PubliCE, (PubliCE) 2012

Monograph

El Ejercicio y la Acumulación de Minerales Óseos en Niños y Adolescentes

Melonie Burrows[1]

[1]*Department of Orthopedics, Faculty of Medicine, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.*

RESUMEN

La osteoporosis es una seria enfermedad del esqueleto que causa un aumento en la morbilidad y mortalidad a través de su asociación con fracturas relacionadas con la edad. Si bien, los mayores esfuerzos en la prevención de fracturas han sido focalizados en disminuir la tasa de pérdida ósea asociada con la edad y reducir la frecuencia y severidad de los traumas en personas mayores, la evidencia de que la masa ósea pico es un factor que contribuye con la resistencia ósea en la vida adulta, es cada vez mayor. De hecho se ha puesto mucho énfasis, en la prevención de la osteoporosis a través de la optimización de la masa ósea pico durante la niñez y la adolescencia. El esqueleto humano en la etapa previa a la pubertad, es sensible al estímulo mecánico desencadenado por el ejercicio y hay cada vez mas evidencia de que el ejercicio regular en donde debe soportarse el propio peso corporal es una estrategia eficaz para reforzar la mineralización de los huesos durante del crecimiento. Es necesario que la actividad física y/o la participación en los deportes comiencen en la edad previa a la pubertad y se extiendan a través del desarrollo de la pubertad para obtener la mayor cantidad de masa ósea máxima posible. Los deportes de alto impacto tal como la gimnasia, o la participación en deportes o actividades en las que hay que soportar el propio peso corporal tal como el fútbol, son muy recomendables para incrementar la masa ósea pico. Hay otros factores que también influyen en la acumulación de minerales óseos durante la niñez y la adolescencia, por ejemplo, la herencia, el sexo, la dieta y el estatus endocrino. Sin embargo, este artículo de revisión solamente se centrará en los efectos de la actividad física y el ejercicio proporcionando una síntesis del conocimiento disponible acerca de la interacción entre la actividad física, el ejercicio y el desarrollo de masa ósea durante el crecimiento. Debido al sesgo de selección y a otros factores inherentes a los estudios transversales que podrían causar confusión, sólo serán revisados los estudios longitudinales y de intervención ya que ellos proporcionan una mejor oportunidad para determinar la influencia de la carga mecánica sobre la acumulación de mineral ósea a lo largo del tiempo.

Palabras Clave: pubertad, carga, crecimiento, osteoporosis, ejercicio

INTRODUCCION

La osteoporosis es un desorden esquelético caracterizado por una disminución en la masa ósea y el deterioro de la micro arquitectura del tejido óseo con un consecuente aumento en la fragilidad del hueso y en la susceptibilidad a la fractura (Cooper, 2003). La osteoporosis y las fracturas relacionadas con esta condición, representan un gran problema de salud en la sociedad (Kanis et al., 1994).Hay estadísticas que sugieren que 1 de cada 3 mujeres y 1 de cada 5 hombres experimentará una fractura causada por la osteoporosis en algún momento de su vida (Kanis y Johnell, 2005). Estas estadísticas se incrementarán exponencialmente durante los próximos 50 años a medida que la población envejezca, y para

el año 2050 se proyecta que los costos directos totales de fracturas de cadera en Europa serán de £51 mil millones (Kanis y Johnell, 2005). Por lo tanto es necesario poner un gran énfasis en las medidas preventivas para combatir o detener este aumento en la osteoporosis y en las fracturas. La ausencia de actividad física contribuye sustancialmente al riesgo de sufrir osteoporosis (Kannus et al., 1999) y aunque ésta se manifiesta en personas de edad avanzada, tiene sus antecedentes en la niñez (Bailey et al., 1999). La masa ósea es un determinante establecido de la fortaleza ósea, y la masa ósea de un individuo en su vida adulta va a dependerá del pico alcanzado durante el crecimiento del esqueleto y de la subsiguiente tasa de pérdida ósea. Se ha sugerido que la principal estrategia para prevenir la osteoporosis sería la optimzación de la masa ósea pico. La masa ósea pico refleja la cantidad máxima de mineral acumulada durante toda la vida en cada hueso individual y en el esqueleto entero; y es una consecuencia de la acumulación neta de hueso durante la niñez y del equilibrio entre acumulación y resorción (degradación) durante la madurez (Bass et al., 1998). Teóricamente, debido a que la pérdida ósea se produce al envejecer, las personas que adquieren la masa ósea máxima en sus años tempranos deberían tener un menor riesgo de fragilidad y fractura del esqueleto en edades avanzadas. Una estrategia para aumentar la masa ósea máxima es la realización regular de ejercicios en los que los sujetos deben soportar su propio peso corporal. Los ejercicios en los que los sujetos deben soportar su propio peso corporal pueden incluir ejercicios aeróbicos, circuitos de entrenamiento, trotes, saltos, voleibol y otros deportes que generen impacto en el esqueleto. Hay evidencia que sugiere que los años de la niñez y adolescencia representan un período oportuno durante el cual el hueso se adapta de un modo especialmente eficaz a la carga (Bass et al., 2000; Khan et al., 2000). La evidencia que apoya el papel del ejercicio en el que hay que soportar el propio peso corporal en la acumulación de minera óseo proviene de numerosos estudios transversales, longitudinales y de intervención. Sin embargo, debido as que en los estudios transversales se produce un sesgo de selección y a otros factores de confusión inherentes a estos tipos de estudios, en este trabajo solo se revisarán los estudios longitudinales y de intervención ya que ellos proporcionan una mejor oportunidad para evaluar la influencia de la carga mecánica en la acumulación de mineral óseo a lo largo del tiempo (Tabla 1). Esta revisión describirá el papel que desempeñan la actividad física y el ejercicio en la promoción de la masa ósea pico en niños y niñas en dos etapas de maduración, etapa previa a la pubertad (pre-puberal) y pubertad/adolescencia. En la actualidad la mayoría de la información relacionada con el desarrollo del hueso y el ejercicio proviene de la utilización de técnicas de absorciometría dual de rayos X (DXA) por lo que este trabajo se centrará en los estudios que utilicen esta metodología. Sin embargo, el lector debe tener en cuenta las limitaciones que posee la DXA para interpretar adecuadamente los resultados (Wren y Gilsanz, 2006). Para obtener información mas detallada sobre la biología del hueso, maduración u osteoporosis en general, se recomienda la lectura de algunos textos excelentes sobre éstos temas (Currey, 2002,; Malina y Bouchard, 2004,; Cooper et al., 2006).

Prepubertad

Ha sido previamente demostrado que la participación en deportes durante el crecimiento aumenta un 10-20% la densidad mineral ósea (BMD) en los miembros sobrecargados de sujetos activos (Bass et al., 1998) siendo este aumento mayor si el ejercicio se realiza antes del crecimiento puberal (Bradney et al., 1998; Calbet et al., 2001; Vicente-Rodríguez et al., 2003). Bradney et al. (1998) estudiaron los efectos del ejercicio moderado durante el crecimiento y evaluaron los cambios en la BMD por áreas (aBMD) mediante un programa de juegos de 8 meses de duración en varones pre-púberes (Tabla 1). El estudio reportó aumentos en la aBMD corporal total del 2.6%, del 4.3% en la columna lumbar y 9.3% en la diáfisis femoral en el grupo que realizó ejercicio en comparación con el grupo control. Además, también aumentó la BMD volumétrica, lo que sugiere que los aumentos en la masa ósea fueron superiores al aumento en el tamaño corporal debido al crecimiento, lo que sugiere que el esqueleto en crecimiento tiene una buena respuesta frente al ejercicio moderado. Bradney et al. (1998) utilizó los clubes a los que se concurre luego de la escuela para la realización de ejercicios de intensidad, pero dos estudios posteriores del año 2006 evaluaron el efecto del ejercicio moderado sobre la masa ósea en niños utilizando los programas de ejercicio establecidos en la curricula escolar. Valdimarsson et al., (2006) determinaron si un programa de ejercicio moderado general, dentro de la escuela (basado en juegos con pelota, carreras y saltos) podría aumentar el crecimiento óseo en niñas a lo largo de un período de 1 año (Tabla 1). Estos investigadores encontraron efectos positivos en la acumulación ósea en la columna lumbar (contenido mineral óseo (BMC) + 4.7%; aBMD + 2.8%). Estos resultados fueron ampliados posteriormente cuando Linden et al,. (2006) publicaron los resultados obtenidos en dos años del mismo estudio (Table1), e informando aumentos adicionales en la BMC y la aBMD corporal total y en la columna lumbar. Sin embargo, es necesario tener cautela en la interpretación de los resultados ya que los estudios no fueron aleatorios al principio, aumentando así el riesgo de sesgo de selección, y además no se evaluó la intensidad del ejercicio realizado directamente, y hubo una alto porcentaje de abandono en el grupo control durante el segundo año del estudio.

Mackelvie et al. en 2001 y 2002 realizaron estudios similares (Tabla 1), basándose en los tipos de ejercicios que se realizaban en las escuelas, pero cuantificando la carga del ejercicio como la fuerza de reacción contra el suelo (GRF) de entre 3,5-5 veces el peso corporal. Además, los estudios fueron aleatorios y controlados durante un período de 7 meses. El estudio del año 2002 mostró un efecto significativo del programa de saltos llevado a cabo en la escuela sobre el cambio mineral óseo corporal total y en el fémur proximal en varones. Aunque el efecto fue pequeño con la intervención para los varones, el índice de masa corporal inicial estuvo relacionado significativamente con la acumulación de mineral óseo y podría haber desempeñado un rol significativo en la atenuación del efecto del ejercicio de salto. No se registraron

aumentos en el contenido mineral óseo en las niñas a lo largo del mismo período de tiempo (2001). Estos resultados sugieren que el ejercicio moderado ejerce un efecto específico del sexo y del sitio (región del esqueleto) en la acumulación de mineral óseo. De hecho, Petit et al. (2002) realizó un ensayo similar con niñas durante 7 meses. En el mismo se utilizó un entrenamiento a base de saltos y circuitos (GRF = 3,5-5 veces el peso corporal) y no se encontraron aumentos significativos en la BMC o en la aBMD en ninguno de los sitios de esqueleto medidos (Tabla 1). En contraste, Van Langendonck et al. (2003) realizó un estudio singular llevado a cabo con gemelos en el cual se evaluó la influencia de la realización de ejercicios en los que se debía soportar el propio peso corporal sobre la adquisición ósea en gemelas monocigóticas pre-púberes, (Tabla 1). Este estudio permitió el control de varios parámetros que influyen en la masa ósea que no habían podido ser controlados previamente. El estudio mostró efectos positivos en la acumulación mineral en el fémur proximal de las niñas, pero sólo en aquellas niñas que no habían realizado ejercicios previamente. Por consiguiente, es posible que la sobrecarga impuesta por el ejercicio sea beneficiosa para las niñas prepúberes, pero sólo en aquellas que no tengan un historial de sobrecarga previo a la realización del ejercicio.

Los estudios anteriores se completaron en períodos relativamente cortos de tiempo para la remodelación del hueso. Mackelvie et al. (2004) realizaron un estudio aleatorio y controlado de ejercicio de 20 meses de duración con varones prepúberes con el fin de comparar los cambios en el contenido mineral óseo (BMC) del fémur proximal entre los sujetos que realizaron ejercicios y los sujetos que sirvieron de controles (Tabla 1). En este caso los ejercicios realizados fueron los mismos que en los estudios de 2001 y 2002. Sin embargo, los resultados fueron diferentes, no observándose cambios significativos en la BMC corporal total, fémur proximal o en la columna lumbar en los niños. El único sitio del esqueleto que respondió al ejercicio fue el cuello femoral (+ 4.3% BMC). Aunque había una desproporción en los estadios de maduración entre el grupo control y el grupo que realizó los ejercicios, este estudio sugiere que cambios mínimos al plan de estudios de educación física podrían influir en el fortalecimiento del hueso en lugares específicos del esqueleto.

Laing et al. (2005) realizaron otro estudio de larga duración, en donde evaluaron el efecto del entrenamiento con gimnasia recreacional sobre el incremento mineral óseo en niñas de 4 a 8 años (Tabla 1) que no tenían historial de participación deportiva previa al estudio. El grupo de niñas que realizó el entrenamiento presentó una tasa mayor de aumento en la aBMD de la columna lumbar que la que se observó en el grupo control. Este aumento sólo se observó en la columna lumbar, mientras que en otros sitios analizados los aumentos fueron similares en ambos grupos. Por consiguiente, a partir de estos resultados podría decirse que el ejercicio de carga moderada sería beneficioso en varones y en niñas prepúberes, aunque en las niñas, el historial previo de ejercicio podría influir en el grado de beneficio obtenido. Las mejoras también son específicas de algunos sitios.

Si el ejercicio moderado ejerce efectos beneficiosos sobre el incremento mineral óseo, entonces la pregunta que se plantea es si ¿el ejercicio de alta intensidad, tendrá efectos positivos adicionales en la acumulación de mineral óseo? Mckay et al. (2000) llevaron a cabo un estudio con niños y niñas con el fin de evaluar si las clases de educación física escolares podrían ser modificadas para aumentar la BMD (Tabla 1). El estudio introdujo ejercicios de alta intensidad en el plan de estudios, como saltos llevando rodillas al pecho *(tuck jumps)*, rebotes y *skipping* durante 8 meses, y observaron un 4.4% de aumento en la densidad mineral ósea del trocánter. Este estudio reveló que se pueden lograr mejoras en la aBMD a través de una práctica de saltos fácil de implementar en el ámbito escolar. Fuchs et al. (2001) realizaron un estudio similar que evaluó los efectos de una práctica de saltos de alta intensidad sobre la BMC de la cadera y de la columna lumbar en niñas y niños durante un período de 7 meses (Tabla 1). Los ejercicios de alto impacto realizados causaron una fuerza de reacción contra el suelo (GRF) de 8,8 veces el peso corporal e indujeron aumentos en la BMC y aBMD de la columna lumbar y del cuello femoral. Estos estudios fueron aleatorios, y aportaron datos de la GRF para cuantificar la carga sobre el esqueleto y además se controló que los individuos estuvieran todos en la etapa puberal. Por lo tanto, estos estudios proporcionan evidencia convincente de que los niños y niñas prepúberes pueden participar en programas del ejercicio vigorosos y responderían positivamente frente a los mismos a lo largo del crecimiento prepuberal.

Pubertad y adolescencia

El rápido crecimiento durante la pubertad puede definirse como el período de 2-3 años de aumento rápido en la talla y el peso relacionados al cambio en la actividad del hipotálamo con un aumento gradual en la secreción de la hormona liberadora de gonadotrofina (GnRH). El aumento en la GnRH estimula el crecimiento gonadal y la secreción de esteroides sexuales; y las características sexuales secundarias aparecen a medida que se incrementa la concentración de estos esteroides. La testosterona, hormona de crecimiento y el factor de crecimiento tipo insulínico 1 (IGF-1) aumentan durante la pubertad (Bailey et al.., 1996) reforzando el crecimiento y la remodelación ósea a través de la estimulación osteoblástica (Hock et al., 1988). La producción de estrógeno es baja en la niñas pre-menárquicas lo que hace que sus huesos sean más sensibles a los ejercicios de sobrecarga (Jarvinen et al., 2003) y que aumenten su tamaño (Zhang et al., 1999; Seeman, 2001).

Blimkie et al. (1996) realizaron un estudio prospectivo con entrenamiento de fuerza en niñas adolescentes para determinar el efecto de 26 semanas de entrenamiento de fuerza progresiva sobre la BMC y la aBMD corporal total y de la columna

lumbar (Tabla 1). Las niñas realizaron una variedad de ejercicios en máquinas hidráulicas, y aunque se espraba encontrar un cambio significativo en el contenido mineral óseo debido a los ejercicios de fuerza, sólo se evidenciaron tendencias hacia un mayor contenido mineral en los huesos de la columna lumbar durante las primeras 13 semanas de entrenamiento. No se reportaron cambios en el contenido mineral de los huesos de la columna lumbar o corporal total después de 26 semanas de entrenamiento. Sin embargo, en la última parte del estudio disminuyó el entusiasmo de las niñas frente a la participación en los ejercicios lo que derivó en una menor asistencia a las sesiones de entrenamiento. Esto podría explicar la falta de resultados significativos en este estudio. Sin embargo, Witzke y Snow (2000) también realizaron un estudio de intervención con ejercicios de sobrecarga en niñas adolescentes y tampoco reportaron resultados significativos (Tabla 1). Se observaron tendencias de aumentos en el BMC corporal total, del cuello femoral, de la diáfisis femoral, del trocánter mayor y de la columna lumbar, aunque estos cambios también se observaron en el grupo control. Los autores concluyeron que estas tendencias pueden sugerir que sería necesario un período de entrenamiento más largo (superior a 9 meses) para poder observar cambios significativos. Nicholas et al. (2001) realizaron un estudio de entrenamiento de la fuerza en niñas durante 15 meses y encontraron mejoras significativas en el aBMD del cuello femoral del orden del 2.3% (Tabla 1). Sin embargo, las niñas en este estudio eran adolescentes y ya habían tenido su menarca por lo que no es posible hacer comparaciones directas.

Los estudios de Blimkie et al. (1996) y Witzke y Snow (2000) se encuentran entre los pocos estudios que han utilizado al entrenamiento de fuerza como práctica de ejercicio. La mayoría de los estudios dirigidos en este grupo de madurez han utilizado prácticas de salto (Tabla 1). Todos los estudios que utilizaron el salto como práctica mostraron resultados positivos, y por lo tanto no sería necesariamente la duración del estudio lo que hace que no se encuentren resultados significativos, si no que más bien sería la elección del tipo de ejercicio. Morris et al. (1997) realizaron un estudio prospectivo con intervención de ejercicios de 10 meses de duración, en niñas pre-menárquicas, utilizando los clubes fuera del horario escolar, y realizando actividades como ejercicios aeróbicos, baile y juegos de pelota, e informaron aumentos de 3.5% -12% en el BMC y el aBMD en diversos sitios del esqueleto (Tabla 1). Este estudio proporcionó evidencia directa de que este tipo de ejercicio aumenta la acumulación mineral ósea en el esqueleto de las niñas pre-menárquicas. Otros estudios que evaluaron el efecto del ejercicio también observaron efectos positivos. Mackelvie et al. (2001) realizaron un estudio con prácticas de ejercicios consistentes en circuitos y saltos de 7 meses de duración, en niñas que se encontraban en la etapa de pubertad temprana y encontraron que las niñas experimentaron ganancias significativas en el mineral óseo del cuello femoral y de la columna lumbar mayores que las encontradas en los controles correspondientes (Tabla 1). Este estudio fue el primero en sugerir que el ejercicio en niñas de 10.5 años y mayores representan una "ventana de oportunidad" para obtener ganancias ósea inducidas por el ejercicio. Las ganancias eran específicas del sitio y sólo fueron significativas en las niñas que se encontraban en la pubertad temprana (las niñas prepúberes no registraron cambios en el contenido mineral óseo - Para más detalles referirse a la sección de prepúberes). Petit et al. (2002) realizaron un estudio para evaluar los efectos del ejercicio (GRF entre 3,5-5 veces el peso del cuerpo) en niñas pre-menárquicas y encontraron aumentos en la aBMD del cuello femoral y en la aBMD del intertrocánter de 2.6 % y 1.7% respectivamente (Tabla 1). La adaptación ósea se produjo solamente en estos sitios y por lo tanto fue sitio-específica, lo que concuerda con los resultados de Mackelvie et al. (2003). Mackelvie et al (2003) llevaron a cabo un estudio aleatorio por escuelas, con prácticas de salto en un período de tiempo mayor (20 meses comparado con los 7 meses de los otros estudios) y encontraron un incremento del 5% en la acumulación de mineral óseo en las niñas de las escuelas que realizaron la práctica de ejercicios en comparación con las niñas de las escuelas controles (Tabla 1). Este estudio fue una extensión del estudio de Mackelvie et al. (2001). Los resultados obtenidos indicarían si se produce la acumulación ósea y que las niñas de las escuelas en las que se realizó el ejercicio, presentarían a los 20 meses una acumulación mineral ósea del doble de la obtenida en el estudio realizado durante 7 meses.

Este efecto sobre el hueso también se observa en ejercicios de muy corta duración realizados a lo largo del día y con GRF muy bajas. Iuliano-Burns et al., (2003) realizaron un estudio con niñas de 8.8 años, utilizando ejercicios de impacto bajo-moderado tales como skipping, rebotes y saltos, (GRF entre 2 a 4 veces el peso del cuerpo) y reportaron un incremento del 7.1% en el contenido mineral óseo (BMC) del cuello femoral (Tabla 1). Por otro lado, Mckay et al. (2005) realizaron un estudio en niñas y niños de 10.1 años que fueron asignados aleatoriamente a una nueva práctica llamada "*Bounce at the Bell*" y que consiste de 10 saltos con contramovimiento, 5 veces por día por un total de ~ 3 min/día (Tabla 1). Si bien esta práctica se realizó solo durante 3 minutos, 5 veces por día, dio como resultado un incremento del 2% en el BMC del fémur proximal y del 27% en el BMC del trocánter. De esta manera, estos estudios indican que la práctica de ejercicio puede ser de intensidad baja (en términos de GRF), y de corta duración, y aún proporcionar una respuesta osteogénica en niñas y niños durante la pubertad temprana.

Kontulainen et al. (2002) realizaron un estudio con niñas de 12.8 años para determinar el efecto de una práctica de salto sobre la acumulación mineral ósea (Tabla 1). El estudio utilizó ejercicios aeróbicos en *step* y saltos y fue llevado a cabo durante 20 meses. Los resultados de este estudio mostraron un aumento del 4.9 % en la BMC de la columna lumbar qué se mantuvo por lo menos durante un año después de finalizar el entrenamiento. Este estudio fue correctamente controlado, pero los resultados deberían interpretarse con cautela debido a la naturaleza observacional de los medios de seguimiento.

Stear et al. (2003) llevaron a cabo un estudio para investigar los efectos de ejercicios con música sobre la BMC en niñas de 17.3 años (Tabla 1). El estudio tuvo una duración de 15.5 meses y se observaron mejoras significativas en la BMC corporal total, de la columna lumbar y de regiones de la cadera. Estos resultados se basaron en otro estudio realizado con prácticas de baile. Matthews et al. (2006) evaluaron si, en una población no atlética, bailar ballet a lo largo de 3 años promovía el incremento en el mineral óseo (Tabla 1). Todas las niñas, de 8-11 años de edad experimentaron aumentos en la BMC corporal total, de la columna lumbar y en sectores del cuello femoral. La importancia de estos estudios es que ellos son de naturaleza longitudinal. Sin embargo, la carga exacta del ejercicio no puede ser cuantificada ya que no se controló con exactitud la cantidad y el tipo de baile que cada niña realizó y por lo tanto podrían haber practicado diferentes regímenes de baile.

Los programas de práctica de ejercicio que apuntan a incrementar la masa ósea o la fuerza en niños púberes o adolescentes han involucrado diversas actividades de impacto moderado a alto como saltar o correr. La mayoría de los estudios han reportado que las prácticas de ejercicio ejercen efectos positivos sobre el esqueleto. La magnitud de los efectos varía según el sitio del esqueleto que se haya medido. La evidencia sugiere que la pubertad temprana puede ser particularmente óptima para la adaptación del hueso a la sobrecarga. Las razones por las qué ésta puede ser un período oportuno para la adaptación del hueso al ejercicio podría deberse a la velocidad de crecimiento del hueso y a los cambios endocrinos que se producen en esta edad. Se ha estimado que alrededor del 30% de la masa ósea del cuerpo entero adulto se acumula durante este tiempo (Mauras et al., 1996). Sin embargo, aunque la evidencia sugiere que existe una ventana de oportunidad en los niños en ésta etapa puberal, los estudios hasta la fecha son insuficientes para arribar a una conclusión definitiva.

Estudios que Abarcan la Etapa Puberal

Debido a los costos y a la logística de los estudios, hay un vacío de estudios de intervención bien controlados a largo plazo, y por lo tanto que incluya las diferentes etapas de la pubertad. En este sentido, Bailey et al., (1999) publicaron los resultados de un estudio de Acumulación Mineral Osea en Niños de la Universidad de Saskatchewan realizado durante 6 años. Este estudio realizó un seguimiento a niños y niñas durante un período de 6 años para evaluar la relación existente entre la actividad física diaria y la acumulación máxima de hueso en niños adolescentes. El estudio demostró una tasa de acumulación mineral ósea máxima y una mayor acumulación mineral ósea en los 2 años cercanos al momento del pico máximo de crecimiento de los niños en el cuartil más alto de actividad física, en comparación con los niños en el cuartil más bajo de actividad física. El efecto observado fue específico del sitio y del orden del 9% para los niños y del 17% para las niñas. Sundberg et al. (2001) también realizaron un estudio a largo plazo de 4 años, que tenía como objetivo determinar si una mayor cantidad de ejercicio moderado en el plan de estudios escolar tendría efectos anabólicos en el hueso. En este estudio se observaron efectos positivos en la aBMD y la BMC corporal total, columna lumbar y cuello femoral - los sitios que soportaron la sobrecarga. Sin embargo, este efecto sólo fue significativo en los niños. Además, el efecto observado en niños fue mayor a los 4 años que a los 3 años. Si bien este estudio fue realizado durante un largo período de tiempo, el grupo control sólo fue evaluado transversalmente al comienzo del estudio lo que limitaría la validez de éstos resultados.

Por último, Heinonen et al. (2000) realizaron un estudio de 9 meses en niñas en crecimiento para evaluar los efectos del ejercicio de alto impacto. El estudio reveló que en las niñas en crecimiento, los beneficios de la carga mecánica sólo se observaban antes de la menarca y no después de la ocurrencia de la misma y mostró que podría obtenerse una ganancia ósea adicional mas notable y mayor, mediante el ejercicio en niñas premenárquicas, pero no en niñas post-menárquicas, lo que sugeriría que el ejercicio es más beneficioso para el hueso durante el pico de crecimiento.

Beneficios a Largo Plazo del Ejercicio Frente al Riesgo de Osteoporosis

Para que la ganancia ósea asociada a cualquier práctica de ejercicios, obtenida en la niñez, tenga influencia en el riego de sufrir una fractura por osteoporosis en el adulto, la misma debería ser de larga duración. En los adultos, se sabe que los efectos beneficiosos observados sobre el hueso cuando se realiza un programa de ejercicios, se pierden cuando se detiene el entrenamiento (Dalsky et al., 1988) pero no se sabe si esto se produce también en respuesta al ejercicio realizado durante el crecimiento. Debido a que el hueso puede cambiar su forma substancialmente durante el crecimiento, a través del proceso de remodelación, no es inconcebible que se obtengan beneficios a largo plazo a partir de la actividad realizada durante la niñez (Forwood y Burr 1993; Haapasalo 1998).

Hay evidencia que sugiere que los altos niveles de minerales en el hueso obtenidos durante la niñez se mantienen en los gimnastas (Kirchner et al., 1996; Bass et.al, 1998), bailarines de ballet de élite (Khan el al., 1998) y en algunos sitios óseos, pero no en todos los sitios, según lo indicado por estudios de seguimiento de corto plazo realizado en niños (Fuchs et al., 2001; Kontulainen et al., 2002). Por el contrario, estudios en animales diseñados correctamente demuestran que los beneficios de la actividad durante el crecimiento no se mantienen cuando cesa completamente el entrenamiento (Pajamaki et al., 2003), aunque algunos beneficios se mantienen si se aplica una sobrecarga moderada (Jarvinen et al., 2003). La pérdida de aBMD determinada por DXA no necesariamente se traduce en una disminución en la resistencia a las fracturas

óseas. De hecho, una mayor área ósea se presentaría como una disminución en la densidad mineral ósea por áreas (aBMD). Es necesario que en estudios futuros se realice un seguimiento de los grupos pediátricos que se extienda más allá de la duración de la práctica en sí, y que considere los resultados de resistencia ósea a las fracturas para aclarar este importante aspecto.

CONCLUSION

Los estudios realizados hasta la fecha han involucrado una variedad de grupos de madurez y van desde 6.5 meses a 6 años. Aunque los estudios tuvieron varias limitaciones (debido a que se torna dificultoso el control de las pruebas a lo largo de períodos de tiempo prolongados en niños, mientras que se analiza el crecimiento), los resultados hasta la fecha muestran que el ejercicio es beneficioso para el incremento mineral óseo a lo largo del crecimiento. El ejercicio moderado (3.5-5 veces el peso corporal) es beneficioso para los niños pre-púberes y en determinados sitios del esqueleto. El ejercicio moderado en las niñas pre-púberes puede ser beneficioso, pero sólo si las niñas no tienen historial previo ejercicios de sobrecarga, y los beneficios podrían ser también en determinados sitios del esqueleto. El ejercicio de alta intensidad parecería ser beneficioso tanto para niños como para niñas pre-púberes.

Los ejercicios de fuerza no serían la práctica mas adecuada para promover el incremento mineral óseo en niñas púberes y adolescentes. Sin embargo, las prácticas de salto que utilizan un rango de GRF (de bajo-alto impacto) podrían promover la acumulación mineral ósea en niñas y niños, particularmente en las niñas mayores a 10.5 años y dentro de los 2 años del pico de crecimiento. Las sesiones de ejercicio de corta y larga duración pueden ser beneficiosas y mientras mayor sea la práctica, mayor será la acumulación mineral ósea.

La mayoría de estudios han utilizado prácticas de ejercicio empleadas en la escuela que consisten en actividades de impacto en las que hay que soportar el peso corporal, 3-20 minutos por día, tres o más sesiones por semana. La prescripción de 3 días de ejercicio por semana podría favorecer potencialmente las respuestas osteogénicas en los niños y adolescentes. Sin embargo, se necesitan estudios longitudinales que aseguren el mantenimiento de los incrementos en el contenido de minerales del hueso. El hueso puede acostumbrarse a la carga constante de una magnitud similar y no se observarán aumentos en la fuerza hasta que se aplique una carga de mayor magnitud (Frost, 1990). Por lo tanto, para asegurar los efectos positivos continuos, debe utilizarse la progresión de ejercicio (un principio de entrenamiento muy conocido). Las diferencias en las fuerzas generadas por el ejercicio pueden ser cuantificadas por GRF y están linealmente asociadas con la tensión generada sobre el hueso. Fuerzas de reacción del suelo (GRF) de entre 2 a 9 veces el peso corporal, es decir mayores a las producidas durante las actividades cotidianas, resultarían en adaptaciones óseas positivas, a pesar de que a mayor intensidad mayor será la respuesta osteogénica.

La maximización de la masa ósea máxima probablemente prevendrá el desarrollo futuro de osteoporosis y fragilidad ósea. Es necesario contar con investigaciones mejor diseñadas y controladas. Es preciso determinar aún, cual es el tipo específico, la intensidad y duración del ejercicio que aportará el estímulo óptimo para la acumulación mineral ósea máxima.

Además, la determinación de parámetros relacionados a la calidad de hueso y de la densidad mineral ósea (BMD) volumétrica proporcionaría una mejor visión de cuales son los mecanismos implicados en la adaptación del hueso al ejercicio.

	Referencias	Participantes	Diseño	Tipo de práctica de ejercicio	Resultados*
Prepúberes	Bradney et al., 1998	Niños. Blancos. Edad 10.4± 0.2años	Aleatorio por escuela Con = 20; Ex = 20	Clubs fuera del horario escolar. Ejercicios aeróbicos fútbol, voleibol, danza, gimnasia, básquetbol y entrenamiento de sobrecarga; 3 veces/ semana; 30min/ sesión; 8 meses de duración	TB + 2.6% aBMD LS + 4.3% aBMD FS + 9.3% BMC FS + 9.1% vBMD
	Mckay et al., 2000	Niñas y Niños. Blancos y Asiáticos. Edad 8.9± 0.7años	Aleatorio por escuela Con = 81; Ex = 63	10 saltos rodillas al pecho antes de la clase, 3 veces/ semana Saltos, rebotes, skipping. 2 veces/semana 10- 30 min/sesión; 8 meses de duración	GT + 4.4% aBMD
	Fuchs et al., 2001	Niñas y Niños. Blancos. Edad 7.5 ± 0.2 años	Aleatorio dentro de la escuela Con = 44; Ex = 45	100 saltos con caída desde una altura de 61cm; GRF = 8,8 bw; 3veces/semana; 10min/sesión; 7 meses de duración	LS + 2% aBMD FN + 1.4% aBMD LS + 3.1% BMC FN + 4.5% BMC
	Mackelvie et al., 2001	Niñas. Blancas y Asiáticas. Edad 10.1 ± 0.5 años	Aleatorio por escuela Con = 26; Ex = 44	50- 100 saltos y circuitos de entrenamiento GRF = 3.,5- 5 bw; 3 veces/ semana; 10-12min/ sesión; 7 meses de duración	NS
	Mackelvie et al., 2002	Niños Blancos y Asiáticos. Edad 10.3 ± 0.6 años	Aleatorio por escuela Con = 60; Ex = 61	50- 100 saltos y circuitos de entrenamiento GRF = 3. 5- 5 bw; 3 veces/semana; 10min/sesión; 7 meses de duración	PF + 1.6% aBMD TB + 1.6% BMC
	Petit et al., 2002	Niñas. Blancas y Asiáticas. Edad 10 ± 0.6años	Aleatorio por escuela Con = 25; Ex = 43	50- 100 saltos y circuitos de entrenamiento GRF = 3,5- 5 bw; 3 veces/semana; 10min/sesión; 7 meses de duración	NS
	Van Langendonck et al., 2003	Niñas. Edad 8.7± 0.7años	Estudio con gemelas Con = 21; Ex = 21	Ejercicios de saltos y rebotes; 3 veces/semana; 10min/sesión; 9meses de duración	PF + 2.5% BMC
	Mackelvie et al., 2004	Niños. Blancos y Asiáticos. Edad 10.2 ± 0.5 años	Aleatorio por escuela Con = 33; Ex = 31	50- 100 saltos y circuitos de entrenamiento GRF = 3. 5- 5 bw; 3 veces/semana; 12min/sesión; 20 meses de duración	FN + 4.3% BMC

	Laing et al., 2005	Niñas. Blancas, Asiaticas y Negras Edad 6.0 ± 1.6 años.	Sin aleatorizar Con = 78; Ex = 65	Gimnasia recreacional; 1 hora/semana; 24 meses de duración	LS+ 11.6% aBMD
	Linden et al., 2006	Niñas. Edad 7.8 ± 0.6 años	Sin aleatorizar Con = 50; Ex = 49	PE – Juegos con pelotas, carreras y saltos ; 200min/semana; 2 años de duración	TB + 0.6% aBMD LS + 1.2% aBMD LS + 3.8% BMC
	Valdimarsson et al., 2006	Niñas. Edad 7.8 ± 0.6 años	Sin aleatorizar Con = 50; Ex = 53	PE - Juegos con pelotas, carreras y saltos; 5 veces/semana; 40min/sesión; 1 año de duración	LS + 2.8% aBMD LS + 4.7% BMC
Pubertad y adolescencia	Blimkie et al., 1996	Niñas. Edad 16.2 ± 0.2 años	Aleatorio dentro de la escuela Con = 16; Ex = 16	Entrenamiento de la fuerza, máquinas hidráulicas; 13 ejercicios x 4 series; 10- 12 rep; 3 veces/semana; 6.5 meses de duración	NS
	Morris et al., 1997	Niñas. Edad 9.5 ± 0.9 años	Sin aleatorizar Con = 33; Ex = 38	Clubes fuera del horario escolar. Aeróbicos, steps aeróbicos, fútbol, danza, juegos con pelotas y entrenamiento con carga; 3 veces/semana; 30min/sesión; 10 meses de duración	TB +3.5% aBMD LS +4.8% aBMD PF + 4.5% aBMD FN + 12% aBMD PF + 4.5% aBMD TB + 12% BMC LS + 7% BMC FN + 10.4% BMC PF + 11.9% BMC
	Witzke and Snow 2000	Niñas. Blancas. Edad 14.6± 0.5años	Sin aleatorizar Con = 28; Ex = 25	Entrenamiento de fuerza y pliométrico; 3 veces/semana; 30-45min/sesión; 9 meses de duración	NS
	Mackelvie et al., 2001	Niñas. Blancas y Asiáticas. Edad 11± 0,9años	Aleatorio por escuela Con = 64; Ex = 43	50-100 saltos y circuitos de entrenamiento GRF =3,5-5 bw; 3 veces/semana; 10-12min/sesión; 7 meses de duración	LS +8.2% aBMD FN + 6.7% aBMD LS 16.5% BMC FN +11.3% BMC FN + 3.6% vBMD
	Nichols et al., 2001	Niñas. Edad 15,9± 0,1años	Aleatorio por grupos Con =21; Ex =46	15 ejercicios de sobrecarga; 3 veces/semana; 30- 45 min/semana; 15 meses de duración	FN +2.3%aBMD
	Kontulainen et al., 2002	Niñas. Edad 12,8 ± 1,5años	Aleatorio por grupos Con =49; Ex =50	Programa de step aeróbico y saltos; 2 veces/semana; 50min/sesión; 20 meses de duración	LS +4.9% BMC

	Petit et al., 2002	Niñas. Blancas y Asiáticas. Edad 10,5± 0,6años	Aleatorio por escuela Con =63; Ex = 43	Ejercicios con 5 tipos de salto diferentes. GRF = 3,5-5 bw; 3 veces/ semana; 10min/sesión; 7 meses de duración	FN + 2.6% aBMD IR + 1.7% aBMD
	Iuliano- Burns et al., 2003	Niñas. Blancas y Asiáticas Edad 8,8± 0,1años	Aleatorio por grupo 4 grupos de 16	Saltos, rebotes y skipping de impacto moderado GRF = 2- 4 bw; 3 veces/semana; 20min/sesión; 8.5 meses de duración	FN + 7.1% BMC
	Mackelvie et al., 2003	Niñas. Blancas y Asiáticas. Edad 9,9± 0,6años	Aleatorio por escuela Con = 43; Ex = 32	100 saltos y circuitos de entrenamiento GRF =3,5- 5 bw; 3 veces/semana; 10min/sesión; 20 meses de duración	LS + 41.7% BMC FN + 24.8% BMC
	Stear et al., 2003	Niñas. Blancas. Edad 17.3± 0.3años	Aleatorio por grupo Con =66; Ex =65	Ejercicios con música 3 veces/semana; 45 min/sesión; 15.5 meses de duración	TB +0.8%BMC LS +1.9%BMC FN +2.2%BMC HIP +2.7%BMC TR +4.8%BMC
	Mckay et al., 2005	Niñas y Niños. Blancos y Asiáticos. Edad 10,1 ± 0,5años	Aleatorio por escuela Con = 71; Ex = 51	Programa "bounce at the bell"; 10 CMJ GRF = 5 bw; veces/ día; 3 min/sesión; 8 meses de duración	PF + 2.0% BMC TR + 27% BMC
	Matthews et al., 2006	Niñas. Blancas y Asiáticas. Edad 8-11 años	Aleatorio por escuela Con =61; Ex =82	Ballet; 4.5 horas/semana a 7 horas/ semana; 3 años de duración	TB +1%BMC LS +0.6%BMC FN +4%BMC
Diferentes Grupos de Maduración.	Bailey et al., 1999	Niñas y Niños. Edad 8–14años	53 Niñas; 60 Niños	Actividad física diaria determinada mediante cuestionario; 6 años de duración	Los niños activos tenían 9% y las niñas 17% >TB BMC
	Heinonen et al.,2000	Niñas.Blancas. Edad 13,7± 0,9años	Sin aleatorizar Con =33; Ex =25 Con =29; Ex =39	100-220 saltos, con uno o ambos pies a 30cm; 2 veces/semana; 20min /sesión; 9 meses de duración	LS +8.6%BMC FN +9.3%BMC
	Sundberg et al., 2001	Niñas y Niños. Edad 16,0± 0,3años	Aleatorio por escuela Con =148; Ex = 80	Actividades donde debía soportarse el peso corporal tales como carreras, saltos y gimnasia; 4 x 40min/semana PE en la escuela; 4 años de duración	TB +3% aBMD LS + 3% aBMD FN + 9% aBMD TB + 4% BMC LS + 9% BMC FN + 8% BMC

Tabla 1. *Estudios relacionados a la práctica de ejercicios en niños y adolescentes* % de ganancia luego de la realización del ejercicio en el grupo experimental (luego de todos los ajustes estadísticos). Sólo se muestran los resultados significativos. Edad: Media ± SD. aBMD = densidad mineral ósea por área; ANCOVA =Análisis de covarianza ; ANOVA =Análisis de Varianza ; BMC= Contenido mineral óseo; bw - Peso corporal ; CMJ =Saltos con contramovimiento; Con =Grupo control; Ex =Grupo experimental; FN =Cuello femoral; FS= Diáfisis femoral; GRF =Fuerzas de reacción contra el suelo; GT =Trocánter mayor; IT = Región intertrocantérea; LS = Columna lumbar; NS = Resultados no significativos; PE = Educación física; PF = Fémur proximal; rep = repeticiones; TB = Cuerpo entero; TR= Trocánter; vBMD = Densidad mineral ósea volumétrica*

REFERENCIAS

1. Bailey, D.A., Faulkner, R.A. and McKay, H.A (1996). Growth, physical activity and bone mineral acquisition. *Exercise and Sport Sciences Reviews 24, 233-266*
2. Bailey, D.A., McKay, H.A., Mirwald, R.L., Crocker, P.R.E. and Faulkner, R.A (1999).) A six year longitudinal study of the

relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the University of Saskatchewan bone mineral accrual study. *Journal of Bone Mineral Research 14, 1672-1679*

3. Bass, S., Pearce, G, Bradney M et al., Hendrich, E., Delmas, P.D., Harding, A. and Seeman E (1998). Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired gymnasts. *Journal of Bone Mineral Research 13, 500-507*
4. Bass, S., Bradney, M., Pearce, G., Hendrich, E., Inge, K., Stuckey, S., Lo, S.K. and Seeman, E (2000). Short stature and delayed puberty in gymnasts: influence of selection bias on leg length and the duration of training on trunk length. *Journal of Pediatrics 136, 149-155*
5. Blimkie, C.J., Rice, S., Webber, C.E., Martin, J., Levy, D. and Gordon, C.L (1996). Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology 774, 1025-1033*
6. Bradney, M., Pearce, G., Naughton, G., Sullivan, C., Bass, S., Beck, T., Carlson, J. and Seeman, E (1998). Moderate exercise during growth in prepubertal boys: changes in bone mass, volumetric density and bone strength: a controlled prospective study. *Journal of Bone Mineral Research 113, 1814-1821*
7. Calbet, J.A., Moysi, J.S., Dorado, C., and Rodriquez, L.P (2001). Bone mineral content and density in professional tennis players. *Calcified Tissue International 62, 491-496*
8. Cooper, C (2003). Epidemiology of osteoporosis. In: Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. *Ed: Favuus, M.J. 5 th edition. American Society of Bone and Mineral Research, 307-313*
9. Cooper, C., Westlake, S., Harvey, N., Javaid, K., Dennison, E. and Hanson, M (2006). Review: developmental origins of osteoporotic fracture. *Osteoporosis International 17, 337-347*
10. Currey, J.D (2002). Bones: Structure and mechanics. *Princeton University Press, Oxford*
11. Dalsky, G.P., Stocke, K.S., Ehsani A.A., Slatopolsky, E., Lee, W.C. and Birge, S.J., Jr (1988). Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal women. *Annals of Internal Medicine 108, 824-828*
12. Forwood, M.R. and Burr, D.B (1993). Physical activity and bone mass: exercise in futility?. *Bone Mineral 21, 89-112*
13. Forwood, M.R. and Burr, D.B (1993). Physical activity and bone mass: exercise in futility?. *Bone Mineral 21, 89-112*
14. Frost, H.M (1990). Structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1. Redefining Wolffs law: the bone remodelling problem. *Anatomy Records 226, 403-413*
15. Fuchs, R.K., Bauer, J.J. and Snow, C (2001). Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomised controlled trial. *Journal of Bone Mineral Research 16, 148-156*
16. Haapasalo, H., Kannus, P., Sievanen, H., Pasanen, M., Uusi-Rasi, K., Heinonen, A., Oja, P. and Vuori, I (1998). Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players . *Journal of Bone Mineral Research 113, 310-319*
17. Heinonen, A., Sievanen, H., Kannus, P., Oja, P., Pasanen, M. and Vuori, I (2000). High impact exercise and bones of growing girls: a 9-month controlled trial. *Osteoporosis International 11, 1010-1017*
18. Hock, J.M., Centrella, M. and Canalis, E (1988). Insulin-like growth factor I has independent effects on bone matrix formation and cell replication. *Endocrinology 122, 254-260*
19. Iuliano-Burns, S., Saxon, L., Naughton, G., Gibbons, K. and Bass, S.L (2003). Regional specificity of exercise and calcium during skeletal growth in girls: a randomised controlled trial. *Journal of Bone Mineral Research 18, 156-162*
20. Jarvinen, T.L., Kannus, P., Pajamaki, I., Vuohelainen, T., Tuukkanen, J., Jarvinen, M. and Sievanen, H (2003). Estrogen deposits extra mineral into bones of female rats in puberty, but simultaneously seems to suppress the responsiveness of female skeleton to mechanical loading. *Bone 32, 642-651*
21. Kanis, J., Melton, L.J., Christiansen, C., Johnston, C.C. and Khaltaev, N (1994). The diagnosis of osteoporosis. *Journal of Bone Mineral Research 9, 1137-1141*
22. Kanis, J.A., Johnell, O (2005). Requirements for DXA for the management of osteoporosis in Europe. *Osteoporosis International 16, 229*
23. Kannus, P., Niemi, S., Parkkari, J., Palvanen, M., Vuori, I. and Jarvinen, M (1999). Hip fractures in Finland between 1970 and 1997 and predictions for the future. *Lancet 353 (9155), 8002-8055*
24. Kannus, P., Niemi, S., Parkkari, J., Palvanen, M., Vuori, I. and Jarvinen, M (1999). Hip fractures in Finland between 1970 and 1997 and predictions for the future. *Lancet 353 (9155), 8002-8055*
25. Khan, K.M., Bennell, K.L., Hopper, J.L., Flicker, L., Nowson, C.A., Sherwin, A.J., Crichton, K.J., Harcourt, P.R. and Wark, J.D (1988). Self-reported ballet classes undertaken at age 10-12 years and hip bone mineral density in later life. *Osteoporosis International 8, 165-173*
26. Khan, K., McKay, H.A., Haapasalo, H., Bennell, K.L., Forwood, M.R., Kannus, P. and Wark, J.D (2000). Does childhood and adolescence provide a unique opportunity for exercise to strengthen the skeleton? . *Journal of Science and Medicine in Sports 3, 150-64*
27. Kirchner, E., Lewis, R. and O'Connor, P (1996). Effects of past gymnastics participation on adult bone mass. *Journal of Applied Physiology 80, 226-232*
28. Kontulainen, S., Kannus, P., Pasanen, M., Sievanen, H.T., Heinonen, A.O., Oja, P. and Vuori, I (2002). Does previous participation in high impact training result in residual bone gain in growing girls? One year follow up of a 9 month jumping intervention. *International Journal of Sports Medicine 23, 575-581*
29. Laing, E.M., Wilson, A.R., Modlesky, C.M., O'Connor, P.J., Hall, D.B. and Lewis, R.D (2005). Initial years of recreational artistic gymnastics training improves lumbar spine bone mineral accrual in 4-to 8-year-old females. *Journal of Bone Mineral Research 20, 509-519*
30. Linden, C., Ahlborg, H.G., Besjakov, J., Gardsell, P. and Larlsson, M.K (2006). A school curriculum based exercise program, increases bone mineral accrual and bone size in prepubertal girls: two year data from the Pediatric Osteoporosis Prevention (POP) study. *Journal of Bone Mineral Research 21, 829-835*
31. Mackelvie, K.J., McKay, H.A., Khan, K.M. and Crocker, P.R.E (2001). A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls. *Journal of Pediatrics 1139, 501-508*

32. Mackelvie, K.J., Khan, K.M. and McKay, H.A (2002). Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine 36, 250-257*
33. Mackelvie, K.J., Khan, K.M., Petit, M.A., Janssen, P.A. and McKay, H.A (2003). A school based exercise intervention elicits substantial bone health benefits: a 2-year randomised controlled trial in girls. *Pediatrics 112, e447-452*
34. Mackelvie, K.J., Petit, M.A., Khan, K.M., Beck, T.J. and McKay, H.A (2004). Bone mass and structure are enhanced following a 2-year randomised controlled trial of exercise in prepubertal boys. *Bone 34, 755-764*
35. Malina, R.M., Bouchard, C. and Barr-Or, O (2004). Growth, maturation and physical activity. *Human Kinetics, Illinois.*
36. Matthews, B.L., Bennell, K.L., McKay, H.A., Khan, K.M., Baxter-Jones, A.D.G., Mirwald, R.L. and Wark, J.D (2006). Dancing for bone health: a 3-year longitudinal study of bone mineral accrual across puberty in female non-elite dancers and controls. *Osteoporosis International 17, 1043-1054*
37. Mauras, N., Rogel, A.D., Haymond, M.W. and Veldhuis, J.D (1996). Sex steroids, growth hormone, insulin-like growth factor-1: neuroendocrine and metabolic regulation in puberty. *Hormonal Research 45, 74-80*
38. McKay, H.A., Petit, M.A., Schutz, R.W., Prior, J.C., Barr, S.I. and Khan, K.M (2000). Augmented trochanteric bone mineral density after modified physical education classes: a randomised school-based exercise intervention study in prepubescent and early pubescent children. *Journal of Pediatrics 136, 156-162*
39. McKay, H.A., MacLean, L., Petit, M., Mackelvie, K., O'Brien, K., Janssen, P., Beck, T. and Khan, K.M (2005). Bounce at the bell: a novel program of short bouts of exercise improves proximal femur bone mass in early pubertal children. *British Journal of Sports Medicine 39, 521-526*
40. Morris, F.L., Naughton, G., Gibbs, J.L., Carlson, J.S. and Wark, J.D (1997). Prospective ten month exercise intervention in premenarchal girls: positive effects on bone and lean mass. *Journal of Bone Mineral Research 12, 1453-1462*
41. Nichols, D.L., Sanborn, C.F. and Love, A.M (2001). Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *Journal of Pediatrics 139, 494-500*
42. Pajamaki, I., Kannus, P, Vuohelainen, T., Sievanen H., Tuukkanen, J., Jarvinen, M. And Jarvinen, T.L (2003). The gain induced by exercise in puberty is not preserved through a virtually life-long deconditioning: a randomized controlled experimental study in male rats. *Journal of Bone Mineral Research 18, 544-558*
43. Petit, M.A., McKay, H.A., Mackelvie, K.J., Heinonen, A., Khan, K.M. and Beck, T.J (2002). A randomized school-based jumping intervention confers site and maturity specific benefits on one structural property in girls: a hip structural analysis study. *Journal of Bone Mineral Research 17, 363-372*
44. Seeman, E (2001). Clinical review 137: Sexual dimorphism in skeletal size, density and strength. *Journal of Clinical Endocrinology and metabolism 886, 4576-4584*
45. Stear, S.J., Prentice, A., Jones, S.C. and Cole, T.J (2003). Effect of a calcium and exercise intervention on the bone mineral status of 16-18 year old adolescent girls. *American Journal of Clinical Nutrition 77, 985-992*
46. Sundberg, M., Gardsell, P., Johnell, O., Karlsson, M.K., Ornstein, E., Sandstedt, B., Sandstedt, B. and Sernbo, I (2001). Peripubertal moderate exercise increases bone mass in boys but not in girls: a population-based intervention study. *Osteoporosis International 12, 230-238*
47. Valdimarsson, O., Linden, C., Johnell, O., Gardsell, P. And Karlsson, M.K (2006). Daily physical education un the school curriculum in prepubertal girls during 1 year is followed by an increase in bone mineral accrual and bone width: data form the prospective controlled Malmo Pediatric Osteoporosis Prevention Study. *Calcified Tissue International 778, 65-71*
48. Van Langendonck, L., Claessens, A.L., Vlietinck, R., Derom, C. and Beunen, G (2003). Influence of weight-bearing exercises on bone acquisition in prepubertal monozygotic female twins: a randomised controlled prospective study. *Calcified Tissue International 72, 666-674*
49. Vicente-Rodriguez, G., Jimennez-Ramirez, J., Ara I.,Serrano-Sanchez, A., Dorado, C. And Calbert, A. (2003). Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone 33, 853-859*
50. Vicente-Rodriguez, G., Jimennez-Ramirez, J., Ara I.,Serrano-Sanchez, A., Dorado, C. And Calbert, A. (2003). Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone 33, 853-859*
51. Witzke, K.A. and Snow, C.M (2000). Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Medicine and Science in Sports and Exercise 32, 1051-1057*
52. Wren, T.A. and Gilsanz, V (2006). Assessing bone mass in children and adolescents. *Current Osteoporosis Reports 4 (4), 153-158*
53. Zhang, X.X., Kalu, D., Erbas, B. Hopper, L.. and Seeman, E (1999). The effects of gonadectomy on bone size, mass and volumetric density in growing rats are gender, site and growth hormone specific. *Journal of Bone Mineral Research 14 (5), 802-809*

Cita Original

Melonie Burrows, Exercise and bone mineral accrual in children and adolescents. Journal of Sports Science and Medicine (2007) 6, 305-312