

→ Info importante sur la façon dont les cellules osseuses détectent les charges mécaniques

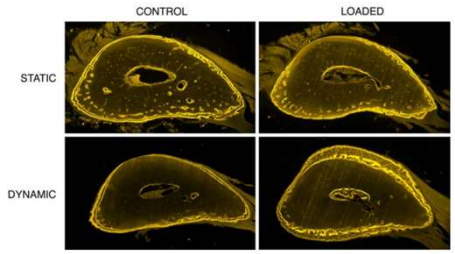


Fig. 6 Cross sections of rat ulnae subjected to either static or dynamic loading (applied at 2 Hz). The bright lines along the periosteal surface show the mineralization front. Broad double labels (as in the lower right panel) demonstrate rapid bone formation. Dynamic loading enhances periosteal bone formation substantially, whereas static loading suppresses bone formation slightly. Reprinted from Bone, Vol. 29, Robling et al. Modulation of appositional and longitudinal bone growth in the rat ulna by applied static and dynamic force, pp. 105–113, Copyright (2001), with permission from Elsevier Science

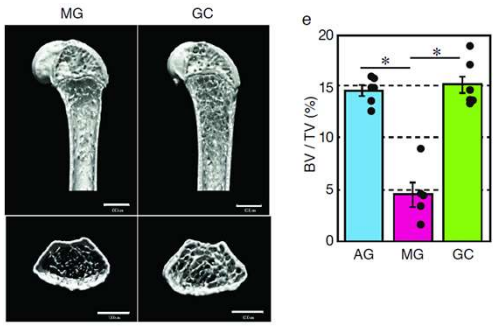
Et chez les humains?

- En général : comparaison entre niveau d'AP et masse osseuse
- En nombre + réstreint : incidence des fractures ou mesure des changement de masse osseuse suite à un changement d'AP
- Comparaison entre non-athlètes/athlètes ou sédentaires/pers actives

➡ co-founding factors +++ (génétique, régime alimentaire, hormones etc..)

(Kohrt et al. 2004)

Sous-utilisation ou absence de charge



(Shiba et al. 2017)

Expérience chez les astronautes

Fémur

MG: Microgravity
GC : Ground control

BV/TV : Bone volume / tissue volume

→Accélération de remodelage osseux

La résorption osseuse domine la formation osseuse = perte rapide de masse osseuse

Contraintes mécaniques pendant l'enfance

- La charge mécanique est essentielle pendant la croissance
- En l'absence d'utilisation mécanique

→ développement de 30 à 50% de la masse osseuse normale

- Pendant l'enfance, si environnement dépourvu de charge squelettique

→ Os long en «forme de crayon»

→ diminution de la circonférence périostée et de la DMO

→ période de construction osseuse

- Une fois la croissance terminée

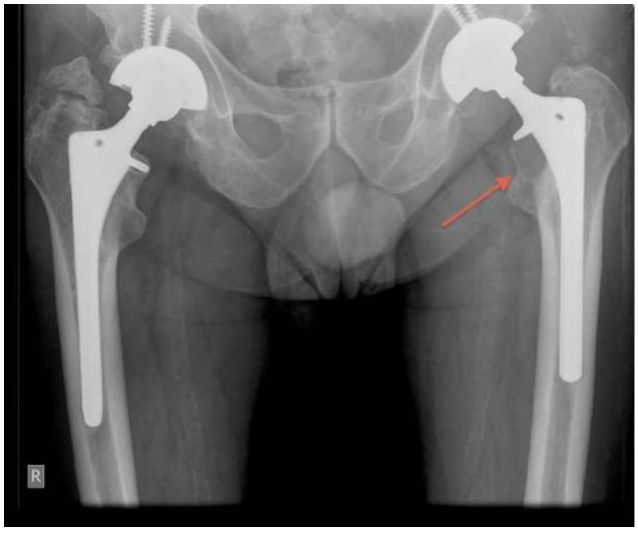
→ capacité limitée à augmenter leur circonférence en réponse aux sollicitations mécaniques

→ prévention de la perte osseuse

Fig. 5 Radiographs of tibia from two newborns at 38 weeks gestational age. An infant with congenital neuromuscular disease and reduced loading of the tibia has a narrow, underdeveloped tibia (**b**), compared to control (**a**). Reprinted from Rodríguez et al. [17]. Used with permission from Springer-Verlag New York Inc

Sous utilisation

- «Stress shielding»
- le tissu osseux adjacent à un implant métallique
- protection contre les contraintes
- l'implant métallique rigide supporte un grand % de la charge précédemment supportée par l'os
- Le tissu qui est protégé de la charge subit un remodelage accéléré avec une résorption nette



(Pryde et al. 2022)

Sur-utilisation

La surcharge peut endommager le tissu osseux

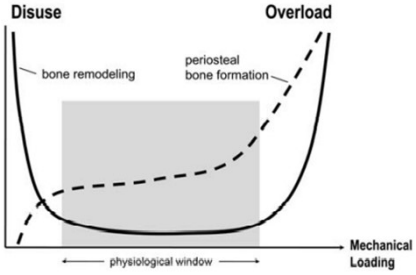
→ stimule le remodelage osseux = remplace et répare le tissu osseux endommagé

Si les dommages s'accumulent + rapidement que le tissu ne peut être réparé

→ fracture de stress

Gestion de la charge

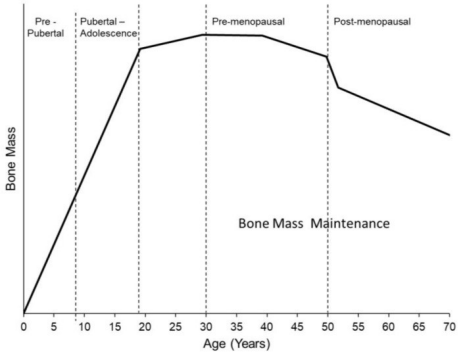
- Les effets de la charge sur le remodelage osseux
  → courbe en U
- Le remodelage augmente en cas de charge insuffisante ou de surutilisation (charge causant des dommages)
- Il existe une plage de charge dans laquelle le remodelage osseux est réduit au minimum = plage physiologique
- Des forces de surcharge doivent être appliquées pour stimuler une réponse adaptative et une adaptation continue nécessite une surcharge progressivement croissante.



(Robling et al. 2009)

Os au fil des âges

- Modifiable au cours de l'enfance et adolescence
- La masse osseuse peut ↑ jusqu'à l'âge de 30 ans
- Dès 40 ans, ↓masse osseuse de 0,5% /an
- Chez les femmes ↓ 2-3%/ an pendant la ménopause
  - perdent env. 1/3 de leur DMO pendant cette période
- La pratique de l'AP peut ralentir ce déclin associé au vieillissement



(Troy et al. 2018)

Enfance - adolescence

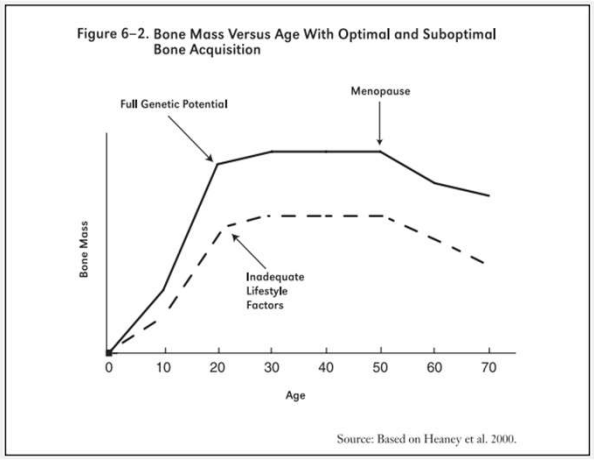
- Période clef!
- Phase de remodelage du à un processus génétique mais peut être affecté par l'environnement.
- A la fin, l'os atteint une forme et une taille qui correspond à leur fonction.
- Ex: Sports de lancer

→ changement dans la torsion humérale

→ changement dans l'amplitude en RE

(Greenberg et al. 2017)

Enfance adolescence = optimiser la masse osseuse



- Puberté: Fenêtre de 2-3 ans pendant laquelle en moyenne 25-30% de la masse osseuse totale du corps adulte est gagnée
- Si masse osseuse pas optimale en fin d'adolescence = réserves diminuées

Enfance adolescence

- Masse osseuse:
  - enfants actifs > enfants sédentaires
  - Gymnastes/ballets (Fort impact) > marche/natation
  - Exercices à fort impact + haltérophilie

→ augmentation robuste de la masse osseuse de la hanche, colonne vertébrale et ensemble du corps

(Slemenda et al. 1991 & Morris et al. 1997)

Recommandations enfant

Mode	Intensité	Fréquence	Durée
• activités ludiques avec stress mécanique • Gymnastique • Pliométrie • Renforcement	• Haute (avec force de réaction au sol élevées)	• Au moins 3x par semaine	• 10-20min (2x/jour ou +)

(Kohrt et al. 2004)

Mythes du renforcement chez l'enfant

Adulte = maintenir la masse osseuse

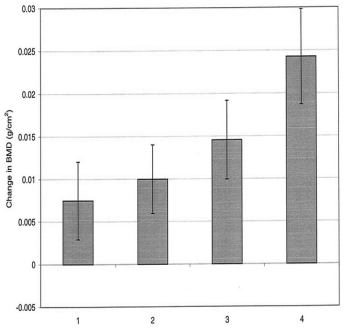
- Pic de masse osseuse à la fin de la 3e décennie = début de l'âge adulte est la dernière occasion de l'augmenter
- Surcharge peut ajouter de petites quantités de masse osseuse sur un squelette adulte
- Capacité d'adaptation modeste comparée à celle sur un os en pleine croissance
- Sensibilité de l'os aux stimulus mécanique chez l'adulte montre une réponse plus lente
- La DMO est en général + élevée chez les adultes pratiquant des force de charge à haute intensité (gymnastique, haltérophilie, musculation)
- Par ex: Chez les gymnastes la DMO ↑ 2-4% pendant la saison de compétition et ↓ 1% pendant les trèves

Adulte

- Période de perte + rapide chez les femmes au moment de la ménopause

  → Perte jusqu'à 25% de l'os pendant cette période

- Meta-analyse de l'effet de divers type d'AP pour préserver la masse osseuse
  - Exercices de marche = effet modestes voir nuls
  - Montée d'escaliers et jogging meilleurs effets
  - Renforcement en résistance progressif de haute intensité = ↑ DMO hanche et colonne vertébrale chez femmes ménopausées
  - Réponse ostéogénique à la pliométrie moins robuste chez les femmes ménopausées que chez les enfants et jeunes adultes



(Kelley et al. 2002)

Influence de la composition corporelle

- Entrainement physique avec charge de haute intensité

  → changement dans la composition corporelle

- Corrélation significatives entre la composition corporelle et la DMO (jusqu'à 50% de la DMO).
  - Haltérophile : ↑ masse maigre et force vs autres athlètes
    DMO + élevée chez ses athlètes
  - Forces de charge de par les contractions musculaires plutôt que forces de réactions au sol
  - Probablement: Si exo d'intensité suffisante pour augmenter la masse musculaire = augmentation de la masse osseuse

(Snow, CM 1996 ; Snow-harter et al. 1991)

Recommandations adulte

Mode	Intensité	Fréquence	Durée
• Activités d'endurance avec mise en charge (tennis, montée d'escaliers, jogging, au moins par intermittence pendant la marche) • Activités impliquants des sauts (volley, basket ball) • Exercices de renforcement (Principaux groupes musculaires, soulever des poids)	• modérée à élevée (force de réaction au sol)	• activités d'endurance 3-5x/ semaine • renforcement 2-3x /sem	• 30-60min/jour • L'ampleur des forces de charge osseuse augmente // à l'intensité de l'exercice quantifiée (%1RM)

(Kohrt et al. 2004)

Barrières socio-environnementales

Volume 88, Issue 2

Understanding the Experiences of Girls Using a High School Weight Room

8 September 2020

Parsons et al. 2020

Personne âgée = atténuer la perte osseuse

- Diminuer le risque de chute
- Lutte contre la sarcopénie : 5% de perte de masse maigre à chaque décennie après 30ans et s'accélère après 65 ans
- Entrainement de l'équilibre
- Améliorer la force musculaire

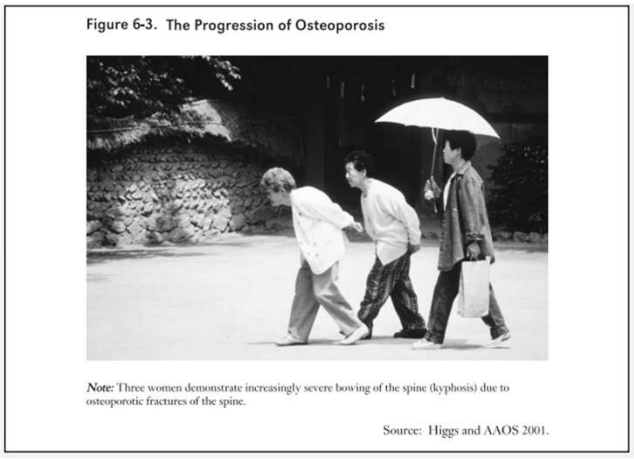


Figure 6-3. The Progression of Osteoporosis

Note: Three women demonstrate increasingly severe bowing of the spine (kyphosis) due to osteoporotic fractures of the spine.

Source: Higgs and AAOS 2001.

Recommandations – personnes âgées

- Similaires à l'adulte
- Plus l'âge augmente plus il est nécessaire d'assurer que les AP soient adaptées et sécurisantes
- Compte tenu des effets rapides de l'immobilisation alitement sur la perte osseuse

  → même les pers. âgées les + fragiles devraient rester actives
- Programme de prévention des chutes, travail de l'équilibre et renforcement

Take home message

- Les effets de l'AP sur la santé osseuse varient en fonction de l'âge.
- L'effet de l'AP sur les os ne persiste pas si le niveau d'AP est arrêté ou réduit (sauf l'AP pendant l'enfance et adolescence)
- Le maintien d'un niveau vigoureux d'AP tout au long de la vie doit être considéré comme essentiel pour atteindre et maintenir une santé osseuse optimale
- Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour définir le type et quantité d'AP les + efficaces pour développer et maintenir l'intégrité du squelette

Références bibliographiques

- Bone Health England. (2016). *Health matters : Getting every adult active every day*. GOV.UK. https://www.gov.uk/government/publications/health-matters-getting-every-adult-active-every-day/health-matters-getting-every-adult-active-every-day
- Constantin, A., Cantagrel, A., Laroche, M., & Mazières, B. (2018). *Rhumatologie pour le praticien*. Elsevier Health Sciences.
- Faigenbaum, A. D., Stracciolini, A., MacDonald, J. P., & Rial Rebullido, T. (2022). Mythology of youth resistance training. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2022-105804. https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105804
- Greenberg, E., Todd, R., Fernandez, A., & Mc Clure, P. (2017). *Humeral Retrotorsion and Glenohumeral Motion in Youth Baseball Players Compared With Age-Matched Nonthrowing Athletes*. https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0363546516676075?journalCode=ajsb
- Gregg, E. W., Pereira, M. A., & Caspersen, C. J. (2000). Physical activity, falls, and fractures among older adults : A review of the epidemiologic evidence. *Journal of the American Geriatrics Society*, *48*(8), 883-893. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2000.tb06884.x
- Heaney, R. P. (1993). Bone mass, nutrition, and other lifestyle factors. *The American Journal of Medicine*, *95*(5A), 29S-33S. https://doi.org/10.1016/0002-9343(93)90378-3
- Järvinen, T. L., Kannus, P., & Sievänen, H. (1999). Have the DXA-based exercise studies seriously underestimated the effects of mechanical loading on bone? *Journal of Bone and Mineral Research: The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, *14*(9), 1634-1635. https://doi.org/10.1359/jbmr.1999.14.9.1634
- Kannus, P., Haapasalo, H., Sankelo, M., Sievänen, H., Pasanen, M., Heinonen, A., Oja, P., & Vuori, I. (1995). Effect of starting age of physical activity on bone mass in the dominant arm of tennis and squash players. *Annals of Internal Medicine*, *123*(1), 27-31. https://doi.org/10.7326/0003-4819-123-1-199507010-00003
- Karlsson, M. (2002). Is exercise of value in the prevention of fragility fractures in men? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *12*(4), 197-210. https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.00207.x
- Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Tran, Z. V. (2002). Exercise and lumbar spine bone mineral density in postmenopausal women : A meta-analysis of individual patient data. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *57*(9), M599-604. https://doi.org/10.1093/gerona/57.9.m599
- Kohrt, W. M., Bloomfield, S. A., Little, K. D., Nelson, M. E., & Yingling, V. R. (2004). Physical Activity and Bone Health. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *36*(11), 1985-1996. https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000142662.21767.58

- Morris, F. L., Naughton, G. A., Gibbs, J. L., Carlson, J. S., & Wark, J. D. (1997). Prospective ten-month exercise intervention in premenarcheal girls : Positive effects on bone and lean mass. *Journal of Bone and Mineral Research*, *12*(9), 1453-1462. https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.9.1453
- Parsons, J., & Ripat, J. (2020). *Understanding the Experiences of Girls Using a High School Weight Room*.
- Pryde, D. (s. d.). *Hip replacement stress shielding. Case study*. https://doi.org/10.53347/rID-39284
- Robling, A. G., Burr, D. B., & Turner, C. H. (2001). Recovery periods restore mechanosensitivity to dynamically loaded bone. *The Journal of Experimental Biology*, *204*(Pt 19), 3389-3399. https://doi.org/10.1242/jeb.204.19.3389
- Robling, A. G., & Turner, C. H. (2009). Mechanical signaling for bone modeling and remodeling. *Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression*, *19*(4), 319-338. https://doi.org/10.1615/critreveukargeneexpr.v19.i4.50
- Shiba, D., Mizuno, H., Yumoto, A., Shimomura, M., Kobayashi, H., Morita, H., Shimbo, M., Hamada, M., Kudo, T., Shinohara, M., Asahara, H., Shirakawa, M., & Takahashi, S. (2017). Development of new experimental platform 'MARS'-Multiple Artificial-gravity Research System-to elucidate the impacts of micro/partial gravity on mice. *Scientific Reports*, *7*(1), 10837. https://doi.org/10.1038/s41598-017-10998-4
- Slemenda, C. W., Miller, J. Z., Hui, S. L., Reister, T. K., & Johnston, C. C. (1991). Role of physical activity in the development of skeletal mass in children. *Journal of Bone and Mineral Research: The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, *6*(11), 1227-1233. https://doi.org/10.1002/jbmr.5650061113
- Snow, C. M. (1996). Exercise and bone mass in young and premenopausal women. *Bone*, *18*(1 Suppl), 51S-55S. https://doi.org/10.1016/8756-3282(95)00380-0
- Snow-Harter, C., & Marcus, R. (1991). Exercise, bone mineral density, and osteoporosis. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *19*, 351-388.
- Troy, K. L., Mancuso, M. E., Butler, T. A., & Johnson, J. E. (2018). Exercise Early and Often : Effects of Physical Activity and Exercise on Women's Bone Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(5), E878. https://doi.org/10.3390/ijerph15050878
- Turner, C. H. (2007). Skeletal Adaptation to Mechanical Loading. *Clinical Reviews in Bone and Mineral Metabolism*, *5*(4), 181-194. https://doi.org/10.1007/s12018-008-9010-x
- Umemura, Y., Ishiko, T., Yamauchi, T., Kurono, M., & Mashiko, S. (1997). Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *Journal of Bone and Mineral Research: The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, *12*(9), 1480-1485. https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.9.1480