

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Tágli Henrique de Souza Feijó

ADAPTAÇÕES ÓSSEAS AO EXERCÍCIO DURANTE O CRESCIMENTO

Porto Alegre

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Tágli Henrique de Souza Feijó

ADAPTAÇÕES ÓSSEAS AO EXERCÍCIO DURANTE O CRESCIMENTO

Monografia apresentada ao Departamento de Educação Física da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Educação Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Flavia Meyer

Porto Alegre

2013

Tágli Henrique de Souza Feijó

ADAPTAÇÕES ÓSSEAS AO EXERCÍCIO DURANTE O CRESCIMENTO

Conceito final:

Aprovado em:.....de.....de.....

Professor avaliador

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Flavia Meyer

AGRADECIMENTOS

- À minha orientadora, Flavia Meyer, que me deu apoio e orientação não apenas nos últimos semestres, mas em vários momentos durante a graduação.
- Ao meu pesquisador-ídolo, Dr. Thomas W. Rowland (cardiologista pediátrico e fisiologista do exercício), por ter sido a maior fonte de inspiração durante a minha graduação.
- Ao maior, único e eterno amor da minha vida (*****-*****-*****). Todo o tempo que passamos juntos, você fez e ainda faz de mim uma pessoa melhor.
- Ao meu irmão, Bruno (*in memoriam*), pelos quase oito anos de apoio, brigas, amizade, e por ter me dado uma nova vida. Não passa um dia sem que eu sinta tua falta.
- Ao meu professor de educação física do ensino fundamental, Rogério Goularte, por ter servido de inspiração para a escolha da Educação Física.
- Não agradeço (apenas) aos melhores professores, mas sim aqueles que fizeram diferença na minha vida, seja com uma palavra lembrada durante toda a graduação ou com o conhecimento que me foi transmitido ao longo de um semestre inteiro, ambas as situações fizeram de mim o profissional que sou hoje e por isso sou muito grato a todos. Em especial: Newton Fernando Fortuna, Flavia Meyer, Gustavo Kuhn Pfeifer, Mauro Luiz Pozatti, Marco Aurélio Vaz, Álvaro Reischak de Oliveira, Regina Maria Vieira da Costa Guaragna, Nádia Cristina Valentini, Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga, Cláudia Tarragô Candotti, Martha Ratenieks Roessler, José Cícero Moraes, Rogério da Cunha Voser, João Carlos Oliva, Janice Zarpellon Mazo, Clézio José Gonçalves dos Santos, Elisandro Schultz Wittizorecki, Fabiano Bossle, Adroaldo Cezar Araújo Gaya, Alex Branco Fraga.
- Aos funcionários da Escola de Educação Física da UFRGS, em especial ao pessoal da biblioteca que tanto incomodei para me conseguirem artigos de outros estados e países, mas que sempre pude contar com a amizade e ajuda nos momentos em que precisei; e à atual equipe da COMGRAD que sempre estiveram abertos para me auxiliar durante a graduação.

“A vida é dura, mas é boa.”

Chico Anysio

RESUMO

Durante o crescimento ósseo, tanto linear como em espessura, ocorrem diversas alterações nas suas propriedades físicas, aumento na densidade mineral óssea (DMO) e conteúdo mineral ósseo (CMO). As respostas a essas alterações são mediadas por fatores extrínsecos, como nutrição e estresse mecânico, e fatores intrínsecos, como genética e respostas hormonais, principalmente durante a puberdade. O objetivo dessa revisão é entender as adaptações ósseas que ocorrem em relação ao exercício. Crianças e adolescentes podem apresentar diferentes respostas de acordo com a demanda funcional a qual o esqueleto é submetido. A presente revisão aborda o comportamento das propriedades físicas do osso durante as fases de crescimento. A partir desse comportamento, é possível entender a interação das adaptações ósseas ao exercício, com diferentes intensidades e/ou volume, e a relação durante os estágios maturacionais.

Palavras-chave: crescimento; exercício; ossos; crianças; adolescentes.

ABSTRACT

During bone growth, both linear and thickness, various changes occur on physical properties, an increase in bone mineral density (BMD) and bone mineral content (BMC). The responses to these changes are mediated by extrinsic factors, such as nutrition and mechanical stress, and intrinsic factors such as genetic and hormonal responses, especially during puberty. The objective of this review is to understand the changes that occur in bone related to exercise. Children and adolescents may show different responses according to the functional demands which the skeleton is subjected. This review covers the behavior of physical properties of bone during growth phases. From this behavior, it is possible to understand the interaction of bone adaptations to exercise, with different intensities and / or volume, and the ratio during the maturational stages.

Key-words: growth; exercise; bones; children; adolescents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Placas de crescimento e ossificação endocondral em um osso longo.....	13
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS	
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	
3.1 Fisiologia do crescimento.....	13
3.2 Desenvolvimento ósseo.....	15
4 METODOLOGIA.....	18
5 RESULTADOS.....	19
6 ADAPTAÇÕES ÓSSEAS: crescimento <i>versus</i> exercício.....	20
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

O crescimento físico na infância se caracteriza, principalmente, pelo crescimento linear dos ossos (NELSON, 2006); entretanto, seu início é no período pré-natal, desde a fecundação do óvulo até o fechamento das placas de crescimento ou placas epifisárias (ROSENBLOOM, 2007).

Durante o crescimento esquelético, ocorrem variações na velocidade de crescimento e, conseqüentemente, as crianças atingem estaturas distintas em períodos diferentes de desenvolvimento, como por exemplo durante a fase de bebê, pré-escolar, escolar e adolescência. Como o crescimento não é apenas linear, embora se observe apenas o crescimento em comprimento, outras alterações também ocorrem no interior dos ossos. Acidentes ósseos começam a se formar devido às tensões musculares durante os períodos de modelamento ósseo, a massa óssea aumenta ao longo do crescimento tendo seu pico em média aos 25 anos (NIGG, 1999; BAR-OR, 2004).

A osteoporose é uma doença óssea degenerativa que leva o indivíduo, principalmente mulheres idosas, a quadros de dor óssea e frequentemente fraturas. É definida pela diminuição da massa óssea durante o processo de envelhecimento. Dificilmente ocorre reversão do quadro, mas podemos controlar depois de estabelecida a doença ou preveni-la. Yilmaz et. al. (2005) afirmam que as pessoas apresentavam um maior pico de massa óssea na idade média entre os 20 e 30 anos. Bonnet e Ferrari (2010) mostram que sujeito mais ativos fisicamente alcançam maiores picos de massa óssea quando comparados aos sujeitos sedentários e que ao longo dos anos esse pico de massa óssea diminui, mas a magnitude da perda é menor naqueles que realizavam atividade física.. Esta revisão mostra a importância de estudar os fenômenos que estão envolvidos nas adaptações ósseas ao longo da vida, mais especificamente durante a infância e adolescência.

A presente revisão aborda as alterações nas propriedades físicas dos ossos como densidade mineral óssea (DMO) e conteúdo mineral ósseo (CMO) a fim de conhecer o comportamento padrão ao longo do crescimento físico.

Baseado neste conhecimento é possível avaliar o efeito de uma série de intervenções com atividades físicas de diferentes intensidades, durações e tipos em

determinadas fases do crescimento físico. Dessa forma, ajudar as recomendações de atividades físicas e prevenção de qualquer prejuízo na saúde dos ossos e a osteoporose.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Verificar, através de uma revisão bibliográfica compreensiva, as adaptações ósseas relacionadas ao exercício e sua interação com o crescimento físico.

2.2 Objetivos específicos:

- Verificar as alterações ósseas que ocorrem durante o crescimento;
- Verificar as adaptações ósseas relacionadas ao exercício;
- Analisar a relação entre crescimento e exercício nas propriedades físicas do osso (densidade mineral óssea e conteúdo mineral ósseo).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Fisiologia do crescimento físico

Crescimento é um processo complexo e dinâmico que inicia com a fertilização do óvulo e termina na fusão das diáfises com as metáfises dos ossos longos ao final da adolescência (ROSENBLOOM, 2007). Pode-se dividi-lo em fases de acordo com a velocidade de crescimento e/ou suas características de desenvolvimento: embrião, feto, bebê, criança (pré-escolar e escolar) e adolescente. Outra forma ainda é dividir a criança e o adolescente de acordo com seus estágios maturacionais: pré-púbere, púbere e pós-púbere.

Durante a fase pré-natal, o embrião não aumenta muito seu tamanho corporal, mas sua estrutura humana é estabelecida. A partir do quarto mês da fase fetal, ocorre um rápido crescimento (WOLPERT, 2000).

O esqueleto cartilaginoso completo do feto está formado por volta da oitava semana de gestação. Centros de ossificação se primária de formam nos ossos longos e nas vértebras entre a oitava e a décima segunda semana de gestação. Na trigésima quarta semana, centros de ossificação secundária são formados no fêmur, mesmo assim o bebê nasce com a maioria das epífises cartilaginosas (KOVACS, 2006).

Durante o período fetal, a criança cresce em média 2,5 cm/semana. Aos dois anos de idade, a velocidade média de crescimento de uma criança varia entre 10-13 cm/ano. Aos três anos, diminui para 7,5-10 cm/ano e se mantém estável até o início da puberdade (ROSENBLOOM, 2007).

A partir da puberdade é desencadeada uma cascata de hormônios responsáveis pelo crescimento e alterações nas propriedades físicas do osso como DMO e CMO. O pico da velocidade de crescimento coincide com o pico de DMO que continua seu aumento, mas com taxas menores, até por volta dos 25 anos quando se atinge o pico de massa óssea (BAR-OR, 2004).

O crescimento linear acontece na parte interna dos ossos; condrócitos na cartilagem epifisária proliferam, aumentam e ossificam, terminando na fusão da epífise com a região central das metástases (ROSENBLOOM, 2007; WOLPERT, 2000) como pode ser visto na Figura 1.

Já o crescimento circunferencial dos ossos longos continua ao longo da vida. A lâmina interna de periósteo produz camadas concêntricas de tecido ósseo novo sobre as camadas já existentes. Ao mesmo tempo, o osso é reabsorvido ou eliminado ao redor da circunferência da cavidade medular, desse modo, o diâmetro da cavidade apresenta aumento contínuo (WOLPERT, 2000).

Durante o crescimento físico, os ossos sofrem modificações estruturais de acordo com os hábitos vivenciados pela criança e também devido a alguns fatores genéticos associados. O que se espera é o aumento do tamanho do osso conforme a criança vai crescendo com picos de crescimento e velocidade em diferentes períodos. Também, é esperado aumento da DMO e CMO devido a fatores hormonais e genéticos.

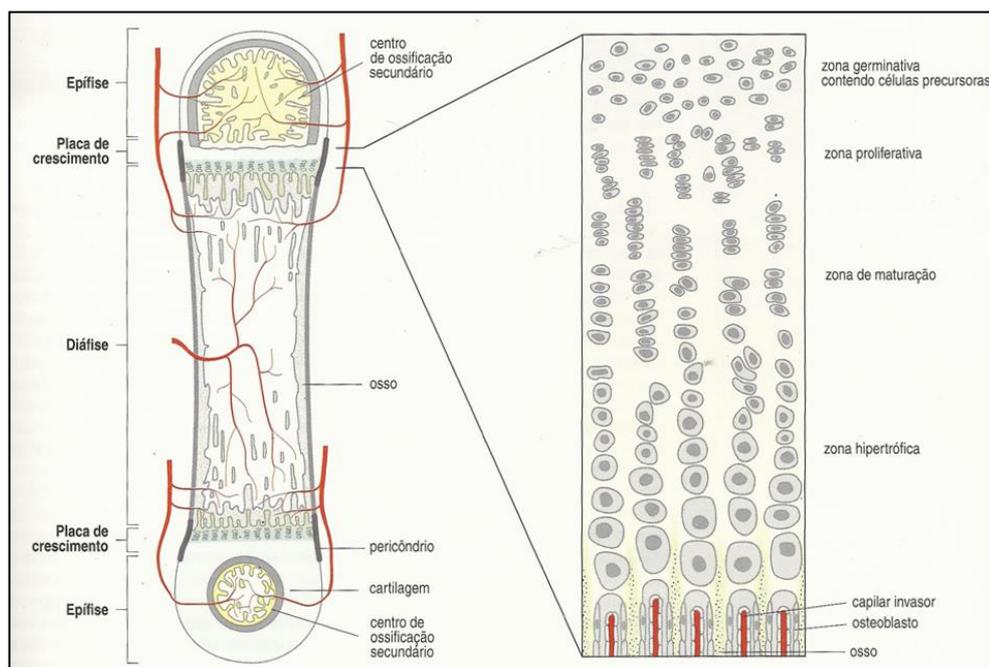


Figura 1: Princípios de Biologia do Desenvolvimento (extraída de WOLPERT, 2000)

Pode-se dizer que o sistema GH/IGF-1 e a herança genética são o grupo de fatores que influenciam diretamente o crescimento. Fatores como nutrição e exercício também são essenciais para um bom desenvolvimento ósseo (BAR-OR, 2004), mas são fatores secundários no que se refere ao crescimento físico.

O hormônio de crescimento (GH) exerce a maior parte de suas funções através de intermediários chamados somatomedinas ou fator de crescimento

semelhante à insulina (IGFs). Em resposta ao GH, células de diferentes tecidos do corpo humano secretam IGFs que entram na corrente sanguínea ou agem no próprio local (MARTINELLI JR et. al; 2008). Durante a puberdade, com a elevação dos hormônios sexuais, ocorre um aumento dos picos e da amplitude de GH, fazendo com que ocorra um aumento na velocidade de crescimento, primeiro nas meninas e posteriormente nos meninos devido as diferentes velocidades maturacionais.

Ao final da puberdade, mesmo com os níveis de testosterona e estrogênio elevados, ocorre uma diminuição do GH por outros mecanismos de secreção ainda não tão bem esclarecidos.

3.2 Desenvolvimento ósseo

De acordo com Nigg e Hertzog (1999), o osso é a parte rígida do tecido conjuntivo que compõe a maior parte do esqueleto humano. É constituído de componentes orgânicos e minerais. Os ossos apresentam funções que podem ser divididas em mecânicas e fisiológicas.

Mecânicas:

- suporte para sustentação e locomoção;
- sistema de alavancas para transferência de forças;
- proteção de órgãos internos vitais.

Fisiológicas:

- formação de células vermelhas (hematopoiese);
- estoque de cálcio (homeostase mineral).

Os ossos, dentre as diversas classificações, podem ser divididos em compactos quando se refere a um tecido mais denso, mais resistente às cargas mecânicas, encontrado na parte externa do osso, principalmente na diáfise. Os ossos esponjosos ou trabeculares são formados por trabéculas ósseas no interior dos ossos, principalmente nas epífises dos ossos longos e como o próprio nome diz, tem a forma de uma esponja.

Osteoclasto e osteoblasto são tipos de células de tecido ósseo com a função de manter a matriz óssea e promover adaptações ósseas. Osteoclasto tem a função de reabsorver tecido ósseo enquanto o osteoblasto faz o oposto, formar tecido

ósseo. Esse processo é realizado ao longo da vida a fim de manter a massa óssea frente às demandas de cargas impostas.

Para um bom desenvolvimento ósseo é essencial alguns fatores como a estimulação hormonal adequada, ingestão de cálcio suficiente na dieta e estresse mecânico (atividade física e gravidade) (BAR-OR, 2004).

Os processos de ossificação se iniciam por volta da oitava semana de vida embrionária e continuam ao longo da vida adulta. Os dois principais são a ossificação endocondral e membranosa.

Ossificação endocondral é a substituição de cartilagem por osso. A ossificação começa no centro da diáfise e é penetrada por vasos sanguíneos (forames nutritivos); essa região é chamada de centro de ossificação primária. Quando as artérias começam a entrar nas epífises, inicia-se a formação dos centros de ossificação secundários. Nesse processo, a cartilagem é substituída por tecido ósseo, menos na cartilagem epifisária.

Ossificação membranosa ou mesenquimal é a responsável pelo desenvolvimento dos ossos chatos, especialmente os que se encontram no crânio. Esse tipo de ossificação ocorre dentro das membranas de tecido conjuntivo fibroso frouxo. No local onde o osso irá se desenvolver, as células do mesenquima se diferenciam em osteoblastos e formam um centro de ossificação que mais tarde irá formar uma matriz óssea; essa, por sua vez, irá desenvolver trabéculas que irão se fundir e formar a parte esponjosa do osso. Os espaços entre as trabéculas serão importantes para a penetração de vasos sanguíneos que terão como objetivo formar a medula óssea vermelha. Modelamento ósseo pode ser definido como o processo que faz com que a massa óssea aumente. Remodelamento é o processo no qual a massa óssea é mantida ou diminuída (NIGG e HERTZOG, 1999).

Segundo a lei de Wolf, as adaptações que ocorrem no osso são dependentes da magnitude e do tipo de cargas que são impostas ao mesmo. Assim sendo, uma maior intensidade de *stress* refletirá uma maior massa para suportar às cargas impostas ao osso e vice-versa (HALL, 2009).

Quando as atividades osteoblástica e osteoclástica estão em equilíbrio, isso significa que a massa óssea está se mantendo estável. Quando o osso sofre alguma carga que não está adaptado, ocorre um aumento da atividade dos osteoblastos para que se aumente a matriz óssea a fim de regenerar o osso e suportar novas

cargas. O contrário também ocorre, quando o osso apresenta elevada massa óssea, mas as cargas impostas a ele não são suficientes para gerar nova adaptação ou simplesmente manutenção, os osteoclastos acabam reabsorvendo e removendo o excesso.

Durante o período de crescimento lento na infância, as atividades osteoblásticas estão aumentadas visando o modelamento dos ossos e suas estruturas. As deformações nas superfícies ósseas (acidentes ósseos) acontecem em decorrência das tensões musculares provocadas ao longo do modelamento ósseo (BAR-OR, 2004; ROWLAND, 2008).

4 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão da literatura sobre as adaptações ósseas que ocorrem durante o crescimento físico e suas interações com o exercício e a atividade física.

Para este trabalho, foram pesquisados livros e artigos científicos e buscas em sites como *Medline* e portal de periódicos da Capes entre 1998 e 2013; utilizando os seguintes termos: *growth, bone, exercise, children*.

5 RESULTADOS

Para esta revisão foram encontrados artigos que abordaram intervenções com exercício e atividade física em crianças e adolescentes tendo como objetivo as adaptações ósseas tanto no grupo experimental como no controle para entender os efeitos do crescimento e maturação de forma isolada.

Mais especificamente, as variáveis estudadas incluíram: densidade mineral óssea (DMO) e conteúdo mineral ósseo (CMO). Logo, também foram utilizados artigos e livros sobre alterações ósseas no crescimento, sem intervenção do exercício. Esses trabalhos serviram como base do desenvolvimento sem a presença de atividade física marcante para então poder avaliar o exercício como um dos fatores extrínsecos.

6 ADAPTAÇÕES ÓSSEAS: crescimento *versus* exercício

O crescimento na infância e na adolescência é caracterizado, principalmente, pelo crescimento longitudinal (ou linear) do osso, bem como pelo seu tamanho e forma (NELSON et. al., 2006). Para tanto, é preciso considerar todos os fatores que interferem nesse processo, desde os intrínsecos como respostas hormonais, até extrínsecos como nutrição e atividade física (tipos, duração e intensidade).

Cooper (2008) levanta a hipótese de que as respostas estruturais dos ossos ao exercício durante o crescimento é dependente do sexo e da maturidade. Sardinha et. al. (2008) também relataram que o tempo de atividade física e a intensidade são variáveis dependentes das alterações que ocorrem na densidade mineral óssea (DMO) e o conteúdo mineral ósseo (CMO).

Janz et. al. (2001) realizaram um estudo longitudinal com crianças recém-nascidas em 8 hospitais em Iowa e as acompanhou por 6 anos. No seu estudo de 2001, a autora comparou a DMO e CMO e relacionou com o tempo de atividade física de crianças com idade entre 4 e 6 anos. Ela observa que mesmo antes do aumento da atividade hormonal na puberdade, os ossos apresentam adaptações tanto em meninos como em meninas, mesmo quando se classifica em grupos que realizam pouca, moderada e intensa atividade física. Também é percebida uma relação inversa entre as adaptações ósseas e o tempo que as crianças ficavam assistindo televisão, mostrando que o desuso diminui o CMO e a DMO.

Outro estudo de Specker e Binkley (2003) também com pré-escolares (entre 3 e 5 anos de idade), avaliou durante um ano o efeito da atividade física sistemática (30 minutos por dia, 5 dias por semana) no diâmetro da tíbia. Foi observado que o osso responde positivamente à atividade física por aumento na atividade de modelamento e remodelamento. Houve aumento tanto na circunferência do endóstio como do perióstio devido às atividades corresponderem a diferentes cargas mecânicas (compressão, envergamento, torção). Para explicar tal efeito, os autores basearam no estudo de Petit et. al. de 2002 afirmando que o tipo de força pode determinar diferentes respostas no esqueleto. Assim, atividades com cargas predominantemente compressivas, como saltos, podem aumentar a formação de endóstio e da circunferência do perióstio.

Kriemler et. al. (2008) avaliaram a relação entre CMO, DMO e tempo de atividade física em crianças pré-púberes e púberes de 6 a 13 anos e observou que independente do estágio maturacional, meninos praticavam mais atividade física do que meninas. Como consequência dessa diferença entre os níveis de atividade física, a DMO e o CMO do quadril de meninos era maior do que encontrado nas meninas, entretanto em ambos os sexos, os níveis de atividade física diminuía com o avanço da maturação. Pode-se observar através desse estudo que existe uma relação direta entre o aumento da atividade física e as adaptações ósseas que ocorrem.

Hasselstrom et. al. (2008) avaliaram o efeito do aumento na carga horária das aulas de educação física para crianças pré-púberes de 6 a 8 anos na DMO e CMO; eles observaram que, após três anos de intervenção, uma maior duração das aulas gerou aumento no CMO e DMO de meninas, mas não nos meninos. A explicação dada foi que o fato de meninos serem naturalmente mais ativos quando comparados às meninas e passarem mais tempo em atividades de alta intensidade faria com que o aumento na duração das aulas de educação física gerasse um estímulo insignificante para promover adaptações ósseas. Pode-se afirmar também que, o fato de meninas realizarem menos atividades físicas quando comparadas aos meninos faz com que sua “janela de oportunidade” seja maior, dessa forma é esperado que o estímulo dado durante as aulas de educação física gere adaptações no esqueleto em crescimento.

Outra explicação para as respostas adaptativas do esqueleto em meninas, mas não em meninos é o fato de os ossos responderem melhor às cargas mecânicas durante o período circumpuberal e as meninas amadurecerem mais cedo do que os meninos também (YILMAZ et. al., 2005; HASSELSTROM et. al., 2008). Quando o estudo de Hasselstrom et. al. (2008) foi realizado, todos os sujeitos eram pré-púberes inicialmente, entretanto após três anos de intervenção, os meninos ainda eram pré-púberes, mas as meninas estavam iniciando a puberdade, o que faria com que suas respostas à atividade física obtivessem melhores resultados quando comparados aos meninos pelo fato de maturarem mais cedo, em geral dois anos antes (ROWLAND, 2008).

Löfgren et. al. (2012) realizaram um estudo semelhante ao de Hasselstrom et. al. (2008). Eles aumentaram a duração das aulas de educação física e

acompanharam durante 4 anos crianças entre 7 e 9 anos. Os resultados encontrados foram os mesmos em estudos prévios, meninas tinham aumento significativo no CMO ao longo dos anos quando comparadas aos meninos de mesma idade, devido aos baixos níveis de atividade física em comparação aos meninos.

Sardinha et. al. (2008) analisaram a relação entre duração da atividade física com o CMO da cabeça do fêmur em crianças de 9 anos. Foi observado maior CMO em meninos quando comparados às meninas. Entretanto, independente do sexo, quem praticava mais atividade física apresentava maior CMO, isso foi identificado quando ele relacionou dentro dos próprios grupos (meninos e meninas) quem fazia pouca, moderada ou intensa atividade física, mostrando assim que a atividade física é um forte preditor nas respostas adaptativas do esqueleto.

Mais do que somente aumentar a duração da atividade física, deve-se aumentar a intensidade também. Cardadeiro et. al. (2012) observaram em crianças entre 9 e 10 anos que meninos apresentavam maior DMO quando comparadas as meninas mesmo quando se comparavam grupos de duração similar de atividade física. O que foi constatado é que além de meninos serem naturalmente mais ativos do que meninas, o tipo de atividade física que realizam é mais intensa, sugerindo que além da duração, a intensidade também é um forte fator para promover adaptações no esqueleto.

Bradney et. al. (1998) realizaram uma intervenção de oito meses que consistia no aumento de trinta minutos de atividades fora do horário da escola em pré-púberes entre 8 e 11 anos e observaram que o tempo total de atividade física permaneceu semelhante entre o grupo controle e exercício, entretanto o grupo que realizou trinta minutos de atividade sistemática todos os dias aumentou a DMO do fêmur, isso reforça a ideia do estudo de Cardadeiro et. al. (2012) de que a intensidade pode ser um fator mais determinante do que a duração da atividade física. Também é observado no estudo de Bradney et. al. (1998), assim como em outros estudos (LÖGFREN et. al., 2012; KRIEMBLER et. al., 2008; HASSELSTROM et. al., 2008; SPECKER e BINKLEY et. al., 2003) que a adaptação que ocorre no osso é específica do local onde é sobrecarregada, geralmente os efeitos mais significativos são na cabeça do fêmur (HIND e BURROWS, 2006).

Hasselstrom et al. (2006) mostram que a DMO está relacionada diretamente as cargas mecânicas impostas aos ossos. O autor fornece dados de DMO de calcâneo e antebraço de crianças entre 6 e 7 anos e mostra que a DMO do calcâneo é maior do que no antebraço, mesmo quando relativizado pelo peso corporal. Isso pode ser explicado pela sobrecarga mecânica compressiva gerada pelo peso do indivíduo resultando nessa adaptação.

Cooper (2008) relata haver uma relação entre peso ao nascer, peso durante a infância e massa óssea na idade adulta. E de acordo com os trabalhos de HASSELSTRON (2006 e 2008), o peso ao longo da infância é um fator determinante para o aumento da DMO e associado ao exercício faz com que os ossos se adaptem às novas cargas de trabalho.

Realizar estudos com crianças pré-púberes parece mostrar maiores evidências das alterações que o exercício provoca sem a interferência de fatores intrínsecos já que o esqueleto é mais “inclinado” a reagir a fatores ambientais em períodos de crescimento lento (YILMAZ, 2005).

Durante a fase da puberdade, a DMO acelera devido aos hormônios sexuais (BAR-OR, 2004). A adolescência é considerada um período crítico nas adaptações ósseas referentes tanto ao crescimento como exercício. Com o aumento dos estágios maturacionais vão ocorrendo aumento nas respostas hormonais (GH, testosterona e estrogênio) e como consequência, nas propriedades físicas do osso e no seu tamanho. A DMO vai aumentando ao longo da puberdade tendo um pico geralmente no estágio IV de Tanner (YILMAZ, 2005).

Quando se determina a relação entre DMO, estágios maturacionais e relação hormonal, consegue-se entender melhor as alterações que ocorrem devido ao crescimento e o exercício. Yilmaz et. al. (2005) realizaram um estudo no qual eles compararam as respostas de CMO e DMO durante os estágios maturacionais sem a intervenção do exercício.

Ao avaliar a DMO da coluna lombar e do corpo todo e comparar com os estágios maturacionais II, III, IV e V de Tanner observa-se tanto em meninas e meninos um aumento progressivo da DMO total ao longo dos estágios; a DMO da coluna aumenta até o estágio IV, mas Nelson et. al. (2006) mostra que o aumento da DMO nessa região está relacionado com o aumento da espessura do osso trabecular, não tendo relação com maturação biológica. Entretanto, observa-se

também aumento da DMO total até o estágio IV de Tanner em ambos os sexos, o que coincide com o pico da velocidade de crescimento e de secreção do GH que está relacionado com o aumento na atividade osteoblástica, promovendo assim maior crescimento ósseo (ROWLAND, 2008).

Do início da puberdade até o estágio IV de Tanner, pode-se notar um rápido aumento de massa óssea; entretanto, nota-se um aumento mais lento ao final da puberdade (estágio V) em comparação aos estágios anteriores, isso deve-se ao fato de que o pico de GH ocorre nessa fase, além disso, também foi observado que o pico de massa óssea em meninos corresponde ao aumento nos níveis de estrogênio durante o estirão puberal (YILMAZ et. al., 2005).

Yilmaz et. al. (2005) também afirmam que em meninos o acúmulo de testosterona acompanha o aumento da DMO, mas apenas o aumento de estradiol é acompanhado de aumento na massa óssea. Baixos níveis de testosterona no início da puberdade podem estar envolvidos com o crescimento linear do esqueleto, já durante o estirão puberal, os altos níveis de testosterona podem estar envolvidos com aumento da DMO.

A massa óssea é paralela ao crescimento físico e melhora durante a puberdade com o aumento e o pico de DMO. Enquanto a DMO aumenta em taxas menores após o IV estágio de Tanner, a massa óssea tem seu pico em média aos 25 anos de idade (YILMAZ, 2005). A taxa de maturação biológica não tem influência no pico de massa óssea, entretanto o fato de meninos terem uma maturação mais tardia faz com que sua massa óssea seja maior comparada com as meninas.

MacKelvie et. al, (2002) defende que no início da puberdade, devido ao aumento de GH, nota-se um crescimento linear no osso, mas também devido à reduzida concentração de testosterona, esse crescimento não é seguido de um aumento significativo na mineralização óssea. Com o aumento da puberdade e aumento progressivo das concentrações de testosterona e estrogênio, observa-se um aumento no CMO além do crescimento linear.

Em seu estudo de revisão, Mackelvie et. al. (2002) abordam o período sensível do esqueleto que melhor responde às cargas mecânicas. Analisando intervenções em pré-púberes, púberes e pós-púberes, eles evidenciam que o esqueleto pré-púbere é responsivo a intensos programas de atividades físicas, bem como o acúmulo de cargas mecânicas além das adquiridas durante as aulas de

educação física, e que o melhor período para gerar significativas adaptações ósseas é durante o início da puberdade devido a relação entre o tamanho do osso e a sua mineralização em consequência das diferentes concentrações de hormônios durante o crescimento.

Lehtonen-Veromaa et. al. (2000) realizaram um estudo entre ginastas e corredoras a fim de comparar as adaptações que ocorriam devido à especificidade do treinamento. Eles observaram o efeito de um ano na atividade física desses grupos e observaram maiores valores de DMO em ginastas quando comparadas às corredoras, mostrando que a especificidade da atividade física também é um fator que deve ser considerado. Nesse mesmo estudo, foi constatado que maiores aumentos de DMO eram encontrados em meninas púberes, independente do esporte, mostrando que a fase maturacional tem grande influência nas respostas do esqueleto. As adaptações dessa fase (púbere) pode ser em decorrência do aumento da secreção de hormônios sexuais que se elevam durante a puberdade (BAR-OR, 2004; YILMAZ, 2005).

A escolha para o grupo de ginastas e corredoras deve-se ao fato de que a ginástica artística é caracterizada como um esporte de alto impacto enquanto que a corrida é uma sucessão de salto, o que implica num estresse mecânico repetitivo com impacto moderado.

Em outro estudo também comparando ginastas e corredoras, Pikkarainen et. al. (2008) acompanhou as atletas durante 7 anos e encontrou os mesmos resultados, ginastas tinham maior CMO quando comparadas às corredoras, reforçando a ideia de que o tipo de atividade física implica diferentes demandas ao esqueleto.

Daly (2007) relata que em crianças atletas, os esportes de alto impacto aumentam a formação da DMO enquanto que atividades físicas moderadas, jogos recreacionais ou intervenções escolares mostram apenas aumento no CMO, sugerindo que a DMO está mais relacionada com a intensidade e o CMO com a duração das atividades.

Ainda comparando atletas de alto impacto, impacto moderado e repetitivo e não-atletas, Nordström et. al. (1998) avaliaram adolescentes que praticavam badminton e hockey e constatou que a cabeça do fêmur dos atletas de badminton apresentava maior DMO quando comparada aos demais grupos, isso se explica não

devido ao impacto, mas sim ao tempo de treinamento que eles praticavam aquele esporte. Os atletas de badminton praticavam mais que o dobro de horas comparados aos atletas de hockey, mostrando assim que o tempo de prática também é um fator que aumenta o estresse mecânico nos ossos. Nesse mesmo trabalho, ao analisarmos a DMO de outras partes do corpo, verifica-se diferentes respostas em comparação ao tipo de atividade física. Dessa forma, nota-se que as adaptações dependem além do tipo e duração da atividade física, do osso e do local no próprio osso (BAR-OR-, 2004).

Gunter et. al. (2008) realizaram uma intervenção de 7 meses em pré-púberes de 7 e 8 anos no qual um grupo realizava exercícios com saltos e o grupo controle realizava alongamento. Ao final da intervenção, foi observado aumento no CMO do quadril no grupo que realizou os saltos em comparação ao controle. Eles ainda acompanharam esses grupos durante oito anos e observaram que apesar do efeito da intervenção diminuir ao longo dos anos, o grupo que realizou atividades com saltos ainda tinham CMO do quadril significativamente maior quando comparados ao grupo que realizou apenas alongamento.

As atividades de alto impacto geram adaptações positivas significativamente maiores quando comparadas a outros tipos de atividades físicas, mostrando que o esqueleto responde à sobrecarga local de alta intensidade. Yilmaz et. al. (2005) afirma que o pico de massa óssea ocorre na idade adulta, em torno dos 25 anos. Com o processo de envelhecimento, ocorre diminuição da massa óssea que pode levar à osteopenia e, posteriormente, à osteoporose. Analisando o trabalho de Gunter et. al. (2008) e extrapolando a ideia central, pode-se dizer que indivíduos que possuem maior pico de massa óssea terão perdas ao longo do envelhecimento, entretanto, essa perda será menor quando comparados aos sujeitos com menor pico de massa óssea. Isso sugere que a melhora da saúde óssea durante a infância e adolescência pode ser crucial para a melhora da saúde óssea em idades mais avançadas e que é durante os primeiros anos da puberdade que ocorre o período mais sensível para adaptações no esqueleto, sugerindo que uma intervenção nessa fase pode ser de extrema importância para prevenir o risco de osteoporose e fraturas ao longo da vida.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o crescimento físico ocorrem diversas modificações nas propriedades físicas dos ossos como variações na densidade mineral óssea (DMO), conteúdo mineral ósseo (CMO) e massa óssea.

Em crianças pré-púberes observou-se que a DMO é uma variável dependente do peso do indivíduo, mas mesmo assim o efeito do aumento das cargas mecânicas promove aumento localizado na DMO. Ambos meninos e meninas tem aumento na DMO e CMO, e quanto maior a duração da atividade física maior são esses valores.

Com o início da puberdade, o aumento do hormônio de crescimento (GH) e hormônios sexuais (testosterona e estrogênio) provocam um grande aumento nas variáveis ósseas. O início da puberdade parece ser o período onde o osso é mais suscetível às respostas do exercício, visto os ossos aumentam seu comprimento sem aumentar sua mineralização.

No pico da velocidade de crescimento, geralmente no estágio IV de Tanner, temos um pico de DMO, que continua seu aumento com taxas menores até mais ou menos os 25 anos quando ocorre o pico de massa óssea.

Os estudos mostraram que as atividades e esportes de alto impacto tem forte influência na DMO. Esse aumento mostrou ser dependente do local no próprio osso e a magnitude da carga aplicada ao mesmo. Atividades físicas de moderada intensidade e/ou intervenções escolares tem relação apenas com a mineralização óssea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAR-OR O.; ROWLAND T.W. *Pediatric exercise medicine: from physiological principles to health care application*. Human Kinetics. 2004.

BONNET N.; FERRARI S.L. Exercise and the Skeleton: How It Works and What It Really Does. *IBMS BoneKEy*. V. 7, n. 7, p. 235-248, jul. 2010

BRADNEY M., et. al. Moderate exercise during growth in prepubertal boys: changes in bone mass, size, volumetric density, and bone strength: a controlled prospective study. *Journal of Bone and Mineral Research* v. 13, n. 12, 1998.

CARDADEIRO C., et. al. Sex specific association of physical activity on proximal femur BMD in 9 to 10 year-old children. *PLoS ONE* v. 7, n. 11, 2012.

COOPER C.; et. al. Growth and Bone Development. *Nestlé Nutr Workshop Ser Pediatr Program*, v. 61, p. 53-68, 2008.

DALY R.M.. The effect of exercise on bone mass and structural geometry during growth. *Med Sport Sci*. v. 51:33-49, 2007.

GUNTER K., et. al. Impact exercise increases bmc during growth: an 8-year longitudinal study. *Journal of Bone and Mineral Research* v. 23, n. 7, 2008.

HALL S. *Biomecânica básica*. 5. ed. Manole, 2009.

HASSELSTRØM H. et al. A 3-year physical activity intervention program increases the gain in bone mineral and bone width in prepubertal girls but not boys: the prospective Copenhagen School Child Interventions Study (CoSCIS). *Calcif Tissue Int*. v. 83, p. 243–250, 2008.

HASSELSTRØM H. et al. Sex differences in bone size and bone mineral density exist before puberty. The Copenhagen School Child Intervention Study. *Calcif Tissue Int.* v. 79, p. 7-14, 2006.

HIND K., BURROWS M. Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: A review of controlled trials. *Bone* v. 40, p. 14–27, 2007.

JANZ K. et al. Physical activity and bone measures in young children: The Iowa Bone Development Study. *Pediatrics.* v.107, p. 1387, 2001.

KOVACS C.S.: Skeletal Physiology: Fetus and Neonate. In: Favus MJ, ed. *Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism*, 6th ed. Washington, DC: American Society for Bone and Mineral Research; 2006:50-55.

KRIEMLER S. et al. Weight-bearing bones are more sensitive to physical exercise in boys than in girls during pre- and early puberty: a cross-sectional study. *Osteoporos Int.* v. 19, p. 1749–1758, 2008.

LEHTONEN-VEROMAA M. et al. A 1-year prospective study on the relationship between physical activity, markers of bone metabolism, and bone acquisition in peripubertal girls. *J Clin Endocrinol Metab.* v. 85, n. 10, p. 3726-32, oct. 2000.

LÖFGREN B. et al. A 4-year exercise program in children Increases bone mass without increasing fracture risk. *Pediatrics.* v. 129, n. 6, p. e1468-1476, jun. 2012.

MACKELVIE K.J., KHAN K.M., MCKAY H.A. Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *Br J Sports Med* v. 36, p. 250–257, 2002.

MARTINELLI Jr. C.E. Fisiologia do eixo GH-sistema IGF . *Arq Bras Endocrinol Metab* v. 52, n. 5, p. 717-725, 2008.

NELSON D.A., NORRIS S.A., GILSANZ V: Childhood and Adolescence. In: Favus MJ, ed. *Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism*, 6th ed. Washington, DC: American Society for Bone and Mineral Research; 2006:55-63.

NIGG B; HERZOG W. *Biomechanics of the skeletal-muscle system*. 2. ed. Wiley, 1999.

NORDSTRÖM P; PETTERSON U; LORENTZON R. Type of physical activity, muscle strength, and pubertal stage as determinants of bone mineral density and bone area in adolescent boys. *J Bone Miner Res*. v. 13, n. 7, p. 1141-8, jul. 1998.

PIKKARAINEN E. et al. Exercise-induced training effects on bone mineral content: a 7-year follow-up study with adolescent female gymnasts and runners. *Scand J Med Sci Sports*. 2009. v. 19, n. 2, p. 166-73, apr, 2009.

ROSENBLOOM A.L. Physiology of growth. *Ann Nestlé [Engl]*. v. 65, p. 97-108, 2007.

ROWLAND T.W. *Fisiologia do exercício na criança*. 2. ed. Manole, 2008.

SARDINHA L. et al. Objectively measured physical activity and bone strength in 9-year-old boys and girls. *Pediatrics*. v. 122, n. 3, p. e728-736, sep. 2008.

SAYERS A., et. al. Habitual levels of vigorous, but not moderate or light, physical activity is positively related to cortical bone mass in adolescents. *J Clin Endocrinol Metab* 96: E793–E802, 2011.

SPECKER B, BINKLEY T. Randomized trial of physical activity and calcium supplementation on bone mineral content in 3- to 5-year-old children. *J Bone Miner Res*. v. 18, n. 5, p. 885-92, may, 2003

WOLPERT, L. *Princípios de biologia do desenvolvimento*. Artmed, 2000.

YILMAZ D. et al. Bone mineral density in girls and boys at different pubertal stages: relation with gonadal steroids, bone formation markers, and growth parameters. *J Bone Miner Metab.* v. 23, p. 476–482, 2005