

# APTIDÃO NEUROMUSCULAR NA JUVENTUDE E O IMPACTO NA SAÚDE ÓSSEA NA IDADE ADULTA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Neuromuscular fitness in early life and its impact on bone health in adulthood: a systematic review

Cynthia Correa Lopes Barbosa<sup>a,\*</sup> , Catiana Leila Possamai Romanzini<sup>b</sup> , Mariana Biagi Batista<sup>c</sup> , Rômulo Araújo Fernandes<sup>d</sup> , Marcelo Romanzini<sup>b</sup> , Han Kemper<sup>e</sup> , Manuel João Coelho-e-Silva<sup>f</sup> , Enio Ricardo Vaz Ronque<sup>b</sup> 

## RESUMO

**Objetivo:** Revisar sistematicamente a literatura para verificar a relação entre indicadores da aptidão neuromuscular na infância/adolescência e variáveis de resistência óssea na idade adulta.

**Fonte de dados:** Revisão sistemática com pesquisa de artigos conduzida no PUBMED, SCOPUS, SPORTDiscus, Web of Science, PsycINFO, LILACS and SciELO, abrangendo todo o período da base até março de 2019.

**Síntese dos dados:** A busca identificou 1.149 estudos, após análise de duplicidade e dos critérios de elegibilidade, quatro estudos foram relatados. Em um dos estudos, o *baseline* foi a infância e, nos demais, a adolescência. Na infância, ao ajustar o modelo por idade e índice de massa corporal, foi encontrada relação estatisticamente significativa para as meninas: salto em distância com índice quantitativo de ultrassom ( $\beta=0,11$ ;  $p<0,05$ ) e com velocidade do som ( $\beta=0,14$ ;  $p<0,01$ ). Entretanto, ao se fazer o controle do desempenho muscular na idade adulta, a relação deixou de ser significativa. Na adolescência, coeficientes variaram de 0,16 para bateria neuromotora e densidade mineral óssea (DMO) lombar a 0,38 para o teste de elevação de pernas em suspensão e a DMO dos braços. Variação explicada entre 2% (suspensão na barra e DMO do corpo total) e 12% (elevação de pernas em suspensão e DMO dos braços), portanto, melhor desempenho na aptidão neuromuscular na adolescência, mais resistência óssea na idade adulta.

## ABSTRACT

**Objective:** To systematically review the literature to verify the relationship between neuromuscular fitness indicators in childhood/adolescence and bone strength variables in adulthood.

**Data sources:** A systematic review was conducted in PUBMED, SCOPUS, SPORTDiscus, Web of Science, PsycINFO, LILACS, and SciELO, covering the entire period until March 2019.

**Data synthesis:** The search identified 1149 studies. After duplicity analysis and eligibility criteria, four studies were reported. In one study, baseline was childhood and, in the others, adolescence. In childhood, when adjusting the model for age and body mass index, a statistically significant relation was found for girls: standing long jump with quantitative ultrasound index ( $\beta=0.11$ ;  $p<0.05$ ) and with speed of sound ( $\beta=0.14$ ;  $p<0.01$ ). However, when controlling muscular performance in adulthood, the relationship was no longer significant. In adolescence, coefficients ranged from 0.16 for neuromotor battery and bone mineral density (BMD) in the lumbar region to 0.38 for hanging leg lift test and BMD of arms. The explained variance varied between 2% (bent arm hang for BMD total) and 12% (hanging leg-lift for BMD arms), therefore, a higher performance in neuromuscular fitness in adolescence was associated with better bone strength in adulthood.

**Conclusions:** In adults, bone strength variables showed significant correlation from low to moderate magnitude

\*Autor correspondente. E-mail: [cynthiac@utfpr.edu.br](mailto:cynthiac@utfpr.edu.br) (C.C.L. Barbosa).

<sup>a</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana, PR, Brasil.

<sup>b</sup>Laboratório de Atividade Física e Saúde, Universidade Estadual de Londrina, PR, Brasil.

<sup>c</sup>Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

<sup>d</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", SP, Brasil.

<sup>e</sup>Amsterdam Public Health Research Institute, Amsterdam, Holanda.

<sup>f</sup>CIDAF (uid/dtp/04213/2019), Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

Recebido em 05 de abril de 2019; aprovado em 30 de julho de 2019; disponível online em 26 de fevereiro de 2020.

**Conclusões:** Em adultos, variáveis de resistência óssea apresentaram correlação significativa em magnitude baixa a moderada com indicadores da aptidão neuromuscular na adolescência, mas não na infância, após controlar pelo desempenho adulto na aptidão neuromuscular. No entanto, existe evidência limitada para apoiar a aptidão neuromuscular na juventude como fator determinante da resistência óssea na fase adulta.

**Palavras-chave:** Força muscular; Densidade óssea; Infância; Adolescência.

with neuromuscular fitness indicators in adolescence, but not in childhood, after controlling for adult performance in neuromuscular fitness. However, there is limited evidence to support the neuromuscular fitness in early life as a determinant of bone strength in adulthood.

**Keywords:** Muscle strength; Bone mineral density; Childhood; Adolescence.

## INTRODUÇÃO

A osteoporose é caracterizada pelo comprometimento da resistência óssea que predispõe a pessoa a um risco aumentado de fraturas.<sup>1,2</sup> Ocorrendo principalmente no quadril, vértebras e antebraço, as fraturas influenciam negativamente a qualidade de vida dos indivíduos afetados,<sup>3</sup> levando a um aumento dramático nos custos de saúde e, portanto, sendo consideradas um grande problema de saúde pública.<sup>4</sup>

A fragilidade óssea presente na osteoporose senil resulta dos processos de baixo pico de massa óssea e/ou perda óssea acentuada com o avanço da idade, principalmente entre as mulheres.<sup>5,6</sup> Parte da fragilidade óssea se estabelece nas fases iniciais do ciclo de vida e otimizar o pico de massa óssea poderia atenuar as consequências.<sup>7</sup> O pico de massa óssea é a quantidade de massa óssea adquirida até que atinja um platô, o que geralmente ocorre até o início da terceira década de vida.<sup>8</sup> Nesse período de aquisição de massa óssea (principalmente na infância e adolescência), fatores como hereditariedade, sexo, hormônios, nutrição e cargas mecânicas (atividades físicas) são considerados importantes determinantes do pico de massa óssea.<sup>5,6</sup>

A atividade física afeta consistentemente o desenvolvimento do pico de massa óssea.<sup>6</sup> As teorias mecanostática, de mecanossensação e transdução são frequentemente citadas para explicar a interação osso-músculo por meio da contração muscular.<sup>9-11</sup> Análise da unidade músculos-ossos durante o período de crescimento máximo mostra que o desenvolvimento muscular precede o desenvolvimento ósseo<sup>12,13</sup> e, mesmo considerando a determinação genética nesse processo, a força muscular pode ser importante na modelagem e aquisição de resistência óssea. Portanto, a aptidão neuromuscular pode ser determinante do pico de massa óssea.

Vários estudos transversais já investigaram a relação entre indicadores de aptidão neuromuscular e variáveis de resistência óssea, e uma relação positiva foi sistematicamente observada, com um efeito de magnitude de moderado a alto.<sup>14-16</sup> No entanto, ausência de significância estatística ou menor magnitude de relação é encontrada em estudos longitudinais que examinaram a aptidão neuromuscular em jovens relacionando-a à saúde

óssea na idade adulta.<sup>17,18</sup> Além disso, há mais estudos transversais do que longitudinais disponíveis, e uma grande diversidade de métodos é utilizada para se identificarem os indicadores da aptidão neuromuscular e óssea.

São necessárias pesquisas para explicar a contribuição específica e independente da aptidão neuromuscular nas variáveis de resistência óssea.<sup>19</sup> A relação entre indicadores de aptidão neuromuscular (força, resistência e potência) e variáveis de saúde óssea (densidade mineral óssea [DMO] e conteúdo mineral ósseo [CMO]) pode variar quanto à magnitude, fatores mediadores e variação ao longo do tempo. Além disso, conhecer aspectos dessa relação, especialmente durante os anos de pico de aquisição e estabilização da massa óssea, pode ser relevante para entender os efeitos do estresse mecânico na matriz óssea e, assim, verificar se a aptidão neuromuscular desempenha um papel determinante no pico de massa óssea.

Dada a necessidade de reunir informações disponíveis sobre o assunto, o objetivo deste estudo foi revisar sistematicamente a literatura para verificar a relação entre indicadores de aptidão neuromuscular na infância e/ou adolescência e variáveis de resistência óssea na idade adulta.

## MÉTODO

Este estudo foi realizado com base nas recomendações de relatórios de análises sistemáticas e metanálises (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA)).<sup>20</sup> Foram realizadas buscas nas seguintes bases de dados: Medline/PubMed, SCOPUS, SPORTDiscus, Web of Science, PsycINFO, LILACS e SciELO. A pesquisa abrangeu todo o período de existência das bases de dados até 19 de março de 2019, e o único filtro utilizado para selecionar os estudos foi o idioma: inglês, espanhol e português.

A pesquisa foi feita com as seguintes palavras-chave e operadores booleanos: (“muscle strength” OR “strength muscle” OR “muscular strength” OR “hand strength” OR “handgrip” OR “grip strength” OR “muscle strength dynamometer” OR “muscle strength dynamometers” OR “physical capacity” OR

“physical fitness” OR fitness OR “muscular fitness” OR “muscle endurance” OR “muscle power” OR “explosive strength” OR “muscle fitness” OR “musculoskeletal fitness” OR “motor fitness” OR “neuromotor fitness” OR “motor performance” OR “motor tests” OR “standing long jump” OR “standing broad jump” OR “vertical jump” OR “sit-ups” OR “isokinetic dynamometry” OR “isokinetic”) AND (child OR children OR childhood OR students OR student OR scholars OR scholar OR adolescent OR adolescents OR adolescence OR teen OR teens OR teenager OR teenagers OR youth OR youths) AND (“bone density” OR “bone densities” OR “bone mineral density” OR “bone mineral densities” OR “bone mineral content” OR “bone mineral contents” OR “bone densitometry” OR “bone health” OR “bone strength” OR “bone mass” OR “peak bone mass”) AND (“young adult” OR “young adults” OR “young adulthood” OR “university students” OR adult OR adults OR adulthood).

No caso específico das bases de dados latino-americanas LILACS e SciELO, foram utilizadas as seguintes palavras-chave e operadores booleanos para pesquisar artigos em português: (“força muscular” OR “aptidão física”) AND (“densidade mineral óssea” OR “conteúdo mineral ósseo” OR “saúde óssea” OR “massa óssea” OR “pico de massa óssea”). Os autores e a lista de referências dos artigos foram consultados adicionalmente.

Os critérios de elegibilidade foram:

- desenho longitudinal;
- conter a relação entre indicadores de aptidão neuromuscular na infância e/ou adolescência com variáveis de resistência óssea pelo menos na idade adulta, dentro dos objetivos da investigação;
- não ser um estudo de revisão ou revisão sistemática;
- não envolver participantes com patologias, atletas ou modelos animais.

Após a exclusão de estudos de acordo com os critérios de elegibilidade, os textos completos foram avaliados e excluídos se não utilizassem variáveis de resistência óssea, aptidão neuromuscular com indicadores apenas na idade adulta, se apresentassem desenho transversal e se não atendessem ao objetivo da pesquisa.

Cabe ressaltar que, apesar da importância dos dados sobre variáveis de resistência óssea no início da vida e na idade adulta para controlar fatores genéticos, estudos de *tracking* também foram considerados na busca devido à possibilidade de que a aptidão neuromuscular no início da vida seja usada para prever a saúde óssea na idade adulta.<sup>21</sup> A seleção e análise dos estudos foram realizadas de forma independente por dois pesquisadores (CCLB, CLPR) e, em caso de divergência, um terceiro pesquisador (ERVR) foi convidado a decidir se deveria incluir ou excluir os estudos.

Além disso, foi utilizada uma adaptação da lista de verificação STROBE<sup>22</sup>, uma ferramenta comumente usada para

orientar o relato de estudos observacionais, a fim de avaliar a qualidade dos artigos incluídos no estudo. Os itens selecionados e adaptados para a presente revisão sistemática são listados na Tabela 1. A adaptação da lista de verificação STROBE para

**Tabela 1** Adaptação da lista de verificação STROBE para classificação da qualidade dos estudos

Item	Tópico e recomendação
1	Título e Resumo: a) inclui no título e/ou resumo pelo menos uma das palavras-chave utilizadas na pesquisa; b) resumo fornece uma sinopse do que foi realizado e encontrado.
2	Introdução: explica os motivos e a base científica para a realização da pesquisa
3	Introdução: inclui objetivos gerais e específicos, considerando claramente qualquer hipótese pré-estabelecida.
4	Métodos: apresenta no início do documento os principais elementos do desenho do estudo.
5	Métodos: descreve contexto, locais e datas relevantes, incluindo períodos de recrutamento, exposição, monitoramento e coleta de dados.
6	Métodos: apresenta os critérios de elegibilidade, bem como as fontes e métodos de seleção dos participantes. Especifica métodos de acompanhamento quando aplicável (estudos de coorte).
7	Métodos: define claramente todas as variáveis: resposta, exposição, predição, variáveis confundidoras e modificadoras de efeito. Se aplicável, fornece critérios de diagnóstico.
8	Métodos: especifica e detalha os métodos e instrumentos de medição.
9	Métodos: o tamanho da amostra foi determinado racionalmente.
10	Métodos: a) explica como as variáveis quantitativas foram tratadas na análise; b) pelo menos um teste estatístico foi realizado para verificar a relação em questão.
11	Resultados: a) apresenta pelo menos uma informação numérica relacionada à análise da associação em questão; b) se as variáveis foram categorizadas, os pontos de corte foram descritos.
12	Resultados: fornece estimativas não ajustadas e, se aplicável, ajustadas para fatores de confusão (especificar), bem como sua precisão (por exemplo, intervalos de confiança de 95%).
13	Discussão: resume os principais resultados do estudo.
14	Discussão: discute as limitações, considera possíveis fontes de viés ou imprecisão.
15	Discussão: a) apresenta uma interpretação geral prudente dos resultados, considerando objetivos, limitações, multiplicidade de análises e resultados de estudos similares; b) discute a possibilidade de generalização dos resultados (validade externa).

a classificação da qualidade dos estudos incluídos nesta revisão sistemática consistiu em 15 itens, cada um representando um ponto ou meio ponto quando subdividido. Assim, se o artigo se encaixasse em todos os itens, recebia uma pontuação total de 15 pontos. Os pontos de corte estabelecidos para a classificação da qualidade foram: 0 a 5 pontos = baixa qualidade; 6 a 10 pontos = qualidade moderada; e 11 a 15 pontos = alta qualidade. Os estudos que alcançaram qualidade moderada e alta, de acordo com os critérios mencionados acima, foram incluídos na análise final. O processo de seleção e exclusão de artigos pode ser visto na Figura 1.

Os estudos foram encontrados nas bases de dados consultadas, filtrados por idioma e importados para o EndNote. Inicialmente, estudos duplicados foram excluídos e, posteriormente, estudos foram excluídos após análise dos títulos, resumos ou leitura completa, de acordo com os critérios de elegibilidade. Segundo a avaliação de qualidade, todos foram considerados de “alta qualidade” (Tabela 2).

## RESULTADOS

Uma síntese dos principais resultados dos estudos está disponível na Tabela 3.

### Características dos estudos

A maioria dos estudos foi realizada em países europeus, com coletas do *baseline* nos anos 70 e acompanhamentos de 15 a 27 anos.<sup>18,23,24</sup> Um estudo foi conduzido na Austrália em 1985, com cerca de 20 anos de acompanhamento.<sup>17</sup> No total, foram acompanhadas quatro amostras diferentes, com dados do Estudo Longitudinal de Saúde e Crescimento de Amsterdã (*Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study*)<sup>18</sup>, Estudo Longitudinal de Leuven sobre Estilo de Vida, Aptidão Física e Saúde (*Leuven Longitudinal Study on Lifestyle, Physical Fitness and Health*)<sup>23</sup>, estudantes suecos,<sup>24</sup> e Pesquisa de Saúde e Aptidão Física em Escolas Australianas (*Australian Schools Health and Fitness Survey*).<sup>17</sup>

Quanto às características dos estudos, apenas dois envolveram um sexo,<sup>23,24</sup> e dois envolveram ambos os sexos.<sup>17,18</sup> Nesses estudos, foi adotado controle por sexo (análise ajustada por sexo<sup>18</sup> e análise estratificada<sup>17</sup>) por ser um determinante de resistência óssea. Os estudos foram publicados entre 2000 e 2008. O mais recente tem a maior amostra e abrangeu a infância.<sup>17</sup>

### Métodos para obter as variáveis de resistência óssea

O estudo de Foley et al.<sup>17</sup> utilizou ultrassom do calcâneo para avaliar parâmetros de resistência óssea, que consiste em velocidade do som (VDS, m/s), atenuação do ultrassom em banda

larga (AUB dB/MHz) e índice quantitativo de ultrassom (IQU), utilizando-se a equação  $IQU = 0,41 \times (AUB + VDS) - 571$ .

Em todos os outros estudos, a absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) foi usada para obter CMO e/ou DMO, embora diferentes equipamentos tenham sido utilizados (Hologic, Norland, Lunar). Diferentes sítios ósseos foram mensurados:

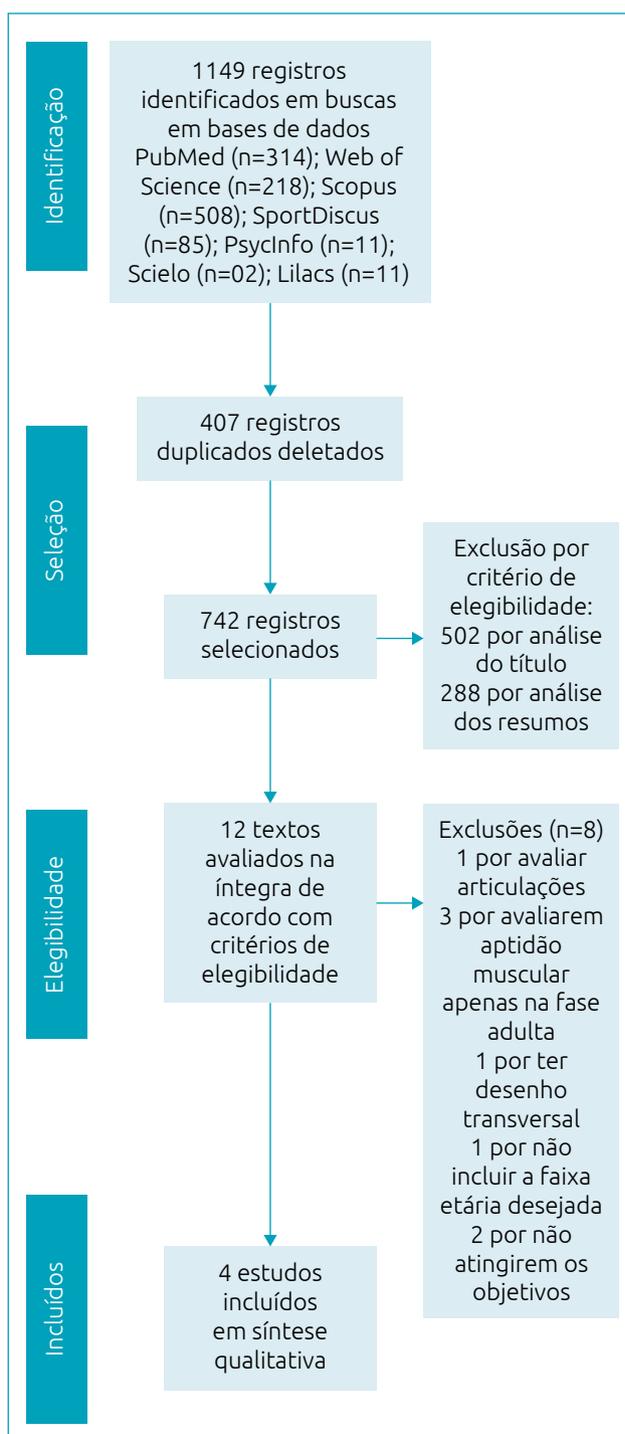


Figura 1 Diagrama do processo de seleção dos artigos.

corpo inteiro, coluna lombar, colo do fêmur, rádio distal, braços e pernas inteiros, e trocânter maior. Avaliar diferentes sítios ósseos permite uma análise de associações de especificidades anatômicas sobre a musculatura predominantemente envolvida no teste aplicado como um indicador de aptidão neuromuscular.

Todos os estudos obtiveram informações sobre variáveis de resistência óssea apenas no período de *follow-up*, ou seja, na fase adulta. A medida de corpo total com DXA envolveu a cabeça, uma vez que a recomendação para sua exclusão está relacionada apenas a crianças e adolescentes.<sup>25</sup>

**Tabela 2** Descrição da avaliação da qualidade dos estudos incluídos nesta revisão sistemática. Critérios adaptados da lista de verificação STROBE.

Referências – bases de dados on-line	Item															Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1. Kemper et al. (2000) <sup>18</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0	0,5	13
2. Delvaux et al. (2001) <sup>23</sup>	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,5	13,5
3. Barnekow-Bergkvist et al. (2006) <sup>24</sup>	1	1	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	14
4. Foley et al. (2008) <sup>17</sup>	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	14

**Tabela 3** Resultados dos estudos incluídos na revisão sistemática.

Autor/idades	Amostra	Aptidão neuromuscular	Resistência óssea	Resultados
Kemper et al. <sup>18</sup> BS: 13-16 anos <i>Follow-up</i> : 21-27 anos	83 garotos 98 garotas	Bateria de 7 testes: BraçoT, SB, 10 EPS, 10x5 m CV, C-A, batida em chapa, SV; escore único	DMO da região lombar (L1-L4), colo femoral, raio distal; DXA	O coeficiente de regressão revelou que a aptidão neuromuscular na adolescência estava correlacionada com a DMO lombar (0,16; $p=0,05$ ) e do colo do fêmur (0,18; $p=0,05$ ).
Delvaux et al. <sup>23</sup> BS: 13 anos <i>Follow-up 1</i> : 18 anos <i>Follow-up 2</i> : 40 anos	126 garotos	EPS, SB, salto vertical, BraçoT; O escore absoluto de mudança no desempenho foi calculado entre 18 e 13 anos	DMO e CMO do CT e da região lombar; DXA	Correlacionado em BraçoT e CT ( $r=0,19^*$ ) e CMO lombar ( $r=0,21^*$ ), e em EPS e CMO do CT ( $r=0,19^*$ ). Aos 18 anos, SB com CMO total ( $r=0,21^*$ ), CMO total de BraçoT ( $r=0,28^*$ ) e CMO lombar ( $r=0,27^*$ ).
Barnekow-Bergkvist et al. <sup>24</sup> BS: 15-17 anos <i>Follow-up</i> : 35-37 anos	36 garotas	EPS, preensão manual, duas PB	CT, braços, pernas, lombar, trocânter, DMO do colo do fêmur; DXA	Duas PB foram preditores de DMO para CT ( $R^2_{adj}=0,10^*$ ); EPS suspenso ( $R^2_{adj}=0,12^*$ ) e preensão de mão ( $R^2_{adj}=0,08^*$ ) para DMO de braços; e os dois PB para DMO de pernas ( $R^2_{adj}=0,1^*$ ) e trocânter de DMO ( $R^2_{adj}=0,08^*$ ).
Foley et al. <sup>17</sup> BS: 7-15 anos <i>Follow-up</i> : 26-36 anos	691 garotos 743 garotas	Teste de força das pernas com dinamômetro, SV	Ultrassom do calcâneo	Nos garotos, nenhuma medida foi preditiva de parâmetros quantitativos de ultrassom. O mesmo para, após as variáveis serem ajustadas para desempenho na fase adulta, SLJ com IQU ( $\beta=0,07$ ) e velocidade do som ( $\beta=0,08$ ).

BS: *baseline*; BraçoT: tração de braço; SB: suspensão na barra; EPS: elevação de pernas em suspensão; CV: corrida de vaivém; S-A: sentar e alcançar; SV: salto vertical; PB: puxada na barra; DMO: densidade mineral óssea ( $g/cm^2$ ); CMO: conteúdo mineral ósseo (g); CT: corpo total; DXA: absorciometria de raios X de dupla energia; IQU: índice quantitativo de ultrassom; \*valor  $p<0,05$  ou  $p<0,01$ .

## Métodos para obter indicadores de aptidão neuromuscular

A aptidão neuromuscular foi mensurada em quatro estudos por meio de testes motores para obter indicadores de diferentes capacidades físicas: salto em distância (força explosiva das pernas);<sup>17</sup> elevação de pernas e abdominais (força muscular do tronco), suspensão na barra (força da parte superior do corpo), salto vertical (força explosiva das pernas), puxada na barra (força estática do braço);<sup>23</sup> bateria de aptidão neuromotora – puxada na barra, suspensão na barra,<sup>10</sup> 10 elevações de pernas (força do tronco/pernas), corrida de vaivém 10x5m (velocidade e agilidade), sentar e alcançar (flexibilidade do tronco), batimento de placas (coordenação olhos-mão e velocidade do braço), salto em altura;<sup>18</sup> elevação de pernas em suspensão (força muscular).<sup>24</sup> Em dois estudos, a dinamometria também foi usada para avaliar a força muscular: prensão manual, levantamento de duas mãos,<sup>24</sup> e teste de força da perna.<sup>17</sup> Observou-se predominância de testes que avaliam as capacidades físicas força muscular e explosiva, ações musculares que proporcionam grande tensão nos ossos.

Enquanto Kemper et al.<sup>18</sup> utilizaram uma bateria de testes motores e unificaram o desempenho nos sete testes em uma pontuação geral, os outros estudos analisaram o desempenho em cada teste de aptidão neuromuscular e sua associação com variáveis de resistência óssea.<sup>17,23,24</sup> No estudo de Barnekow-Bergkvist et al.,<sup>24</sup> a aptidão neuromuscular foi avaliada apenas no início, enquanto nos demais foi realizada nos dois momentos da coleta.<sup>17,18,23</sup>

## Associações entre aptidão neuromuscular e resistência óssea

Um estudo que cobriu o período da infância identificou no sexo feminino uma relação positiva e significativa entre o salto em distância com IQU ( $\beta=0,11$ ;  $p<0,05$ ) e VDS ( $\beta=0,14$ ;  $p<0,01$ ), ao ajustar o modelo por idade na infância e índice de massa corporal (score Z). Entretanto, quando o modelo incluiu o desempenho de salto em distância na idade adulta, houve atenuação da magnitude e perda de significância na associação ( $\beta=0,07$ ;  $\beta=0,08$ , respectivamente).<sup>17</sup> Ou seja, a princípio, meninas com melhor desempenho no salto tiveram um melhor indicador de resistência óssea. No entanto, parece ser necessário manter um bom desempenho no salto em distância na idade adulta, uma vez que a associação deixou de existir quando ajustada para essa variável.

Estudos envolvendo o período da adolescência demonstraram que, para ambos os sexos, o desempenho superior na aptidão neuromuscular se correlacionou com a resistência óssea na idade adulta<sup>18,23,24</sup>, com coeficientes variando de 0,16 (bateria neuromotora e DMO lombar) a 0,38 (teste de elevação de pernas em suspensão com DMO dos braços).<sup>18,24</sup>

Ao analisar a magnitude da relação entre as variáveis, observou-se uma variação discreta entre os estudos, porém o suficiente para classificar a correlação como fraca e moderada,<sup>18,23</sup> como as encontradas entre desempenho no teste de levantamento de duas mãos e DMO total e das pernas ( $r=0,33\pm 0,35$ ) e entre elevação de pernas em suspensão e DMO dos braços (0,38).<sup>24</sup> A variância explicada variou de 2%, na suspensão na barra aos 18 anos para DMO e DMO total, a 3% na elevação de pernas aos 13 anos para CMO total e lombar,<sup>23</sup> e a 12% na elevação de pernas em suspensão aos 16 anos e DMO dos braços.<sup>24</sup> Apesar desses valores percentuais discretos, a aptidão neuromuscular pode ser importante, tendo em vista a variedade de outros fatores que determinam a otimização do pico de massa óssea.

Em relação aos sítios ósseos, nas regiões de interesse, não foram encontradas associações significativas com indicadores de aptidão neuromuscular no rádio distal<sup>18</sup>, na região lombar e no colo do fêmur em um dos estudos,<sup>24</sup> e na região do calcâneo, avaliada por ultrassonografia.<sup>17</sup> Destaca-se que não houve padronização quanto ao tipo de teste aplicado e aos sítios ósseos mensurados, dificultando a interpretação e comparação dos resultados de diferentes experimentos.

## DISCUSSÃO

Em adultos, a resistência óssea pareceu correlacionar-se significativa e diretamente em magnitude baixa a moderada com indicadores de aptidão neuromuscular na adolescência. No estudo tendo a infância como *baseline*, essa relação não foi encontrada.

Faltam na literatura revisões sistemáticas sobre essa relação específica da aptidão neuromuscular na infância e/ou adolescência como um determinante do pico de massa óssea. Apesar do número de estudos transversais, estudos sobre a contribuição da aptidão neuromuscular nas variáveis de resistência óssea,<sup>15,16,26,27</sup> o número de investigações observacionais longitudinais que examinam essa interação a partir da juventude até a idade adulta ainda é limitado. Isso ficou evidente, pois, através desta revisão sistemática da literatura, foram encontrados apenas quatro estudos dessa natureza investigando esse fenômeno.<sup>17,18,23,24</sup>

## Características dos estudos

É muito complexo desenvolver estudos longitudinais. Dentre os desafios, destaca-se a manutenção do número de indivíduos ao longo dos anos, o que pode explicar a dificuldade de encontrar estudos que abrangem desde a infância. Esse efeito *dropout* deve ser observado, pois pode influenciar a generalização dos resultados. Aproximadamente 17% da amostra do *baseline*

participou dos estudos de acompanhamento de Foley et al.<sup>17</sup> e Barnekow-Bergkvist et al.<sup>24</sup>. Nos dois estudos, foi observado um efeito *dropout*, em baixa magnitude no primeiro, mas com possibilidade de comprometer a validade externa e a significância de algumas relações no segundo, devido ao tamanho menor da amostra. Delvaux et al.<sup>23</sup>, que iniciaram o estudo com 441 meninos elegíveis e concluíram com 126, não reportaram efeito *dropout*. Kemper et al.,<sup>18</sup> que avaliaram 307 participantes inicialmente e, após 15 anos, restavam 182, não registraram influência do efeito *dropout*.

Os estudos controlaram suas análises por variáveis tais como: sexo, idade cronológica e biológica, antropometria e composição corporal, pois essas variáveis podem influenciar a massa óssea. Em ambos os sexos, foram encontradas relações positivas significativas na adolescência, com coeficientes de maior magnitude entre as meninas.<sup>24</sup> Faulkner et al.<sup>28</sup> também encontraram vantagens para as meninas ( $r=0,51$ ) em comparação aos meninos ( $r=0,13$ ) na associação entre aptidão física na adolescência e DMO na fase adulta. Foley et al.<sup>17</sup> sugerem que os efeitos do exercício durante a infância na massa óssea adulta levam a mais benefícios a longo prazo para o sexo feminino. Diferentes efeitos da atividade física na adolescência sobre a resistência, o conteúdo e o tamanho ósseo foram observados por Duckham et al.<sup>29</sup>, que especularam que essas respostas surgissem da formação óssea, de aumentos hormonais na adolescência e do tipo e intensidade das atividades físicas inerentes ao sexo.

Em relação ao controle por idade, a maioria tinha idade cronológica homogênea<sup>18,23,24</sup> e, quanto à idade biológica, um estudo considerou a idade da menarca,<sup>24</sup> outro estudo estimou a idade esquelética<sup>18</sup> e dois estudos não apresentaram informações de maturação.<sup>17,23</sup> Gunter et al.<sup>30</sup> reforçam que a exposição a cargas mecânicas durante a infância otimiza a saúde esquelética ao longo da vida; portanto, a relação entre aptidão neuromuscular e resistência óssea precisa ser verificada o mais cedo possível (infância). O fato de o estudo que avaliou a infância no *baseline* não ter encontrado uma relação entre as variáveis quando se considerou o desempenho adulto em salto pode sugerir que estímulos que promovem melhor desempenho muscular precisam ser mantidos ao longo da vida para que se preservem os efeitos osteogênicos.<sup>17</sup>

Embora o tecido ósseo se adapte constantemente aos estímulos recebidos, é durante o período de crescimento físico que os ossos respondem melhor aos estímulos de carga mecânica.<sup>19,31,32</sup> Baxter-Jones et al.<sup>8</sup> observaram que 39% do CMO total era atingido em  $\pm 2,5$  anos do pico da velocidade da altura (PVA) e esse pico de ganho de massa óssea ocorreu cerca de um ano após o PVA para ambos os sexos. As relações positivas dos estudos no que diz respeito ao período da adolescência como

*baseline* podem indicar a aptidão neuromuscular como parâmetro indireto do monitoramento da aquisição de massa óssea durante os anos de crescimento físico.

Uma vez que muitos fatores podem influenciar o pico de massa óssea,<sup>5,6</sup> os estudos encontrados nesta revisão também consideraram outras variáveis. Em relação à antropometria e à composição corporal, os modelos foram ajustados para altura, massa corporal e soma das dobras cutâneas,<sup>18</sup> índice de massa corporal,<sup>17,23</sup> e alteração da massa corporal entre o *follow-up* e o *baseline*.<sup>24</sup> Outras variáveis consideradas foram informações relacionadas à nutrição,<sup>18,23,24</sup> hábito de fumar na idade adulta<sup>23,24</sup> e uso de contraceptivos orais.<sup>24</sup>

### Métodos para obter indicadores de aptidão neuromuscular e variáveis de resistência óssea

Diferentes métodos foram utilizados para obter as variáveis, o que dificultou a comparação dos estudos. Para a aptidão neuromuscular, os métodos variaram de dinamômetros e testes motores analisados separadamente a bateria neuromotora, em que um escore resultou de diferentes componentes neuromotores (57% envolvendo força muscular), o qual pode ter influenciado a associação.<sup>18</sup> Pelos testes motores, os indicadores de força muscular foram os que apresentaram relações significativas.<sup>23,24</sup> Força, resistência e potência muscular podem ser distintamente relacionados às variáveis de resistência óssea, possivelmente devido à tensão nos ossos de acordo com o tipo de ação muscular, uma especificidade observada em outros estudos.<sup>14,15,17,23</sup>

Também é interessante que a musculatura predominantemente envolvida no teste esteja próxima do local ósseo mensurado e envolva ou não o suporte da massa corporal. Kemper et al.,<sup>18</sup> por exemplo, não encontraram associação estatisticamente significativa entre aptidão física e DMO do rádio distal. Além da individualidade biológica, cada osso necessita de um limiar de deformação para apresentar uma reação, e pode haver também uma resposta específica de acordo com o tipo de osso (trabecular, cortical) predominante na região, o que justifica a importância de medir o maior número possível de locais. Barnekow-Bergkvist et al.<sup>24</sup> mediram corpo total, membros inferiores e superiores, região lombar e fêmur, o que permitiu relacionar as medidas com testes de aptidão neuromuscular que tinham implicações em regiões corporais específicas.

No único estudo que utilizou ultrassom, apenas a região do calcâneo foi avaliada, porém foram utilizados indicadores de aptidão neuromuscular que mostraram especificidade do local.<sup>17</sup> Parâmetros da ultrassonometria óssea estão associados ao risco de fratura,<sup>33</sup> mas, embora outras técnicas sejam interessantes na análise do estado ósseo e risco de fratura, a maioria

dos estudos sobre o pico de massa óssea utilizou o DXA,<sup>6</sup> um método extremamente preciso para quantificar a DMO e a composição corporal.<sup>34</sup>

### Associações entre aptidão neuromuscular e resistência óssea

A magnitude dos coeficientes nos estudos foi baixa a moderada. Um dos fatores que podem interferir na magnitude da relação entre indicadores de aptidão neuromuscular e variáveis de resistência óssea é o período entre as medições, ou seja, à medida que o intervalo de tempo aumenta, os coeficientes tendem a diminuir. Por exemplo, coeficientes significativos e de maior magnitude são observados quando os relacionamentos são investigados na mesma fase da vida, ou seja, idade adulta *versus* idade adulta, do que quando comparados de uma fase da vida para outra, ou seja, adolescência *versus* idade adulta.<sup>23</sup> O único estudo envolvendo a aptidão neuromuscular na infância e as variáveis de resistência óssea na fase adulta não reportou relações significativas após o controle do desempenho adulto.<sup>17</sup>

Essa perda de significância após o controle do desempenho na idade adulta sugere que a aptidão muscular é um importante determinante se mantida desde a infância até a fase adulta.<sup>17</sup> Embora a resistência óssea aumente por meio da aquisição de massa óssea em regiões estimuladas, na ausência de estímulos, massa óssea é removida<sup>7</sup>, demonstrando uma constante adaptação dos ossos às cargas mecânicas ao longo da vida. Dos estudos incluídos nesta revisão sistemática, apenas um não avaliou o desempenho de aptidão neuromuscular na idade adulta.<sup>24</sup>

Ainda não está claro na literatura quanto dos benefícios obtidos na juventude podem ser mantidos na idade adulta. Um estudo realizado com homens e mulheres fisicamente ativos na adolescência apresentou CMO total e do quadril 8 a 10% maior que seus pares sedentários ou moderadamente ativos. Cabe ressaltar que foi encontrado um escore mais alto de atividade física entre os adultos classificados como fisicamente ativos na adolescência.<sup>35</sup> Em estudos envolvendo atletas, existem discrepâncias quanto às vantagens, na vida adulta, da exposição a cargas mecânicas na infância/adolescência, quando o estímulo é reduzido ou suspenso.<sup>36-38</sup>

Estudos sobre a relação entre aptidão neuromuscular e resistência óssea têm considerado o efeito mediador de outras variáveis. Um estudo envolvendo crianças mostrou que a relação entre indicadores de aptidão neuromuscular e parâmetros ósseos era totalmente mediada pela massa magra.<sup>39</sup> Um estudo com adolescentes demonstrou não haver relação independente entre aptidão física (bateria EUROFIT) e CMO total após os modelos serem ajustados para magra

massa, mas reportou uma relação independente entre massa magra e massa óssea, o que explica 67% da variação independente total para idade e sexo.<sup>40</sup> Não foram encontrados estudos que investigaram o efeito mediador ao analisar a relação da aptidão neuromuscular na infância/adolescência e resistência óssea na idade adulta.

Assim, existem evidências limitadas (número reduzido de estudos, heterogeneidade de testes aplicados e sítios ósseos mensurados, efeito *dropout*) para apoiar a aptidão neuromuscular no início da vida como determinante da resistência óssea na idade adulta. O fato de a magnitude dessa relação ser baixa a moderada não diminui a importância de estimular a melhoria da aptidão neuromuscular na infância/adolescência, dada a sensibilidade do esqueleto às cargas mecânicas durante as duas primeiras décadas de vida e o aumento da massa óssea no período de crescimento, sendo essencial para a resistência óssea, adiamento do início da osteoporose e redução do risco de fraturas.

Com base no exposto, sugere-se o seguinte: estudos futuros prospectivos com grande tamanho amostral; acompanhamento de grupos masculino e feminino por vários anos, com início em idades precoces, como a infância; medição de vários sítios ósseos e aplicação de testes de aptidão neuromuscular considerando as especificidades do local em múltiplos momentos do seguimento; controle dos níveis de desempenho da aptidão neuromuscular na idade adulta, bem como de outras variáveis que influenciam a massa óssea; análise do impacto da trajetória de desempenho de aptidão neuromuscular na massa óssea, além do efeito potencial de maturação biológica durante o período juvenil.

## CONCLUSÕES

Foi demonstrado que a aptidão neuromuscular na infância tem uma relação positiva estatisticamente significativa com as variáveis de resistência óssea na idade adulta para o sexo feminino, mas essa relação não foi mantida após controle do desempenho neuromuscular na idade adulta. A aptidão neuromuscular na adolescência parece estar relacionada positivamente, de magnitude baixa a moderada, com a resistência óssea na idade adulta. No entanto, existem evidências limitadas que apoiam a hipótese da aptidão neuromuscular no início da vida como determinante da resistência óssea na idade adulta.

### Financiamento

Este estudo não recebeu financiamento.

### Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## REFERÊNCIAS

1. NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA*. 2001;285:785-95. <https://doi.org/10.1001/jama.285.6.785>
2. Lorentzon M, Cummings SR. Osteoporosis: the evolution of a diagnosis. *J Intern Med*. 2015;277:650-61. <https://doi.org/10.1111/joim.12369>
3. Borgstrom F, Lekander I, Ivergard M, Ström O, Svedbom A, Alekna V, et al. The International Costs and Utilities Related to Osteoporotic Fractures Study (ICUROS) -- quality of life during the first 4 months after fracture. *Osteoporos Int*. 2013;24:811-23. <https://doi.org/10.1007/s00198-012-2240-2>
4. Hernlund E, Svedbom A, Ivergard M, Compston J, Cooper C, Stenmark J, et al. Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden. A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Arch Osteoporos*. 2013;8:136. <https://doi.org/10.1007/s11657-013-0136-1>
5. Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, et al. Peak bone mass. *Osteoporos Int*. 2000;11:985-1009. <https://doi.org/10.1007/s001980070020>
6. Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, Kalkwarf HJ, Lappe JM, Lewis R, et al. The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporos Int*. 2016;27:1281-386. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3440-3>
7. Wang Q, Cheng S, Alen M, Seeman E, Finnish CaLex Study Group. Bone's structural diversity in adult females is established before puberty. *J Clin Endocrinol Metab*. 2009;94:1555-61. <https://doi.org/10.1210/jc.2008-2339>
8. Baxter-Jones AD, Faulkner RA, Forwood MR, Mirwald RL, Bailey DA. Bone mineral accrual from 8 to 30 years of age: an estimation of peak bone mass. *J Bone Miner Res*. 2011;26:1729-39. <https://doi.org/10.1002/jbmr.412>
9. Frost HM. Bone's mechanostat: a 2003 update. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol*. 2003;275:1081-101. <https://doi.org/10.1002/ar.a.10119>
10. Klein-Nulend J, Bakker AD, Bacabac RG, Vatsa A, Weinbaum S. Mechanosensation and transduction in osteocytes. *Bone*. 2013;54:182-90. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.10.013>
11. Robling AG. Is bone's response to mechanical signals dominated by muscle forces? *Med Sci Sport Exerc*. 2009;41:2044-9. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a8c702>
12. Rauch F, Bailey DA, Baxter-Jones A, Mirwald R, Faulkner R. The 'muscle-bone unit' during the pubertal growth spurt. *Bone*. 2004;34:771-75. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2004.01.022>
13. Xu L, Nicholson P, Wang Q, Alén M, Cheng S. Bone and muscle development during puberty in girls: a seven-year longitudinal study. *J Bone Miner Res*. 2009;24:1693-8. <https://doi.org/10.1359/jbmr.090405>
14. Forero-Bogotá MA, Ojeda-Pardo ML, García-Hermoso A, Correa-Bautista JE, González-Jiménez E, Schmidt-RíoValle J, et al. Body composition, nutritional profile and muscular fitness affect bone health in a sample of schoolchildren from Colombia: the fuprecol study. *Nutrients*. 2017;9:106. <https://doi.org/10.3390/nu9020106>
15. Bailey CA, Brooke-Wavell K. Association of body composition and muscle function with hip geometry and BMD in premenopausal women. *Ann Hum Biol*. 2010;37:524-35. <https://doi.org/10.3109/03014460903443207>
16. Weeda J, Horan S, Beck B, Weeks BK. Lifetime physical activity, neuromuscular performance and body composition in healthy young men. *Int J Sports Med*. 2014;35:900-5. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1364027>
17. Foley S, Quinn S, Dwyer T, Venn A, Jones G. Measures of childhood fitness and body mass index are associated with bone mass in adulthood: a 20-year prospective study. *J Bone Miner Res*. 2008;23:994-1001. <https://doi.org/10.1359/jbmr.080223>
18. Kemper HC, Twisk JW, van Mechelen W, Post GB, Roos JC, Lips P. A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: the Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *Bone*. 2000;27:847-53. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(00\)00397-5](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(00)00397-5)
19. Tan VP, Macdonald HM, Kim S, Nettlefold L, Gabel L, Ashe MC, et al. Influence of physical activity on bone strength in children and adolescents: a systematic review and narrative synthesis. *J Bone Miner Res*. 2014;29:2161-81. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2254>
20. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ*. 2009;339:1-27. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
21. Maia JA, Lefevre J, Beunen G, Claessens A. A estabilidade da aptidão física: o problema, essência analítica, insuficiências e apresentação de uma proposta metodológica baseada em estudos de painel com variáveis latentes. *Mov Porto Alegre*. 1998;5:58-79. <https://doi.org/10.22456/1982-8918.2387>
22. Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP, et al. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *BMJ*. 2007;335:806-8. <https://doi.org/10.1136/bmj.39335.541782.AD>
23. Delvaux K, Lefevre J, Philippaerts R, Dequeker J, Thomis M, Vanreusel B, et al. Bone mass and lifetime physical activity in Flemish males: a 27-year follow-up study. *Med Sci Sport Exerc*. 2001;33:1868-75. <https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00011>
24. Barnekow-Bergkvist M, Hedberg G, Pettersson U, Lorentzon R. Relationships between physical activity and physical capacity in adolescent females and bone mass in adulthood. *Scand J Med Sci Sports*. 2006;16:447-55. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00500.x>

25. International Society for Clinical Densitometry (ISCD). Official Positions of the International Society for Clinical Densitometry June 2015. Middletown (USA): ISCD; 2015.
26. Daly RM, Stenevi-Lundgren S, Linden C, Karlsson MK. Muscle determinants of bone mass, geometry and strength in prepubertal girls. *Med Sci Sport Exerc.* 2008;40:1135-41. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318169bb8d>
27. Gracia-Marco L, Vicente-Rodríguez G, Casajús JA, Molnar D, Castillo MJ, Moreno LA. Effect of fitness and physical activity on bone mass in adolescents: the HELENA Study. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:2671-80. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1897-0>
28. Faulkner RA, Mirwald RL, Baxter-Jones A, Bailey DA. The relationship of physical fitness at adolescence to adult bone mineral density. Abstracts from the 23rd Annual Meeting of the American Society for Bone and Mineral Research. Phoenix, Arizona, USA; 2001.
29. Duckham RL, Baxter-Jones AD, Johnston JD, Vatanparast H, Cooper D, Kontulainen S. Does physical activity in adolescence have site-specific and sex-specific benefits on young adult bone size, content, and estimated strength? *J Bone Miner Res.* 2014;29:479-86. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2055>
30. Gunter KB, Almstedt HC, Janz KF. Physical activity in childhood may be the key to optimizing lifespan skeletal health. *Exerc Sport Sci Rev.* 2012;40:13-21. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318236e5ee>
31. MacKelvie KJ, Khan KM, McKay HA, Sanborn C. Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *Br J Sports Med.* 2002;36:250-7. <http://dx.doi.org/10.1136/bjbm.36.4.250>
32. Naughton G, Greene D, Courteix D, Baxter-Jones A. Resilient, responsive, and healthy developing bones: the good news about exercise and bone in children and youth. *Pediatr Exerc Sci.* 2017;29:437-9. <http://dx.doi.org/10.1123/pes.2017-0205>
33. Marín F, González-Macías J, Díez-Pérez A, Palma S, Delgado-Rodríguez M. Relationship between bone quantitative ultrasound and fractures: a meta-analysis. *J Bone Miner Res.* 2006;21:1126-35. <https://doi.org/10.1359/jbmr.060417>
34. IAEA Human Health Series. Dual energy X ray absorptiometry for bone mineral density and body composition assessment. Vienna: IAEA; 2010.
35. Baxter-Jones AD, Kontulainen SA, Faulkner RA, Bailey DA. A longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual from adolescence to young adulthood. *Bone.* 2008;43:1101-7. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2008.07.245>
36. Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, et al. Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J Bone Miner Res.* 1998;13:500-7. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.3.500>
37. Scerpella TA, Dowthwaite JN, Rosenbaum PF. Sustained skeletal benefit from childhood mechanical loading. *Osteoporos Int.* 2011;22:2205-10. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1373-4>
38. Tervo T, Nordström P, Neovius M, Nordström A. Constant adaptation of bone to current physical activity level in men: a 12-year longitudinal study. *J Clin Endocrinol Metab.* 2008;93:4873-9. <https://doi.org/10.1210/jc.2008-1313>
39. Torres-Costoso A, Gracia-Marco L, Sánchez-López M, García-Prieto JC, García-Hermoso A, Díez-Fernández A, et al. Lean mass as a total mediator of the influence of muscular fitness on bone health in schoolchildren: a mediation analysis. *J Sports Sci.* 2015;33:817-30. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.964750>
40. Vicente-Rodríguez G, Urzánqui A, Mesana MI, Ortega FB, Ruiz JR, Ezquerro J, et al. Physical fitness effect on bone mass is mediated by the independent association between lean mass and bone mass through adolescence: a cross-sectional study. *J Bone Miner Metab.* 2008;26:288-94. <https://doi.org/10.1007/s00774-007-0818-0>