



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Ciências da Saúde

Saúde Óssea, Prática Desportiva e Ciclo de Vida

Óscar Manuel da Conceição Tavares

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Biomedicina
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor José Manuel Pinto da Silva Casanova
Co-orientador: Prof. Doutor Daniel Almeida Marinho

Covilhã, Outubro de 2018



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências da Saúde

Saúde Óssea, Prática Desportiva e Ciclo de Vida

Óscar Manuel da Conceição Tavares

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Biomedicina
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor José Manuel Pinto da Silva Casanova
Co-orientador: Prof. Doutor Daniel Almeida Marinho

Covilhã, Outubro de 2018

Dedicatória

Aos meus filhos.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor José Casanova, Professor da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, devo a orientação desta Tese e o agradecimento pelo incentivo na concretização dos objetivos estabelecidos.

Ao Professor Doutor Daniel Marinho, Professor do Departamento de Ciências do Desporto da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade da Beira Interior, devo a orientação desta Tese e o agradecimento pela partilha de conhecimento e de experiência científica.

Aos meus alunos, agradeço as dúvidas e a aprendizagem recíproca.

Aos meus amigos e colegas da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, João Valente dos Santos, Daniela Costa e, muito em especial, João Pedro Duarte, agradeço o estímulo, a ajuda e o apoio que me dispensaram.

Aos meus amigos e colegas da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra, do Instituto Politécnico de Coimbra, João Joaquim, Hélder Simões e António Saraiva agradeço a amizade de todas as horas.

Aos meus pais, Óscar e Fernanda, devo tudo.

Aos meus filhos, Catarina e Tomás, agradeço a constante alegria, os silêncios, o exemplo, as palavras e os atos, o amor... tudo isto é por vocês.

Resumo

Compreender que a Densidade Mineral Óssea (DMO) é o resultado de um processo dinâmico de formação e reabsorção do tecido ósseo é essencial para jovens na puberdade, adultos, desportistas e sedentários. A relação entre exercício físico e DMO foi um dos objetivos deste estudo. Primeiramente tentou perceber-se a concordância entre os valores de composição corporal, de DMO e de Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) obtidos com recurso a equipamentos de absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) concorrentes e de características técnicas diferentes. Verificou-se a não existência de diferenças significativas na análise à DMO no colo do fémur, no triângulo de *Ward*, no trocânter e no corpo total. A avaliação da Massa Magra (MM) também foi concordante no corpo total. Porém, o tecido gordo não deve ser referenciado.

Avaliou-se também a relação entre a DXA e um novo modelo baseado em antropometria para estimar o volume da coxa em pesquisas sobre atletas de voleibol adolescentes do sexo feminino. Esta equação representa uma alternativa precisa e prática para quantificar o volume da coxa em jogadoras de voleibol feminino na adolescência tardia.

De seguida, compararam-se os valores de densidade óssea, composição corporal, maturidade biológica, determinações de perfis lipídicos e inflamatórios em nadadores, basquetebolistas e sedentários. O basquetebol parece mais benéfico para os parâmetros ósseos do que a natação, enquanto os parâmetros lipídicos parecem ser mais afetados pela prática da natação do que de basquetebol.

Estudaram-se ainda as diferenças de DMO, CMO, composição corporal, força estática e força isocinética entre um grupo de futebolistas e um grupo de jovens adultos fisicamente ativos e saudáveis. Constatou-se que a prática de atividades físicas com inúmeros impactos mecânicos, como o futebol, é suficiente para promover a obtenção e controlo de composição corporal ideal, conferindo vantagens acrescidas de tecido ósseo em jovens adultos do sexo masculino.

Posteriormente, comparou-se a composição corporal e a densidade óssea entre jovens nadadoras e jogadoras de voleibol. Encontraram-se valores mais elevados de DMO e CMO em todo o corpo nas voleibolistas e também maiores níveis de massa gorda (MG) quando comparados com as nadadores.

Estes estudos fornecem implicações práticas para jovens sedentários, atletas jovens de vários desportos com diferentes implicações ao nível do impacto e treinadores que podem beneficiar de rotinas de treino complementares com atividades portadoras de peso osteogénico, como resistência, força e treino pliométrico.

Palavras-chave

densidade mineral óssea, saúde óssea, DXA, composição corporal, atletas e não atletas, desporto com impacto mecânico, avaliação funcional.

Abstract

To understand that Bone Mineral Density (BMD) is a result of dynamic formation process and bone tissue resorption is essential for youth, adulthood, athletes and sedentary participants. To study the relationship between exercise and BMD was one of the aims of current study. Firstly, accordance between different Dual Energy X-rays (DXA) equipment's, competitors and technical characteristics were considered. Different variables were tacked in account: body composition, DMO and Bone Mineral Content (CMO). Results presented no significant differences in BMD analysis; femoral neck, Ward`s triangle, trochanter and whole body. The assessment of lean body mass (MM) was accordant with whole body. However, fat tissue should not be referenced.

Subsequently, it was investigated a relationship between DXA output and a new anthropometry-based to estimate thigh volumes in youth female volleyball athletes. This equation represents an accurate and practical alternative to invasive methods.

Values for BMD, body composition, static strength, isokinetic strength, maturity status, lipid and inflammatory profile determinations were compared in three different male groups: swimmers, basketball players and sedentary participants. Basketball seems more beneficial to bone parameters than swimming, while lipid parameters seem to be more affected by swimming practice than basketball.

Same variables (BMD, body composition, static strength, isokinetic strength) were studied between soccer players and young adults' physically active and healthy participants. It was observed that the practice of physical activities with numerous mechanical impacts, like soccer, is sufficient to promote the acquisition and control of the ideal body composition, giving additional advantages in bone tissue parameters.

Moreover, comparisons between body composition and BMD in swimmers and volleyball players were performed. Volleyball players presented higher values for whole body BMD, whole body BMC and fat mass (FM) when compared to swimmers.

Current studies provide practical implications for young sedentary people and young athletes participants from different sports with different implications and impact-level. Coaches can benefit from additional training routines with osteogenic, weight-bearing activities, such as resistance, strength and plyometric workout.

Keywords

bone mineral density, bone health, DXA, body composition, athletes and non-athletes, sports with mechanical impact, functional assessment.

Índice

1 Introdução	3
1.1 Tecido ósseo	3
1.2 Metabolismo do cálcio	8
1.3 Composição corporal	9
1.3.1 Absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA)	11
1.3.2 Princípios de funcionamento e formação de imagem	12
1.3.3 Pesagem hidrostática	14
1.3.4 Pletismografia	15
1.3.5 Hidrometria	15
1.3.6 Ultrassonografia	15
1.3.7 Tomografia computadorizada	16
1.3.8 Ressonância magnética	16
1.3.9 Métodos duplamente indiretos	17
1.3.9.1 Bioimpedância elétrica (BIA)	17
1.3.9.2 Antropometria	19
1.3.9.3 Índice de massa corporal	20
1.4 Avaliação isocinética da força muscular	20
2 Organização e objetivos da Tese	23
3 Estudos	25
3.1 Estudo 1: CONCORDÂNCIA ENTRE ABSORCIÓMETROS DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA COM “PENCIL-BEAM” E “FAN-BEAM”: INDICADORES DE SAÚDE ÓSSEA E COMPOSIÇÃO TECIDUAL DE CORPO TODO E REGIONAL EM ATLETAS ADULTOS	25
Resumo	26
<i>Abstract</i>	27
Introdução	28
Métodos	30
Resultados	32
Discussão	37
Conclusões	39
Referências	41

3.2 Estudo 2: CONCORDÂNCIA ENTRE UM MODELO ANTROPOMÉTRICO PARA PREDIZER O VOLUME APENDICULAR DA COXA E A ABSORCIOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA EM ATLETAS FEMININOS COM IDADES ENTRE OS 14-18 ANOS	45
Resumo	46
<i>Abstract</i>	47
Introdução	48
Métodos	49
Resultados	53
Discussão	62
Conclusions	65
Agradecimentos	65
Referências	66
3.3 Estudo 3: TECIDO ÓSSEO, LÍPIDOS SANGUÍNEOS E PERFIS INFLAMATÓRIOS EM JOVENS ATLETAS ADOLESCENTES PRATICANTES DE DESPORTOS DE IMPACTO MECÂNICO CONTRASTANTES	71
Resumo	72
Abstract	73
Introdução	74
Métodos	76
Resultados	79
Discussão	92
Conclusões	93
Agradecimentos	94
Referências	94
3.4 Estudo 4: DENSIDADE MINERAL ÓSSEA, COMPOSIÇÃO CORPORAL E FORÇA POR DINAMOMETRIA ESTÁTICA E ISOCINÉTICA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE FUTEBOLISTAS ADULTOS AMADORES E ADULTOS ATIVOS E SAUDÁVEIS	99
Resumo	100
<i>Abstract</i>	101
Introdução	102
Métodos	103
Resultados	106
Discussão	110
Conclusões	112
Referências	113

3.5 Estudo 5: COMPOSIÇÃO ÓSSEA TOTAL E REGIONAL E COMPOSIÇÃO TECIDUAL EM ATLETAS FEMININAS ADOLESCENTE: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VOLEIBOLISTAS E NADADORAS	117
Resumo	118
<i>Abstract</i>	119
Introdução	120
Métodos	121
Resultados	124
Discussão	132
Agradecimentos	131
Referências	135
4 Conclusões	139
5 Referências	145
6 Lista de Publicações relacionada com a Tese	147
7 Anexos	149

Lista de Figuras

Estudo 1

Figura 1. Regressão bivariada entre equipamentos com cálculo do coeficiente de correlação intra-classe e respectivo intervalo de confiança a 95%, com inspeção gráfica dos resíduos (erro) tendo em consideração a variação intra-individual, respectivo Viés, e limites de concordância estabelecidos como sendo 1.96 do desvio padrão 40

Estudo 2

Figura 1. Regressões entre a massa corporal, o volume apendicular da coxa estimado por antropometria (TV-ANTH) e o volume apendicular da coxa estimado por absorciometria de raios-X de dupla energia (TV-DXA) em jogadoras femininas de voleibol com idades compreendidas 14-18 (n=42). Os valores do erro padrão de estimado ($S_{y \cdot x}$), correlação (R) e coeficiente de determinação (R^2) também são apresentados. 58

Figura 2. Regressão Deming entre o volume apendicular da coxa estimado por antropometria (TV-ANTH) e o volume apendicular da coxa estimado por absorciometria de raios-X de dupla energia (TV-DXA) em jogadoras femininas de voleibol com idades compreendidas 14-18 (n=42). 58

Figura 3. Regressão linear de produto mínimo entre estimativas do volume da coxa e relação entre os resíduos e a média das estimativas concorrentes em jogadoras de voleibol do sexo feminino com idade entre 14 e 18 anos (n=42). 61

Estudo 3

Figura 1. Estatura (painel A), massa corporal (painel B), tecido gordo (painel C) e tecido magro mole (painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas). 84

Figura 2. Colesterol de lipoproteína de alta intensidade (HDL-c: Painel A); colesterol de lipoproteína de baixa intensidade (LDL-c: Painel B); triglicéridos (Painel C) e proteína C reativa de alta sensibilidade (HS PCR: Painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas). 89

Figura 3. Conteúdo mineral ósseo (BMC) de corpo inteiro (Painel A), BMC do tronco (Painel B), BMC dos membros superiores (Painel C) e BMC dos membros inferiores (Painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas). 90

Figura 4. Densidade mineral óssea (BMD) de corpo inteiro (Painel A), BMD do tronco (Painel B), BMD dos membros superiores (Painel C) e BMD dos membros inferiores (Painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas). 91

Estudo 4

Figura 1. Diferenças ($p < 0.01$) entre adultos ativos e saudáveis (barras brancas) e futebolistas adultos amadores (barras pretas) na densidade mineral óssea da coluna lombar (L1-L4), dos membros superiores e membros inferiores. 110

Estudo 5

Figura 1. Conteúdo mineral ósseo (BMC, painel a), densidade mineral óssea (BMD, painel b), tecido magro mole (painel c) e tecido gordo (painel d) em jovens nadadoras (barras brancas) e jovens voleibolistas (barras pretas). 132

Lista de Tabelas

Estudo 1

- Tabela 1.** Estatística descritiva e prova estatística para testar a normalidade da distribuição em variáveis antropométricas ilustrativas da amostra do presente estudo (n=32) 36
- Tabela 2.** Estatística descritiva e prova estatística para testar a normalidade da distribuição para a amostra do presente estudo (n=32) 37
- Tabela 3.** Limites de confiança da média a 95% para cada um dos equipamentos Lunar DPX-MD+ (Software: enCORE GE Healthcare 2011 Versão 13,60) e Lunar iDXA (ME+210160 Software: enCORE GE Healthcare 2012 Versão 15,00), média das diferenças intra-individuais e respetivo intervalo de confiança a 95% (n=32) e apresentação do erro técnico de medida, coeficiente de variação associado e coeficiente de correlação intra-classe 38

Estudo 2

- Tabela 1.** Estatística descritiva para a amostra total de adolescentes do sexo feminino jogadoras de voleibol (n=42) e teste de normalidade. 54
- Tabela 2.** Volume apendicular da coxa estimado por antropometria e por absorciometria de raios-X de dupla energia em adolescentes do sexo feminino jogadoras de voleibol (n=42) e teste de normalidade. 56
- Tabela 3.** Modelo de regressão para obter estimativas transformadas logaritmicamente do volume da coxa em adolescentes femininas jogadoras de voleibol e análise interna de validação cruzada para o novo modelo usando PRESS. 60
- Tabela 4.** Estimativas do volume apendicular da coxa pelo novo modelo baseado na antropometria e na absorciometria de raios-X de dupla energia em adolescentes do sexo feminino jogadoras de voleibol (n=42), diferenças médias entre os métodos e teste-t emparelhado. 61

Estudo 3

- Tabela 1.** Estatística descritiva para a idade cronológica, maturação, indicadores e experiência de treino, indicadores do perfil lipídico e biomarcadores inflamatórios e avaliações DXA para a totalidade da 80

amostra (n=53).

Tabela 2. Estatística descritiva reportando as diferenças interindividuais na avaliação DXA para tronco, membros superiores e inferiores (n=53). 81

Tabela 3. Médias e desvios padrão por grupo e resultados da ANOVA para testar o efeito da participação desportiva na idade cronológica, maturação, indicadores do perfil lípido e biomarcadores inflamatórios, antropometria e parâmetros avaliados pela DXA. 83

Tabela 4. Médias e desvios padrão por grupo e resultados da ANOVA para testar o efeito da participação desportiva nos parâmetros avaliados pela DXA em regiões de interesse como tronco, membros superiores e inferiores. 85

Tabela 5. Diferenças médias entre grupos nas variáveis idade cronológica, maturação, indicadores do perfil lípido e biomarcadores inflamatórios, antropometria e parâmetros avaliados pela DXA. 87

Tabela 6. Diferenças médias entre grupos nas regiões de interesse dos parâmetros avaliados pela DXA. 88

Estudo 4

Tabela 1. Estatística descritiva e prova estatística para testar a normalidade da distribuição (n=66). 107

Tabela 2. Estatística descritiva por grupo e diferença entre médias nas variáveis morfológicas e funcionais. 109

Estudo 5

Tabela 1. Estatística descritiva para idade cronológica, idade da menarca, anos de treino, sessões anuais, parâmetros de frequência alimentar e antropometria para a totalidade da amostra (n=46). 125

Tabela 2. Estatística descritiva para os parâmetros de absorciometria de raios-x de dupla energia para a totalidade corporal e regiões de interesse (n=46). 127

Tabela 3. Médias e desvios padrão por modalidade (nadadores vs. voleibolistas) em relação à idade, experiência de treino e ingestão alimentar. 129

Tabela 4. Médias e desvios padrão por modalidade (nadadores vs. voleibolistas) em relação aos parâmetros avaliados por absorciometria de raios-x de dupla energia. 131

Lista de Acrónimos

AP	Ântero-Posterior
BIA	Bioimpedância elétrica
CMO	Conteúdo Mineral Ósseo
D2O	Isótopos Estáveis de Deutério
DMO	Densidade Mineral Óssea
DXA	Absorciometria de raios-X de Dupla Energia
H218O	Oxigênio 18
IMC	Índice de Massa Corporal
MG	Massa Gorda
MIG	Massa Isenta de Gordura
RM	Ressonância Magnética
TC	Tomografia Computorizada

Estudo 1

BIA	Bioimpedância elétrica
CMO	Conteúdo Mineral Ósseo
CCI	Coefficiente de correlação intraclasse
DXA	Absorciometria de raios-X de Dupla Energia
DMO	Densidade Mineral Óssea
ETM	Erro Técnico de Medida
FB	<i>Fan-beam</i>
LC	Limite de Confiança
PAD	Pletismografia de Ar Deslocado
PB	<i>Pencil-beam</i>
ROI	Região de interesse
SPA	<i>Single-photon absorptiometry</i>
TM	Tecido Magro
%CV	percentagem do Coeficiente de Variação

Estudo 2*

CA*	Idade cronológica
CI*	Intervalo de confiança
DXA	Absorciometria de raios-X de Dupla Energia
ETM	Erro Técnico de Medida
FFM*	Massa isenta de gordura
FM*	Massa gorda
LC	Limite de Confiança

MIG	Massa Isenta de Gordura
PGS	Prega de Gordura Subcutânea
PMS*	Estatua matura predita
RM	Ressonância Magnética
SD*	Desvio padrão
SE*	Erro padrão da média
SEE*	Erro padrão estimado
TC	Tomografia Computorizada
TV	Volume apendicular da coxa
TV-ANTH*	Volume apendicular da coxa - método antropométrico
TV-DXA*	Volume apendicular da coxa - método DXA
TV-NM*	Volume apendicular da coxa - novo modelo

* o acrónimo foi mantido de acordo com a língua original de publicação (anglo-saxónica).

Estudo 3*

APHV*	Idade no pico de velocidade de crescimento
BMI*	Índice de massa corporal
CI	Intervalo de confiança
DXA	Absorciometria de raios-X de Dupla Energia
HDL-c*	Colesterol de lipoproteína de alta intensidade
HS PCR*	Proteína C-reativa de alta sensibilidade
LDL-c*	Colesterol de lipoproteína de baixa intensidade
PCR	Proteína C-reativa
RPE	Percepção subjetiva de esforço
SD*	Desvio padrão
SEM*	Erro padrão da média
VLDL-c	Colesterol de lipoproteína de muito baixa intensidade

* o acrónimo foi mantido de acordo com a língua original de publicação (anglo-saxónica).

Estudo 4

CMO	Conteúdo Mineral Ósseo
CON	Ação muscular concêntrica
DMO	Densidade Mineral Óssea
DXA	Absorciometria de raios-X de Dupla Energia
IC	Intervalo de Confiança
MFmáx	Momento de Forma Máximo
TG	Tecido gordo
TM	Massa magra

* o acrónimo foi mantido de acordo com a língua original de publicação (anglo-saxónica).

Estudo 5*

BMC*	Conteúdo Mineral Ósseo
BMD*	Densidade Mineral Óssea
CL*	Limites de confiança
DXA	Absorciometria de raios-X de Dupla Energia
PGS	Prega de Gordura Subcutânea
SEM*	Erro padrão da média

* o acrónimo foi mantido de acordo com a língua original de publicação (anglo-saxónica).

Capítulo 1

Introdução

1.1 Tecido ósseo

O tecido ósseo é constituído por um tecido conjuntivo que forma a maior parte do esqueleto, tendo como uma das funções importantes o suporte de pressões sendo, por isso, de uma dureza notável proporcionando, assim, a proteção dos órgãos vitais. Este tecido conjuntivo é constituído por células e a matriz óssea que proporcionam uma certa flexibilidade ao esqueleto. Além disso, os movimentos do corpo também se devem a este tecido uma vez que é nos ossos que se inserem os músculos através dos tendões. Esse movimento consegue-se através da contração muscular (Seeley, Stephens, & Tate, 2007).

O tecido ósseo é ricamente vascularizado e apresenta uma grande capacidade de regeneração na criança (Seeley et al., 2007). O osso vivo constitui um tecido com uma intensa atividade metabólica e com diversas funções, estando constantemente em remodelação. É capaz de crescer, adaptar-se ao stress mecânico e de se reparar sempre que haja lesão (Sodeman, William, & Sodeman, 1979).

De entre todas as funções, podem destacar-se três principais, tais como, a protetora e suporte, metabólica e mecânica, possibilitando, respetivamente, o armazenamento de minerais (principalmente o cálcio e o fósforo) e gordura (tecido adiposo), a formação de células sanguíneas (eritropoiese) e, os movimentos do corpo (Sodeman et al., 1979). Relativamente à composição do osso, este é composto por uma matriz óssea e pelas células ósseas que são responsáveis pela produção dessa matriz. A composição da matriz óssea dará as características ao osso (Seeley et al., 2007).

Nem todas as estruturas ósseas são visíveis, algumas que parecem ser bem caracterizadas a olho nu, quando vistas ao microscópio permitem reconhecer melhor a sua composição. O osso é, assim, constituído em escala microscópica por 2% de células (osteoblastos, osteócitos e osteoclastos) e 98% de matriz óssea (Kumar, Cotran, & Robbins, 2004).

A matriz óssea relativamente ao seu peso é composta por cerca de 35% de material orgânico (colagénio e proteoglicanos) e 65% de material inorgânico (principalmente sob a forma de cristais de fosfato de cálcio - hidroxiapatite). O colagénio e os compostos minerais são

responsáveis pelas principais características funcionais do tecido ósseo. Se forem retirados a um osso longo todos os seus minerais, o colagénio torna-se o principal constituinte e o osso torna-se muito flexível. Por outro lado, se o colagénio for removido do osso, o componente mineral torna-se o seu principal constituinte e o osso torna-se frágil e quebradiço (Kumar et al., 2004; Seeley et al., 2007).

A matriz óssea é produzida por osteoblastos e, a partir do momento em que um osteoblasto fica rodeado pela matriz é um osteócito. Por outro lado, esta também pode ser degradada pelos osteoclastos que correspondem a células grandes com vários núcleos, cujas secreções ajudam na dissolução dos minerais ósseos (Kierszenbaum, & Laura, 2012).

Quanto à sua origem, os osteoblastos derivam da linhagem osteoblástica, que inclui células osteoprogenitoras, osteoblastos e osteócitos. As células osteoprogenitoras são de origem mesenquimatosa e possuem as propriedades de célula-mãe: o potencial para proliferação e capacidade para diferenciação. Estas evoluem para osteoblastos por um mecanismo regulador que envolve fatores de crescimento e transcrição e estão presentes na camada interna do perióstio e endóstio. Relativamente à estrutura, são células grandes, com forma cúbica ou colunar, de aparência epitelial, com um citoplasma basófilo abundante, um grande aparelho de Golgi e um núcleo pouco corado com nucléolo proeminente, que refletem a alta taxa de síntese de proteínas: colagénio tipo I, osteocalcina, osteonectina, osteopontina, sialoproteína e fatores de crescimento. Em relação à localização, formam uma monocamada ao longo do perióstio e existem à periferia das trabéculas ósseas. No que toca à função, estas células são responsáveis pela síntese e secreção do componente orgânico da matriz óssea, o osteóide, e medeiam a sua mineralização (Kierszenbaum, & Laura, 2012).

Os osteócitos derivam dos osteoblastos quando estes ficam aprisionados na matriz óssea que produziram, mas distinguem-se dos osteoblastos por apresentarem níveis metabólicos mais baixos e não terem capacidade de se dividirem. São responsáveis por intervir na manutenção da integridade da matriz mineralizada e medeiam a libertação ou deposição a curto prazo de cálcio para a manutenção da sua homeostasia. Quanto à estrutura, estas células são globosas e emitem inúmeros prolongamentos que caminham por canalículos de matriz não calcificada para entrar em contacto, por meio de junções comunicantes, com os prolongamentos dos osteócitos das lamelas adjacentes. Este sistema é essencial para a viabilidade dos osteócitos, pois estes localizam-se no interior de trabéculas ósseas calcificadas, que são impermeáveis à difusão de nutrientes e catabolitos. Assim, eles proporcionam passagens para a circulação do líquido extracelular e a difusão de metabolitos entre as lacunas e os vasos dos canais de Havers (Kierszenbaum, & Laura, 2012; Seeley et al, 2007; Sodeman et al., 1979).

Os osteoclastos têm origem na linhagem celular dos macrófagos-monócitos, nomeadamente na via progenitora de osteoclastos. As células precursoras dos osteoclastos são

monócitos que se fundem com células multinucleadas, formando os osteoclastos por um processo regulado pelos osteoblastos e pelas células do estroma da medula óssea. Relativamente à sua estrutura, são células fagocitárias multinucleadas (sincícios) que apresentam uma bordadura em escova, responsável pela secreção de vários ácidos orgânicos que dissolvem o componente mineral. Quando a célula está inativa, a bordadura em escova desaparece. Estas células encontram-se localizadas na periferia das trabéculas ósseas, dentro de cavidades chamadas lacunas de Howship (ou compartimento subosteoclástico) (Kierszenbaum, & Laura, 2012; Seeley et al., 2007; Sodeman et al., 1979).

No que toca à função, os osteoclastos estão envolvidos em processos reabsortivos associados à renovação contínua do osso e à homeostase do cálcio, exercendo um papel preponderante nos processos de remodelagem do osso em resposta ao crescimento ou à ação de forças mecânicas sobre o esqueleto e na reparação de fraturas (Kierszenbaum, & Laura, 2012; Seeley et al., 2007; Sodeman et al., 1979).

Os osteoclastos aderem à trabécula óssea por intermédio de receptores célula-matriz da família das integrinas, localizados numa região lisa da sua membrana plasmática. Por dentro deste anel de adesão à trabécula, o qual isola a região de matriz óssea a ser degradada, os osteoclastos possuem uma região em que a membrana plasmática exhibe inúmeras invaginações e contém grande concentração de bombas iónicas (que requerem ATP). Os iões H^+ , seguidos por Cl^- , são transportados ativamente para o compartimento de matriz extracelular selado pelas integrinas, o que resulta na sua acidificação e promove a desmineralização da matriz óssea (Kierszenbaum, & Laura, 2012; Seeley et al., 2007; Sodeman et al., 1979).

Após este passo inicial de desmineralização, o componente orgânico da matriz óssea é degradado por enzimas lisossomais de ação otimizada a pH ácido, por exemplo, colagenases, libertadas pelo osteoclasto (Kierszenbaum, & Laura, 2012; Seeley et al., 2007; Sodeman et al., 1979).

Os osteoclastos são transitoriamente ativos em resposta à necessidade metabólica para a mobilização do cálcio do osso para o sangue. A atividade osteoclástica é regulada diretamente pela calcitonina, vitamina D e moléculas reguladoras, produzidas pelos osteoblastos e células do estroma da medula óssea (Kierszenbaum, & Laura, 2012; Seeley et al., 2007; Sodeman et al., 1979).

A remodelação óssea consiste na substituição de osso velho por tecido ósseo novo. Esta possibilita ao osso a alteração da forma, ajuste de tensão, reparação e regulação dos níveis de cálcio (Sodeman et al., 1979).

A homeostasia do cálcio é muito importante já que a concentração do cálcio sérico é mantida de modo a que haja muito pouca variação da mesma pois o cálcio intervém em vários

processos vitais como a contractilidade muscular, permeabilidade da membrana e coagulação do sangue, entre outros (Kierszenbaum, & Laura, 2012).

A hipocalcemia estimula a liberação dos íons cálcio do osso para o líquido extracelular. Parte do cálcio iônico (30%) é regulada pela ação de 3 hormonas (calcitonina, paratiroideia e vitamina D). Os osteoclastos respondem diretamente aos estímulos da hormona paratiroideia pelo que a reabsorção óssea deve ser regulada através da ação desta hormona sobre os osteoblastos, a qual constitui um importante regulador do metabolismo e controla o grau de remodelação óssea além de intervir nos mecanismos que regulam o nível plasmático de cálcio (Kierszenbaum, & Laura, 2012).

A síntese e a secreção da hormona paratiroideia são reguladas pelos níveis de cálcio ionizado presentes no líquido extracelular. Quando estes níveis se encontram elevados a secreção desta hormona é suprimida. Assim, esta hormona exerce um efeito direto sobre o osso, intensificando a mobilização do cálcio. Também exerce efeito sobre o rim (estimulando a absorção de cálcio desde o líquido glomerular) e uma ação indireta sobre o intestino influenciando a absorção do cálcio. Todas estas ações coordenadas levam ao aumento dos níveis de cálcio no líquido extracelular. Qualquer descida dos níveis de cálcio sérico conduz à libertação desta hormona com uma ativação imediata dos osteócitos e osteoclastos. Estas células favorecem a reabsorção óssea com a mobilização de cálcio desde o esqueleto. Em relação aos osteoblastos, esta hormona atua de forma inibitória libertando cálcio que é aproveitado para o metabolismo celular (Kierszenbaum, & Laura, 2012).

A secreção da calcitonina é regulada pelos níveis de cálcio circulante. Quando os níveis de cálcio sérico aumentam, esta hormona é libertada com uma concentração plasmática elevada diminuindo, então, o conteúdo em calcitonina na glândula tiroideia. Por outro lado, a calcitonina inibe a reabsorção óssea e pode conduzir a um estado de hipocalcemia. Microscopicamente, a calcitonina não apresenta uma ação direta sobre os osteoblastos mas sabe-se que diminui a reabsorção óssea através da inativação dos osteoclastos. Esta hormona também intervém na transferência de cálcio entre o osso e o líquido extracelular (Kierszenbaum, & Laura, 2012).

A vitamina D constitui um dos fatores hormonais mais significativos na intervenção da regulação do metabolismo ósseo. As funções desta hormona consistem em manter a homeostasia do cálcio sérico e fósforo assim como a mineralização óssea. Esta também atua em vários outros órgãos além do tecido ósseo (Kierszenbaum, & Laura, 2012).

Devido à sua natureza, as causas das doenças metabólicas dos ossos são, essencialmente, hormonais e nutricionais sendo as doenças mais comuns a osteíte fibrosa quística, osteoporose e a osteomalacia. Quanto à fisiopatologia destas doenças existe um

aumento da reabsorção óssea, decréscimo da massa óssea e decréscimo da mineralização, respetivamente (Kumar et al., 2004).

Com a idade, perde-se a matriz óssea, e a que fica torna-se mais quebradiça. A perda de osso esponjoso resulta no adelgaçamento e perda das trabéculas enquanto a perda de osso compacto dá-se principalmente na superfície interna dos ossos, implicando uma menor formação de osteócitos. Esta perda óssea aumenta o risco de fraturas e causa deformidade, redução da estatura, dor, rigidez e perda de dentes (Kumar et al., 2004).

De acordo com a organização microscópica, o osso pode ser classificado como osso não lamelar (primário) ou osso lamelar (secundário) (Kumar et al., 2004).

O osso primário consiste numa forma imatura que, devido às forças da gravidade e da pressão, vai progressivamente originando o osso secundário. Este osso é produzido quando os osteoblastos formam osteóide rapidamente, tal como acontece no desenvolvimento ósseo fetal e quando há formação rápida e patológica de osso no adulto. O tecido ósseo primário é rapidamente depositado nos pontos de ossificação e apresenta tanto os osteócitos como os componentes orgânicos da matriz óssea dispostos de maneira desorganizada, sendo posteriormente remodelado para formar osso lamelar, o qual é fisicamente mais forte. Este tecido ósseo é sempre constituído por trabéculas, isto é, apresenta características de osso esponjoso. Estas trabéculas não apresentam qualquer lamelação (as fibras de colagénio encontram-se dispostas aleatoriamente no osteóide), ao contrário das de osso esponjoso secundário (Resnick, 1998; Seeley et al., 2007).

O osso secundário é depositado de forma lenta e ordenada, após remodelação do osso primário e é formado por camadas de matriz óssea e osteócitos que se sobrepõem alternadamente. Este padrão de organização resulta da proliferação e síntese de matriz por parte dos osteoblastos. O osso lamelar é composto por faixas regulares paralelas de colagénio dispostas aleatoriamente no osteóide, sendo que cada uma das camadas ou lamelas apresenta uma organização das fibras de colagénio diferente da lamela adjacente, conferindo ao osso secundário uma maior resistência mecânica (Resnick, 1998; Seeley et al., 2007).

De acordo com a sua aparência macroscópica, o osso secundário pode classificar-se em osso compacto e osso esponjoso (Resnick, 1998; Seeley et al., 2007).

O osso compacto é formado por uma estrutura óssea repetitiva: colunas ósseas cilíndricas (sistema de Harvers), paralelas ao maior eixo dos ossos longos, ou seja, alinhadas com as tensões exercidas sobre o osso. Cada coluna é formada por camadas ósseas concêntricas - lamelas - dispostas em torno de um canal central (canal de Harvers) que contém vasos sanguíneos, linfáticos e nervos. Os feixes neurovasculares interconectam-se uns com os outros e

com o endóstio e perióstio por meio dos canais de Volkmann, que perfuram as colunas em ângulo reto com os canais de Havers. Cada sistema de Havers começa como um canal amplo em cuja periferia os osteoblastos depositam lamelas ósseas. Com a deposição de lamelas sucessivas, o diâmetro do canal de Havers diminui e os osteoblastos são aprisionados como osteócitos, em espaços na matriz denominados lacunas. Os osteócitos não preenchem completamente as lacunas, dispondo-se em anéis concêntricos dentro das lamelas, sendo o estreito espaço restante ocupado por líquido extracelular ósseo (Resnick, 1998; Seeley et al., 2007).

Como resultado da reabsorção contínua e da reposição de osso, sistemas de Havers completos recém-formados dispõem-se entre os sistemas formados anteriormente e parcialmente reabsorvidos. Os remanescentes das lamelas que não circundam os canais de Havers formam sistemas intersticiais (lamelas intersticiais) entre os sistemas de Havers intactos. Na superfície mais externa do osso compacto, os sistemas de Havers dão lugar a lamelas concêntricas de osso cortical denso, depositadas na superfície do osso pelos osteoblastos do perióstio, o que proporciona uma superfície externa mais densa e protetora à maioria dos ossos (Resnick, 1998; Seeley et al., 2007).

O osso esponjoso é formado por um conjunto de trabéculas ósseas separadas por um labirinto de espaços que contêm medula óssea vermelha. As trabéculas deste tipo de osso são delgadas e formadas por lamelas dispostas paralelamente entre si e à superfície da trabécula. O número, a espessura e a orientação dessas trabéculas ósseas dependem das forças às quais o osso particular está exposto. O osso esponjoso usualmente não contém sistemas de Havers e os osteócitos trocam metabolitos por meio dos canaliculos com os sinusóides sanguíneos na medula (Resnick, 1998; Seeley et al., 2007).

1.2 Metabolismo do cálcio

O cálcio intervém em vários processos vitais como a contractilidade muscular, a permeabilidade da membrana e a coagulação, entre outros. Assim, é muito importante que a homeostasia do cálcio seja mantida, de modo a que as variações da concentração deste não sejam reduzidas (Seeley et al., 2007).

Parte do cálcio iônico (30%) é regulada pela ação de 3 hormonas: calcitonina, hormona paratiroideia e vitamina D (Seeley et al., 2007).

A síntese e a secreção da hormona paratiroideia são reguladas pelos níveis de cálcio ionizado presentes no líquido extracelular. Qualquer descida desses níveis conduz à libertação desta hormona, que exerce um efeito direto sobre o osso, levando a uma ativação imediata dos osteócitos e osteoclastos. Estas células vão favorecer a reabsorção óssea, com a mobilização de

cálcio a partir do osso. Para além disso, também exerce efeito sobre o rim, estimulando a absorção de cálcio a partir do filtrado glomerular, e uma ação indireta sobre o intestino influenciando a absorção do cálcio a este nível. Todas estas ações coordenadas levam ao aumento dos níveis de cálcio no líquido extracelular. Em relação aos osteoblastos, esta hormona atua de forma inibitória. Se, pelo contrário, os níveis de cálcio estiverem elevados, a secreção da hormona paratiroideia é suprimida (Seeley et al., 2007; Peacock, 2010).

A secreção da calcitonina é regulada pelos níveis de cálcio sérico. Quando estes níveis aumentam, a hormona é libertada, aumentando a sua concentração plasmática, o que vai levar a uma diminuição da quantidade de calcitonina na glândula tiroideia. Por outro lado, a calcitonina inibe a reabsorção óssea, podendo conduzir a um estado de hipocalcémia. Microscopicamente, esta hormona não apresenta uma ação direta sobre os osteoblastos, mas sabe-se que diminui a reabsorção óssea através da inativação dos osteoclastos. A calcitonina também está envolvida na transferência de cálcio entre o osso e o líquido extracelular (Seeley et al., 2007; Peacock, 2010).

A vitamina D constitui um dos factores hormonais mais significativos na intervenção da regulação do metabolismo ósseo. As funções desta hormona consistem em manter a homeostasia do cálcio e fósforo assim como regular a mineralização óssea. Para além do tecido ósseo, esta hormona atua igualmente em vários outros órgãos (Seeley et al., 2007; Peacock, 2010).

As causas das doenças metabólicas do osso são, essencialmente, hormonais e nutricionais, sendo que as doenças mais comuns são a osteíte fibrosa quística, osteoporose e a osteomalácia. A fisiopatologia destas doenças está relacionada com um aumento da reabsorção óssea, decréscimo da massa óssea e decréscimo da mineralização óssea, respetivamente (Seeley et al., 2007).

1.3 Composição corporal

A cineantropometria é a área de conhecimento que estuda os aspetos do ser humano relacionados com o seu tamanho, forma, proporção, composição e maturação (Beune, & Borms, 1990). Tendo em conta o vasto campo de estudo da cineantropometria, seguramente, um dos aspetos mais importante é o estudo da composição corporal (Carvalho, & Neto. 1999).

A composição corporal, bem como outros aspetos das características antropométricas dos atletas são motivos de investigação em diversas partes do mundo, visando identificar perfis da qualidade e quantidade do peso corporal dos mesmos (Carvalho, & Neto. 1999).

A composição corporal tem vindo a ser estudada há mais de um século, quer em cadáveres quer in vivo (Sardinha, 1997).

A massa corporal é quantificada através do somatório da massa gorda (MG) e da massa magra (MM). A massa isenta de gordura (MIG) é utilizada como sinónimo de massa magra dada a dificuldade em estimar com precisão a designada massa gorda essencial (Sardinha, 1997).

A quantidade de gordura corporal é medida através dos valores de MG e MIG de um indivíduo. A MG inclui todos os triglicéridos extraíveis do tecido adiposo e outros tecidos. A MIG consiste em todos os tecidos residuais e químicos, água, músculo, osso, tecido conjuntivo e órgãos (Heyward, & Wagner, 2004).

De um modo geral, o modelo bicompartimental (MG e MIG) e o modelo multicompartimental de nível químico (MG, água, proteína e mineral) têm sido os mais utilizados na investigação da composição corporal (Heyward, & Wagner, 2004).

Wang et al., (1999) propuseram um outro modelo multicompartimental, de cinco níveis de organização, para classificação da composição corporal, mais completo, fornecendo uma estrutura conceptual dentro da qual as diversas pesquisas da composição corporal podem ser realizadas sem o risco de interpretações erróneas, pela eventual má compreensão das inter-relações entre os diferentes níveis de complexidade:

- nível I (atómico) - abrange cerca de 50 elementos, dos quais apenas 6, o oxigénio, o carbono, o hidrogénio, o nitrogénio, o cálcio e o fósforo, constituem mais de 98% da massa corporal total;
- nível II (molecular) - os compostos químicos corporais, que compreendem mais de cem mil moléculas diferentes, são agrupados em cinco compartimentos: lípidos, água, proteínas, hidratos de carbono e minerais;
- nível III (celular) - o corpo é dividido em três componentes: massa celular total, fluidos extracelulares (plasma intracelular e extracelular incluídos) e sólidos extracelulares.
- nível IV (tecidos, órgãos e sistemas) - define quatro categorias ou compartimentos: tecido conjuntivo (adiposo e ósseo incluídos), tecido epitelial, tecido muscular e tecido nervoso.
- nível V (corpo inteiro) - o corpo é analisado de acordo com as suas características morfológicas, pelas medidas relacionadas com o seu tamanho, forma e proporção.

É o nível V, como facilmente se pode depreender, aquele que mais se aproxima da realidade dos investigadores que atuam nas áreas do exercício e da saúde. As características físicas referidas podem ser analisadas a partir das medidas obtidas de estatura, massa corporal,

perímetros, diâmetros e circunferências e espessura de pregas de gordura subcutânea que não exigem sofisticados procedimentos laboratoriais (Costa, 2001).

Diversas investigações científicas têm demonstrado que a avaliação dos componentes da composição corporal são indicadores importantes no processo de crescimento, desenvolvimento e maturação dos seres humanos, assim como, as suas alterações podem estar associadas a patologias, distúrbios alimentares e práticas de atividades físicas (Lee, & Gallagher, 2008). Assim, dispor de métodos válidos para a estimativa destes componentes corporais é de extrema importância na área da saúde pública, da nutrição e da educação física (Wells, & Fewtrell, 2006).

Existem diversos métodos para a determinação da composição corporal, de acordo com o tipo de procedimento, sendo estes categorizados em métodos diretos, indiretos ou duplamente indiretos (Wells, & Fewtrell, 2006).

O método direto consiste na separação e pesagem isoladamente de cada uma dos componentes corporais, realizados durante a dissecação de cadáveres (Sant'Anna, Priore, & Franceschini, 2009).

Este é o considerado, ainda hoje, o único método direto de medir os componentes do corpo humano. No entanto, apresenta algumas limitações tanto a nível ético como na necessidade de pessoal especializado e preparação dos corpos (Sant'Anna et al., 2009).

Os métodos indiretos não implicam a manipulação isolada dos componentes corporais, baseando-se em princípios químicos e físicos de modo a extrapolar a quantidade de massa gorda e massa isenta de gordura (Costa, 2001). Entre estes incluem-se os métodos químicos (contagem de potássio radioativo, excreção de creatinina urinária, etc.) e os métodos físicos (Absorciometria de raios-X de energia dupla, Pletismografia, Ultrassons, Tomografia Computorizada, Ressonância Magnética) (Lee, & Gallagher, 2008).

A absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) é o método mais comumente utilizado para quantificar tecido gordo, magro e ósseo. Os níveis de baixa energia utilizados na DXA e a sua atenuação diferencial através do corpo permitem a discriminação do tecido corporal total e adiposo, além do conteúdo mineral ósseo e da densidade mineral óssea (Duren et al., 2008).

1.3.1 Absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA)

A DXA surge como um avanço da Medicina na área da Radiologia, tendo sido apresentada comercialmente pela primeira vez em 1987, e tornando-se atualmente o método de diagnóstico mais utilizado para a medição da densidade mineral óssea e avaliar a composição corporal.

Geralmente utilizada no diagnóstico da osteoporose analisa o conteúdo mineral ósseo em dois locais mais sujeitos a fratura: coluna (lombar) e fémur (proximal). Tem sido aplicada, mais recentemente, na quantificação da massa gorda (total e percentual) e da massa isenta de gordura (total e percentual) (Rech et al., 2007).

Inicialmente destinado unicamente à medição da densidade mineral óssea e do conteúdo mineral ósseo, este método, devido aos avanços tecnológicos, permite hoje também a mensuração dos componentes corporais, dando condições para uma análise total ou dos segmentos corporais (membros superiores, inferiores e tronco), possibilitando uma análise da topografia corporal, assim como a estimativa da massa muscular, muito utilizada por grupos desportivos, para análise dos seus atletas (Duren et al., 2008; Wells, & Fewtrell, 2006).

O seu princípio básico é a utilização de uma fonte de raios-X com um filtro que converte um feixe de raios-X em picos fotoelétricos de baixa e alta energia que atravessam o corpo do observado. A obtenção da composição corporal é feita pela medida de atenuação dos picos fotoelétricos no corpo, requerendo apenas cinco minutos (aproximadamente) de exposição a uma reduzida radiação de 0,05 a 1,5 mrem, consoante o instrumento utilizado (Lunar ou Hologic), enquanto o paciente se encontra confortavelmente deitado (decúbito dorsal, mãos em pronação) numa marquesa acoplada ao emissor de raios-X (Costa, 2001).

A medida da DXA é definida como a quantidade de radiação absorvida pelo corpo ou segmento desejado, calculando a diferença entre a energia emitida pela fonte de radiação e a adquirida pelo detetor de energia (Sawyer, 2007).

O processo pelo qual a DXA diferencia os tecidos corporais ocorre através da permuta dos fótons de energia pelos tecidos moles e osso de cada indivíduo, até atingir a outra extremidade, onde se localiza o detetor. Tal processo baseia-se na diferente atenuação dos raios-X entre os tecidos moles e osso (Sawyer, 2007).

A partir da diferenciação de atenuação dos tecidos é formada uma imagem dos contornos do corpo e dos tecidos. Em seguida, um software, que apresenta variações de acordo com o fabricante, quantifica e localiza os diferentes componentes corporais (Sawyer, 2007).

1.3.2 Princípios de funcionamento e formação de imagem

O princípio fundamental dos equipamentos é a medição da transmissão de raios-X de duas energias fotónicas diferentes através do organismo. Isto permite quantificar a massa de dois tipos de tecido, osso e partes moles (Sawyer, 2007).

Em relação ao funcionamento dos equipamentos de “Pencil Beam” são os mais antigos e os mais utilizados. Nestes aparelhos a emissão de raios-X é em forma de “Lápis” para um único detetor. A emissão de raios-X permuta entre duas energias distintas (melhorando desta forma a diferenciação do osso e das diferentes densidades de tecidos moles) (Oldroyd, Smith, & Truscott, 2003; Sawyer, 2007).

Dependendo do fabricante, há duas formas possíveis de obter uma emissão de raios-X duo-energética. Uma das formas é a alternância consecutiva da emissão de feixes de raios-X de 70 e 140 kV, mas como existem flutuações de energia devido a esta comutação, é feita uma calibração colocando um disco de calibração no local da emissão de raios-X. Uma outra forma de obter uma emissão de raios-X duo-energética consiste na emissão constante de raios-X mono-energético, procedendo-se à sua filtragem através de filtros com características específicas de absorção, obtendo-se assim emissão duo-energética (Oldroyd et al., 2003; Sawyer, 2007).

Nos equipamentos de “Pencil Beam” a ampola de raios X, que se situa sob a mesa onde se deita o paciente, e o detetor localiza-se numa coluna que se desloca sobre o paciente, executando movimentos laterais sincronizados perfazendo uma linha de aquisição, movendo-se então longitudinalmente (1 pixel) para executar outra linha de aquisição anexa à anterior (Oldroyd et al., 2003; Sawyer, 2007).

Nos equipamentos de “Fan Beam” existem vários detetores na coluna que recebem a totalidade do feixe. Desta forma, uma linha de aquisição é adquirida de uma só vez sem movimentos laterais, executando o conjunto ampola-detetores apenas movimentos longitudinais. Com este tipo de equipamento, a exposição radiológica é maior do que nos equipamentos com emissão de raios X por “Pencil Beam”, mas a qualidade e fiabilidade do exame é superior (Oldroyd et al., 2003; Sawyer, 2007).

Segundo o manual de equipamentos da Lunar, todos os equipamentos de DXA são constituídos por duas unidades fundamentais: um conjunto formado pela mesa, onde se posiciona o doente e na qual estão incorporadas a fonte de raios-X e o sistema de detecção que pode ser de um ou mais detetores, conforme se trate de um feixe de raios-X único ou em leque, que se movem sincronizadamente ao longo do paciente; uma unidade de processamento, arquivo, visualização e impressão de imagens, constituída por um computador, um monitor e uma impressora e existem ainda os acessórios, fantoma e apoios de posicionamento (Heyward, & Wagner, 2004).

A DXA é uma tecnologia altamente credível, em crescente reconhecimento como método de referência na investigação em composição corporal, apresentando valores estimados de percentagem de massa gorda com boa correlação com os obtidos por hidrodensitometria,

constituindo uma excelente alternativa a este método de referência (Heyward, & Wagner, 2004).

Como vantagens principais são apontadas a segurança, a rapidez de aplicação, a necessidade de colaboração mínima por parte do sujeito e, acima de todas, incluir a variabilidade individual do conteúdo mineral ósseo (Heyward, & Wagner, 2004).

Vários estudos realizados até hoje aplicaram a DXA para a avaliação da composição corporal, que consideram como vantajosa relativamente a outros métodos indiretos, vantagens que se associam, referem, ao facto de não estar limitada pelo pressuposto inerente ao modelo bicompartimental de que a densidade da MIG é constante, representando, assim, um avanço metodológico expressivo; Precisão, consistindo na reprodutibilidade dos valores obtidos quando se mede sucessivamente grandezas com o mesmo valor; Exatidão, consistindo na diferença entre o valor obtido e o valor real, devendo a diferença ser mínima (Sant'Anna et al., 2009).

Como limitações na qualidade da imagem e correta leitura do exame, destacam-se os pacientes que apresentam: alterações vertebrais (fraturas, osteófitos, escoliose, artrose das articulações e material de osteossíntese); artefactos (próteses), incluindo os de movimento durante o exame e os diâmetros lateral e ântero-posterior (AP) do paciente (Sant'Anna et al., 2009).

1.3.3 Pesagem hidrostática

Considerada por alguns especialistas como um dos melhores métodos para o estudo da composição corporal, a pesagem hidrostática ou hidrodensitometria, apesar de englobar diversos métodos, tem por base o princípio de Arquimedes. Revestindo-se de simplicidade, é uma referência na validação de novos métodos de estimação da composição corporal. O modelo bicompartimental foi a pedra basilar para o seu desenvolvimento (Sant'Anna et al., 2009; Costa, 2001).

Este método tem por base algumas recomendações, tais como a temperatura da água entre 32 e 35°C, a balança ou transdutores de força (15 kg), o número de tentativas devido à expiração máxima necessária e a necessidade de fazer um jejum de 4 horas, esvaziamento da bexiga e intestino, não usar touca e, 12 horas antes, evitar alimentos que produzam gás (Sant'Anna et al., 2009).

Como principais fontes de erros temos o volume pulmonar residual, a calibração de equipamentos, a temperatura da água e a preparação do indivíduo (Sant'Anna et al., 2009).

1.3.4 Pletismografia

A pletismografia estima o volume corporal por meio do deslocamento de ar. Este método utiliza a relação inversa entre pressão e volume, com base na lei de Boyle, para determinar o volume corporal. Definido esse volume, é possível aplicar os princípios da densitometria para determinar a composição corporal por meio do cálculo da densidade corporal (Lee, & Gallagher, 2008; Sant'Anna et al., 2009; Cree et al., 2011).

A pletismografia é um método de determinação da composição corporal rápido e fácil, depende menos da cooperação do avaliado e possui menor duração (três a cinco minutos) relativamente à pesagem hidrostática (30 a 60 minutos). Como desvantagens apresenta um elevado custo e a necessidade de ausência de movimento do avaliado durante o tempo de realização do exame (Cree et al., 2011; Sardinha, 1997).

1.3.5 Hidrometria

A hidrometria é um método invasivo de estimativa da água corporal total, devido à necessidade de ingerir ou aplicar (intravenoso) uma substância (isótopo de hidrogénio) no indivíduo, a qual será distribuída igualmente por toda a água contida no corpo. O método mais comum de medir a água corporal total é o da diluição de isótopos, podendo ser utilizados isótopos estáveis de deutério (D2O) ou oxigénio 18 (H218O). O deutério superestima a água corporal total em torno de 0,5 a 5%, contudo é mais utilizado por possuir custo mais baixo do que o oxigénio 18. É necessária uma amostra de urina e sangue a diferentes intervalos, que é analisada quimicamente, pela diluição da substância administrada, no sangue ou na urina. Tem um tempo de 2 a 3 horas para a combinação do isótopo com a água corporal (Sant'Anna et al., 2009; Wells, & Fewtrell, 2006).

1.3.6 Ultrassonografia

A ecografia é um método de diagnóstico por imagem baseado no fenómeno de interação dos ultrassons e os tecidos. Consiste na emissão de ondas sonoras ou vibrações de alta frequência, que penetram através da superfície da pele e procuram estabelecer a espessura dos tecidos biológicos (Abu-Zidan, Hefny, & Corr, 2011; Pisco, 2003).

Em suma, as ondas de alta frequência emitidas em regiões específicas do corpo deverão atravessar as substâncias biológicas homogêneas sem que se registem interferências perceptíveis. No entanto, ao encontrar uma área de contato de textura diferente, parte destas ondas sonoras é refletida para a unidade de origem e é convertida em impulsos elétricos de amplitude proporcional à espessura do tecido penetrado. Depois de registadas, as informações são tratadas, obtendo-se um mapeamento dos três principais tecidos do corpo: gordura

subcutânea, músculo e osso. Assim, o método da ultrassonografia tem como principal vantagem o facto de permitir estimativas quanto aos componentes de gordura e de massa isenta de gordura em diferentes regiões do corpo separadamente. O aparecimento e o desenvolvimento deste método coincidem com o declínio do uso da radiografia clássica para a avaliação da composição corporal. O aparelho utilizado é leve, portátil e de fácil manuseio (Abu-Zidan et al., 2011, Pisco, 2003).

1.3.7 Tomografia computadorizada (TC)

A TC consiste num método radiológico que permite obter imagens sequenciais de um segmento específico ou de todo o corpo do avaliado. Em síntese, consiste em fazer passar feixes de raios-X pela região do corpo em análise. De acordo com a densidade dos tecidos que atravessam, os raios deverão apresentar diferentes coeficientes de atenuação. Os detetores captam os raios atenuados e geram imagens no computador que permitem reconhecer os tecidos adiposo, muscular e ósseo (Lima, 2005).

Com excelente capacidade de resolução anatómica e com informações altamente precisas, especialmente das regiões ósseas (Lima, 2005; Duren et al., 2008).

A TC é considerada o método de referência para a avaliação da gordura visceral, mas o elevado custo e os níveis elevados de radiações ionizantes impedem o seu uso em estudos epidemiológicos em larga escala (Duren et al., 2008).

1.3.8 Ressonância magnética (RM)

A RM gera as suas imagens através de radiação eletromagnética, por um forte campo magnético que excita o núcleo dos átomos de hidrogénio das moléculas de água e dos lípidos (Lima, 2005; Duren et al., 2008; Pooley, 2005).

O núcleo emite sinais que, captados pelo computador, são tratados e transformados em imagens, permitindo assim diferenciar os tecidos moles (gordura e músculo) das estruturas ósseas. Este método tem sido especialmente utilizado na monitorização da quantidade de gordura intra-abdominal. A gordura, pelo seu alto conteúdo em núcleos de hidrogénio e pelas suas características bioquímicas, deverá gerar um sinal de alta intensidade e oferecer, na imagem tratada, coloração mais clara que a dos outros tecidos (Wells, & Fewtrell, 2006; Pooley 2005).

Não utilização de radiação ionizante, maior resolução espacial, contraste dos tecidos moles e imagens geradas em planos tridimensionais são as principais vantagens deste método em comparação com a tomografia computadorizada. Contudo, ainda persistem limitações em

relação ao elevado custo dos equipamentos e dos exames, o que limita a sua utilização (Lee, & Gallagher, 2008).

1.3.9 Métodos duplamente indiretos

Os métodos duplamente indiretos são validados por um método indireto, por norma a pesagem hidrostática e a DXA, esta mais recentemente, sendo que os mais utilizados na atualidade em estudos de campo são a bioimpedância, a antropometria e o índice de massa corporal (Costa, 2001).

1.3.9.1 Bioimpedância elétrica (BIA)

A impedância bioelétrica ou bioimpedância é um método de avaliação da composição corporal rápido, não invasivo e de baixo custo, cujos princípios foram estabelecidos por Thomasett, investigador pioneiro nos anos 60 do século passado (Rezende et al., 2007).

Segundo as leis de Ohm, a resistência de certa substância é proporcional à variação da voltagem de uma corrente elétrica a ela aplicada. Os tecidos biológicos funcionam como condutores e a corrente elétrica segue o caminho que oferecer menos resistência. A uma frequência de baixa intensidade (~1kHz) a corrente apenas passa pelos fluidos extracelulares, mas a uma frequência mais elevada (500kHz a 800kHz), penetra a membrana celular e passa através dos fluidos intracelular e extracelular (Rezende et al., 2007; Duren et al., 2008; Lee et al 2008).

Com a BIA o corpo é sujeito a uma corrente elétrica de baixa intensidade (50kHz) e a impedância (Z) ou oposição à corrente elétrica, é medida com recurso a um analisador específico, que pode ser de frequência única ou de multifrequência (Rezende et al., 2007).

Uma vez que a massa gorda é um pobre condutor da corrente elétrica, pela reduzida quantidade de água que contém (24-27% de água comparativamente ao 73-76% de água na massa isenta de gordura), a impedância corporal total, medida a uma frequência de 50kHz, refletirá, em primeiro lugar, os volumes de água e os compartimentos de massa muscular contidos na MIG e o volume de água extracelular (Rezende et al., 2007; Sant'Anna et al., 2009). A impedância é uma função da resistência (R) e da reactância (Xc) em que $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$. A resistência é uma medida de pura oposição da corrente através do corpo, enquanto a reactância, de valor muito menor, é a oposição decorrente da resposta produzida pela membrana celular. Por este motivo R é considerada melhor preditor da MIG do que Z e alguns modelos de BIA, para a estimação da MIG e da água corporal total, utilizam o índice de

resistência ($E2/R$), em que E é a estatura do sujeito, em detrimento de $E2/Z$ (Rezende et al., 2007).

O volume total da água corporal poderá ser estimado pelo índice de resistência, na condição de os elétrodos serem colocados nos tornozelos e nos punhos, permitindo a aplicação do método mais adequado para calcular, diretamente, a MIG e, indiretamente, a MG (total e percentual) (Rezende et al., 2007).

A Bioimpedância é uma técnica que apresenta algumas vantagens, tais como: a portabilidade do equipamento facilitando o seu deslocamento para estudo de campo, a leitura facilmente identificada pelos observadores, a clara identificação dos pontos anatômicos para a colocação dos elétrodos e o facto de poder ser realizada em poucos minutos (Sant'Anna et al., 2009).

O nível de hidratação do indivíduo modifica a exatidão da análise da Bioimpedância. Apesar da sua fácil utilização e alta reprodutibilidade, pode resultar em estimativas menos precisas nas situações em que o equilíbrio hidroeletrólítico está alterado. Tanto a desidratação como a hiperhidratação alteram as concentrações eletrólíticas normais no corpo, afetando o fluxo da corrente, independentemente das verdadeiras alterações da gordura corporal. Ou seja, a diminuição na quantidade de água corporal reduz a medida da impedância, de forma a produzir um percentual de gordura inferior, enquanto que, uma hiperhidratação produz valores elevados da impedância, aumentando assim a quantidade de gordura corporal (Sant'Anna et al., 2009). Logo, a Bioimpedância é muito sensível às variações do estado do avaliado. A ingestão recente de alimentos, o consumo de alimentos ricos em cafeína, bebidas alcoólicas, medicamentos como diuréticos, laxantes, enemas ou clisteres, variações da temperatura corporal, variações no ciclo menstrual, presença de edema ou retenção hídrica e a atividade física alteram os níveis de água corporal do indivíduo, influenciando a avaliação da composição corporal (MIG e MG). Outros fatores como nefropatias, hepatopatias e diabetes podem influenciar também no resultado obtido (Sant'Anna et al., 2009).

Das inúmeras equações que permitem estimar o volume de água corporal total e a MIG, baseadas quer em modelos gerais quer em modelos específicos por população, importa reter que a sua seleção e aplicação estarão dependentes, entre outros fatores, da idade e da massa corporal do indivíduo. Este último, ao constar das equações de estimativa, atenuará uma das grandes limitações deste método que consiste no facto de pressupor que o corpo humano é uniforme no que diz respeito à sua geometria. A escolha de uma equação específica minimizará os erros de predição da MIG (Rezende et al., 2007).

Em suma, a água corporal total poderá ser estimada a partir da medição da impedância porque os eletrólitos presentes na água corporal são excelentes condutores da corrente

elétrica. Quando o volume de água corporal total é elevado a corrente flui mais facilmente pelo corpo, com menor resistência. A resistência elétrica será mais elevada em indivíduos com grande quantidade de gordura corporal, uma vez que o tecido adiposo se apresenta, por conter menor quantidade relativa de água, como um fraco condutor de corrente elétrica (Rezende et al., 2007).

Como a água contida na MIG é relativamente elevada (73,8% no corpo de referência), poderá ser estimada a partir do volume de água corporal total. Indivíduos com valores elevados de MIG e de água corporal total apresentam menor resistência à corrente elétrica em comparação com os que possuem menores quantidades de MIG (Rezende et al., 2007).

1.3.9.2 Antropometria

A antropometria é definida como a medição das dimensões e proporções do corpo humano, compreendendo as medidas simples (massa corporal e estatura), as medidas compostas (IMC), as medidas de circunferências, de diâmetros e de segmentos e as medidas de pregas subcutâneas, a partir das quais se desenvolvem equações de predição da composição corporal e valores de referência para populações específicas (Sant'Anna et al., 2009).

Amplamente referida em estudos de pequena ou de grande dimensão, a medição de pregas subcutâneas remonta aos princípios do século XX, sendo extensamente utilizada, até aos dias de hoje, para estimar a gordura corporal total. De fácil utilização e custo reduzido, tem sido aplicada a estudos epidemiológicos de larga escala, permitindo calcular a distribuição da gordura corporal e estabelecer perfis antropométricos. Pressupondo a relação direta entre gordura subcutânea e gordura corporal total, permite o desenvolvimento de equações de predição da densidade corporal ou da percentagem de massa gorda, aplicáveis a populações específicas ou generalizadas (Heyward, & Wagner, 2004).

Esta técnica requer a aplicação de procedimentos estandardizados por parte de técnicos treinados, a espessura das pregas é medida com recurso a um adipómetro que assegure o exercício de uma pressão constante, sendo a perícia (ou a sua ausência) dos técnicos uma das principais fontes de erro (Costa, 2001).

Em indivíduos obesos ou muito musculados a medição de pregas subcutâneas é particularmente complicada pela dificuldade em separar gordura e músculo, pelo que a BIA se apresenta como um método alternativo a considerar (Costa, 2001).

1.3.9.3 Índice de massa corporal (IMC)

O índice de massa corporal (IMC) é uma medida internacional proposta por Lambert Quételet e é comumente utilizado para classificar o peso tendo em conta a altura, sendo a sua unidade quilogramas por metro quadrado (kg/m^2):

$<18,5 \text{ kg}/\text{m}^2 \Rightarrow$ Baixo Peso;

$18,5\text{-}24,9 \text{ kg}/\text{m}^2 \Rightarrow$ Peso Normal;

$25\text{-}29,9 \text{ kg}/\text{m}^2 \Rightarrow$ Excesso de Peso;

$30\text{-}34,9 \text{ kg}/\text{m}^2 \Rightarrow$ Obesidade tipo I;

$35\text{-}39,9 \text{ kg}/\text{m}^2 \Rightarrow$ Obesidade tipo II;

$>40 \text{ kg}/\text{m}^2 \Rightarrow$ Obesidade tipo III ou Obesidade Mórbida.

No entanto, a utilização do índice de massa corporal, apenas como método de avaliação da composição corporal, tem pouca sensibilidade. A necessidade de utilização das tabelas de percentis na idade pediátrica, a não diferenciação do sexo, idade e etnia na idade adulta, os problemas de postura ou doença (cifose, etc.), desporto (desporto de carga), a não avaliação da distribuição da gordura corporal e da diferenciação dos conteúdos corporais são vieses na sua utilização (WHO, 2011).

1.4 Avaliação isocinética da força muscular

O termo força muscular refere-se à capacidade de um músculo para desenvolver tensão de forma ativa, independentemente das condições sob as quais esta tensão é medida (velocidade contráctil lenta ou rápida; contração em encurtamento ou em alongamento) (Sapega, 1990). A avaliação desta capacidade motora, tradicionalmente concretizada com recurso a testes motores e a diferentes formas de dinamometria, usufruiu de um avanço significativo com a introdução do dinamómetro isocinético, reconhecido atualmente como um instrumento válido e fiável para determinar a força muscular dinâmica (Baltzopoulos & Brodie, 1989; Sapega, 1990).

A dinamometria isocinética é um método de miometria quantitativa que utiliza um dinamómetro para impor uma resistência ao movimento do segmento em teste, por forma a que esse segmento não consiga acelerar para além da velocidade angular preestabelecida. O dinamómetro não proporciona resistência até que o segmento tente exceder a velocidade pré-estabelecida, no entanto, quando o segmento alcança a velocidade pré-estabelecida e tenta acelerar, o segmento passa a mover-se a uma velocidade constante (Baltzopoulos & Brodie, 1989; Zabka, Valente, & Pacheco, 2011).

Quando uma força é aplicada no braço de alavanca do dinamómetro isocinético são gerados sinais de posição, momento da força e velocidade angular. O processamento desses três

tipos de sinais permite a quantificação de diversos indicadores da função muscular (ex.: momento máximo, momento ângulo-específico, trabalho, potência e índices de endurance) (Knudson, 2007).

Atualmente estão disponíveis no mercado várias marcas de equipamento isocinético (ex.: Biodex, Cybex, Kin.Com, Lido e Merac). O dinamômetro isocinético utilizado no presente estudo, Biodex - System 3 (Biodex Corp.), é um sistema ativo conduzido por um servomotor e controlado através de um microprocessador. Permite utilizar os modos operacionais isocinético e isotônico concêntrico/excêntrico, passivo, excêntrico reativo e isométrico. Permite velocidades concêntricas de 0-500°.s-1 com limites de momento de 0-678 N.m e velocidades excêntricas de 0-300°.s-1 com limites de momento de 0-406 N.m.

De acordo com estudos anteriores, o Biodex - System 3 (Biodex Corp.) proporciona avaliações válidas e fiáveis (Drouin et al., 2004) da força muscular, pelo menos na porção do espectro de velocidades situada abaixo dos 300°.s-1. O mesmo grupo de autores avaliou a validade das medidas de posição, momento e velocidade recolhidas pelo Biodex - System 3 (Biodex Corp.), comparando-as com as medidas critério correspondentes. Foram verificados coeficientes de correlação intraclasse de 0,99 para a posição e para o momento, oscilando os coeficientes de variação do erro sistemático de 0% a 3% e de 0% a 2%, respectivamente. Para a velocidade, os coeficientes de correlação intraclasse situaram-se entre 0,97 e 0,99 enquanto que os coeficientes de variação do erro sistemático oscilaram entre 0% e 6%. (Drouin et al., 2004) examinaram a fiabilidade das medidas de posição, momento e velocidade obtidas pelo Biodex - System 3 (Biodex Corp.). Para todas as medidas, foram auferidos coeficientes de correlação intraclasse de 0,99 entre testes realizados no mesmo dia. O erro padrão da medida variou entre 0,47 e 0,68 para a posição, entre 0,00 e 0,39 para o momento e entre 9,35 e 11,56 para a velocidade. Para todas as medidas, foram verificados coeficientes de correlação intraclasse de 0,99 entre testes realizados em dois dias diferentes. O erro padrão da medida foi de 0,58 para a posição e variou entre 0,29 e 0,57 para o momento e entre 5,07 e 5,70 para a velocidade.

Capítulo 2

Organização e objetivos da Tese

A presente Tese compreende 5 estudos. Primeiramente tentou perceber-se a concordância entre os valores de composição corporal, de DMO e de Conteúdo Mineral Ósseo (CMO) obtidos com recurso a equipamentos de absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) concorrentes e de características técnicas diferentes.

Desenvolver uma equação alternativa precisa e prática para quantificar o volume da coxa em jogadoras de voleibol feminino na adolescência tardia foi o segundo objetivo da Tese. Para isso, avaliou-se a relação entre a DXA e um novo modelo baseado em antropometria para estimar o volume da coxa em pesquisas sobre atletas de voleibol adolescentes do sexo feminino. O estudo em jovens atletas continuou, no sexo masculino compreendendo os parâmetros de saúde óssea conjuntamente com a análise sanguínea, compararam-se os valores de densidade óssea, composição corporal, maturidade biológica, determinações de perfis lipídicos e inflamatórios em nadadores, basquetebolistas e sedentários. Estudaram-se também as diferenças entre DMO, CMO, composição corporal, força estática e força isocinética entre um grupo de futebolistas e um grupo de jovens adultos fisicamente ativos e saudáveis. Por último, comparou-se a composição corporal e a densidade óssea entre jovens nadadoras e jogadoras de voleibol.

Os estudos constituintes da presente Tese fornecem implicações práticas para jovens sedentários, atletas jovens de vários desportos com diferentes implicações ao nível do impacto e treinadores que podem beneficiar de rotinas de treino complementares com atividades portadoras de peso osteogénico, como resistência, força e treino pliométrico.

Compreender a relação entre exercício físico e parâmetros de saúde óssea (CMO e DMO) foi um objetivo transversal a todos os estudos.

Capítulo 3

Estudos

3.1 Estudo 1

Artigo Original

CONCORDÂNCIA ENTRE ABSORCIÓMETROS DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA COM “PENCIL-BEAM” E “FAN-BEAM”: INDICADORES DE SAÚDE ÓSSEA E COMPOSIÇÃO TECIDUAL DE CORPO TODO E REGIONAL EM ATLETAS ADULTOS

Original Study

AGREEMENT BETWEEN DUAL X-RAY ABSORTIOMETERS USING PENCIL BEAM AND FAN BEAM: INDICATORS OF BONE HEALTH AND WHOLE-BODY PLUS APPENDICULAR TISSUE COMPOSITION IN ADULT ATHLETES

ÓSCAR M. TAVARES^{1,2}, JOÃO P. DUARTE², DANIELA C. COSTA², PAULO SOUSA-E-SILVA², DIOGO MARTINHO², LEONARDO G. O. LUZ^{2,3}, PEDRO DUARTE-MENDES⁴, JOÃO VALENTE-DOS-SANTOS^{2,5}, JORGE M. CONDE⁶, JOSÉ M. CASANOVA⁷, EDILSON S CYRINO⁸, MANUEL J. COELHO-E-SILVA^{2*}

¹Department of Medical Imaging and Radiation Therapy, School of Health and Technology, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

²CIDAF (UID/DTP/04213/2016), Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

³Kineanthropometry Laboratory, Physical Activity and Health Promotion, Alagoas Federal University, Arapiraca, Brazil

⁴School of Education, Polytechnic Institute of Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal

⁵Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University of Humanities and Technologies, Lisbon, Portugal

⁶Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁷Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁸Study and Research Group in Metabolism, Nutrition, and Exercise (GEPEMENE), State University of Londrina (UEL), Londrina, Brazil

RESUMO

O presente estudo examinou a concordância entre os indicadores de saúde óssea e composição tecidual resultantes da aplicação de equipamentos concorrentes de absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA). A amostra (n=32) com 27,6±10,1 anos de idade avaliados antropometricamente incluindo impedância bioelétrica com multifrequência e pletismografia de ar deslocado. O conteúdo mineral ósseo (CMO), a área de tecido ósseo, o tecido magro e o tecido gordo de corpo inteiro foram obtidos considerando o modo *pencil beam* (Lunar DPX-MD+) e o *fan beam* (Lunar iDXA). Para cada um dos equipamentos, foi efetuado um *scanner* proximal do fêmur, sendo produzida informação sobre a densidade mineral óssea (DMO) do colo, nomeadamente, triângulo de Ward, trocanter e haste. Na fase de processamento, foi definida uma região de interesse (ROI; coxa direita). As análises compreenderam a diferença de médias de medidas repetidas com cálculo da magnitude de efeitos (d), coeficiente de correlação intra-classe (CCI), coeficiente de variação (CV). Foram obtidos CCI>0,900 para todas as medidas, com diferenças intra-individuais largas apenas para CMO (d=1,312; CV=2,7%), área de tecido ósseo (d=1,761; CV=2,7%), tecido gordo total (d=1,612; CV=11%) e tecido magro em todos os segmentos (d=1,237-1687; CV=2,0-4,1%). A massa magra da ROI apresentou uma variação intra-individual muito larga (d=4,014; CV=8.4%). Foram encontradas diferenças negligenciáveis para a DMO de corpo todo. As medidas de massa gorda e massa magra obtidas por DXA não devem ser tidas como critério, mas antes como referência, muito especialmente quando se delimita uma ROI.

PALAVRAS-CHAVE:

pencil-beam DXA, *fan-beam* DXA, densidade mineral óssea, composição corporal, atletas.

ABSTRACT

The current study was aimed to examine intra-individual variation on indicators of bone health in addition to whole-body plus appendicular tissue measurements using two concurrent assessments based on pencil beam and fan beam dual energy X-ray absorptiometry (DXA) systems in adult athletes from several sports. Thirty-two male participants (27.6 ± 10.1 years) were measured on anthropometry including multifrequency bioelectric impedance and air-displacement plethysmography. Bone mineral content (BMC), bone area, fat and lean soft tissue were derived using pencil beam (Lunar DPX-MD+) and fan beam (Lunar iDXA) absorptiometers. Bone mineral density (BMD) was obtained for the femoral neck, trochanter and ward's triangle. Finally, the right thigh was defined as a region of interest (ROI). Analyses comprised intra-class correlation (ICC), effect magnitude (d) from mean differences of repeated measurements, coefficient of variation (CV). ICC were >0.900 for all measurements. Intra-individual differences were large for BMC (d=1,312; CV=2,7%), bone area (d=1,761; CV=2,7%), fat tissue (d=1,612; CV=11%) and all indicators of appendicular lean soft tissue (d=1,237-1687; CV=2,0-4,1%). A very large difference (d=4,014; CV=8.4%) was diagnosed for lean soft tissue of the ROI. Although differences among concurrent instruments for BMC and area, the effect size of mean differences was negligible for BMD. Fat and lean soft tissue derived from DXA should be interpreted as reference values (not criterion) due to equipment-related variation, more apparently in the ROI values.

KEYWORDS:

pencil-beam DXA, fan-beam DXA, bone mineral density, body composition, athletes.

INTRODUÇÃO

A avaliação da composição corporal corresponde a um ramo da biologia humana (Heymsfield, Pietrobelli, Wang Z, & Saris, 2005; Silva, Minderico, Teixeira, Pietrobelli, & Sardinha, 2006) e, tradicionalmente, os modelos de composição corporal compreendem dois compartimentos (Wells & Fewtrell, 2006) dividindo a massa corporal em gordura e massa isenta de gordura. Os avanços tecnológicos possibilitaram o aparecimento de métodos não destrutivos de avaliação da composição corporal, sendo, globalmente, considerados metodologias *in vivo*. A avaliação por absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) baseia-se num modelo de avaliação da composição corporal, permitindo a quantificação da massa gorda, da massa magra dos tecidos moles (“*lean soft tissue*”) e do conteúdo mineral ósseo (CMO), tanto para o corpo todo, como para segmentos estandardizados (cabeça; tronco, subdividido em costelas, pélvis e coluna; membros superiores e membros inferiores), tendo ainda a virtualidade de ser possível a obtenção das supracitadas componentes em regiões de interesse, designadas ROI (*region of interest*). Do ponto de vista clínico, existe um considerável interesse pela avaliação da região proximal do fémur, frequentemente alvo de aplicação de próteses, por cirurgia, sendo, adicionalmente, a coluna lombar (especialmente L1-L4), um segmento com elevado valor informativo relativamente ao estado geral da estrutura esquelética.

A tecnologia DXA ganhou popularidade, relativamente a outras tecnologias, pela sua rapidez, baixo custo e reduzida exposição à radiação (Stewart & Hannan, 2000; Lohman & Chen, 2005). Anteriormente, a tecnologia disponível utilizava o iodo-125 como fonte de radiação, sendo a metodologia *single-photon absorptiometry* (SPA) utilizada para estimar o conteúdo mineral da porção distal de ossos longos, como por exemplo, o rádio e cúbito, sendo descrita como válida (Cameron & Sorensen, 1963). A tecnologia SPA foi utilizada na obtenção de uma das equações mais populares para determinar a percentagem de massa gorda a partir das pregas de gordura tricipital e subescapular (Slaughter, 1988). A tecnologia DXA mede a atenuação de raios-X emitidos em frequências de duas energias distintas, sendo o iodo-125 substituído pelo gadolínio-153 que emite radiações a 44 e a 100 kV. Existem, atualmente, vários equipamentos DXA, sendo os fabricantes *Hologic* e o *Lunar* os mais referenciados (Kohrt, 1995; Sardinha, Lohman, Teixeira, & Guedes, 1988; Foster, Platt, & Zemel, 2012). A DXA tem sido utilizada sobretudo na determinação do CMO e, por consequência, da densidade mineral óssea (DMO), fazendo uso de medidas de área do tecido ósseo. Aliás, esta é uma crítica apontada ao método, dado que a DMO deveria ter em consideração o CMO pelo volume do tecido e não tanto pela área, assumindo-se que existem variações inter-individuais dos observados relativamente à medida de espessura. Cada um dos fabricantes tem desenvolvido modelos visando a redução da exposição radiológica, tempo de avaliação (*scan*) e ganhos de precisão [quer pela melhoria da resolução dos detectores, quer pela tecnologia dos tubos de emissão raios-X, distinguindo-se o procedimento “pencil beam” (PB) e “fan beam” (FB)]. A DXA, tal como a generalidade das tecnologias, possui pressupostos, como por exemplo o aquecimento dos tecidos durante os

procedimentos de aplicação do método, sendo perdidos valores de água e dióxido de carbono, tornando necessário transformar o CMO quantificado (Lohman & Chen, 2005). Adicionalmente, assume-se que a gordura e a massa magra possuem constantes de atenuação e a exposição dos referidos tecidos a baixas e altas voltagens permite determinar as proporções por unidade de área, assumindo que a espessura no plano antero-posterior não afeta as estimativas.

A maioria dos estudos centra-se na comparação entre equipamentos de diferentes fabricantes (Hologic vs. Lunar), ou entre equipamentos de um mesmo fabricante que adoptam tecnologias distintas para emissão de raios-X, isto é, PB por oposição a FB (Ruetsche, Lippuner, Jaegger, & Casez, 2000) ou ainda entre metodologias: DXA vs. tomografia computadorizada (Svendsen, Harboo, Hassager, & Christiansen, 1993a; Svendsen, Harboo, Hassager, & Christiansen, 1993b; Svendsen, Hassager, Bergmann, & Christiansen, 1993c) ou pela metodologia de medição do potássio corporal (Heymsfield et al., 1990). Regra geral, os estudos apontam um erro associado à tecnologia DXA variando entre 1 e 3% (Kohrt 1988; Modlesky et al., 1996). O interesse das *Ciências do Desporto* pela composição corporal deve-se, em boa parte, à procura de índices de eficiência metabólica. Recentemente, emergiram estudos que expressam o consumo de oxigénio por unidade de massa corporal isenta de gordura (Valentinos-Santos et al., 2013) dado que a gordura corresponde a um tecido metabólico não relevante, ou mesmo considerando o consumo de oxigénio no padrão de corrida expresso por litro de volumetria do membro inferior (ou mesmo mL.L⁻¹.kg⁻¹). A expressão dos resultados por unidade de massa apendicular do membro inferior é, sobretudo, relevante quando o padrão de movimento não obriga o avaliado a suportar toda a massa corporal, e tal acontece no cicloergómetro para obtenção da potência mecânica máxima e média (Carvalho et al., 2011) ou no dinamómetro isocinético para avaliação dos momentos de força máximo dos músculos responsáveis pelas ações de extensão e flexão do joelho (Carvalho et al., 2012b) Ora, a procura de protocolos informativos e não invasivos sobre o volume e massa corporal dos membros tem justificado uma linha de estudo (Carvalho et al., 2012a; Coelho-e-Silva, 2013; Tavares et al., 2016) dedicada a metodologias mais parcimoniosas em termos de custos e morosidade (antropometria) baseadas em modelos geométricos (Jones & Pearson, 1969). O interesse na composição corporal total e de segmentos particulares, tem tido especial destaque para o membro inferior ou, somente, para a coxa. Apesar da popularidade da tecnologia DXA, não são abundantes estudos com equipamentos concorrentes para estimar a precisão na determinação do tecido gordo, do tecido magro e do CMO, para o corpo todo e segmentos particulares. Na verdade, a eventual ausência de concordância entre equipamentos comprometerá, em parte, as propostas de calibração de novas equações (Carvalho et al., 2012a; Coelho-e-Silva, 2013; Tavares et al., 2016).

O presente estudo tem como objetivo examinar a concordância entre os indicadores decorrentes da aplicação de equipamentos concorrentes de DXA do fabricante Lunar, nomeadamente tendo em consideração o *Lunar DPX-MD+* (tecnologia PB) *Lunar iDXA* (tecnologia

FB), sendo realizado em jovens adultos saudáveis e praticantes desportivos de múltiplas modalidades.

MÉTODOS

Procedimentos e amostra

O presente estudo é de natureza transversal e adota os procedimentos recomendados para investigação em humanos (Harriss & Atkinson, 2015) tendo sido aprovado na comissão de ética (CE/FCDEF-UC/00102014). O desenho da pesquisa compreende vários modelos de avaliação da composição corporal e no caso da DXA foram utilizados dois equipamentos do fabricante *Lunar* (DPX-MD+ e iDXA). Todas as avaliações foram efetuadas no mesmo dia e por técnicos qualificados em unidades laboratoriais devidamente certificadas. Os sujeitos da amostra foram informados sobre os objetivos do estudo e a natureza dos procedimentos, tendo assinado um termo de consentimento informado. A amostra final corresponde a 32 adultos masculinos (27,6±10,1 anos) moderadamente ativos, sendo praticantes de várias modalidades desportivas.

Antropometria

A estatura e a altura sentado foram medidas com aproximação a 0,1 cm (estadiómetro Harpenden, modelo 98,603, Holtain Ltd., Crosswell, GB e Harpenden Sitting Height Table). O comprimento dos membros inferiores foi calculado através da diferença das medidas anteriores. A massa corporal foi obtida através de uma balança SECA (modelo 770, Hanover, MD, USA) com redução de 0,1 kg. Todas as medições foram realizadas pelo mesmo avaliador.

Impedância bioelétrica

Os participantes adotaram uma posição de pé seguindo as instruções do fabricante depois de retirarem os sapatos, meias e demais roupa e a água corporal total foi avaliada pelo analisador de impedância bioelétrica multifrequência, 1, 5, 50, 250, 500, 1000 kHz (*InBody 770 scanner*: In-body Bldg, Seoul, Korea).

Pletismografia de ar deslocado

A informação sobre o volume corporal foi obtida através da pletismografia de ar deslocado (Sistema de Composição BODPOD, modelo BODPOD 2006, Life Measurement, Inc, Concord, CA, USA). Os participantes foram avaliados por duas vezes consecutivas seguindo as instruções do fabricante. A densidade corporal foi calculada através da divisão da massa corporal (kg) pelo volume corporal (L).

Absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA)

Os dois instrumentos DXA utilizados foram: Lunar DPX-MD+ (Software: enCORE version 4,00,145, GE Lunar Corporation, 726 Heartland Trail, Madison, WI 53717-1915 USA) e Lunar iDXA (enCORE version 13,60,033, GE Medical Systems Lunar3030, Ohmeda Drive, Madison, WI 53718 USA). Para cada um dos equipamentos, foi realizado um *scanner* ao corpo inteiro. Adicionalmente e para cada um dos equipamentos, foi efetuado um *scanner* da região próxima do fêmur (sendo produzida informação sobre a DMO do colo, triângulo de Ward, trocânter e haste). Posteriormente, na fase de processamento, foi definida uma ROI (coxa direita) tal como descrito em estudos precedentes (Coelho-e-Silva, 2013; Tavares et al., 2016). Para o corpo todo e cada um dos segmentos, a informação inclui CMO, área do tecido ósseo para, posteriormente, se determinar a DMO e a componente do tecido gordo e do tecido magro mole (“*lean soft tissue*”). A calibração foi realizada no próprio dia, antes do primeiro avaliado utilizando o modelo (“*phantom*”) e os procedimentos recomendados pelo fabricante.

O caderno técnico do equipamento Lunar DPX-MD+ especifica que se trata de um dispositivo com emissão de raios-X por tecnologia PB tendo um potencial de 76kV, anunciando-se uma precisão <1% para a DMO (corpo todo) e também 1% para a composição corporal, embora sem especificar se aplicável aos dois tecidos (tecido gordo e “*lean soft tissue*”). Por sua vez, uma das inovações anunciada no folheto técnico do iDXA, prende-se com a emissão FB. Embora o iDXA seja dotado de um dispositivo “*narrow-angle FB*” e proceda a múltiplas passagens, a tecnologia FB é tida como possuindo maior erro, o que decorre da variação inter-individual do tamanho corporal dos avaliados, muito especialmente nas medidas sagitais. A redução do ângulo FB e a sobreposição de passagens, obtidas sucessivamente, supostamente mitiga o erro associado aos equipamentos FB com maior ângulo (“*wide-angle*” FB). O raios-X no equipamento *Lunar iDXA* apresenta um potencial de 100 kV (ligeiramente superior ao *Lunar DPX-MD+*) e, para além da tecnologia “*narrow-angle FB*”, o iDXA distingue-se dos equipamentos anteriores por ter um detector de alta resolução (CZT-HD).

Análise estatística

As análises compreenderam a estatística descritiva (amplitude, média, erro padrão da média, intervalos de confiança da média e desvio padrão) para a totalidade da amostra (n=32), bem como a verificação dos pressupostos de normalidade. Subsequentemente, foram determinadas as diferenças intra-individuais (momento 1 e momento 2), paralelamente, ao cálculo do erro técnico de medida (ETM) (Lohman, Roche, & Martorell 1988). De seguida e com base no ETM, foi determinado o coeficiente de variação (%CV: sendo expresso como percentagem da média combinada das medidas repetidas). Ainda com base na estatística associativa, foi possível determinar o coeficiente de correlação intra-classe (CCI) e o respetivo intervalo de confiança a 95%. As diferenças das médias das medidas repetidas foram apreciadas com base no cálculo do

tamanho do efeito (*d de Cohen*) que foram interpretados qualitativamente do seguinte modo (Hopkins, Marshall, & Batterham, 2009): <0,2 (trivial); 0,2-0,6 (pequena); 0,6-1,2 (moderada); 1,2-2,0 (larga); 2,0-4,0 (muito larga) >4.0 (extremamente larga). Os procedimentos estatísticos foram realizados com recurso do programa IBM SPSS v.23 para Mac OS software (SPSS Inc., IBM Company, NY, USA).

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta, sumariamente, as características da amostra para a totalidade dos efetivos. O CMO, área do tecido ósseo utilizada na determinação da DMO, tecido magro do corpo todo e tecido gordo, igualmente do corpo todo, são apresentados na Tabela 2. Também os extratos relativos à DMO na parte proximal do fémur são apresentados na Tabela 2 (colo, triângulo Ward, trocanter, haste). A sobredita Tabela 2 compreende ainda os dados decorrentes da utilização dos dois equipamentos de DXA devidamente assinalados como *Lunar DPX-MD+* e *Lunar iDXA*. A violação dos pressupostos de distribuição normal só acontece para o tecido gordo no que diz respeito ao corpo todo.

Tabela 1. Estatística descritiva e prova estatística para testar a normalidade da distribuição em variáveis antropométricas ilustrativas da amostra do presente estudo (n=32).

Variável	unidade medida	Amplitude		Média		Desvio Padrão	Normalidade (Kolmogorov-Smirnov)
		mínimo	máximo	erro padrão	(IC 95%)		
Idade cronológica	anos	18,60	57,80	1,75	(24,19 a 31,06)	10,08	0,326
Anos prática desportiva	anos	2,00	47,0	1,7	(12,2 a 18,8)	9,6	0,185
Estatura	cm	155,7	193,0	1,5	(173,1 a 179,0)	8,6	0,160
Altura sentado	cm	85,3	100,0	0,7	(91,1 a 93,7)	3,9	0,107
Comprimento membros inferiores	cm	70,4	94,6	1,0	(81,7 a 85,6)	5,7	0,091
Massa corporal	kg	58,4	91,6	1,6	(70,4 a 76,6)	9,1	0,090
Volume corporal total (PAD)	L	54,414	88,360	1,574	(65,975 a 72,145)	9,041	0,100
Densidade corporal (PAD)	kg.L ⁻¹	1,028	1,096	0,003	(1,060 a 1,071)	0,016	0,168
Água corporal total (BIA)	L	38,0	55,0	0,9	(43,9 a 47,3)	4,9	0,106

PAD: pletismografia de ar deslocado; BIA: bioimpedância elétrica multiespectro; IC95%: intervalo confiança a 95%.

Tabela 2. Estatística descritiva e prova estatística para testar a normalidade da distribuição para a amostra do presente estudo (n=32).

Equipamento	Parâmetro	unidade medida	Amplitude		Média		desvio padrão	Kolmogorov-Smirnov	
			mínimo	máximo	valor	erro padrão		valor	p
DPX-MD+	CMO	g	2294	4303	3370	85	491	0,135	0,14
	Área*	cm ²	2068	3019	2583	40	227	0,134	0,14
	DMO	g.cm ⁻²	1,000	1,483	1,293	0,019	0,109	0,071	0,20
iDXA	CMO	g	2368	4147	3260	80	459	0,145	0,08
	Área*	cm ²	2199	2854	2519	31	177	0,112	0,20
	DMO	g.cm ⁻²	1,118	1,509	1,293	0,019	0,108	0,141	0,09
DPX-MD+	Tecido magro**	kg	48,483	66,415	57,508	0,881	5,062	0,104	0,20
	Tecido gordo	kg	4,488	28,222	11,865	1,100	6,321	0,171	0,02
iDXA	Tecido magro**	kg	47,391	66,874	57,466	0,939	5,395	0,101	0,20
	Tecido gordo	kg	6,749	27,216	13,564	0,960	5,516	0,17	0,02
DPX-MD+	Colo do fémur	g.cm ⁻²	0,847	1,615	1,218	0,032	0,186	0,092	0,20
	Triângulo ward	g.cm ⁻²	0,636	1,734	1,145	0,038	0,220	0,081	0,20
	Troncanter	g.cm ⁻²	0,807	1,322	1,057	0,036	0,147	0,094	0,20
	Haste	g.cm ⁻²	1,119	2,073	1,469	2,073	0,220	0,220	0,09
iDXA	Colo do fémur	g.cm ⁻²	0,843	1,624	1,219	0,031	0,175	0,114	0,20
	Triângulo ward	g.cm ⁻²	0,613	1,704	1,125	0,039	0,225	0,079	0,20
	Troncanter	g.cm ⁻²	0,802	1,331	1,041	0,027	0,155	0,104	0,20
	Haste	g.cm ⁻²	1,110	2,069	1,444	0,037	0,215	0,141	0,09
DPX-MD+	TM: tronco	kg	21,923	31,503	26,101	0,472	2,709	0,109	0,20
	TM: memb. sup.	kg	5,094	8,536	6,986	0,169	0,974	0,092	0,20
	TM: memb. inf.	kg	16,526	23,875	20,406	0,346	1,985	0,113	0,20
	TM: (coxa direita)	kg	3,370	6,348	4,976	0,117	0,672	0,142	0,09
iDXA	TM: tronco	kg	22,567	31,302	26,883	0,441	2,533	0,118	0,20
	TM: memb. sup.	kg	5,164	8,940	7,211	0,181	1,038	0,109	0,20
	TM: memb. inf.	kg	15,809	23,719	19,886	0,377	2,164	0,126	0,20
	TM: (coxa direita)	kg	4,321	7,203	5,494	0,125	0,717	0,112	0,20

CMO: conteúdo mineral ósseo; DMO: densidade mineral óssea; TM: Tecido magro; memb. sup.: membros superiores; memb. inf.: membros inferiores.

*área do tecido ósseo; **tecido magro referido em inglês como “lean soft tissue”;

A comparação dos resultados decorrentes da avaliação por dois equipamentos concorrentes (Tabela 3) sugere uma diferença intra-individual para o CMO do corpo todo (média da diferença intra-individual=110g; magnitude do efeito larga: $d=1,312$) e também para a área utilizada no cálculo da DMO (média da diferença intra-individual=65cm², magnitude do efeito larga: $d=1,761$). Contudo, para a DMO, as diferenças intra-individuais são negligenciáveis (-0,001g.cm-

²⁾ e magnitude de efeito é trivial. Complementarmente, a magnitude da diferença intra-individual volta a ser larga para o tecido gordo, sendo a média igual 11,87 kg para o equipamento *Lunar DPX-MD+* e 13,56kg para o equipamento *Lunar iDXA*, correspondendo a uma média das diferenças intra-individuais situada em 1,70kg ($d=1,612$, magnitude do efeito larga). As diferenças para o tecido magro são de magnitude trivial, isto é, 0,04kg.

Tabela 3. Limites de confiança da média a 95% para cada um dos equipamentos Lunar DPX-MD+ (Software: enCORE GE Healthcare 2011 Versão 13,60) e Lunar iDXA (ME-210160 Software: enCORE GE Healthcare 2012 Versão 15,00), média das diferenças intra-indivíduos e respectivo intervalo de confiança a 95% (n=32) e apresentação do erro técnico de medida, coeficiente de variação associado e coeficiente de correlação intra-classe.

Parâmetro	Unidade Medida	LC 95%		Média diferença intra-individual		d (qualitativo)	ETM		CCI		
		DPX-MD+	iDXA	valor	(IC 95%)		valor	%CV	valor	(IC 95%)	
CMO	g	(3202;3537)	(3103; 3416)	110	(86 a 134)	1,312	(larga)	91	2,7	0,995	(0,990 a 0,998)
Área*	cm ²	(2506; 2661)	(2458; 2579)	65	(39 a 91)	1,761	(larga)	69	2,7	0,966	(0,931 a 0,983)
DMO	g.cm ⁻²	(1,255; 1,330)	(1,256; 1,330)	-0,001	(-0,016 a 0,014)	0,000	(trivial)	0,029	2,2	0,961	(0,922 a 0,981)
Tecido magro**	kg	(55,781; 59,235)	(55,625; 59,307)	0,04	(-0,395 a 0,478)	0,043	(trivial)	0,85	1,4	0,986	(0,972 a 0,993)
Tecido gordo	kg	(9,709; 14,022)	(11,682; 15,446)	-1,70	(-2,084 a -1,314)	1,612	(larga)	1,41	11,1	0,992	(0,983 a 0,996)
Colo fêmur	g.cm ⁻²	(1,154; 1,281)	(1,159; 1,279)	0,001	(-0,016 a 0,014)	0,031	(trivial)	0,030	2,4	0,986	(0,971 a 0,933)
Triângulo Ward	g.cm ⁻²	(1,070; 1,221)	(1,048; 1,202)	0,020	(0,008 a 0,033)	0,512	(pequena)	0,028	2,4	0,994	(0,988 a 0,977)
Troncarter	g.cm ⁻²	(1,007; 1,107)	(0,989; 1,094)	0,015	(0,006 a 0,024)	0,495	(pequena)	0,021	1,9	0,993	(0,986 a 0,977)
Haste	g.cm ⁻²	(1,394; 1,544)	(1,370; 1,517)	0,025	(-0,007 a 0,058)	0,656	(moderada)	0,066	4,5	0,954	(0,908 a 0,977)
TM: tronco	g	(25,177; 27,026)	(26,019; 27,747)	-0,78	(-1,090 a -0,474)	1,687	(larga)	0,81	2,0	0,972	(0,943 a 0,986)
TM: memb sup.	g	(6,654; 7,318)	(6,857; 7,565)	-0,23	(-0,352 a -0,098)	1,237	(larga)	0,29	4,1	0,967	(0,934 a 0,984)
TM: memb. inf.	g	(19,728; 21,083)	(19,148; 20,624)	0,52	(0,254 a 0,785)	1,402	(larga)	0,63	3,1	0,966	(0,932 a 0,983)
TM: coxa direita	g	(4,747; 5,205)	(5,250; 5,739)	-0,52	(-0,644 a -0,393)	4,014	(muito larga)	0,44	8,4	0,931	(0,860 a 0,966)

CMO: conteúdo mineral ósseo; DMO: densidade mineral óssea; TM: Tecido magro; memb. sup.: membros superiores; memb. inf.: membros inferiores; LC: limites de confiança; IC: intervalo de confiança; CV: coeficiente de variação; ETM: erro técnico de medida; CCI: coeficiente de correlação intraclass.

*área do tecido ósseo; **tecido magro referido em inglês como "lean soft tissue";

A análise dos resultados relativamente à DMO para a região proximal do fémur, mostra que para o colo do fémur a variação associada ao equipamento resulta numa diferença intra-individual de 0,001 (magnitude do efeito trivial: $d=0,031$), sendo a magnitude das diferenças entre médias intra-individuais para o triângulo Ward e trocanter, respectivamente $d=0,512$ (magnitude pequena), $d=0,495$ (magnitude pequena). Para a haste, a magnitude das diferenças é moderada foi 0,656.

Para os indicadores de tecido magro mole foram notadas diferenças para todos os segmentos e ROI: $d=1,687$ (magnitude larga) para o tronco; $d=1,237$ (magnitude larga) para os membros superiores; $d=1,402$ (magnitude larga) para os membros inferiores. Para a ROI a massa magra apresentou uma variação entre equipamentos de magnitude muito larga ($d=4,014$).

No que diz respeito aos CCI, para todas as supramencionadas medidas, obteve-se um $CCI > 0,900$. A %CV oscila entre 2,3% e 2,7% para as medidas usadas no cálculo da DMO. Para as medidas teciduais, a %CV é de apenas 1,5% para a componente magra e 11,2% para a componente gorda. Para as variáveis da porção proximal do fémur, o ETM é sempre menor que 5% da média combinada (isto é %CV igual 2,4% para o colo do fémur, 2,5% para o triângulo de Ward, 2,0% para o trocanter e 4,5% para a haste), sendo a qualidade dos dados corroborada por coeficientes de CCI sempre superiores a 0,950. Para os indicadores de tecido magro mole foram notadas %CV=2,1 e CCI=0,972 para o tronco, %CV=4,2 e CCI=0,967 para os membros superiores; %CV=3,2 e CCI=0,966 para os membros inferiores. Para a ROI a massa magra apresentou uma variação entre equipamentos mais elevada (%CV=8,43, CCI=0,931).

DISCUSSÃO

No presente estudo foi apreciada a concordância entre os indicadores decorrentes da aplicação de equipamentos concorrentes utilizados na DXA, sendo uma tecnologia PB (*Lunar DPX-MD+*) e outra FB (*Lunar iDXA*). Relativamente ao CMO, à área para determinação da DMO, à DMO, tecido gordo e tecido magro mole foram avaliados adultos saudáveis e praticantes desportivos de várias modalidades. Foram encontradas diferenças negligenciáveis para a DMO, apesar de uma tendência para o equipamento *Lunar DPX-MD+* produzir valores mais elevados para o CMO e também para a área. Num estudo com mulheres de idades entre os 21 e os 80 anos (Ruetsche et al., 2000), foi notada a tendência para o modo FB subestimar (por comparação ao modo PB) a área utilizada no cálculo da DMO. Este estudo, anteriormente citado, foi efetuado com o equipamento Hologic QDR-2000 que possui a possibilidade de adotar os dois modos supramencionados (FB e PB) (Lohman & Chen 2005). Contudo, outros estudos (Tothill & Hannan, 2000; Genton, Dier, Kyle, & Pichard, 2002) mostraram que entre equipamentos de tecnologia FB, a espessura do sujeito constitui uma fonte de discrepância. Os primeiros equipamentos do fabricante Lunar tinham um ângulo do feixe de emissão com cerca de 30 graus, considerando-se “wide-angle FB”, (Geriffiths, Noakes, & Pocock, 1997) tendo dado lugar a equipamentos

“*narrow-angle* FB” (no equipamento *Lunar Prodigy* o ângulo é de 4,5 graus), optando-se produção de várias passagens sobrepostas, o que acontece no *Lunar iDXA* (igualmente um “*narrow-angle* FB” com a vantagem adicional de ser apetrechado de um detector de alta resolução CZT-HD). No presente estudo, foi sempre obtida um elevado CCI entre o equipamento supracitado “*narrow-angle*” FB (iDXA) e o equipamento PB (*Lunar DPX-MD+*).

Para as medidas da porção proximal do fêmur, muito utilizadas em contexto clínico, a DMO apresenta diferenças entre os equipamentos que oscilam entre o trivial e o moderado, embora a %CV e o CCI permitam confirmar uma certa ideia de qualidade dos dados, sobretudo para o colo, trocanter e triângulo de Ward, revelando-se a haste um extrato mais problemático. A literatura confirma esta tendência para a variação da discrepância entre os modos FB e PB, nomeadamente, num estudo com 63 mulheres (Ruetsche et al., 2000) que permitiu concluir a existência de uma sobre-estimativa de +1,5% pelo FB na coluna lombar, em paralelo, com uma subestimativa, pelo mesmo modo, de -0,7% no colo do fêmur e -1,8% no trocânter. Nesta última região foi identificada uma correlação de +0,36 entre os resíduos dos dois modos (FB/PB) e a massa corporal das mulheres avaliadas. Aliás, num outro estudo com 40 mulheres pós-menopáusicas, a precisão das medidas repetidas de DMO foi de 1,1-1,6% para a coluna lombar e 2,2-2,5% para o colo do fêmur, sendo a variação intra-individual mais elevada para as mulheres obesas (Patel, Blake, Rymer, & Folgelman, 2000).

Relativamente ao tecido gordo, é possível que as variações de energia e processamento dos dados associados a cada um dos equipamentos concorram para uma diferença intra-individual substantiva, recomendando-se alguma cautela para a aceitação dos dados de massa gorda, expresso em kg, a partir da tecnologia DXA. No presente estudo, é nesta variável que se constata o valor mais elevado para o %CV (11,2%), sendo as magnitudes das diferenças intra-individuais larga. No que se refere aos valores de massa magra, os dados entre o DXA-MD+ e iDXA parecem concordantes, exceto para a ROI em que se considera uma fonte adicional de erro, isto é, o erro introduzido pelo observador, estando também em causa dados de processamento e não somente de aquisição. A utilização de DXA para determinação da gordura do tronco, combinada com medidas e espessura de pregas de gordura subcutânea, foi testada como protocolo para obter uma quantificação de gordura intra-abdominal, utilizando como critério a tomografia computadorizada (Svendsen et al., 1993c) tendo explicado 91% da variância inter-individual, embora com uma %CV de 14,8%.

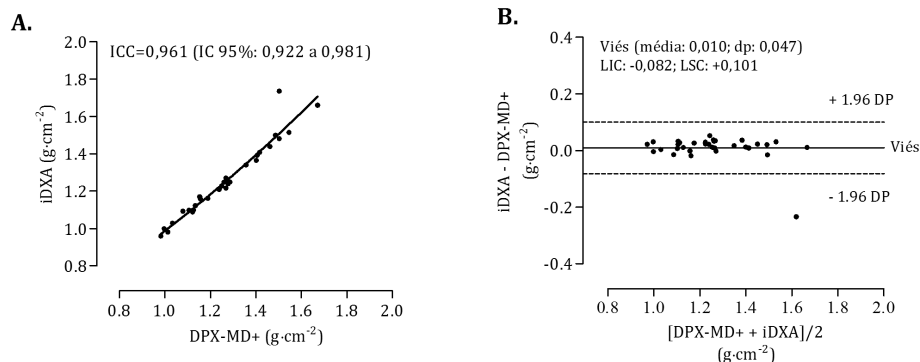
A composição apendicular também tem sido alvo de interesse em vários estudos com utilização de tecnologia DXA. Por exemplo, um estudo com 41 jogadores masculinos de rãguebi (16,3 aos 20,7 anos de idade) calibrou os modelos geométricos por antropometria para determinação da volumetria do membro inferior, com base nos dados obtidos por DXA (Hologic, Explorer W, Waltham, Massachusetts, USA, software QDR version 12,4) para obtenção de dados relativos à massa gorda e à massa isenta de gordura do membro inferior (Carvalho et al.,

2012a). Assim, foi possível determinar coeficientes de correlação de 0,81 e 0,90 entre o método antropométrico e a referência DXA. Mais recentemente, a mesma equipa de investigadores (Coelho-e-Silva et al., 2013) calibrou os modelos geométricos baseados em duas estruturas cónicas (apenas para a coxa), em 168 jovens escolares peri-pubertários recorrendo ao equipamento DXA (Hologic Explorer W, Waltham, Massachusetts, USA, software QDR versão 12,4). Neste estudo, o volume apendicular da coxa corresponde a uma ROI definida entre os planos transversos que passam entre duas referências antropométricas: *isquion* e supra-patelar. Por fim, um outro estudo (Tavares et al., 2016) foi realizado com 42 voleibolistas adolescentes femininas (14,0-17,9 anos) visando a calibração por antropometria dos volumes da coxa obtidos por antropometria e DXA (Lunar DPX NT/Pro/MD+/Duo/Bravo). No presente estudo, não foi determinada a fiabilidade intra-observador para o mesmo equipamento, particularmente no que diz respeito às ROI que requerem maior perícia do observador.

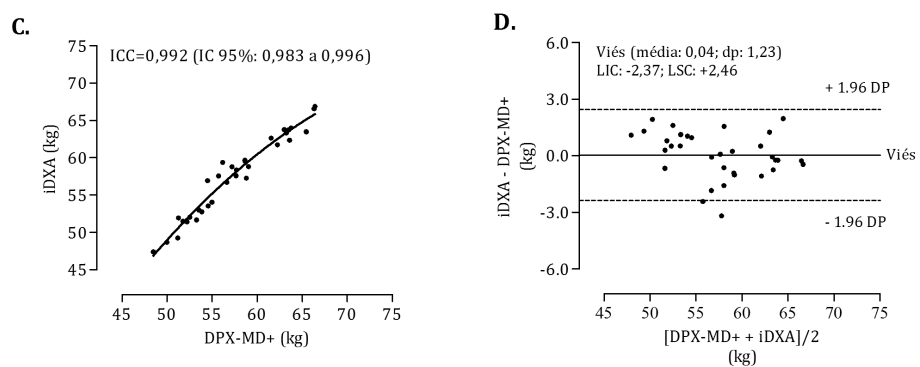
CONCLUSÕES

Na generalidade, os vários parâmetros revelaram boa reprodutibilidade e permitiram confirmar uma certa ideia de qualidade dos indicadores decorrentes da aplicação de equipamentos concorrentes de DXA (Figura 1). Foram encontradas diferenças negligenciáveis para a DMO, apesar de uma tendência para o equipamento Lunar DPX-MD+ produzir valores mais elevados para o CMO e também para a área. Recomenda-se, no entanto, que as medidas de tecido gordo do corpo todo e no caso do tecido magro na coxa, quando obtidas por DXA, não sejam tidas como critério, mas antes como referência. Tal entendimento, possui implicações na interpretação das discrepâncias intra-individuais que passam a compreender erro de medição em cada uma das variáveis concorrentes e não apenas na medida preditora.

DENSIDADE MINERAL ÓSSEA



TECIDO MAGRO



TECIDO GORDO

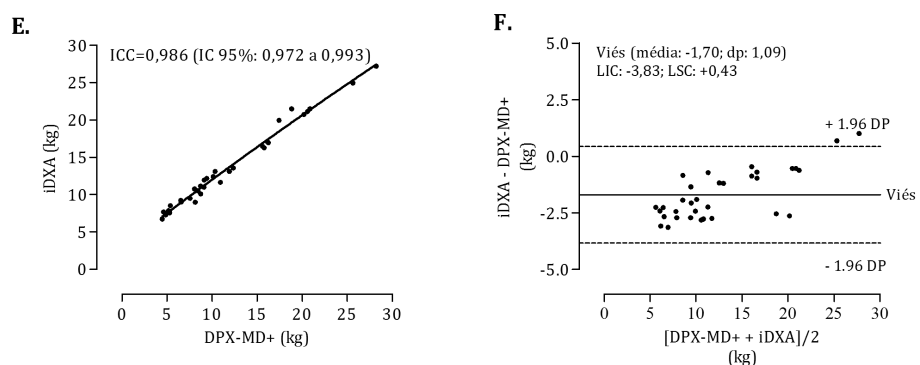


FIGURA 1. Regressão bivariada entre equipamentos com cálculo do coeficiente de correlação intra-classe e respectivo intervalo de confiança a 95%, com inspeção gráfica dos resíduos (erro) tendo em consideração a variação intra-individual, respectivo Viés, e limites de concordância estabelecidos como sendo 1.96 do desvio padrão.

REFERÊNCIAS

- Cameron, J. R., & Sorenson, J. (1963). Measurement of Bone Mineral in Vivo: An Improved Method. *Science*, 142(3589), 230-232.
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Goncalves, C. E., Philippaerts, R. M., Castagna, C., & Malina, R. M. (2011). Predictors of maximal short-term power outputs in basketball players 14-16 years. *Eur J Appl Physiol*, 111(5), 789-796.
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M. J., Franco, S., Figueiredo, A. J., Tavares, O. M., Ferry, B., . . . Malina, R. M. (2012a). Agreement between anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry assessments of lower-limb volumes and composition estimates in youth-club rugby athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*, 37(3), 463-471.
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M., Valente-dos-Santos, J., Goncalves, R. S., Philippaerts, R., & Malina, R. (2012b). Scaling lower-limb isokinetic strength for biological maturation and body size in adolescent basketball players. *Eur J Appl Physiol*, 112(8), 2881-2889.
- Coelho-e-Silva, M. J., Malina, R. M., Simoes, F., Valente-Dos-Santos, J., Martins, R. A., Vaz Ronque, E. R., . . . Sardinha, L. B. (2013). Determination of thigh volume in youth with anthropometry and DXA: agreement between estimates. *Eur J Sport Sci*, 13(5), 527-533.
- Foster, B. J., Platt, R. W., & Zemel, B. S. (2012). Development and validation of a predictive equation for lean body mass in children and adolescents. *Ann Hum Biol*, 39(3), 171-182.
- Genton, L. D., Dier, H., Kyle, U. G., Pichard, C. (2002). Dual energy absorptiometry and body composition: differences between devices and comparison with reference methods. *Nutrition*, 18(1), 66-70.
- Griffiths, M. R., Noakes, K. A., & Pocock, N. A. (1997). Correcting the magnification error of fan beam densitometers. *J Bone Miner Res*, 12(1), 119-123.
- Harriss, D. J., & Atkinson, G. (2015). Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2016 Update. *Int J Sports Med*, 36(14), 1121-1124.
- Heymsfield, S. B., Smith, R., Aulet, M., Bensen, B., Lichtman, S., Wang, J., & Pierson, R. N., Jr. (1990). Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *Am J Clin Nutr*, 52(2), 214-218.
- Heymsfield, S. B., Pietrobelli, A., Wang, Z., & Saris, W. H. (2005). The end of body composition methodology research? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 8(6), 591-594.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13.
- Jones, P. R., & Pearson, J. (1969). Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *J Physiol*, 204(2), 63-66.
- Korth, W. M. (1988). Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition. *J Appl Physiology*, 84(1), 372-377.
- Kohrt, W. M. (1995). Body composition by DXA: tried and true? *Med Sci Sports Exerc*, 27(10), 1349-1353.
- Lohman, T., Roche, A., & Martorell, R. (1988). Anthropometric standardization reference

- manual. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Lohman, T. G., Chen, Z. (2005). Dual energy X-ray-absorptiometry. In S. B. Heymsfield, T. G. Lohman, Z. Wang, S. B. Going (Eds.), *Human Body Composition* (pp. 63-78). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Modlesky, C. M., Lewis, R. D., Yetman, K. A., Rose, B., Roskopf, L. B., Snow, T. K., & Sparling, P. B. (1996). Comparison of body composition and bone mineral measurements from two DXA instruments in young men. *Am J Clin Nutr*, *64*(5), 669-676.
- Patel, R., Blake, G. M., Rymer, J., & Fogelman, I. (2000). Long-term precision of DXA scanning assessed over seven years in forty postmenopausal women. *Osteoporos Int*, *11*(1), 68-75.
- Ruetsche, A. G., Lippuner, K., Jaeger, P., & Casez, J. P. (2000). Differences between dual X-ray absorptiometry using pencil beam and fan beam modes and their determinants in vivo and in vitro. *J Clin Densitom*, *3*(2), 157-166.
- Sardinha, L. B., Lohman, T. G., Teixeira, P. J., Guedes, D. P., & Going, S. B. (1998). Comparison of air displacement plethysmography with dual-energy X-ray absorptiometry and 3 field methods for estimating body composition in middle-aged men. *Am J Clin Nutr*, *68*(4), 786-793.
- Silva, A. M., Minderico, C. S., Teixeira, P. J., Pietrobelli, A., & Sardinha, L. B. (2006). Body fat measurement in adolescent athletes: multicompartiment molecular model comparison. *Eur J Clin Nutr*, *60*(8), 955-964.
- Slaughter, M. H., Lohman, T. G., Boileau, R. A., Horswill, C. A., Stillman, R. J., Van Loan, M. D., & Bembien, D. A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol*, *60*(5), 709-723.
- Stewart, A. D, Hannan, W. J. (2000). Prediction of fat and fat free mass in male athletes using dual X-ray absorptiometry as the reference method. *J Sports Sci*. *2000*, *18*(4), 263-274.
- Svendsen, O. L., Haarbo, J., Hassager, C., & Christiansen, C. (1993a). Accuracy of measurements of total-body soft-tissue composition by dual energy X-ray absorptiometry in vivo. *Basic Life Sci*, *60*, 381-383.
- Svendsen, O. L., Harbo, J., Hassager, C., Christiansen, C. (1993b). Accuracy of measurements of total-body soft-tissue composition by dual energy x-ray absorptiometry in vivo. In K. H. Ellis, J. D. Eastman (Eds.), *Human Body Composition* (pp. 381-383). New York: Plenum Press.
- Svendsen, O. L., Hassager, C., Bergmann, I., & Christiansen, C. (1993c). Measurement of abdominal and intra-abdominal fat in postmenopausal women by dual energy X-ray absorptiometry and anthropometry: comparison with computerized tomography. *Int J Obes Relat Metab Disord*, *17*(1), 45-51.
- Tavares, O. M., Valente-Dos-Santos, J., Duarte, J. P., Povoas, S. C., Gobbo, L. A., Fernandes, R. A., . . . Coelho-e-Silva, M. J. (2016). Concurrent agreement between an anthropometric model to predict thigh volume and dual-energy X-Ray absorptiometry assessment in female volleyball players aged 14-18 years. *BMC Pediatr*, *16*(1), 190.

- Tothill, P., Hannan, W. J. (2000). Comparisons between Hologic QDR 1000W, QDR4500A, and Lunar Expert dual-energy X-ray absorptiometry scans used for measuring total body bone and soft tissue. *Ann N Y Acad Sci*, 904, 63-71.
- Valente-dos-Santos, J., Sherar, L., Coelho, E. S. M. J., Pereira, J. R., Vaz, V., Cupido-Dos-Santos, A., . . . Malina, R. M. (2013). Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey players under 17 years old. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(4), 390-395.
- Wells, J. C., & Fewtrell, M. S. (2006). Measuring body composition. *Arch Dis Child*, 91(7), 612-617.

3.2 Estudo 2

Artigo Original

CONCORDÂNCIA ENTRE UM MODELO ANTROPOMÉTRICO PARA PREDIZER O VOLUME APENDICULAR DA COXA E A ABSORCIOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA EM ATLETAS FEMININOS COM IDADES ENTRE OS 14-18 ANOS

Original Study

CONCURRENT AGREEMENT BETWEEN AN ANTHROPOMETRIC MODEL TO PREDICT THIGH VOLUME AND DUAL-ENERGY X-RAY ABSORPTIOMETRY ASSESSMENT IN FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS AGED 14-18 YEARS

ÓSCAR M. TAVARES^{1,2}, JOÃO VALENTE-DOS-SANTOS^{2,3}, JOÃO P. DUARTE², SUSANA C. PÓVOAS^{4,5}, LUÍS A. GOBBO⁶, RÓMULO A. FERNANDES⁶, DANIEL A. MARINHO⁷, JOSÉ M. CASANOVA⁸, LAUREN B. SHERAR⁹, DANIEL COURTEIX^{9,10,11}, MANUEL J. COELHO-E-SILVA^{2*}

¹Department of Medical Imaging and Radiation Therapy, School of Health and Technology, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

²CIDAF (UID/DTP/04213/2016), Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

³Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University of Humanities and Technologies, Lisbon, Portugal

⁴Research Centre in Sport and Physical Activity, Maia Institute of Higher Education, Maia, Portugal

⁵Research Centre in Sports, Health and Human Development, University of Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

⁶Exercise and Immunometabolism Research Group, Department of Physical Education, Paulista State University, Presidente Prudente, São Paulo, Brazil

⁷Department of Sport Sciences, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal

⁸Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁹Laboratory of Metabolic Adaptations to Exercise in Physiological and Pathological Conditions, Clermont Auvergne University, Blaise Pascal University, Clermont-Ferrand, France

¹⁰School of Exercise Science, Faculty of Health, Australian Catholic University, Melbourne, Victoria, Australia

¹¹Research Centre in Human Nutrition, Auvergne, Clermont-Ferrand, France

RESUMO

Métodos simples e precisos para estimar o volume muscular da coxa são frequentemente utilizados para avaliar o efeito do tamanho corporal na performance desportiva. O presente estudo tem como objetivo avaliar a validade do volume da coxa (TV) estimado através de antropometria utilizando como método de referência a absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) em atletas adolescentes femininas de voleibol. A composição corporal foi avaliada através da metodologia DXA (Lunar DPX NT/Pro/MD+/Duo/Bravo) numa amostra constituída por 42 atletas portuguesas de voleibol feminino com idades entre os 14-18 anos ($165,2 \pm 0,9$ cm; $61,1 \pm 1,4$ kg). O volume total da coxa foi estimado através do DXA (TV-DXA) e através da equação de Jones & Pearson (TV-ANTH). A concordância entre protocolos foi estimada através da regressão de Deming. A análise considerou ainda uma calibração da abordagem antropométrica. A equação que melhor predisse o TV-DXA foi: $-0.899 + 0.876 \times \log_{10}(\text{massa corporal}) + 0.113 \times \log_{10}(\text{TV-ANTH})$. O novo modelo (NM) foi validado através da soma dos quadrados (PRESS) dos resíduos preditos ($R^2_{\text{PRESS}}=0,838$). A correlação entre o volume da coxa estimado e o novo modelo (TV-DXA e NM) foi de 0,934 (95% IC: 0,880-0,964, $S_{y \cdot x}=0,325$ L). O volume total da coxa (TV) estimado pela DXA foi melhor predito através da adição da massa corporal a partir da equação de Jones & Pearson.

PALAVRAS-CHAVE:

atleta adolescente feminina, composição corporal, regressão Deming, resíduos preditos da soma de quadrados

Abstract

Simple and accurate methods to estimate thigh muscle volume are often used in attempts to partition out the influence of body size on performance outputs. The current study aimed to examine the validity of thigh volume (TV) estimated by anthropometry in late adolescent female volleyball players, using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) as the reference method. Whole-body composition was assessed with a Lunar DPX NT/Pro/MD+/Duo/Bravo scanner in a cross-sectional sample of 42 Portuguese female volleyball players aged 14-18 years (165.2 ± 0.9 cm; 61.1 ± 1.4 kg). Total TV was estimated with DXA (TV-DXA) and with the equation of Jones & Pearson (TV-ANTH). Agreement between protocols was examined using Deming regression. The analysis also considered a calibration of the anthropometric approach. The equation that best predicted TV-DXA was: $-0.899 + 0.876 \times \log_{10}(\text{body mass}) + 0.113 \times \log_{10}(\text{TV-ANTH})$. The new model (NM) was then internally validated using the predicted residual sum of squares (PRESS) method ($R^2_{\text{PRESS}}=0.838$). Correlation between estimates of TV (DXA and NM) was 0.934 (95%CI: 0.880-0.964, $S_{y \cdot x}=0.325$ L). Total TV estimated by DXA was best predicted by adding body mass to TV estimated with the equation of Jones & Pearson.

KEYWORDS:

adolescent female athletes, body composition, Deming regression, Predicted residuals sum of squares

Introdução

A literatura hierarquiza a estrutura humana desde a célula, ao tecido, órgãos, sistemas e por fim o organismo como um todo (Wang, Ma, Pierson, & Heymsfield, 1993; Eston, Hawes, Martin & Reilly, 2009). Consequentemente, a composição corporal deve ter em conta diferentes níveis que variam na natureza dos constituintes. O nível celular é limitado e de interesse específico, não sendo por isso tido em conta na avaliação da composição corporal. Por esta razão, a composição corporal é caracterizada ao nível químico e anatómico, como sugerido por Martin & Drinkwater (1991).

A quantidade absoluta, percentagem e distribuição da massa gorda permanecem como ponto central na pesquisa da composição corporal, em parte, devido à relação negativa da componente gorda com a saúde. No contexto de muitos desportos, a mudança da componente muscular total e regional é um fator determinante no desempenho (Coelho-e-Silva, Figueiredo, Carvalho, & Malina, 2008; Carvalho et al., 2011) e a literatura (Quiterio et al., 2009) sugere que a estimativa da massa total e regional de músculo esquelético não recebeu a mesma atenção que a estimativa de massa gorda.

Foram propostos modelos baseados em tecidos para estimar a massa muscular total (Matiegka, 1921; Heymsfield et al., 1982; Martin, Spenst, Drinkwater, & Clarys, 1990; Lee et al., 2000; Kim et al., 2002; Kim et al., 2004; Kim et al., 2006). A massa muscular esquelética nos membros inferiores está bem correlacionada com uma variedade de medidas físicas na adolescência (Davies, Barnes, & Godfrey, 1972; Docherty & Gaul, 1991; Valente-dos-Santos et al., 2013). Estudos com crianças e adultos masculinos, demonstraram que as estimativas de massa muscular nos membros inferiores (Tolfrey et al., 2006) ou do volume muscular da coxa (Welsman, et al., 1997) são denominadores de escala alométrica superiores para repartir a influência do tamanho do corpo na absorção máxima de oxigénio em comparação com a massa corporal ou massa isenta de gordura (MIG).

A metodologia para determinar a composição corporal deve ser selecionada de acordo com os objetivos do estudo. Geralmente, cada metodologia de avaliação tem diferentes pressupostos (Heymsfield et al., 1982; Drinkwater, Martin, Ross, & Clarys, 1984; Martin et al., 1990; Eston et al., 2009), variando assim a sua utilização consoante a amostra: homens ou mulheres, população geral ou atletas, adultos ou crianças. As técnicas de imagiologia tradicionais, como a ressonância magnética de varrimento múltiplo (RM) e a tomografia axial computadorizada (TC), são consideradas “metodologias critério” na avaliação da composição corporal no tecido orgânico (Lee & Gallagher, 2008; Seabolt, Welch, & Silver, 2015). Os avanços na tecnologia da TC e nos seus algoritmos de reconstrução têm vindo a melhorar a qualidade da imagem e reduzindo a exposição à radiação (Prado & Heymsfield, 2014). No entanto, quando comparada com exposições de 2,5 mSv de ambientes naturais típicos, a dose efetiva de

radiação de uma TC de corpo inteiro é de aproximadamente 10 mSv (Seabolt et al., 2015). A RM não depende de radiações ionizantes e é um exame seguro em qualquer idade. As limitações do uso de RM em ambientes de pesquisa estão em grande parte relacionadas com o elevado custo e com os conhecimentos técnicos necessários para a análise e o efeito do movimento respiratório sobre a qualidade da imagem; portanto, a absorciometria de raio-X de dupla energia (DXA) é considerado o método mais conveniente e seguro para a avaliação da composição corporal. Esta metodologia possui uma exposição relativamente baixa à radiação ionizante (1 mSv por varrimento, (Albanese, Diessel, & Genant, 2003)). Ainda assim, é necessário considerar implicações práticas, tais como custo, operação, habilidades técnicas requeridas e cooperação do participante, sendo necessárias estratégias acessíveis, seguras e económicas.

A volumetria apendicular do membro inferior através do deslocamento de água oferece uma abordagem simples e a sua validação foi efectuada com recurso a seis fórmulas de cone truncado em adultos masculinos (n=32) e femininos (n=15) (Jones & Pearson, 1969). Os estudos que contemplam a validação do presente protocolo em atletas são ainda limitados a jogadores masculinos de rugby (Carvalho et al., 2012). Além disso, a circunferência média do braço foi o preditor mais fraco da massa esquelética corporal total numa amostra de cadáveres adultos masculinos, considerando a circunferência média da coxa como sendo o melhor preditor com um coeficiente de correlação de 0,94 (Martin et al., 1990). Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar a validade do volume de coxa (TV) estimada pela antropometria em relação às estimativas por DXA como método de referência em jogadoras femininas adolescentes de voleibol. A análise também considerou a calibração da abordagem antropométrica propostas por Jones e Pearson (1969) adicionando variáveis suplementares.

MÉTODOS

Amostra

O presente estudo contempla parte de um projeto de pesquisa de corte transversal realizado na região centro de Portugal. Os participantes foram recrutados voluntariamente de quatro clubes inseridos em competições distritais de três áreas urbanas (Aveiro, Coimbra e Leiria). Considerando o histórico educacional dos pais, como aproximação do estatuto socioeconómico (Machado-Rodrigues et al., 2011), todas as voleibolistas eram de nível médio-alto e estudantes de escolas básicas e secundárias. Foram recrutadas 54 adolescentes voleibolistas femininas no final da adolescência, com os seguintes critérios de inclusão: (i) idade cronológica >14,0 anos e <17,9 anos; (ii) ocorrência da menarca (com base em informação auto-reportada) >1 (amplitude:1,5-6,4 anos); (iii) ter os dados todos completos. A amostra final foi composta por 42 jogadoras de voleibol feminino, com idades entre os 14,0-17,9 anos de idade e de ascendência europeia caucasiana.

Procedimentos

A Comissão Científica da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra aprovou todos os procedimentos (CE/FCDEF-UC/00102014). Os participantes foram informados sobre os objetivos e metodologia do estudo e também que a participação seria voluntária, podendo desistir do estudo a qualquer momento. Os responsáveis legais assinaram o consentimento informado por escrito. Os treinadores e as atletas visitaram os laboratórios em grupos de 4-6 jogadores nas tardes de segunda a sexta-feira durante as duas semanas de férias da Páscoa de 2014 e 2015. Todas as medições foram feitas no mesmo dia e no final da tarde. A antropometria foi recolhida em condições padronizadas por um técnico único e altamente treinado, adotando procedimentos recomendados (Lohman, Roche, & Martorell, 1988). As avaliações DXA foram realizadas no Departamento de Imagiologia Médica e Radioterapia da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra. Um único técnico posicionou os participantes e realizou as digitalizações de acordo com o manual fornecido pelo fabricante. A idade cronológica foi calculada com aproximação decimal, subtraindo a data de nascimento à data das avaliações.

Prática desportiva

Os clubes estiveram envolvidos numa temporada competitiva de 9 meses (outubro a junho) organizada pela Federação Portuguesa de Voleibol. As jogadoras tiveram aproximadamente 3 treinos por semana (~90 min·sessão⁻¹) e um jogo, normalmente ao sábado. Os anos de prática desportiva formal foram obtidos através dos registos da Federação Portuguesa de Voleibol e confirmados nos clubes. O número de sessões de treino anual foi registado diariamente para cada jogadora, pelos treinadores principais dos respetivos clubes, utilizando formulários padrão. A ausência de sessões de treino associadas com lesão e/ou doença foi anotada e contabilizada nos cálculos finais.

Antropometria

Os clubes estiveram envolvidos numa temporada competitiva de 9 meses (outubro a junho)A estatura foi medida com a aproximação de 0,1 cm com um estadiómetro Harpenden (modelo 98,603, Holtain Ltd, Crosswell, UK) e a massa corporal foi medida com a precisão de 0,1 kg usando uma balança electrónica (Seca, modelo 770, Hamburgo, Alemanha). Duas pregas de gordura subcutânea (PGS) foram medidas na coxa direita utilizando um adipómetro Lange caliper (Beta Technology, Ann Arbor, MI, USA), nas regiões anterior e posterior, na linha da circunferência medial. Foram efetuadas três medições arredondadas ao 0,1 mm mais próximo, tendo sido a média retida para análise. A prega posterior não está prevista nos procedimentos padronizados supracitados, mas já foi adotada em estudos anteriores com crianças dos 10 aos

13 anos de ambos os sexos (Coelho-e-Silva et al., 2013; Valente-dos-Santos et al., 2014) e adolescentes masculinos jogadores de rugby (Carvalho et al., 2012).

Estimativa não invasiva do volume apendicular da coxa

O volume da coxa estimado pela antropometria (TV-ANTH) na perna direita foi determinado a partir de três circunferências (C_1 : sulco glúteo proximal; C_2 : circunferência maximal da coxa; C_3 : circunferência mínima supra-patelar) e dois comprimentos parciais (planos transversais consecutivos nos quais as circunferências foram medidas). A técnica fracionou o TV em duas porções, como dois cones truncados: o cone truncado 1 foi determinado a partir das circunferências medidas no sulco glúteo e na região maximal da coxa; o cone truncado 2 foi similarmente determinado utilizando a circunferência maximal e o plano transversal acima da patela. O volume de cada cone assumido foi calculado com base nos procedimentos propostos por Jones e Pearson (1969), com detalhes mais específicos utilizados anteriormente (Villaca et al., 2008). O volume total foi estimado a partir de uma equação derivada das seções de área proximal (A_1) e distal (A_2) que compuseram os cones truncados, em que L é o comprimento entre os dois planos transversais:

$$TV - ANTH = A_1 + A_2 + (A_1 \times A_2)^{0,5} \times \frac{L}{3} \quad (1)$$

As áreas A_1 e A_2 foram derivadas das circunferências da coxa:

$$A = \frac{C^2}{4 \times \pi} \quad (2)$$

Absorciometria de raios-X de dupla energia

Um densitômetro Lunar DPX-PRO/NT/MD+, com software *Lunar Encore* para *Windows* versão 13,6 (Lunar, Waltham, MA, EUA) foi utilizado para realizar os varrimentos de corpo inteiro. O procedimento também permite medir a composição segmentar: membros superior e inferior e tronco. Os participantes foram colocados em decúbito dorsal no leito do scanner de acordo com as recomendações do fabricante. Os membros inferiores foram seccionados da seguinte forma: todo o tecido distal a uma linha traçada perpendicular ao eixo do colo do fêmur com a borda pélvica. A calibração foi realizada anteriormente a cada teste utilizando o *phantom* padrão recomendando pelo fabricante. Na presente análise foi apenas considerada a composição da coxa direita seguindo as mesmas referências utilizadas na antropometria. Para obter o volume da coxa (TV-DXA), o tecido magro mole e o conteúdo mineral ósseo foram somados para obter a massa livre de gordura (FFM) em kg:

$$TV - DXA = \frac{FFM_{DXA}}{1,1} + \frac{FM_{DXA}}{0,9} \quad (3)$$

Os valores 1,1 g·mL⁻¹ e 0,9 g·mL⁻¹, representam a densidade média para FFM e massa gorda (FM), respectivamente (Visser et al., 1999).

Controlo da qualidade dos dados

Uma amostra independente de 20 adolescentes praticantes de vários desportos realizou duas sessões, teste re-teste, com diferença de uma semana. O erro técnico de medida (ETM) intra-observador foi calculado para todas as dimensões antropométricas (Malina, 1995). O ETM para a estatura e massa corporal foi de 0,32 cm e 0,21 kg, respetivamente. Os valores correspondentes para as PGS da região anterior e posterior da coxa foram de 0,91 mm. As circunferências apresentaram ETM de 0,84 cm para a circunferência proximal, 0,50 cm para a maximal da coxa e 0,50 cm para a supra-patelar. Já os comprimentos revelaram valores de 0,62 e 0,44 cm. Os erros obtidos podem ser favoravelmente comparados com os alcançados em vários levantamentos nos EUA, incluindo estudos com jovens atletas (Malina, 1995). A variação média entre massa corporal total absoluta medida e reconstruída com o software DXA foi de 0,9%. Com base no teste re-teste em 10 indivíduos, os coeficientes de variação para percentagem de gordura corporal e tecido magro mole foram de 1,6% e 0,8%, respectivamente.

Análise estatística

A estatística descritiva foi calculada para a totalidade da amostra (média, desvio padrão e amplitude). O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para verificar a normalidade das variáveis. Quando as suposições foram violadas, procedeu-se a transformações logarítmicas para reduzir a não uniformização do erro. A relação entre a massa corporal e as estimativas TV (TV-DXA e TV-ANTH) foi examinada através da correlação de Pearson. Subsequentemente, a regressão *stepwise* das variáveis logaritmicamente transformadas identificou que combinação de variáveis melhor predisse o TV usando TV-DXA como variável dependente. Anos de treino, número anual de sessões de treino, idade cronológica, idade de ocorrência da menarca, estatura, massa corporal, PGS anterior e posterior da coxa foram incluídos como potenciais variáveis independentes nos modelos de regressão para predizer o TV. Uma tolerância > 0,10 e um fator de inflação de variação <10 foram estabelecidos para evitar a colinearidade entre as variáveis explicativas (Slinker & Glantz, 1985). Os valores individuais do TV previsto foram calculados pela transformação dos valores gerados pelo novo modelo (TV-NM). O modelo de regressão foi então validado internamente com o método de predição de quadrados residuais (PRESS) (Holiday, Ballard, & McKeown, 1995). As diferenças entre o TV estimado pelo novo modelo preditivo e estimado por DXA foram avaliadas com o teste-t de *Student* de amostras emparelhadas. A concordância entre a estimativa antropométrica (abordagem prática) e o volume baseado na DXA foi avaliada usando regressões de Deming (Ricker, 1973). Este método

de regressão foi adotado uma vez que as variáveis x e y estão sujeitas a erros. Os gráficos de Bland-Altman (Bland & Altman, 1986) foram usados para examinar os limites de concordância entre TV-NM e TV-DXA. A significância estatística foi estabelecida para um valor de $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software IBM SPSS v.23 para Mac OS (SPSS Inc., IBM Company, NY, USA) e o software *GraphPad Prism* (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, USA).

RESULTADOS

As estatísticas descritivas para a experiência de treino, idade cronológica, idade estimada da menarca, estatura, massa corporal e PGS estão resumidas na Tabela 1. A massa corporal e a PGS posterior da coxa não se ajustaram aos pressupostos da distribuição normal; todas as variáveis não distribuídas normalmente foram logaritmicamente transformadas. Todas as jogadoras de voleibol atingiram a menarca (amplitude: 10,8 a 15,7 anos de idade) e competem no desporto organizada (2-8 anos). As médias e desvios padrão para estatura e massa corporal foram de $165,2 \pm 0,9$ cm e $61,1 \pm 1,4$ kg, respetivamente.

Tabela 1. Estatística descritiva para a amostra total de adolescentes do sexo feminino jogadoras de vôleibol (n=42) e teste de normalidade.

	Amplitude	Média		SE	SD	Kolmogorov-Smirnov	
		Valor	95% CI			Valor	P
Treino (anos)	2-8	4,21	3,57-4,85	0,32	2,85	0,113	0,200
Sessões de treino (#)	30-129	92,5	85-100	3,7	24,1	0,132	0,062
CA (anos)	14,00-18,76	16,76	16,40-17,12	0,18	1,16	0,091	0,200
Idade na menarca (anos)	10,75-15,67	12,72	12,44-13,00	0,14	17,12	0,097	0,200
CA - idade na menarca (anos)	1,46-6,39	4,04	3,67-4,41	0,18	4,41	0,088	0,200
Estatura (cm)	154,8-175,6	165,2	163,5-166,9	0,9	5,5	0,093	0,200
Massa corporal (kg)	47,5-88,1	61,1	58,2-64,0	1,4	9,4	0,145	0,026
PGS anterior da coxa (mm)	14-38	24,7	23,0-26,4	0,8	5,4	0,111	0,200
PGS posterior da coxa (mm)	17-42	26,3	24,2-28,5	1,1	6,9	0,148	0,022
TV-ANTH (L)	3,67-8,49	4,91	4,59-5,23	0,16	1,03	0,157	0,011
TV-DXA (L)	4,17-8,00	5,55	5,27-5,83	0,14	0,90	0,123	0,113

CA: idade cronológica; PGS: prega de gordura subcutânea; TV-ANTH: volume apendicular da coxa estimado por antropometria; TV-DXA: volume apendicular da coxa estimado por absorciometria de raios-X de dupla energia; CI: intervalo de confiança da média; SE: erro padrão da média; SD: desvio padrão.

As estimativas do volume da coxa derivadas da antropometria e da DXA estão resumidas na Tabela 2. As médias e desvios padrão para TV-ANTH e TV-DXA foram de $4,91 \pm 1,03$ L e $5,55 \pm 0,90$ L, respectivamente. O TV-ANTH não se encaixou nas hipóteses de distribuição normal e foi posteriormente logaritmicamente transformado .

Tabela 2. Volume apendicular da coxa estimado por antropometria e por absorciometria de raios-X de dupla energia em adolescentes do sexo feminino jogadoras de voleibol (n=42) e teste de normalidade.

	Amplitude	Média			SE	SD	Kolmogorov-Smirnov	
		Valor	95% CI				Valor	P
TV-ANTH (L)	3,67-8,49	4,91	4,59-5,23	0,16	1,03	0,157	0,011	
TV-DXA (L)	4,17-8,00	5,55	5,27-5,83	0,14	0,90	0,123	0,113	

TV-ANTH: volume apendicular da coxa estimado por antropometria; TV-DXA: volume apendicular da coxa estimado por absorciometria de raios-X de dupla energia; CI: intervalo de confiança da média; SE: erro padrão da média; SD: desvio padrão.

As relações entre massa corporal e estimativas de TV (TV-ANTH e TV-DXA) estão ilustradas na Figura 1. Os coeficientes de correlação foram de 0,935 (95%CI: 0,882 a 0,965; 87,4% de variância no TV-DXA explicada pela massa corporal) e de 0,815 (95%CI: 0,680 a 0,897; 66,5% da variância no TV-ANTH explicada pela massa corporal). As avaliações concorrentes de TV (TV-ANTH e TV-DXA) apresentaram uma grande correlação (0,814; 95%CI: 0,678 a 0,896) com 66,37% de variância sobreposta (Figura 2). O coeficiente de declive foi de 0,850 (95%CI: 0,656 a 1,04) e não foi considerado diferente da unidade. A intercepção foi de 1,620 (0,408 a 2,350) e não foi significativamente diferente de zero. Um coeficiente de declive diferente de zero reflete um erro proporcional, enquanto um erro sistemático corresponde a uma intercepção diferente de zero (Ricker, 1973; Snee, 1977; Jackson, Pollock, & Ward, 1980).

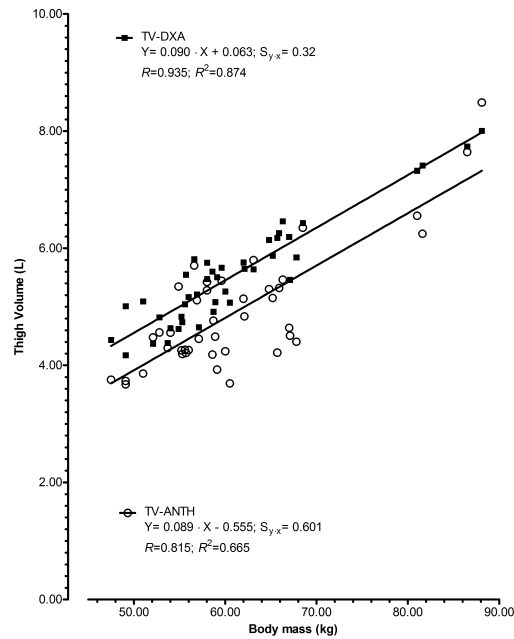


Figura 1. Regressões entre a massa corporal, o volume apendicular da coxa estimado por antropometria (TV-ANTH) e o volume apendicular da coxa estimado por absorciometria de raios-X de dupla energia (TV-DXA) em jogadoras femininas de voleibol com idades compreendidas 14-18 (n=42). Os valores do erro padrão de estimado ($S_{y \cdot x}$), correlação (R) e coeficiente de determinação (R^2) também são apresentados.

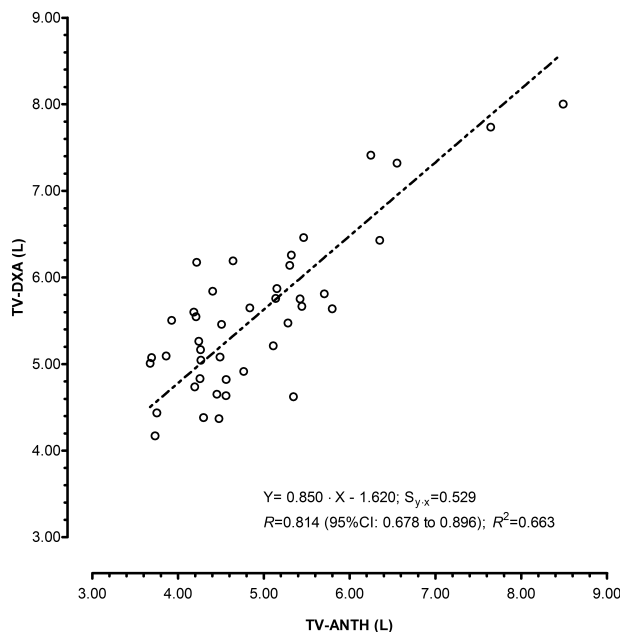


Figura 2. Regressão *Deming* entre o volume apendicular da coxa estimado por antropometria (TV-ANTH) e o volume apendicular da coxa estimado por absorciometria de raios-X de dupla energia (TV-DXA) em jogadoras femininas de voleibol com idades compreendidas 14-18 (n=42).

O modelo de regressão alométrica para a predição de TV está representado na Tabela 3. A correlação entre o novo modelo (NM), incluindo \log_{10} (massa corporal), \log_{10} (TV-ANTH) com o TV-DXA foi quase perfeita ($R=0,922$; 85,1% de variação de sobreposição). A equação de predição

foi a seguinte:

$$\text{TV-NM} = -0.899 + 0.876 \times \log_{10}(\text{body mass}) + 0.113 \times \log_{10}(\text{TV-ANTH}) \quad (4)$$

O novo modelo foi validado pelo método PRESS, conforme apresentado na Tabela 3. O R^2 (0,838) foi superior ao R^2 apresentado na Figura 2 (0,663) e o SEE na Tabela 3 foi baixo (0,027), o que enfatiza a precisão do modelo.

Tabela 3. Modelo de regressão para obter estimativas transformadas logaritmicamente do volume da coxa em adolescentes femininas jogadores de voleibol e análise interna de validação cruzada para o novo modelo usando PRESS.

X_i	Intercepção e preditores						Sumário do modelo			PRESS		
	β	SEE	P	<i>r-parcial</i>	VIF	1/VIF	R	SEE	R^2	R_{adj}^2	R^2	SEE
Intercepção	-0,899	0,153	<0,001				0,922	0,027	0,851	0,843	0,838	0,027
\log_{10} (massa corporal)	0,876	0,108	<0,001	0,810								
\log_{10} (TV-ANTH)	0,113	0,081	0,172	0,138	0,386	2,589						

TV-ANTH: volume apendicular da coxa estimado por antropometria; β : beta estandardizado; SEE: erro padrão estimado; *r* e R: correlação; VIF: fator de inflação de variação; 1/VIF: tolerância; R^2 : coeficiente de determinação; R_{adj}^2 : coeficiente de determinação ajustado.

A análise de regressão de *Deming* determinou uma correlação quase perfeita entre o TV-DXA e o TV-NM: $R=0,934$ e um $S_{y \cdot x}=0,325$ (Figura 3A.). Como reportado na Figura 3A, a interceptação (-0,273) e o declive (1,050) da equação não diferem significativamente da linha de identidade (ou seja, inclinação=1; y - interceptação=0 quando x=0). Por inferência, a possibilidade de viés sistemático ou proporcional foi rejeitada. As diferenças de medida (erro) em relação à magnitude do TV foram homogêneas; a correlação entre as diferenças absolutas e a média das diferenças concorrentes foi de 0,128 (95%CI: -0,183 a +0,416; Figura 3B.) e não foram observadas diferenças médias significativas entre os valores previstos e medidos (Tabela 4).

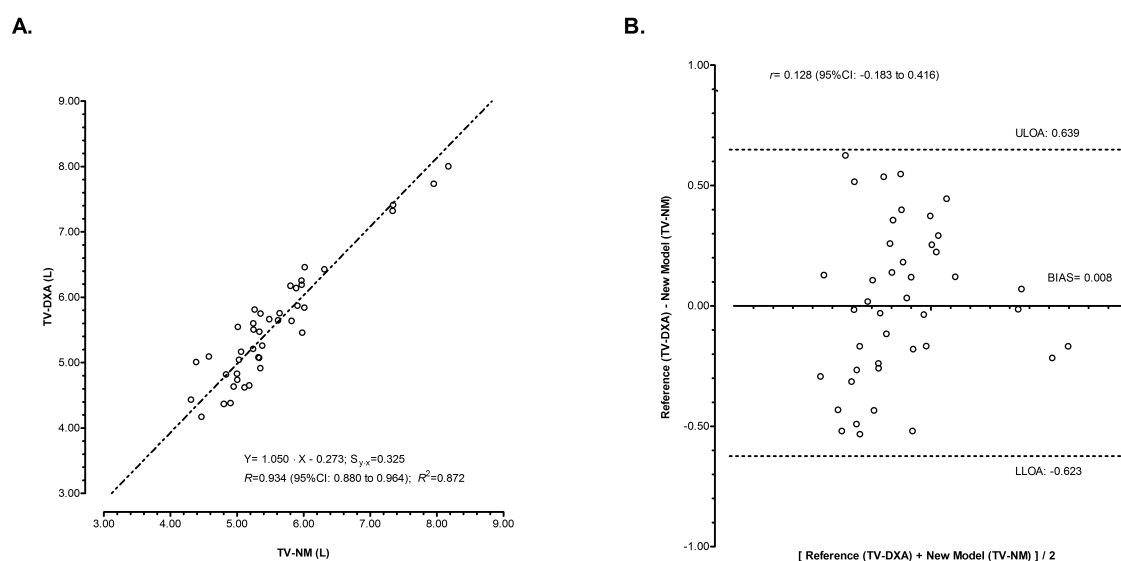


Figura 3. Regressão linear de produto mínimo entre estimativas do volume da coxa e relação entre os resíduos e a média das estimativas concorrentes em jogadoras de voleibol do sexo feminino com idade entre 14 e 18 anos (n=42).

Estimativas do volume da coxa pelo novo modelo baseado na antropometria (TV-NM) e pela absorciometria de raios-X de dupla energia (TV-DXA, painel A). Diferenças entre o novo modelo (TV-NM) e a referência (TV-DXA, painel B). O erro padrão de estimação ($S_{y \cdot x}$), correlação (R e r), coeficiente de determinação (R^2), limites superiores de concordância (ULOA) e limites inferiores de concordância (LLOA).

Tabela 4. Estimativas do volume apendicular da coxa pelo novo modelo baseado na antropometria e na absorciometria de raios-X de dupla energia em adolescentes do sexo feminino jogadoras de voleibol (n=42), diferenças médias entre os métodos e teste-t emparelhado.

	Métodos				Diferenças			Teste-t emparelhado	
	TV-DXA		TV-NM		Média	95%CI	SD	$t_{(df=41)}$	P
Volume apendicular da coxa (L)	5,545	0,858	5,553	0,899	-0,899	-0,108-0,092	0,322	0,160	0,873

TV-DXA: volume apendicular da coxa estimado por absorciometria de raios-X de dupla energia; TV-NM: volume apendicular da coxa estimado pelo novo modelo; SD: desvio padrão; CI: intervalo de confiança.

DISCUSSÃO

O presente estudo desenvolveu e validou de forma cruzada uma equação antropométrica para estimar o TV com base nas avaliações DXA em adolescentes do sexo feminino jogadoras de voleibol. O TV estimado pela equação antropométrica (Jones & Pearson, 1969) com a adição da massa corporal entre os preditores aumentou a precisão das estimativas em relação às avaliações por DXA, que é considerada uma técnica não invasiva com dose mínima de radiação (1 mSv ou 1/100 de exposição equivalente à radiação de uma radiografia ao tórax). Os dados do presente estudo sugeriram que o TV tendeu a ser subestimado quando derivado de modelos antropométricos que combinam a soma de dois cones truncados em comparação com medidas derivadas de avaliações DXA, embora as estimativas concorrentes fossem altamente correlacionadas ($R=0,814$; 95%CI:0,678 a 0,896). Entre as limitações deste estudo está o facto de que a DXA assume densidade constante para todos os seus componentes (isto é, tecido de massa esquelética: $1,04 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$), o que significa que a variabilidade na densidade de massa óssea real pode introduzir um pequeno erro na massa óssea estimada (Snyder & Cook, 1975; Kim et al., 2002). Além disso, para a conversão dos valores de massa em volume, são utilizados valores de densidades constantes ($1,1 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ e $0,9 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$, para as densidades de FFM e FM, respectivamente). Sabe-se que as densidades reais podem variar de acordo com a idade, sexo e etnia (Lohman, 1986).

As fórmulas para a estimativa da massa óssea foram desenvolvidas e validadas de forma cruzada usando a ressonância magnética de corpo inteiro como método de referência num grande número amostral heterogéneo, incluindo adultos obesos e não obesos (Lee et al., 2000). Estes modelos foram baseados em variáveis antropométricas, assumindo que a massa esquelética do corpo inteiro é conceptualmente da forma de um cilindro, que as circunferências do membro corrigido de PGS fornecem uma medida das circunferências de tecido magro apendiculares correspondentes, que circunferências de tecido magro apendicular ao quadrado criam uma estimativa da área de tecido magro, e que o produto da soma das áreas de tecido magro apendicular estimado e altura fornecem uma medida da massa esquelética do corpo total. Embora a precisão destes modelos na predição da massa esquelética em adultos exista (Kim et al., 2004), ainda não há evidências da sua aplicabilidade em atletas jovens. No presente estudo, a diferença entre a massa de corpo inteiro calculada pela DXA e a calculada pela balança foi de 0,5 kg (<1%). A hidratação não foi controlada e acredita-se que, entre os adultos, uma subtração ou adição de 1kg no líquido extracelular resultaria em aproximadamente 0,6% de superestimação ou subestimação da massa de gordura corporal total usando DXA (Pietrobelli, Formica, Wang, & Heymsfield, 1996). O tecido magro mole apendicular determinado pela DXA foi validado contra TC (Wang et al., 1996; Visser et al., 1999). Esta técnica foi proposta como método de referência para avaliação do tecido magro mole apendicular (Lee et al., 2000; Kim et al., 2002; Kim et al., 2006). O método permite a

identificação de determinadas regiões de interesse e separa as massas em conteúdo mineral ósseo e dois compartimentos de tecido: tecido magro mole e tecido gordo (Shih et al., 2000).

O método dos quadrados mínimos ordinários é geralmente usado para obter o declive e a intercepção de dados linearmente relacionados. A técnica pressupõe que os valores do método comparativo não contêm erro (Martin, 2000). No entanto, o método dos quadrados mínimos ordinários pode não ser apropriado quando os valores de y e x são atendidos por erro aleatório. A regressão de produtos menores (isto é, a regressão de Deming), onde os erros aleatórios das variáveis dependentes e independentes são acomodados no modelo de regressão (Ludbrook, 1997; Carvalho et al., 2012; Valente-dos-Santos et al., 2014) é uma alternativa promissora.

A amostra de jogadoras de voleibol do presente estudo foi menor do que os 268 participantes utilizados num estudo anterior (Quiterio et al., 2009), no entanto é comparável ao estudo de jogadores de rugby com idade entre $19,9 \pm 2,2$ anos ($n=41$) (Carvalho et al., 2012). Uma proporção apropriada entre participantes e variáveis é considerada um aspecto relevante durante o uso de regressões múltiplas, e o recomendado é manter a proporção crítica maior do que 5:1 e preferencialmente 20:1 (Vincent, 2005). No presente estudo, a *baseline* foi de 5:1 com oito preditores candidatos. O modelo final foi baseado numa razão de 21:1 com dois preditores significativos obtidos de uma amostra de 42 voleibolistas. O método PRESS foi utilizado para evitar a divisão de dados (Holiday et al., 1995), é um método bem conhecido em que os dados completos da amostra são tipicamente divididos numa amostra ajustada e numa amostra de validação (Snee, 1977; Jackson et al., 1980). O termo PRESS corresponde a um acrónimo para a soma residual prevista dos quadrados. Depois de obter um modelo candidato usando análise de regressão linear múltipla, a técnica PRESS envolve diferentes equações de predição para obter resíduos. Resumidamente, cada caso é deixado de fora do modelo com a finalidade de calcular um resíduo mais independente. Um resíduo de PRESS para um determinado caso corresponde à diferença entre a resposta real do caso deixado de fora e a resposta estimada.

Um estudo anterior com adolescentes portugueses (Quiterio et al., 2009) foi o primeiro a desenvolver e validar de forma cruzada equações antropométricas para tecido magro mole apendicular baseado num instrumento DXA em atletas jovens. A massa corporal foi o preditor mais forte de tecido magro mole apendicular medido por DXA, explicando 83% da variação, enquanto o sexo e a estatura explicaram adicionalmente 5 e 3% da variância, respectivamente. A idade cronológica apenas adicionou 0,4% da variabilidade interindividual explicada. Entre 65 jovens masculinos e femininos abaixo do estágio 5 de maturação sexual, foi demonstrado que a maturação sexual não contribuiu na predição de músculo esquelético após a inclusão do peso corporal (Kim et al., 2006). No entanto deve notar-se que a maturação sexual foi determinada pela combinação de estágios auto-reportados de desenvolvimento mamário e de pilosidade

pública, o que poderá ter levado a erros de classificação entre os sexos (Malina, Bar-Or, & Bouchard, 2004). Acredita-se que o tecido adiposo e o tecido magro mole apendiculares possam ser afetados diferentemente pela variabilidade interindividual no tempo e duração da maturação biológica (Malina et al., 2004), uma vez que, em média os jovens masculinos aumentam linearmente a massa muscular enquanto as jovens femininas atingem um platô na massa muscular e acumulam maiores quantidades de massa gorda, particularmente nas extremidades. Um estudo recente (Valente-dos-Santos, 2014) usou um indicador não-invasivo de maturação, percentagem de estatura matura predita (%PMS) obtida no momento da observação. Os resultados indicaram uma contribuição significativa e positiva das diferenças individuais na %PMS para a predição de tecido magro mole nos membros inferiores em jovens masculinos. Estudos futuros são necessários para testar a adequação de modelos específicos de sexo, ao mesmo tempo em que se usa uma avaliação válida da maturação biológica.

Os procedimentos de remodelação alométrica do presente estudo não identificaram contribuição significativa de anos de treino, número anual de sessões de treino, idade cronológica, idade da menarca, estatura ou PGS posterior para predizer a TV. O número anual de sessões de treino provavelmente não é um indicador suficientemente sensível. Há uma necessidade de melhorar a quantificação dos detalhes de “tempo de treino” e também é importante documentar a intensidade das atividades específicas. Analogamente a estudos anteriores (Quiterio et al., 2009; Carvalho et al., 2012; Coelho-e-Silva et al., 2013; Valente-dos-Santos, et al., 2014), a massa corporal ($R=0,810$) explicou a maior parte da variância do TV-NM proposta no presente estudo para adolescentes do sexo feminino jogadoras de voleibol. O TV estimado usando a equação antropométrica (Jones & Pearson, 1969) adicionou pouca variância explicada ($R=0,138$). Outras abordagens para estimar o volume apendicular sem a inclusão do TV-ANTH devem ser exploradas.

Embora os avanços na tecnologia permitam avaliações precisas da massa de tecido segmentar *in vivo*, estes estão limitados em grande parte ao cenário clínico ou laboratorial e ao seu custo elevado associado. Há um interesse por métodos não invasivos e de ambiente não-laboratorial. A literatura disponível carecia de modelos não invasivos para estimar descritores de tamanho apendicular para atletas adolescentes do sexo feminino. Estudou-se anteriormente as estimativas do volume muscular ou apendicular da coxa (Tolfrey et al., 1985; Welsman et al., 1997; Valente-dos-Santos, et al., 2013), e estas estão altamente correlacionadas com uma variedade de medidas de avaliações fisiológicas. Além disso, demonstraram ser denominadores de escala alométrica mais válidos do que a massa corporal ou a FFM para predizer o pico de consumo de oxigênio em adolescentes (14,5-16,5 anos) jogadores de hóquei em patins (Valente-dos-Santos et al., 2013) e predição de resultados de esforços máximos de curta duração derivados do teste anaeróbico de Wingate em adolescentes (14,0-16,0 anos) jogadores masculinos de basquetebol (Carvalho et al., 2011). O presente estudo oferece uma equação que se compara favoravelmente com as relatadas na literatura para propostas semelhantes

(Quiterio et al., 2009; Carvalho et al., 2012; Coelho-e-Silva, et al., 2013; Valente-Santos, et al., 2014). A equação é também uma ferramenta analítica útil para a interpretação crítica da variação do TV dentro e entre os indivíduos.

Mesmo supondo que os segmentos do corpo humano sejam da forma de um cilindro, os resultados atuais sugerem que através do uso de cones geométricos truncados é possível obter um método aceitável e imparcial para prever com precisão o volume da coxa em jogadoras de voleibol do sexo feminino com idade entre 14 e 18 anos. Os pontos fortes do presente estudo incluem a análise da concordância entre o volume da coxa previsto por um novo modelo baseado em antropometria e estimado com DXA; que não indicou viés proporcional entre os métodos (ver Figura 2). Também, as conclusões do presente estudo emergiram cumulativamente da estatística PRESS combinada com a análise das diferenças de médias e do gráfico de diferenças individuais pelos resultados médios das medidas que definem os limites superior e inferior de concordância. Uma percentagem substancial da variância foi explicada pelo novo modelo preditivo ($R^2=0,872$) e a massa corporal e a adiposidade foram preditores adicionais relevantes. A investigação atual não deixa de ter limitações. O estudo limitou-se a analisar uma amostra transversal de 42 jogadoras de voleibol feminino portuguesas, sendo as equações de predição tendencialmente específicas da idade e da população. Estudos adicionais de validação são necessários para confirmar criticamente este modelo para adolescentes do sexo feminino de voleibol (por exemplo, adolescentes classificadas como avançadas maturacionalmente, jovens de outros grupos étnicos).

CONCLUSÕES

Em suma, um novo modelo derivado de variáveis antropométricas foi proposto para avaliar o TV de jovens jogadoras de voleibol no final da adolescência. A equação foi satisfatoriamente validada e cruzada, garantindo a sua aplicabilidade a amostras semelhantes. O modelo é baseado em procedimentos antropométricos propostos por Jones e Pearson (1969) com a adição de medidas simples de massa corporal. Esta equação possibilitará informações precisas, oferecendo uma alternativa prática para quantificar o TV em jogadoras de voleibol feminino.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o esforço dos participantes, dos pais e dos treinadores. A contribuição inicial do Filipe Simões (†2013) é lembrada. Os nossos agradecimentos são extensíveis à Alexandra Silva, Nuno Amado e Shirley Souza pelo contributo na recolha dos dados.

REFERÊNCIAS

- Albanese, C. V., Diessel, E., & Genant, H. K. (2003). Clinical applications of body composition measurements using DXA. *J Clin Densitom*, 6(2), 75-85.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1(8476), 307-310.
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M. J., Franco, S., Figueiredo, A. J., Tavares, O. M., Ferry, B., . . . Malina, R. M. (2012). Agreement between anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry assessments of lower-limb volumes and composition estimates in youth-club rugby athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*, 37(3), 463-471. doi: 10.1139/h2012-027
- Carvalho, H. M., Coelho, E. S. M. J., Figueiredo, A. J., Goncalves, C. E., Philippaerts, R. M., Castagna, C., & Malina, R. M. (2011). Predictors of maximal short-term power outputs in basketball players 14-16 years. *Eur J Appl Physiol*, 111(5), 789-796.
- Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Carvalho, H. M., Malina, R. M. (2008). Functional capacities and sport-specific skills of 14-to 15-year-old male basketball players: Size and maturity effects. *Eur J Sport Sci*, 8(5), 277-285.
- Coelho-e-Silva, M. J., Malina, R. M., Simoes, F., Valente-Dos-Santos, J., Martins, R. A., Vaz Ronque, E. R., . . . Sardinha, L. B. (2013). Determination of thigh volume in youth with anthropometry and DXA: agreement between estimates. *Eur J Sport Sci*, 13(5), 527-533. doi: 10.1080/17461391.2013.767945
- Davies, C. T., Barnes, C., & Godfrey, S. (1972). Body composition and maximal exercise performance in children. *Hum Biol*, 44(2), 195-214.
- Docherty, D., & Gaul, C. A. (1991). Relationship of body size, physique, and composition to physical performance in young boys and girls. *Int J Sports Med*, 12(6), 525-532.
- Drinkwater, D. T., Martin, A. D., Ross, W. D., Clarys, J. P. (1984) Validation by cadaver dissection of Matiegka's equations for the anthropometric estimation of anatomical body composition in adult humans. In J. A. Day (Eds.), *The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings: Perspectives in Kinanthropometry*. Illinois: Champaign.
- Eston, R., Hawes, M., Martin, A., Reilly, T. (2009). Human Body composition. In R. Eston, & T Reilly (Eds.), *Kinanthropometry: tests, procedures and data*. Oxon: Routledge.
- Heymsfield, S. B., McManus, C., Smith, J., Stevens, V., & Nixon, D. W. (1982). Anthropometric measurement of muscle mass: revised equations for calculating bone-free arm muscle area. *Am J Clin Nutr*, 36(4), 680-690.
- Holiday, D. B., Ballard, J. E., & McKeown, B. C. (1995). PRESS-related statistics: regression tools for cross-validation and case diagnostics. *Med Sci Sports Exerc*, 27(4), 612-620.
- Jackson, A. S., Pollock, M. L., & Ward, A. (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*, 12(3), 175-181.
- Jones, P. R., & Pearson, J. (1969). Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *J Physiol*, 204(2), 63-66.

- Kim, J., Heshka, S., Gallagher, D., Kotler, D. P., Mayer, L., Albu, J., . . . Heymsfield, S. B. (2004). Intermuscular adipose tissue-free skeletal muscle mass: estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in adults. *J Appl Physiol*, *97*(2), 655-660.
- Kim, J., Shen, W., Gallagher, D., Jones, A., Jr., Wang, Z., Wang, J., . . . Heymsfield, S. B. (2006). Total-body skeletal muscle mass: estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in children and adolescents. *Am J Clin Nutr*, *84*(5), 1014-1020.
- Kim, J., Wang, Z., Heymsfield, S. B., Baumgartner, R. N., & Gallagher, D. (2002). Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *Am J Clin Nutr*, *76*(2), 378-383.
- Lee, R. C., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I., & Heymsfield, S. B. (2000). Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr*, *72*(3), 796-803.
- Lee, S. Y., & Gallagher, D. (2008). Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, *11*(5), 566-572. doi: 10.1097/MCO.0b013e32830b5f23
- Lohman, T. G. (1986). Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exerc Sport Sci Rev*, *14*, 325-357.
- Lohman, T., Roche, A., & Martorell, R. (1988). Anthropometric standardization reference manual. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Ludbrook, J. (1997). Comparing methods of measurements. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, *24*(2), 193-203.
- Machado-Rodrigues, A. M., Coelho-e-Silva, M. J., Mota, J., Cumming, S. P., Riddoch, C., & Malina, R. M. (2011). Correlates of aerobic fitness in urban and rural Portuguese adolescents. *Ann Hum Biol*, *38*(4), 479-484. doi: 10.3109/03014460.2011.554865
- Malina, R. M., Bar-Or, O., Bouchard, C. (2004) Growth maturation and physical activity. Illinois: Human Kinetics.
- Malina, R. M. (1995). Anthropometry. In P. J. Maud, & C. Foster (Eds), *Physiological assessment of human fitness*. Illinois: Human Kinetics.
- Martin, A. D., & Drinkwater, D. T. (1991). Variability in the measures of body fat. Assumptions or technique? *Sports Med*, *11*(5), 277-288.
- Martin, A. D., Spenst, L. F., Drinkwater, D. T., & Clarys, J. P. (1990). Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sports Exerc*, *22*(5), 729-733.
- Martin, R. F. (2000). General deming regression for estimating systematic bias and its confidence interval in method-comparison studies. *Clin Chem*, *46*(1), 100-104.
- Matiegka, J. (1921). The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol*, *4*, 223-230.
- Pietrobelli, A., Formica, C., Wang, Z., & Heymsfield, S. B. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am J Physiol*, *271*(6 Pt 1), E941-951. doi: 10.1152/ajpendo.1996.271.6.E941
- Prado, C. M., & Heymsfield, S. B. (2014). Lean tissue imaging: a new era for nutritional assessment and intervention. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, *38*(8), 940-953. doi: 10.1177/0148607114550189

- Quiterio, A. L., Carnero, E. A., Silva, A. M., Bright, B. C., & Sardinha, L. B. (2009). Anthropometric models to predict appendicular lean soft tissue in adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 41(4), 828-836.
- Ricker, W.E. (1973). Linear regressions in fishery research. *J Fish Res Board Can*, 30, 409-434.
- Seabolt, L. A., Welch, E. B., & Silver, H. J. (2015). Imaging methods for analyzing body composition in human obesity and cardiometabolic disease. *Ann N Y Acad Sci*, 1353, 41-59. doi: 10.1111/nyas.12842
- Shih, R., Wang, Z., Heo, M., Wang, W., & Heymsfield, S. B. (2000). Lower limb skeletal muscle mass: development of dual-energy X-ray absorptiometry prediction model. *J Appl Physiol* (1985), 89(4), 1380-1386. doi: 10.1152/jappl.2000.89.4.1380
- Slinker, B. K., & Glantz, S. A. (1985). Multiple regression for physiological data analysis: the problem of multicollinearity. *Am J Physiol*, 249, 1-12. doi: 10.1152/ajpregu.1985.249.1.R1
- Snee, R. D. (1977). Validation of regression models: methods and examples. *Techometrics*, 19, 415-428.
- Snyder, W. S., Cook, M. J., Nasset, E. S., Karhansen, L. R., Howells, G. P., Tipton, I. H. (1975) Report of the task group on reference men. Oxford: Pergamon Press.
- Tolfrey, K., Barker, A., Thom, J. M., Morse, C. I., Narici, M. V., & Batterham, A. M. (2006). Scaling of maximal oxygen uptake by lower leg muscle volume in boys and men. *J Appl Physiol*, 100(6), 1851-1856.
- Valente-dos-Santos, J., Coelho-e-Silva, M. J., Machado-Rodrigues, A. M., Elferink-Gemser, M. T., Malina, R. M., Petroski, E. L., . . . Sardinha, L. B. (2014). Prediction equation for lower limbs lean soft tissue in circumpubertal boys using anthropometry and biological maturation. *PLoS One*, 9(9), e107219. doi: 10.1371/journal.pone.0107219
- Valente-dos-Santos, J., Sherar, L., Coelho-e-Silva, M. J., Pereira, J. R., Vaz, V., Cupido-Dos-Santos, A., . . . Malina, R. M. (2013). Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey players under 17 years old. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(4), 390-395.
- Villaca, D. S., Lerario, M. C., dal Corso, S., Napolis, L., de Albuquerque, A. L., Lazaretti-Castro, M., . . . Neder, J. A. (2008). Clinical value of anthropometric estimates of leg lean volume in nutritionally depleted and non-depleted patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Br J Nutr*, 100(2), 380-386. doi: 10.1017/S000711450788639
- Vincent WJ. Statistics in Kinesiology. Champaign, Illinois: Human Kinetics; 2005.
- Visser, M., Fuerst, T., Lang, T., Salamone, L., & Harris, T. B. (1999). Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. Health, Aging, and Body Composition Study--Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Body Composition Working Group. *J Appl Physiol* (1985), 87(4), 1513-1520. doi: 10.1152/jappl.1999.87.4.1513
- Wang, Z. M., Ma, R., Pierson, R. N., Jr., & Heymsfield, S. B. (1993). Five-level model: reconstruction of body weight at atomic, molecular, cellular, and tissue-system levels from neutron activation analysis. *Basic Life Sci*, 60, 125-128.

- Wang, Z. M., Visser, M., Ma, R., Baumgartner, R. N., Kotler, D., Gallagher, D., & Heymsfield, S. B. (1996). Skeletal muscle mass: evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J Appl Physiol* (1985), 80(3), 824-831. doi: 10.1152/jappl.1996.80.3.824
- Welsman, J. R., Armstrong, N., Kirby, B. J., Winsley, R. J., Parsons, G., & Sharpe, P. (1997). Exercise performance and magnetic resonance imaging-determined thigh muscle volume in children. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76(1), 92-97

3.3 Estudo 3

Artigo Original

TECIDO ÓSSEO, LÍPIDOS SANGUÍNEOS E PERFIS INFLAMATÓRIOS EM JOVENS ATLETAS ADOLESCENTES PRATICANTES DE DESPORTOS DE IMPACTO MECÂNICO CONTRASTANTES

Original Study

BONE TISSUE, BLOOD LIPIDS AND INFLAMMATORY PROFILES IN ADOLESCENT MALE ATHLETES FROM SPORTS CONTRASTING IN MECHANICAL LOAD

RICARDO R. AGOSTINETE^{1,2}, JOÃO P. DUARTE³, JOÃO VALENTE-DOS-SANTOS^{3,4}, MANUEL J. COELHO-E-SILVA^{3*}, ÓSCAR M. TAVARES⁵, JORGE M. CONDE⁶, CARLOS A. FONTES-RIBEIRO^{7,8}, GIANCARLO CONDELLO⁹, LAURA CAPRANICA⁹, SUZIANE U. CAIRES^{1,2}, RÔMULO A. FERNANDES^{1,2,10}

¹Department of Physical Education, Laboratory of Investigation in Exercise (LIVE), São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Brazil

²Department of Physical Therapy, Post-Graduation Program in Physical Therapy, São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Brazil

³CIDAF (UID/DTP/04213/2016), Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁴Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University of Humanities and Technologies, Lisbon, Portugal

⁵Department of Medical Imaging and Radiation Therapy, School of Health and Technology, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁶Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁷IBILI, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁸Institute of Pharmacology and Experimental Therapeutics, Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁹Department of Movement, Human and Health Sciences, University of Rome Foro Italico, Rome, Italy

¹⁰Post-Graduation Program in Kinesiology, Institute of Biosciences, São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Brazil

RESUMO

Explorar o efeito de desportos com impacto e sem impacto é particularmente relevante para entender a interação entre a saúde do músculo esquelético e do osso durante o crescimento. O presente estudo teve como objetivo comparar a composição óssea e dos tecidos moles total e de regiões particulares de interesse, paralelamente às medidas dos perfis lipídico e inflamatório sanguíneo entre atletas adolescentes e não atletas. Antropometria, maturação biológica, absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA), carga de treino e perfil lipídico e inflamatório foram avaliados numa amostra transversal de 53 adolescentes do sexo masculino (20 não atletas, 15 nadadores e 18 jogadores de basquetebol) com idades de 12-19 anos. Foram realizadas múltiplas comparações entre eles usando a análise de variância, covariância e efeitos de magnitude (ES-r e *d* de Cohen). As comparações entre o grupo de controlo e atletas revelou diferenças interpretadas como muito grandes para a proteína C reativa de alta sensibilidade (*d*: 2,17-2,92). As diferenças entre as modalidades desportivas, em relação aos tecidos medidos através da metodologia DXA, foram moderadas para todas as variáveis, exceto para o tecido adiposo (*d*=0,4). Foi possível determinar pequenas diferenças (ES-r=0,17) entre o grupo de controlo e os nadadores para a área óssea nos membros inferiores (13,0%). Paralelamente, entre nadadores e basquetebolistas, o gradiente das diferenças foi pequeno (ES-r: 0,15-0,23) para o conteúdo mineral ósseo (24,6%), área óssea (11,3%) e densidade mineral óssea (11,1%) nos membros inferiores, favorecendo os jogadores de basquetebol. Estas observações destacam que os atletas jovens do sexo masculino apresentaram melhores perfis sanguíneos e de tecidos moles em relação ao grupo de controlo. Além disso, as diferenças específicas entre desportos surgiram nos membros inferiores, uma vez que os jogadores de basquetebol apresentaram maior conteúdo mineral ósseo, área e densidade do que os nadadores.

PALAVRAS-CHAVE:

desporto de jovens; exercício; conteúdo mineral; DXA; composição corporal.

ABSTRACT

Exploring the effect of non-impact and impact sports is particularly relevant to understand the interaction between skeletal muscle and bone health during growth. The current study aimed to compare total and regional bone and soft-tissue composition, in parallel to measurements of blood lipid and inflammatory profiles between adolescent athletes and non-athletes. Anthropometry, biological maturity, dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans, training load and lipid and inflammatory profiles were assessed in a cross-sectional sample of 53 male adolescents (20 non-athletes, 15 swimmers and 18 basketball players) aged 12-19 years. Multiple comparisons between groups were performed using analysis of variance, covariance and magnitude effects (*ES-r* and Cohen's *d*). The comparisons of controls with other groups were very large for high-sensitivity C-reactive protein (*d* range: 2.17-2.92). The differences between sports disciplines, regarding tissue outputs obtained from DXA scan were moderate for all variables except fat tissue (*d*=0.4). It was possible to determine small differences (*ES-r*=0.17) between controls and swimmers for bone area at the lower limbs (13.0%). In parallel, between swimmers and basketball players, the gradient of the differences was small (*ES-r* range: 0.15-0.23) for bone mineral content (24.6%), bone area (11.3%) and bone mineral density (11.1%) at the lower limbs, favoring the basketball players. These observations highlight that youth male athletes presented better blood and soft tissues profiles with respect to controls. Furthermore, sport-specific differences emerged for the lower limbs, with basketball players presenting higher bone mineral content, area and density than swimmers.

KEYWORDS:

youth sports, exercise, bone mineral, DXA, body composition.

INTRODUÇÃO

A participação regular no desporto é uma característica do quotidiano nos jovens. A evidência baseada em registos diários de três dias em meninos e meninas de 12 a 14 anos (Katzmarzyk & Malina, 1998), acelerometria em meninos de 6 a 12 anos (Wickel & Eisenmann, 2007), questionários em meninos e meninas dos EUA de 11 a 12 anos (Trost et al., 1997) e meninas de 13 a 18 anos (Pfeiffer, 2006), e questionários em gémeos finlandeses de 16 a 18 anos (Aarnio, Winter, Peltonen, Kujala, & Kaprio, 2002) indicam níveis mais elevados de participação desportiva em comparação com os não participantes. De facto, o envolvimento regular no exercício físico (i.e., 60 minutos de atividade física de intensidade moderada a vigorosa diariamente) é recomendado para os jovens desenvolverem tecidos músculo-esqueléticos, sistema cardiovascular e manter parâmetros sanguíneos e massa corporal saudáveis (WHO, 2004). Um estudo recente comparou os efeitos de um programa de futebol de 6 meses e um programa tradicional de atividade física nas mudanças na composição corporal, metabolismo cardiovascular, marcadores inflamatórios e de stress oxidativo, em paralelo às medidas de aptidão cardiorrespiratória em meninos obesos (Seabra et al., 2016). Após a intervenção, ambos os grupos apresentaram significativamente menor tecido adiposo relativo e menor circunferência abdominal, colesterol total e melhor aptidão cardiorrespiratória. Os resultados também sugeriram que a intervenção baseada no futebol foi mais efetiva para a redução da obesidade infantil e consequências associadas. Dado o papel aparentemente central do desporto competitivo no processo de desenvolvimento dos jovens, os benefícios a longo prazo da participação relacionados com a modalidade praticada são uma questão de relevância.

O período da adolescência é considerado crucial para a formação óssea e a literatura sugere que cerca de 90% da massa óssea observada na idade adulta é adquirida durante os estágios iniciais da vida (Nordstrom et al., 2005). Por inferência, espera-se que crianças e adolescentes com baixos níveis de conteúdo e densidade mineral ósseos tenham uma maior probabilidade de desenvolver Osteoporose (Raisz, 2005), uma doença crónica com grande impacto socioeconómico (Harvey, Dennison, & Cooper, 2010) e atualmente considerada a segunda causa de morte mundial, afetando um terço das mulheres e um em cada oito homens aos 50 anos (Vos et al., 2012). A aquisição de conteúdo mineral ósseo durante as duas primeiras décadas de vida deve ser considerada uma estratégia relevante de saúde pública e o exercício é considerado um determinante eficaz para aumentar o pico de massa óssea no início da vida (Tenforde, & Fredericson, 2011), além de determinantes genéticos, hormonais e nutricionais.

As recomendações existentes para a prática de atividade física concentram-se na manipulação da frequência, intensidade e volume visando melhorar a saúde óssea. As forças de tração e compressão associadas às contrações musculares durante atividades de levantamento de pesos livres e exercícios especializados, como força e resistência, têm influência favorável no tecido esquelético (Ruiz, Mandel, & Garabedian, 1995; Molgaard, Thomsen, & Michaelsen,

2001; Wiebe, et al., 2002), e as comparações de atletas jovens de elite com jovens menos ativos (Dyson, Blimkie, Davison, Webber, & Adachi, 1997; Nordstrom, Pettersson, & Lorentzon, 1998) indicam um efeito benéfico da atividade física na saúde do esqueleto. A influência osteogénica da atividade física é geralmente específica da região sobre a qual existe o impacto. Os benefícios são refletidos no conteúdo mineral ósseo, densidade mineral óssea e densidade mineral óssea aparente. Uma revisão sistemática realizada por Strong et al. (2005) concluiu que os benefícios não são consistentemente estabelecidos para adolescentes em fases posteriores da puberdade. A literatura sugere uma melhoria nos indicadores de saúde associados à prática de atividade física em jovens obesos e não obesos, no entanto, a dose recomendada de atividade física necessária para prevenir ou tratar pode ser específica mediante cada prognóstico de saúde (Strong et al., 2005).

Em geral, as recomendações suportam a prática de atividade física para preservar valores saudáveis de massa corporal e perfil lipídico (Williams et al., 2002; Kavey et al., 2006), que se tornam relevantes para prevenir a obesidade infantil e os riscos de doenças coronárias e aterosclerose (AHA, 2014). No entanto, os distintos programas baseados em diferentes modalidades podem levar a respostas diferentes. Segundo Strong et al., (2005), os jovens envolvidos em práticas de exercício físicos regular ≥ 4 meses abrangendo pelo menos 40 minutos de intensidade moderada a vigorosa revelaram efeitos benéficos nos níveis de triglicérides e HDL-c (colesterol de lipoproteína de alta densidade), enquanto os níveis de colesterol total e colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL-c) não foram consistentes. Além disso, o exercício de alta intensidade promove a libertação de citocinas inflamatórias, como a proteína C reativa (PCR), que tem impacto negativo no crescimento somático de crianças e adolescentes (Nemet, Oh, Kim, Hill, & Cooper, 2002).

O presente estudo tem como objetivo comparar os efeitos da massa óssea, paralelamente às medidas dos perfis lipídicos e inflamatórios sanguíneos em atletas adolescentes contrastantes na carga mecânica (atletas de basquetebol e nadadores) e não atletas. Como hipótese de estudo é esperado que a especificidade da modalidade esteja associada a uma variação nos parâmetros de conteúdo mineral ósseo, diferenças essas mais evidentes entre atletas e não atletas. Enquanto que entre nadadores e basquetebolistas espera-se que as diferenças sejam mais evidentes em regiões específicas de interesse (membros superiores, tronco e membros inferiores).

MÉTODOS

Amostra

A amostra foi composta por 53 adolescentes do sexo masculino. Vinte adolescentes compuseram o grupo de controlo (recrutado em várias escolas públicas e privadas) enquanto que 33 adolescentes eram atletas (basquetebol, n=18; natação, n=15). O grupo de nadadores e basquetebolistas foram recrutados em dois clubes registados nas respectivas Federações nacionais. Os critérios de inclusão para este estudo foram: (i) idade cronológica entre 10 e 19 anos; (ii) sexo masculino; (iii) não uso de medicação que possa afetar o metabolismo; (iv) ausência de fraturas ósseas prévias ou atuais. Além disso, para serem incluídos no grupo de controlo, os participantes tiveram que declarar participar nas aulas regulares de Educação Física (120 minutos semanais) sem envolvimento prévio ou atual em desportos competitivos e/ou organizados.

Procedimentos

Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comité de Ética da Universidade Estadual Paulista (CAAE, 02891112.6.0000.5402) e foram conduzidos de acordo com a Declaração de Helsínquia para estudos com envolvimento humano da *World Medical Association*. Após a aprovação obtida na Secretaria Municipal de Educação e do Departamento de Desporto para recolher os dados nas escolas e nos clubes desportivos, respectivamente, os pais ou responsáveis legais preencheram uma declaração de consentimento por escrito. Os participantes foram informados sobre os objetivos e metodologias e podendo desistir do estudo a qualquer momento.

Antropometria

A estatura e a altura sentado foram registadas com um estadiómetro (Sanny, modelo *American Medical of the Brazil Ltda*, Brasil) e uma mesa estandardizada (*Harpenden, sitting height table*, modelo 98,607, Holtain Ltd., Crosswell, Reino Unido) com precisão de 0,1 cm. O comprimento dos membros inferiores foi obtido a partir da diferença das duas medidas anteriores. A massa corporal foi medida numa balança digital (Filizzola PL 150, modelo Filizzola Ltda, Brasil) com precisão de 0,1 kg. Um técnico treinado realizou todas as medições durante uma única visita ao laboratório. Finalmente, o índice de massa corporal (BMI, m^2/kg) foi calculado.

Maturação biológica

O *maturity offset* foi calculado (Mirwald, Baxter-Jones, Bailey, & Beunen, 2002). Esta metodologia corresponde ao cálculo de um algoritmo derivado de dois estudos longitudinais; um de jovens no Canadá e outro de irmãos gémeos na Bélgica, utilizados para prever o tempo (em anos) do pico de velocidade de crescimento (APHV), ou a que diferença o jovem está deste momento. Então, o APHV previsto (anos) foi estimado, sendo a diferença entre a idade cronológica e o desvio de *maturity offset*.

$$\begin{aligned} \text{Maturity offset} = & -9,236 \\ & + (0,0002708 \times (\text{comprimento dos membros inferiores} \times \text{altura sentado})) \\ & + (-0,001663 \times (\text{idade} \times \text{comprimento dos membros inferiores})) \\ & + (0,007216 \times (\text{idade} \times \text{altura sentado})) + (0,02292 \times \left(\frac{\text{massa corporal}}{\text{estatura}} \times 100\right)) \end{aligned}$$

Absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA)

Tecido mole total (kg), tecido gordo (kg), tecido magro mole (kg), conteúdo mineral ósseo (BMC, g), densidade mineral óssea (BMD, g/cm²) e área óssea (em cm²) foram avaliados com recurso à metodologia DXA (Lunar DPX-NT, *General Electric Healthcare, Little Chalfont, Buckinghamshire, Reino Unido*) para a totalidade corporal e regiões de interesse como cabeça, membros superiores, membros inferiores, tronco (costelas, pélvis e coluna), processados pelo software Lunar da *GE Medical System* (versão 4.7). Um técnico certificado e experiente calibrou o equipamento diariamente de acordo com as recomendações do fabricante e realizou as avaliações com os participantes vestidos com roupas leves (calções e *t-shirt*), em decúbito dorsal sobre o aparelho (aproximadamente 15 minutos). A precisão do aparelho foi testada anteriormente obtendo valores do coeficiente de variação de 0,66% (n=30 sujeitos não envolvidos neste estudo).

Rotina de treino

Os atletas relataram a sua experiência no desporto (em anos) e os seus treinadores forneceram fichas de registo com os minutos das sessões de treino para cada atleta (volume de treino semanal). Nenhum dos atletas envolvidos no estudo realizou outro exercício físico supervisionado.

Carga de treino

Trinta minutos após o término da sessão de treino, e de acordo com o recomendado na literatura (McGuigan et al., 2008), os atletas receberam a escala de percepção subjetiva de

esforço (RPE) CR-10 (Borg, 1982) adaptada por Foster et al. (2001) e relataram a duração do treino (min). Assim, a carga de treino foi calculada multiplicando a pontuação do RPE com a duração total da sessão (em minutos) (Foster et al., 2001; McGuigan et al., 2008) e somada para obter a carga de treino mensal.

Ingestão de vitamina D

Os adolescentes relataram através de um questionário (lista de alimentos ricos em vitamina D presente na dieta brasileira) a frequência de consumo (escala de *Likert*) considerando a semana anterior da avaliação. A soma dos valores foi calculada através de um *score* de consumo de vitamina D.

Perfil lipídico e inflamatório

As amostras de sangue foram recolhidas durante um dia de descanso após uma sessão de treino. Um técnico certificado colheu as amostras de sangue pela manhã após um jejum de 12 horas. O aparelho *autohumalyzer* (Dimension RxL Max; Siemens Dade-Behring, Deerfield, Illinois) e um kit enzimático colorimétrico foram utilizados para avaliar o colesterol total, HDL-c, LDL-c, colesterol de lipoproteína de muito baixa densidade (VLDL-c) e triacilglicerol. Além disso, a PCR de alta sensibilidade (HS) foi avaliada através do método turbidimétrico (LabMax 240; Chema Diagnostica, Monsano, Itália) usando um kit de enzima (Millipore, St. Charles, Missouri) com fiabilidade intra e inter-ensaio a variar entre 4,6 e 6,0%, respectivamente.

Análise estatística

A estatística descritiva foi composta pela mediana, amplitude (valor mínimo e máximo), média (erro padrão da respectiva e intervalo de confiança a 95%) e o desvio-padrão. A distribuição normal foi examinada através do teste de *Kolmogorov-Smirnov*. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para avaliar o efeito da participação desportiva na antropometria, maturação, parâmetros metabólicos (obtidos a partir das amostras sanguíneas) e resultados derivados da avaliação DXA. Adicionalmente, tendo em conta os parâmetros ósseos como resultado, criaram-se modelos multivariados ajustados pela idade cronológica, *maturity offset*, *score* de vitamina D e volume de treino semanal através da análise de covariância (ANCOVA). A magnitude do efeito associado entre as variáveis independentes e dependentes foi determinado através do agrupamento das correlações do tamanho do efeito (ES-r), estimado pela raiz quadrada da relação entre o valor de F ao quadrado e a diferença entre o valor F ao quadrado e os graus de liberdade. Os coeficientes foram interpretados como: trivial ($r > < 0,1$), pequeno ($0,1 < r < 0,3$), moderado ($0,3 < r < 0,5$), grande ($0,5 < r < 0,7$), muito grande ($0,7 > < r > < 0,9$), quase perfeito ($r > < 0,9$) e perfeito ($r=1$) (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). Além disso, comparações múltiplas entre grupos (grupo de controlo vs. nadadores; grupo de controlo vs

basquetebolistas; nadadores vs. basquetebolistas) foram realizadas através do cálculo do tamanho do efeito do *d* de Cohen (Cohen, 1988). Os limites foram interpretados da seguinte forma: 0,2, 0,6, 1,2, 2,0, 4,0 para diferenças pequenas, moderadas, grandes, muito grandes e extremamente grandes, respectivamente (Hopkins et al., 2009). A significância estatística foi estabelecida com o valor de $p < 0,05$ e todas as análises foram realizadas com o software estatístico SPSS (versão 24.0).

RESULTADOS

As características descritivas e os resultados do teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* para as variáveis idade, maturação biológica, treino, indicadores do perfil lipídico e biomarcadores inflamatórios, antropometria e avaliações DXA para a totalidade da amostra estão apresentados na Tabela 1. A estatística descritiva das avaliações DXA por regiões de interesse está sumariada na Tabela 2.

Tabela 1. Estatística descritiva para a idade cronológica, maturação, indicadores e experiência de treino, indicadores do perfil lipídico e biomarcadores inflamatórios e avaliações DXA para a totalidade da amostra (n=53).

Variável	unidade	Descritivas										Normalidade	
		Amplitude		Média				Desvio padrão	K-S		p		
		mínimo	máximo	valor	SEM	inferior	superior					95% CI	
Idade cronológica	anos	12	19	14,34	0,26	13,83	14,85	1,92	0,191	<0,001			
Maturity offset	anos	-2,6	2,9	0,08	0,21	-0,34	0,51	1,55	0,100	0,200			
APHV	anos	12,7	16,8	14,25	0,11	14,03	14,47	0,81	0,094	0,200			
Vitamina D	score	0	14	6,4	0,49	5,40	7,39	3,6	0,161	0,002			
Experiência de treino ^a	anos	2,0	13,4	5,66	0,5	4,60	6,73	3,00	0,136	0,126			
Treino por semana ^a	sessões	2	6	5,55	0,169	5,20	5,89	0,971	0,438	<0,001			
Treino por semana ^a	min	720	2160	1108	47,8	1010	1205	274	0,290	<0,001			
Carga de treino do mês anterior ^a		2880	27930	13863	1037	11747	15979	5868	0,174	0,015			
Massa corporal	kg	41,6	91,1	67,6	1,59	64,3	70,8	11,6	0,063	0,200			
Estatura	cm	150,4	199,7	174,2	1,64	170,9	177,5	11,9	0,073	0,200			
Altura sentado	cm	76,0	101,3	89,2	0,87	87,5	91,0	6,3	0,079	0,200			
Comprimentos dos membros inferiores	cm	70,2	104,9	84,9	0,95	83,0	86,8	6,9	0,079	0,200			
Colesterol total	mg/dL	103	208	147,8	3,0	141,6	154,0	22,5	0,093	0,200			
HDL-c	mg/dL	32	73	46,5	1,1	44,31	48,82	8,1	0,109	0,169			
LDL-c	mg/dL	49,4	137,2	88,4	2,5	83,3	93,6	18,5	0,092	0,200			
VLDL-c	mg/dL	4,7	49,5	12,7	1,1	10,5	15,0	8,0	0,235	<0,001			
Triglicérides	mg/dL	23,7	247,4	63,9	5,5	52,8	75,0	40,2	0,235	<0,001			
HS PCR	mg/L	0,24	14,78	3,42	0,3	2,7	4,0	2,3	0,176	<0,001			
DXA, corpo inteiro													
Tecido total	kg	40,6	91,0	66,8	1,61	63,6	70,0	11,7	0,069	0,200			
Tecido gordo	kg	3,2	33,1	13,2	1,10	11,0	15,4	8,0	0,152	0,004			
Tecido magro mole	kg	27,2	74,2	50,7	1,63	47,4	53,9	11,9	0,108	0,178			
Conteúdo mineral ósseo	g	1634	4800	2883	101,1	2680	3086	736	0,106	0,200			
Área do osso	cm ²	1676	3078	2411	46	2319	2504	336	0,081	0,200			
Densidade mineral óssea	g/cm ²	0,921	1,559	1,185	0,020	1,144	1,225	0,146	0,093	0,200			

Abreviaturas: SEM, erro padrão da média; 95%CI, 95% intervalos de confiança; HDL-c, colesterol de lipoproteína de alta densidade; LDL-c, colesterol de lipoproteína de baixa densidade; VLDL-c, colesterol de lipoproteína de muito baixa densidade; HS PCR, proteína C reativa de alta sensibilidade; DXA, absorciometria de raios-X de dupla energia; ^a somente para basquetebolistas e nadadores.

Tabela 2. Estatística descritiva reportando as diferenças interindividuais na avaliação DXA para tronco, membros superiores e inferiores (n=53).

Variável	unidade	Descritivas										Normalidade	
		Amplitude		valor	SEM	Média		Desvio padrão	Normalidade		K-S	p	
		mínimo	máximo			inferior	superior		(kolmogorov-Smirnov)				
Tecido total													
Tronco	kg	16,8	39,9	29,9	0,7	28,4	31,3	5,4	0,083	0,200			
Membros superiores	kg	3,5	10,3	7,2	0,2	6,7	7,6	1,7	0,114	0,085			
Membros inferiores	kg	15,7	34,9	24,9	0,6	23,6	26,2	4,7	0,067	0,200			
Tecido gordo													
Tronco	kg	1,6	16,9	6,6	0,5	5,6	7,7	3,8	0,139	0,012			
Membros superiores	kg	0,1	2,5	0,7	0,08	0,5	0,9	0,6	0,216	0,000			
Membros inferiores	kg	0,9	13,6	5,2	0,4	4,3	6,2	3,4	0,154	0,003			
Tecido magro mole													
Tronco	kg	12,1	31,9	22,2	0,7	20,7	23,7	5,4	0,126	0,036			
Membros superiores	kg	2,6	9,1	6,0	0,2	5,5	6,5	1,8	0,097	0,200			
Membros inferiores	kg	9,4	28,2	18,4	0,6	17,2	19,7	4,4	0,079	0,200			
Conteúdo mineral ósseo													
Tronco	g	423	1531	907	36	834	980	265	0,089	0,200			
Membros superiores	g	168	603	373	16	340	407	121	0,122	0,046			
Membros inferiores	g	641	2104	1175	42	1090	1261	310	0,081	0,200			
Área óssea													
Tronco	cm ²	576	1191	890,7	21	848	933	154	0,085	0,200			
Membros superiores	cm ²	263	560	415	10	393	437	78	0,089	0,200			
Membros inferiores	cm ²	581	1153	865	16	832	897	117	0,062	0,200			
Densidade mineral óssea													
Tronco	g/cm ²	0,730	1,286	0,998	0,018	0,961	1,034	0,132	0,094	0,200			
Membros superiores	g/cm ²	0,638	1,281	0,878	0,022	0,833	0,923	0,162	0,113	0,090			
Membros inferiores	g/cm ²	1,011	1,981	1,339	0,027	1,284	1,394	0,200	0,078	0,200			

Abreviaturas: SEM erro padrão da média; 95%CI, 95% intervalo de confiança.

A variação intergrupar relacionada com a idade cronológica, a maturação, a experiência de treino, os indicadores do perfil lipídico e biomarcadores inflamatórios, antropometria e parâmetros da avaliação DXA de corpo inteiro está presente na Tabela 3. Os jogadores de basquetebol apresentam uma experiência de treino acumulada de $4,3 \pm 2,3$ (95%CI=3,1-5,4) anos, um volume de treino efetivo de $5,3 \pm 1,1$ (95%CI=4,7-5,9) dias por semana e um acumulado de 1072 ± 123 (95%CI=1010-1133) minutos de treino semanais. Já o grupo de nadadores reportou uma experiência de treino acumulada de $7,2 \pm 2,9$ (95%CI=5,6-8,9) anos, um volume de treino real de $5,8 \pm 0,5$ (95%CI=5,4-6,1) dias por semana e um total acumulado de 1152 ± 387 (95%CI=937-1366) minutos de treino por semana.

O grupo de controlo apresentou-se mais novo ($13,0 \pm 1,3$, 95%CI=12,3-13,6 anos) e revelou menor *maturity offset* ($-1,2 \pm 1,0$, 95%CI=-1,7 - -0,7 anos), em comparação ao grupo de basquetebolistas (idade: $14,5 \pm 0,9$, 95%CI= 14,0-14,9 anos; *maturity offset*: $0,7 \pm 0,7$, 95%CI=0,3-1,1 anos) e nadadores (idade: $15,9 \pm 2,1$, 95%CI=14,7-17,1 anos; *maturity offset*: $1,1 \pm 1,5$, 95%CI=0,2-1,9 anos), contrapartes ($p < 0,001$, ES-r: 0,4-0,5). Para além disso, no que à APHV diz respeito apenas foram encontradas diferenças ($p < 0,001$, ES-r=0,3) entre o grupo de nadadores ($14,8 \pm 0,9$, 95%CI=14,2-15,3 anos) e basquetebolistas ($13,7 \pm 0,6$, 95%CI=13,4-14,0 anos), com o grupo de controlo a apresentar valores intermediários ($14,2 \pm 0,4$, 95%CI=14,0-14,5 anos). Em geral, os basquetebolistas apresentaram os maiores valores para a estatura, massa corporal e tecido magro mole, enquanto os nadadores revelaram valores intermediários, e o grupo de controlo apresentou os valores mais baixos. A Figura 1 expõe as diferenças relativas ($p < 0,05$) entre os grupos para estatura (intervalo:5,8-12,8%), massa corporal (14,4-22,7%), tecido gordo (intervalo:69-114%) e tecido magro mole (intervalo:12,3-54,9%). Finalmente, 45% dos participantes do grupo de controlo foi categorizado como tendo peso normal, 45% em sobrepeso e 10% como sendo obesos. Por outro lado, os nadadores foram categorizados com 86,7% na categoria de peso normal e 13,3% na de sobrepeso. Entre os jogadores de basquetebol 61,1% foi categorizado com peso normal e 38,9% com sobrepeso. As variáveis dos parâmetros de saúde óssea de corpo inteiro foram semelhantes entre os grupos.

No que diz respeito aos parâmetros sanguíneos, apenas o colesterol total e o LDL-c apresentaram diferenças entre grupos (Tabela 3). Por outro lado, o grupo de controlo apresentou diferenças para as variáveis de triacilglicerol ($p=0,001$, ES-r=0,2) e HS-CRP ($p < 0,001$, ES-r=0,5) em relação ao grupo total de atletas, e para o HDL ($p=0,04$, ES-r=0,1) apenas comparativamente aos nadadores.

Tabela 3. Médias e desvios padrão por grupo e resultados da ANOVA para testar o efeito da participação desportiva na idade cronológica, maturação, indicadores do perfil lipídico e biomarcadores inflamatórios, antropometria e parâmetros avaliados pela DXA.

Variável dependente	X: variável independente (participação desportiva)				ANOVA		
	unidade	Controlo (n=20)	Nadadores (n=15)	Basquetebolistas (n=18)	F	p	Efeito de magnitude (qualitativo)
Idade cronológica	anos	13,0 ± 1,3	15,9 ± 2,1 ^{b,c}	14,5 ± 0,9 ^{b,d}	15,850	<0,001	0,388 (moderado)
Maturity offset	anos	-1,2 ± 1,0	1,1 ± 1,5 ^b	0,7 ± 0,74 ^b	23,939	<0,001	0,489 (moderado)
APHV	anos	14,2 ± 0,4	14,8 ± 0,9 ^c	13,7 ± 0,6 ^d	9,733	<0,001	0,280 (pequeno)
Vitamina D	score	9,5 ± 3,3	4,3 ± 2,0 ^b	4,6 ± 2,4 ^b	20,838	<0,001	0,455 (moderado)
Experiência de treino ^a	anos	-	7,2 ± 2,9 ^c	4,3 ± 2,3 ^d	-	-	-
Treino por semana ^a	sessões	-	5,8 ± 0,5	5,3 ± 1,1	-	-	-
Treino por semana	min	-	1152 ± 387,6	1072 ± 122,9	-	-	-
Carga de treino do mês anterior ^a	-	-	15991 ± 6577	11986 ± 4569	-	-	-
Transformação log carga treino ^a	-	-	4,16 ± 0,2	4,04 ± 0,2	-	-	-
Massa corporal	kg	61,2 ± 13,0	66,2 ± 12,7 ^c	75,7 ± 9,8 ^{b,d}	10,130	<0,001	0,288 (pequeno)
Estatura	cm	164,0 ± 7,5	174,9 ± 8,5 ^{b,c}	185,0 ± 8,2 ^{b,d}	32,045	<0,001	0,562 (grande)
Altura sentado	cm	83,5 ± 4,2	91 ± 5,0 ^b	94,1 ± 3,9 ^b	29,520	<0,001	0,541 (grande)
Comprimentos dos membros inferiores	cm	80,4 ± 5,6	83,9 ± 4,2 ^c	90,8 ± 6,0 ^{b,d}	17,506	<0,001	0,412 (moderado)
Colesterol total	mg/dL	153,7 ± 20,9	151,4 ± 17,9	138,3 ± 25,5	2,636	0,082	0,095 (pequeno)
HDL	mg/dL	44,3 ± 5,0	50,9 ± 9,3 ^b	45,3 ± 8,9	3,416	0,041	0,120 (pequeno)
LDL	mg/dL	91,5 ± 19,4	90,8 ± 14,1	83,0 ± 20,4	1,168	0,319	0,045 (pequeno)
VLDL	mg/dL	17,7 ± 10,8	9,5 ± 2,3 ^b	9,8 ± 3,9 ^b	7,848	0,001	0,239 (pequeno)
Triglicérideos	mg/dL	88,9 ± 54,0	47,8 ± 11,9 ^b	49,4 ± 19,5 ^b	7,860	0,001	0,239 (pequeno)
HS PCR	mg/L	1,3 ± 1,0	3,9 ± 0,6 ^{b,c}	5,3 ± 2,5 ^{b,d}	28,464	<0,001	0,537 (grande)
DXA, corpo inteiro	-	-	-	-	-	-	-
Tecido total	kg	60,1 ± 8,1	65,7 ± 12,1	75,2 ± 9,8 ^{b,d}	10,926	<0,001	0,304 (moderado)
Tecido gordo	kg	18,6 ± 8,8	8,7 ± 4,9 ^b	11,0 ± 5,6 ^b	10,260	<0,001	0,291 (pequeno)
Tecido magro mole	kg	39,1 ± 6,9	54,0 ± 8,2 ^{b,c}	60,6 ± 7,2 ^{b,d}	41,706	<0,001	0,625 (grande)
Conteúdo mineral ósseo *	g	2941 ± 194	2664 ± 143	3001 ± 142	2,863	0,067	0,111 (pequeno)
Área óssea *	cm ²	2370 ± 194	2324 ± 143	2419 ± 141	0,221	0,803	0,010 (trivial)
Densidade mineral óssea *	g/cm ²	1,198 ± 0,048	1,134 ± 0,035	1,213 ± 0,035	2,621	0,084	0,102 (pequeno)

Abreviaturas: HDL-C, colesterol de lipoproteína de alta intensidade; LDL-C, colesterol de lipoproteína de baixa intensidade; VLDL-C, colesterol de lipoproteína de muito baixa densidade; HS PCR, proteína C reativa de alta sensibilidade; DXA, absorciometria de raios-X de dupla energia; ES-r, correlação tamanho do efeito, * ANCOVA modelo ajustado para a idade cronológica, maturity offset, score da ingestão de vitamina D e volume de treino semanal (resultados apresentados como média ± SEM), ^a Comparação das médias entre os dois grupos através do teste *t-student* de amostras independentes, ^b valor de p<0,05 comparação grupo de controlo, ^c valor de p<0,05 comparação grupo de basquetebolistas ; ^d valor p<0,05 comparação grupo de nadadores.

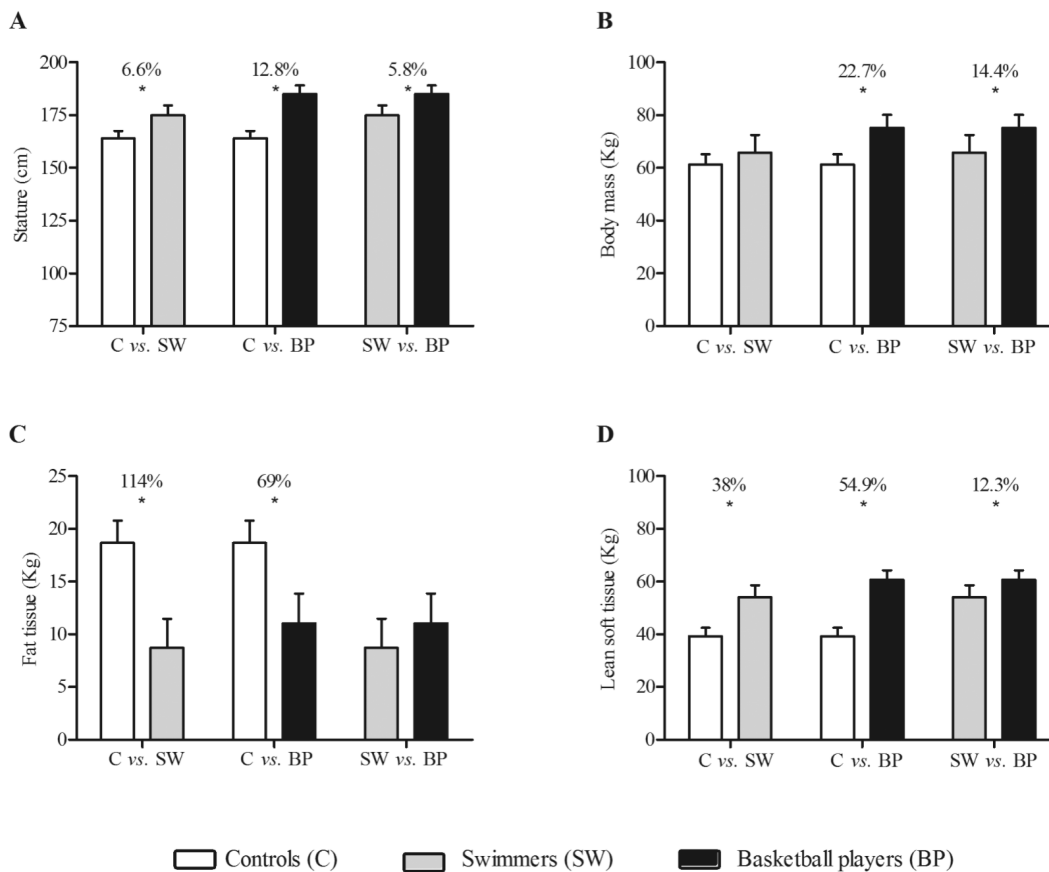


Figura 1. Estatura (painel A), massa corporal (painel B), tecido gordo (painel C) e tecido magro mole (painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas).

* indica diferenças entre grupos ($p < 0.05$).

O efeito da participação desportiva no tecido magro e nos parâmetros ósseo está apresentado na Tabela 4. As diferenças no tecido magro emergem sobretudo entre atletas e não atletas ($p < 0.01$; ES-r intervalo: 0,2-0,6). No entanto, nos parâmetros de saúde óssea as maiores diferenças foram notadas entre as diferentes modalidades desportivas sobretudo nos membros inferiores ($p < 0.05$; ES-r intervalo: 0,1-0,2).

Tabela 4. Médias e desvios padrão por grupo e resultados da ANOVA para testar o efeito da participação desportiva nos parâmetros avaliados pela DXA em regiões de interesse como tronco, membros superiores e inferiores.

Y _i :	unidade	X: variável independente (Participação desportiva)			ANOVA		
		Controlo (n=20)	Nadadores (n=15)	Basquetebolistas (n=18)	F	p	Efeito de magnitude (qualitativo)
							ES-r
Tecido total							
Tronco	kg	26,5 ± 3,8	30,4 ± 6,1 ^a	33,1 ± 4,1 ^a	9,742	<0,001	0,280 (pequeno)
Membros superiores	kg	5,7 ± 1,0	7,7 ± 1,6 ^a	8,3 ± 1,2 ^a	21,712	<0,001	0,465 (moderado)
Membros inferiores	kg	23,2 ± 3,4	22,8 ± 4,3	28,5 ± 4,3 ^{a,c}	10,976	<0,001	0,305 (moderado)
Tecido gordo							
Tronco	kg	8,9 ± 4,4	4,8 ± 2,9 ^a	5,7 ± 2,8 ^a	6,845	0,002	0,215 (pequeno)
Membros superiores	kg	1,2 ± 0,7	0,4 ± 0,3 ^a	0,5 ± 0,3 ^a	12,394	<0,001	0,331 (moderado)
Membros inferiores	kg	7,7 ± 3,7	3,0 ± 1,7 ^a	4,4 ± 2,4 ^a	13,226	<0,001	0,346 (moderado)
Tecido magro mole							
Tronco	kg	16,8 ± 3,0	24,6 ± 3,8 ^a	26,3 ± 3,2 ^a	42,354	<0,001	0,629 (grande)
Membros superiores	kg	4,2 ± 1,1	6,8 ± 1,3 ^a	7,4 ± 1,1 ^a	39,392	<0,001	0,612 (grande)
Membros inferiores	kg	14,5 ± 2,6	18,7 ± 2,9 ^a	22,6 ± 2,9 ^{a,c}	39,205	<0,001	0,611 (grande)
Conteúdo mineral ósseo*							
Tronco	g	952 ± 78	837 ± 57	915 ± 56	1,138	0,329	0,047 (trivial)
Membros superiores	g	359 ± 31	375 ± 23	387 ± 23	0,218	0,805	0,009 (trivial)
Membros inferiores	g	1238 ± 92	1002 ± 68	1250 ± 67 ^c	6,957	0,002	0,232 (pequeno)
Área óssea*							
Tronco	cm ²	904 ± 46	874 ± 34	888 ± 34	0,143	0,867	0,006 (trivial)
Membros superiores	cm ²	390 ± 26	429 ± 19	430 ± 19	0,448	0,642	0,019 (trivial)
Membros inferiores	cm ²	899 ± 42	795 ± 31 ^a	885 ± 30 ^c	4,681	0,014	0,169 (pequeno)
Densidade mineral ósseo*							
Tronco	g/cm ²	1,019 ± 0,042	0,944 ± 0,031	1,020 ± 0,031	3,179	0,051	0,121 (pequeno)
Membros superiores	g/cm ²	0,875 ± 0,051	0,862 ± 0,037	0,895 ± 0,037	0,413	0,664	0,018 (trivial)
Membros inferiores	g/cm ²	1,350 ± 0,068	1,257 ± 0,050	1,397 ± 0,049 ^c	4,049	0,024	0,150 (pequeno)

Abreviaturas: ES-r, correlação tamanho do efeito; * ANCOVA modelo ajustado para a idade cronológica, maturity offset, score da ingestão de vitamina D e volume de treino semanal (resultados apresentados como média ± SEM); ^a valor de p<0,05 comparação grupo de controlo; ^b valor de p<0,05 comparação grupo de basquetebolistas; ^c valor p<0,05 comparação grupo de nadadores.

As múltiplas comparações entre os grupos foram apresentadas nas Tabelas 5 e 6 e nas Figuras 2 a 4. Entre os parâmetros sanguíneos, apenas o VLDL e os triglicédeos mostraram efeitos moderados entre o grupo de controlo e os atletas. As comparações entre o grupo de controlo com os atletas revelaram diferenças muito grandes para a HS-PCR (intervalo: 2,17-2,92, diferença entre os grupos: 185,7-290,4%). Em relação à densidade mineral óssea, as diferenças entre o grupo de controlo e os outros dois grupos foram moderadas em relação aos nadadores ($d=1,10$) e muito grandes em relação aos basquetebolistas ($d=2,19$).

As comparações entre nadadores e basquetebolistas flutuaram entre triviais e pequenas para os parâmetros metabólicos, com exceção da HS-PCR ($d=0,8$, diferença entre os grupos: 36,7%). Já nos parâmetros avaliados pela DXA, as diferenças entre as duas modalidades desportivas foram interpretadas como moderadas para todos os parâmetros, exceção feita ao tecido gordo ($d=0,4$). Neste estudo, foi possível determinar pequenas diferenças ($ES-r=0,17$) entre nadadores e o grupo de controlo na área óssea ($103,7\text{cm}^2$; 13,0%). Paralelamente, entre nadadores e basquetebolistas, o gradiente das diferenças foi pequeno ($ES-r: 0,15-0,23$) para BMC ($247,4\text{g}$; 24,6%), área óssea ($89,9\text{cm}^2$; 11,3%) e BMD ($0,141\text{g/cm}^2$; 11,1%) nos membros inferiores, favorecendo os jogadores de basquetebol.

Tabela 5. Diferenças médias entre grupos nas variáveis idade cronológica, maturação, indicadores do perfil lipídico e biomarcadores inflamatórios, antropometria e parâmetros avaliados pela DXA.

Variável dependente	unidade	Diferença das médias entre grupos								
		Controlo vs. Nadadores			Controlo vs. Basquetebolistas					
		Dif. média (95%CI)	d	(qualitativo)	Dif. média (95%CI)	d	(qualitativo)			
Colesterol total	mg/dL	2,34 (-15,71; 20,39)	0,12	(trivial)	15,43 (-1,73; 32,60)	0,68	(pequeno)	13,09 (-5,38; 31,57)	0,58	(pequeno)
HDL-c	mg/dL	-6,63 (-13,09; -0,17)	0,95	(moderado)	-0,96(-7,10; 5,19)	0,14	(pequeno)	5,67 (-0,94; 12,28)	0,64	(pequeno)
LDL-c	mg/dL	0,,75 (-14,50; 16,01)	0,07	(trivial)	8,49 (-6,01; 23,01)	0,56	(pequeno)	7,74 (-7,87; 23,36)	0,45	(pequeno)
VLDL-c	mg/dL	8,21 (2,30; 14,12)	1,01	(moderado)	7,89 (2,27; 13,52)	0,98	(moderado)	-0,32 (-6,37; 5,73)	0,10	(trivial)
Triglicérideos	mg/dL	41,10 (11,56; 70,63)	1,01	(moderado)	39,44 (11,35; 67,53)	0,98	(moderado)	-1,65 (-31,88; 28,57)	0,10	(trivial)
HS PCR	mg/L	-2,53 (-3,92; -1,15)	2,92	(muito grande)	-3,97 (-5,26; -2,67)	2,17	(muito grande)	-1,43 (-2,71; -0,15)	0,78	(moderado)
DXA-corpo inteiro										
Tecido total	kg	-5,62(-13,85; 2,61)	0,58	(moderado)	-15,07 (-22,90; -7,24)	1,72	(grande)	-9,45 (-19,59; 0,68)	0,89	(moderado)
Tecido gordo	kg	9,93 (4,23; 15,64)	1,37	(grande)	7,61 (2,19; 13,04)	1,04	(moderado)	-2,32 (-10,04; 5,40)	0,44	(pequeno)
Tecido magro mole	kg	-14,88 (-21,02; -8,74)	2,03	(muito grande)	-21,51 (-27,35; -15,67)	3,12	(muito grande)	-6,63 (-13,05; -0,21)	0,88	(moderado)
BMC *	g	276 (-493; 1046)	-	--	-60 (-838; 717)	-	--	-336 (-691; 18)	-	--
Área óssea *	cm ²	45 (-721; 813)	-	--	-48 (-823; 726)	-	--	-94 (-448; 259)	-	--
BMD *	g/cm ²	0,065 (-0,125; 0,255)	-	--	-0,015 (-0,207; 0,177)	-	--	-0,080(-0,167; 0,008)	-	--

Abreviaturas: Dif. médias, diferença de médias; 95%CI, 95% intervalo de confiança; d, d de Cohen; HDL-c, colesterol de lipoproteína de alta intensidade; LDL-c, colesterol de lipoproteína de baixa intensidade; VLDL-c, colesterol de lipoproteína de muito baixa densidade; HS PCR, proteína C reativa de alta sensibilidade; DXA, absorciometria de raios-X de dupla energia; BMC, conteúdo mineral ósseo; BMD, densidade mineral óssea; * ajustado à idade cronológica, *maturity offset*, score da ingestão de vitamina D e volume de treino semanal.

Tabela 6. Diferenças médias entre grupos nas regiões de interesse dos parâmetros avaliados pela DXA.

Variável dependente	unidade	Controlo vs. Nadadores			Diferença das médias entre grupos			Nadadores vs. Basquetebolistas		
		Controlo vs. Nadadores			Controlo vs. Basquetebolistas			Nadadores vs. Basquetebolistas		
		Dif. média (95%CI)	d	(qualitativo)	Dif. média (95%CI)	d	(qualitativo)	Dif. média (95%CI)	d	(qualitativo)
Tecido total										
Tronco	kg	-3,94 (-7,81; -0,07)	0,82	(moderado)	-6,67 (-10,35; -2,99)	1,71	(grande)	-2,72 (-7,37; 1,91)	0,55	(pequeno)
Membros superiores	kg	-2,07 (-3,15; -0,99)	1,60	(grande)	-2,67 (-3,70; -1,64)	2,36	(muito grande)	-0,60 (-1,82; 0,62)	0,43	(pequeno)
Membros inferiores	kg	0,40 (-2,92; 3,73)	0,11	(trivial)	-5,30 (-8,46; -2,13)	1,39	(grande)	-5,70 (-9,90; -1,51)	1,35	(grande)
Tecido gordo										
Tronco	kg	4,05 (1,16; 6,94)	1,10	(moderado)	3,24 (0,49; 5,99)	0,90	(moderado)	-0,81 (-4,00; 2,37)	0,29	(pequeno)
Membros superiores	kg	0,76 (0,33; 1,20)	1,32	(grande)	0,71 (0,30; 1,12)	1,25	(moderado)	-0,06 (-0,55; 0,43)	0,18	(trivial)
Membros inferiores	kg	4,76 (2,40; 7,11)	1,62	(grande)	3,37 (1,13; 5,61)	1,09	(moderado)	-1,39 (-4,03; 1,25)	0,66	(moderado)
Tecido magro mole										
Tronco	kg	-7,73 (-10,52; -4,95)	2,32	(muito grande)	-9,50 (-12,15; -6,84)	3,09	(muito grande)	-1,76 (-4,62; 1,10)	0,51	(pequeno)
Membros superiores	kg	-2,66 (-3,64; -1,68)	2,27	(muito grande)	-3,19 (-4,12; -2,26)	2,93	(muito grande)	-0,53 (-1,51; 0,46)	0,44	(pequeno)
Membros inferiores	kg	-4,18 (-6,52; -1,83)	1,55	(grande)	-8,16 (-10,39; -5,93)	3,01	(muito grande)	-3,98 (-6,49; -1,47)	1,39	(grande)
Conteúdo mineral ósseo*										
Tronco	g	114,3 (-194,0; 422,8)	-	--	-36,5 (-275,1; 348,1)	-	--	-77,8 (-220,1; 64,3)	-	--
Membros superiores	g	-15,5 (-141,5; 110,4)	-	--	-27,4 (-154,7; 99,8)	-	--	-11,8 (-69,9; 46,2)	-	--
Membros inferiores	g	235,2 (-131,8; 602,4)	-	--	-12,1 (-383,1; 358,8)	-	--	-247,4 (-416,8; -78,1)	-	--
Área óssea*										
Tronco	cm ²	30,3 (-154,8; 215,6)	-	--	15,8 (-171,3; 202,9)	-	--	-14,5 (-99,9; 70,8)	-	--
Membros superiores	cm ²	-38,9 (-144,8; 66,9)	-	--	-39,9(-146,9; 67,0)	-	--	-0,97 (-49,8; 47,8)	-	--
Membros inferiores	cm ²	103,7 (63,0; 270,6)	-	--	13,8 (-154,7; 182,3)	-	--	-89,9 (-166,9; -13,0)	-	--
Densidade mineral óssea*										
Tronco	g/cm ²	0,074 (-0,093; 0,242)	-	--	-0,002 (-0,171; 0,168)	-	--	-0,076 (-0,154; 0,001)	-	--
Membros superiores	g/cm ²	0,014 (-0,187; -0,215)	-	--	-0,020 (-0,223; -0,183)	-	--	-0,034 (-0,126; 0,059)	-	--
Membros inferiores	kg	-0,093 (-0,174; 0,360)	-	--	-0,048 (-0,318; 0,223)	-	--	-0,141 (-0,264; -0,017)	-	--

Abreviaturas: Dif. médias, diferença de médias; 95%CI, 95% intervalo de confiança; d, d de Cohen; * ajustado à idade cronológica, maturity offset, score da ingestão de vitamina D e volume de treino semanal.

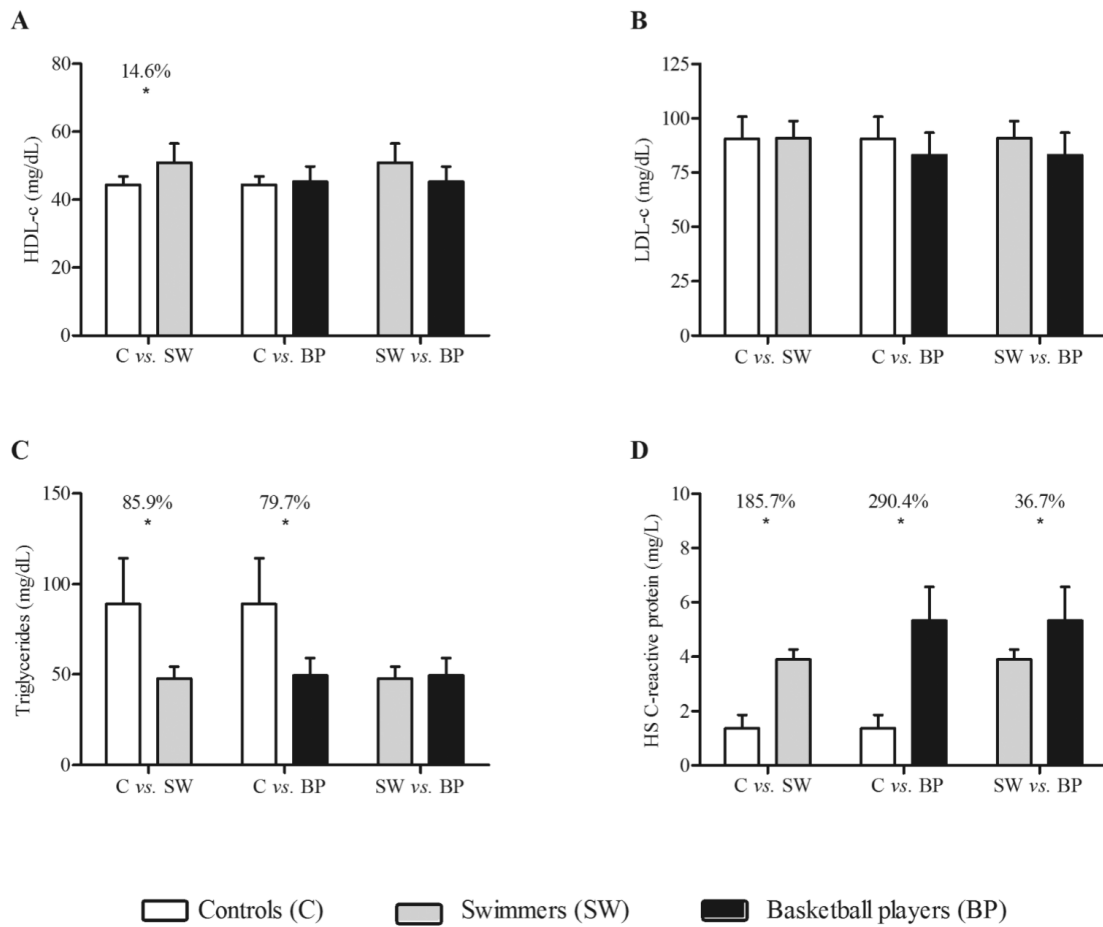


Figura 2. Colesterol de lipoproteína de alta intensidade (HDL-c: Painel A); colesterol de lipoproteína de baixa intensidade (LDL-c: Painel B); triglicerídeos (Painel C) e proteína C reativa de alta sensibilidade (HS PCR: Painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas).

* indica diferenças entre grupos ($p < 0.05$).

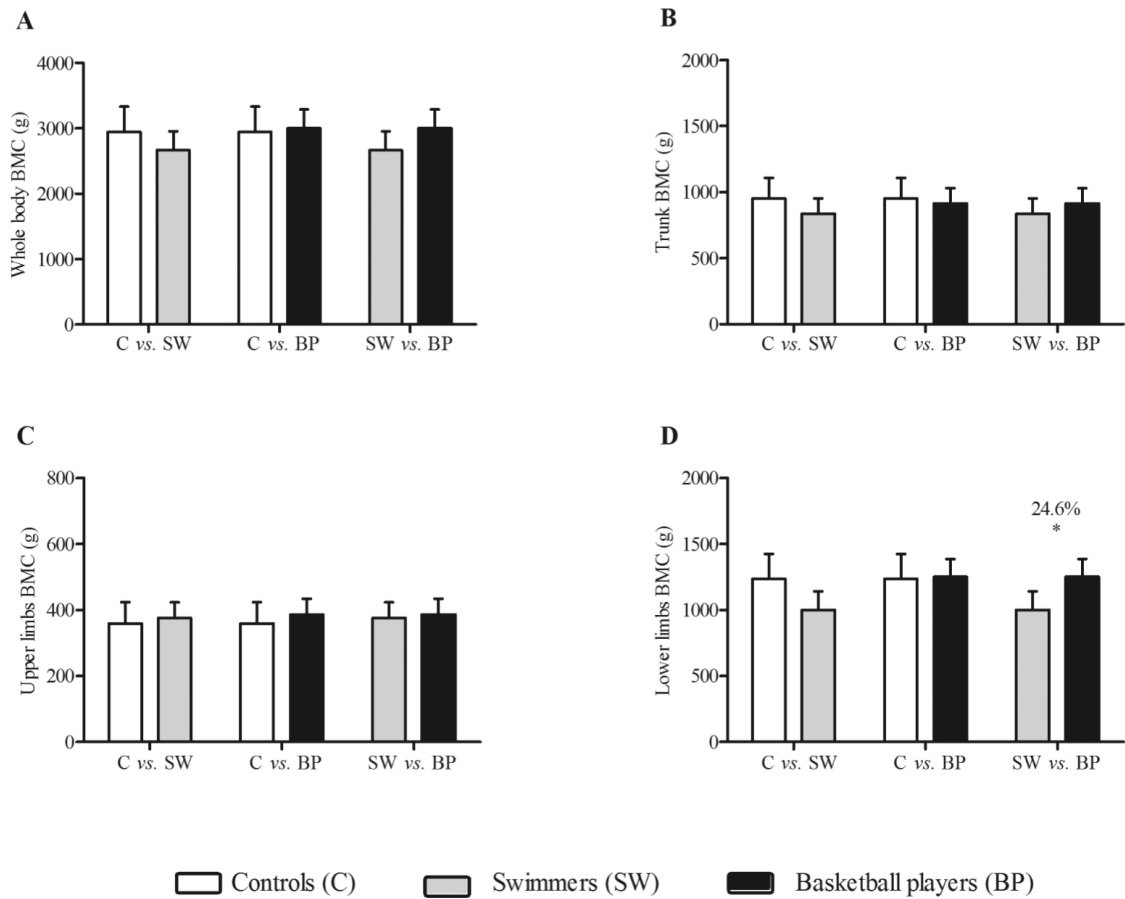


Figura 3. Conteúdo mineral ósseo (BMC) de corpo inteiro (Painel A), BMC do tronco (Painel B), BMC dos membros superiores (Painel C) e BMC dos membros inferiores (Painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas). * indica diferenças entre grupos ($p < 0.05$).

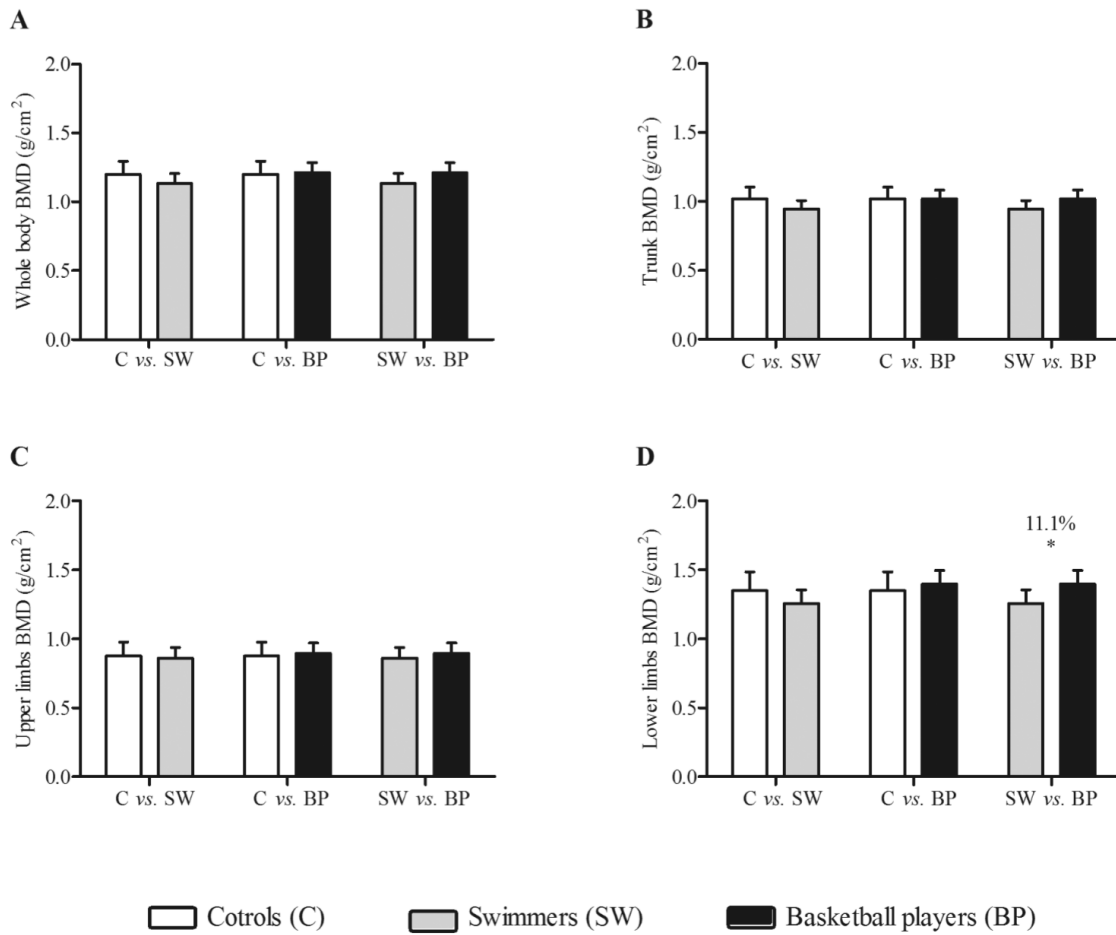


Figura 4. Densidade mineral óssea (BMD) de corpo inteiro (Painel A), BMD do tronco (Painel B), BMD dos membros superiores (Painel C) e BMD dos membros inferiores (Painel D) para o grupo de controlo (barras brancas), nadadores (barras cinzentas) e basquetebolistas (barras pretas).

* indica diferenças entre grupos ($p < 0.05$).

DISCUSSÃO

O presente estudo apresenta a oportunidade de aprofundar o conhecimento dos efeitos relacionados com o exercício físico na saúde óssea e sanguínea em jovens do sexo masculino, incluindo participantes de diferentes modalidades desportivas. Em particular, considera-se que o basquetebol depende predominantemente do metabolismo anaeróbico para realizar performances curtas de saltos e sprints (Gillam, 1985), enquanto que a natação envolve sequências cíclicas apoiadas principalmente pelo metabolismo aeróbio (Tanaka, 2009; Pyne, & Sharp, 2014). Os principais resultados do presente estudo revelam que os atletas jovens masculinos apresentam um melhor IMC e parâmetros de saúde sanguínea em relação ao grupo de controlo. Embora os nadadores e os basquetebolistas revelassem maiores valores de tecido magro mole e também um maior desvio no *maturity offset* (avançados), após os ajustes para potenciais fatores de confusão (idade cronológica, desfasamento de maturação, vitamina D e treino semanal [minutos]) o conteúdo e a densidade mineral óssea apresentaram-se semelhantes aos observados no grupo de não atletas. Comparando os grupos de participação desportiva, as diferenças surgiram para os membros inferiores, com os jogadores de basquetebol a apresentar maior BMC e BMD em comparação com os nadadores.

Os estímulos específicos do desporto podem afetar os parâmetros de saúde óssea. De facto, os tenistas apresentavam elevada massa óssea na porção distal do rádio (Ducher, Tournaire, Meddahi-Pelle, Benhamou, & Courteix, 2006), enquanto nos futebolistas se manifestava principalmente no fémur proximal (Tenforde & Fredericson, 2011). Os presentes resultados fornecem novas informações de jovens jogadores de basquetebol e nadadores. Em concordância com a literatura (Zribi, et al, 2014), os jogadores de basquetebol apresentaram os maiores valores de estatura, comprovando o conhecimento de que este desporto favorece a seleção de atletas de alto porte, mas também com a maior área óssea, BMC e BMD, especialmente evidente nos membros inferiores. De facto, o basquetebol pode ser considerado um desporto de "alto-impacto", que requer sprints de alta intensidade e desacelerações abruptas, saltos e aterragens e arremessos (Quiterio, Carnero, Baptista, & Sardinha, 2011), resultando em cargas mecânicas que estimulam o processo de remodelação óssea e um aumento nos parâmetros avaliados pela DXA nos membros inferiores (Dias Quiterio et al., 2011; Yang, Brüggemann, & Rittweger, 2011), ao contrário da natação, que é realizada num meio hipogravitico e não promove a estimulação mecânica durante a sua prática (Bellew, & Gehrig, 2006). No entanto, quando comparados com o grupo de controlo, e embora os atletas de basquetebol tendessem a valores mais altos nos parâmetros ósseos, os resultados não foram significativamente diferentes entre os grupos. Esses resultados podem ser explicados pelo facto de que a participação desportiva tende a influenciar o ganho de massa óssea durante toda a adolescência (até aos 18-20 anos) e a média de idades dos jogadores de basquetebol foi de

14,5±0,9 anos. Assim, períodos mais longos de acompanhamento podem mostrar uma compreensão mais profunda do impacto do desporto na saúde óssea (Agostinete et al., 2016).

Em adultos, uma prática regular de exercício físico está associada a melhorias no perfil lipídico (Tambalis, Panagiotakos, Kavouras, & Sidossis, 2009) e a reduções dos riscos de doenças não transmissíveis (Naghii, Aref, Almadadi, & Hedayati, 2011), mas em crianças e adolescentes a evidência ainda é incerta porque a maioria dos estudos foi realizada numa única intervenção, muitas vezes focados em jovens obesos e/com distúrbios metabólicos (Janssen & Leblanc, 2010). Neste estudo, a ausência de diferenças entre os grupos quanto ao colesterol total e ao LDL indica que a Educação Física escolar de duas horas por semana pode proteger os jovens saudáveis, independentemente da sua prática desportiva. Por outro lado, o desporto organizado (formal) e competitivo pode fornecer efeitos positivos adicionais nos outros parâmetros sanguíneos. De facto, o grupo de atletas apresenta melhores perfis de VLDL e triacilglicerol em relação ao grupo de controlo, provavelmente devido ao aumento das exigências de ácidos gordos livres para oxidação e utilização do treino de manutenção (Horowitz, 2003; Achten, & Jeukendrup, 2004; Goodpaster, & Brown, 2005). Além disso, as exigências específicas da modalidade podem diferenciar outros parâmetros sanguíneos. Na verdade, a maior concentração de HDL em nadadores parece comprovar que os exercícios aeróbios podem ser mais eficazes no aumento do HDL, enquanto a maior HS PCR em jogadores de basquetebol pode indicar que esta modalidade induz uma resposta inflamatória pronunciada (Pedersen & Febbraio, 2005).

Apesar dos resultados encontrados suportarem os efeitos positivos da natação e do basquetebol nos perfis sanguíneos e na saúde óssea de jovens atletas, a natureza transversal deste estudo permite apenas especulações e limita a possibilidade de provar causalidade. Além disso, a falta de informações sobre nutrição, estado hormonal, e outros marcadores inflamatórios e anti-inflamatórios, também deve ser considerada uma limitação potencial que necessita de mais investigação.

CONCLUSÕES

Em suma, a participação desportiva tem sido associada a diferenças benéficas no que aos parâmetros lipídicos e ósseos diz respeito, entre adolescentes do sexo masculino. O basquetebol parece mais benéfico aos parâmetros ósseos (principalmente nos membros inferiores) do que a natação, enquanto os parâmetros metabólicos (lipídios) parecem mais propensos a serem afetados pela participação na natação do que o basquetebol. Assim, considerando que o desporto competitivo e organizado está profundamente ligado a estilos de vida ativos, representando uma importante oportunidade para implementar atividade física (European Commission, 2003; 2015) e contrabalançar as tendências seculares de aumento de doenças não transmissíveis (WHO, 2014) e de inatividade entre os jovens e adolescentes nos

países ocidentais (Dollman, Norton, & Norton, 2005), as políticas devem reforçar a prática desportiva nas crianças e jovens. Os programas de Educação Física e desporto devem incluir atividades aeróbias e anaeróbias que aumentem a possibilidade de melhorar os perfis sanguíneos, mas também necessários e direcionados para melhorias na saúde óssea.

AGRADECIMENTOS

Os autores estão gratos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. O esforço de todos os participantes, pais e treinadores também é reconhecido.

REFERÊNCIAS

- Aarnio, M., Winter, T., Peltonen, J., Kujala, U. M., & Kaprio, J. (2002). Stability of leisure-time physical activity during adolescence--a longitudinal study among 16-, 17- and 18-year-old Finnish youth. *Scand J Med Sci Sports*, *12*(3), 179-185.
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2004). Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition*, *20*(7-8), 716-727. doi: 10.1016/j.nut.2004.04.005
- Agostinete, R. R., Lynch, K. R., Gobbo, L. A., Lima, M. C., Ito, I. H., Luiz-de-Marco, R., . . . Fernandes, R. A. (2016). Basketball Affects Bone Mineral Density Accrual in Boys More Than Swimming and Other Impact Sports: 9-mo Follow-Up. *J Clin Densitom*, *19*(3), 375-381. doi: 10.1016/j.jocd.2016.04.006
- American Heart Association (2014). Children and cholesterol. Retrieved from http://www.heart.org/HEARTORG/Conditions/Cholesterol/UnderstandYourRiskforHighCholesterol/Children-and-Cholesterol_UCM_305567_Article.jsp#.WH3SebGcZE4.
- Bellew, J. W., & Gehrig, L. (2006). A comparison of bone mineral density in adolescent female swimmers, soccer players, and weight lifters. *Pediatr Phys Ther*, *18*(1), 19-22. doi: 10.1097/01.pep.0000200952.63544.16
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, *14*(5), 377-381.
- Cohen, J. (Ed). (1988). Statistical power analysis (2nd ed.). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Quiterio, A. L., Carnero, E. A., Baptista, F. M., & Sardinha, L. B. (2011). Skeletal mass in adolescent male athletes and nonathletes: relationships with high-impact sports. *J Strength Cond Res*, *25*(12), 3439-3447. doi: 10.1519/JSC.0b013e318216003b
- Dollman, J., Norton, K., & Norton, L. (2005). Evidence for secular trends in children's physical activity behaviour. *Br J Sports Med*, *39*(12), 892-897; discussion 897. doi: 10.1136/bjsm.2004.016675
- Ducher, G., Tournaire, N., Meddahi-Pelle, A., Benhamou, C. L., & Courteix, D. (2006). Short-term and long-term site-specific effects of tennis playing on trabecular and cortical

- bone at the distal radius. *J Bone Miner Metab*, 24(6), 484-490. doi: 10.1007/s00774-006-0710-3
- Dyson, K., Blimkie, C. J., Davison, K. S., Webber, C. E., & Adachi, J. D. (1997). Gymnastic training and bone density in pre-adolescent females. *Med Sci Sports Exerc*, 29(4), 443-450.
- European Commission (2008). EU physical activity guidelines. Recommended policy actions in support of health-enhancing physical activity. Retrieved from [http://www.ua.gov.tr/docs/default-source/gençlik-programı/eu-physical-activity-guidelines-2008-\(ab-beden-eğitimi-rehberi\).pdf?sfvrsn=0](http://www.ua.gov.tr/docs/default-source/gençlik-programı/eu-physical-activity-guidelines-2008-(ab-beden-eğitimi-rehberi).pdf?sfvrsn=0).
- European Commission (2015). Expert group on health-enhancing physical activity. Recommendations to encourage physical education in schools, including motor skills in early childhood, and to create valuable interactions with the sport sector, local authorities and the private sector. Retrieved from <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=19860&no=1>.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., . . . Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*, 15(1), 109-115.
- Gillam, G. (Ed). (1985). Physiological basis of basketball bioenergetics (1st ed.)Colorado Springs: National Strength & Conditioning. Association Journal.
- Goodpaster, B. H., & Brown, N. F. (2005). Skeletal muscle lipid and its association with insulin resistance: what is the role for exercise? *Exerc Sport Sci Rev*, 33(3), 150-154.
- Harvey, N., Dennison, E., & Cooper, C. (2010). Osteoporosis: impact on health and economics. *Nat Rev Rheumatol*, 6(2), 99-105. doi: 10.1038/nrrheum.2009.260
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Horowitz, J. F. (2003). Fatty acid mobilization from adipose tissue during exercise. *Trends Endocrinol Metab*, 14(8), 386-392.
- Janssen, I., & Leblanc, A. G. (2010). Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 7, 40. doi: 10.1186/1479-5868-7-40
- Katzmarzyk, P. T., & Malina, R. M.(1998). Contribution of organized sports participation to estimated daily energy expenditure in youth. *Pediatr Exerc Sci*, 10, 378-386.
- Kavey, R. E., Allada, V., Daniels, S. R., Hayman, L. L., McCrindle, B. W., Newburger, J. W., . . . Outcomes, R. (2006). Cardiovascular risk reduction in high-risk pediatric patients: a scientific statement from the American Heart Association Expert Panel on Population and Prevention Science; the Councils on Cardiovascular Disease in the Young, Epidemiology and Prevention, Nutrition, Physical Activity and Metabolism, High Blood Pressure Research, Cardiovascular Nursing, and the Kidney in Heart Disease; and the

- Interdisciplinary Working Group on Quality of Care and Outcomes Research: endorsed by the American Academy of Pediatrics. *Circulation*, 114(24), 2710-2738. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.179568
- Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2006). Aerobic exercise and HDL2-C: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Atherosclerosis*, 184(1), 207-215. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2005.04.005
- McGuigan, M. R., Al Dayel, A., Tod, D., Foster, C., Newton, R. U., & Pettigrew, S. (2008). Use of session rating of perceived exertion for monitoring resistance exercise in children who are overweight or obese. *Pediatr Exerc Sci*, 20(3), 333-341.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 689-694.
- Molgaard, C., Thomsen, B. L., & Michaelsen, K. F. (2001). The influence of calcium intake and physical activity on bone mineral content and bone size in healthy children and adolescents. *Osteoporos Int*, 12(10), 887-894.
- Naghii, M. R., Aref, M. A., Almadadi, M., & Hedayati, M. (2011). Effect of regular physical activity on non-lipid (novel) cardiovascular risk factors. *Int J Occup Med Environ Health*, 24(4), 380-390. doi: 10.2478/s13382-011-0044-9
- Nemet, D., Oh, Y., Kim, H. S., Hill, M., & Cooper, D. M. (2002). Effect of intense exercise on inflammatory cytokines and growth mediators in adolescent boys. *Pediatrics*, 110(4), 681-689.
- Nordstrom, A., Karlsson, C., Nyquist, F., Olsson, T., Nordstrom, P., & Karlsson, M. (2005). Bone loss and fracture risk after reduced physical activity. *J Bone Miner Res*, 20(2), 202-207. doi: 10.1359/JBMR.041012
- Nordstrom, P., Pettersson, U., & Lorentzon, R. (1998). 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*, 13(7), 1141-1148. doi: 10.1359/jbmr.1998.13.7.1141
- Pedersen, B. K., & Febbraio, M. (2005). Muscle-derived interleukin-6--a possible link between skeletal muscle, adipose tissue, liver, and brain. *Brain Behav Immun*, 19(5), 371-376. doi: 10.1016/j.bbi.2005.04.008
- Pfeiffer, K. A., Dowda, M., Dishman, R. K., McIver, K. L., Sirard, J. R., Ward, D. S., & Pate, R. R. (2006). Sport participation and physical activity in adolescent females across a four-year period. *J Adolesc Health*, 39(4), 523-529. doi: 10.1016/j.jadohealth.2006.03.005
- Pyne, D. B., & Sharp, R. L. (2014). Physical and energy requirements of competitive swimming events. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 24(4), 351-359. doi: 10.1123/ijsnem.2014-0047
- Raisz, L. G. (2005). Pathogenesis of osteoporosis: concepts, conflicts, and prospects. *J Clin Invest*, 115(12), 3318-3325. doi: 10.1172/JCI27071
- Ruiz, J. C., Mandel, C., & Garabedian, M. (1995). Influence of spontaneous calcium intake and physical exercise on the vertebral and femoral bone mineral density of children and adolescents. *J Bone Miner Res*, 10(5), 675-682. doi: 10.1002/jbmr.5650100502

- Seabra, A., Katzmarzyk, P., Carvalho, M. J., Seabra, A., Coelho, E. S. M., Abreu, S., . . . Malina, R. M. (2016). Effects of 6-month soccer and traditional physical activity programmes on body composition, cardiometabolic risk factors, inflammatory, oxidative stress markers and cardiorespiratory fitness in obese boys. *J Sports Sci*, 34(19), 1822-1829. doi: 10.1080/02640414.2016.1140219
- Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B., . . . Trudeau, F. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *J Pediatr*, 146(6), 732-737. doi: 10.1016/j.jpeds.2005.01.055
- Tambalis, K., Panagiotakos, D. B., Kavouras, S. A., & Sidossis, L. S. (2009). Responses of blood lipids to aerobic, resistance, and combined aerobic with resistance exercise training: a systematic review of current evidence. *Angiology*, 60(5), 614-632. doi: 10.1177/0003319708324927
- Tanaka, H. (2009). Swimming exercise: impact of aquatic exercise on cardiovascular health. *Sports Med*, 39(5), 377-387. doi: 10.2165/00007256-200939050-00004
- Tenforde, A. S., & Fredericson, M. (2011). Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM R*, 3(9), 861-867. doi: 10.1016/j.pmrj.2011.05.019
- Trost, S. G., Pate, R. R., Saunders, R., Ward, D. S., Dowda, M., & Felton, G. (1997). A prospective study of the determinants of physical activity in rural fifth-grade children. *Prev Med*, 26(2), 257-263. doi: 10.1006/pmed.1996.0137
- Vos, T., Flaxman, A. D., Naghavi, M., Lozano, R., Michaud, C., Ezzati, M., . . . Memish, Z. A. (2012). Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*, 380(9859), 2163-2196. doi: 10.1016/S0140-6736(12)61729-2
- Wickel, E. E., & Eisenmann, J. C. (2007). Contribution of youth sport to total daily physical activity among 6-to 12-yr-old boys. *Med Sci Sports Exerc*, 39(9), 1493-1500.
- Wiebe, P. N., Blimkie, C. J., Farpour-Lambert, N., Briody, J., Woodhead, H., Cowell, C., & Howman-Giles, R. (2002). Correlates and determinants of bone mineral density in prepubertal girls. *Pediatr Exerc Sci*, 14(4), 345-357.
- Williams, C. L., Hayman, L. L., Daniels, S. R., Robinson, T. N., Steinberger, J., Paridon, S., & Bazzarre, T. (2002). Cardiovascular health in childhood: A statement for health professionals from the Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in the Young (AHOY) of the Council on Cardiovascular Disease in the Young, *Am Heart Assoc Circulation*, 106(1), 143-160.
- World Health Organization (2004). Global strategy on diet, physical activity and health. physical activity and young people. Geneva: World Health Organization
- World Health Organization (2014). Global status report on noncommunicable diseases. Geneva: World Health Organization, Department of Noncommunicable Diseases and Mental Health.
- Yang, P., & Brüggemann, G. P., & Rittweger, J. (2011). What do we currently know from in vivo

bone strain measurements in humans? *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 11(1), 8-20.

Zribi, A., Zouch, M., Chaari, H., Bouajina, E., Zaouali, M., Nebigh, A., & Tabka, Z. (2014). Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent basketball players. *J Clin Densitom*, 17(1), 156-162. doi: 10.1016/j.jocd.2013.04.001

3.4 Estudo 4

Artigo Original

DENSIDADE MINERAL ÓSSEA, COMPOSIÇÃO CORPORAL E FORÇA POR DINAMOMETRIA ESTÁTICA E ISOCINÉTICA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE FUTEBOLISTAS ADULTOS AMADORES E ADULTOS ATIVOS E SAUDÁVEIS

Original Study

BONE MINERAL DENSITY, BODY COMPOSITION AND STRENGTH ASSESSED BY STATIC AND ISOKINETIC DYNAMOMETRY: COMPARISON BETWEEN AMATEUR SOCCER PLAYERS AND ACTIVE HEALTHY ADULTS

ÓSCAR M. TAVARES¹, JOÃO P. DUARTE², DANIELA C. COSTA², PAULO SOUSA-E-SILVA², DIOGO MARTINHO², LEONARDO G. O. LUZ^{2,3}, PEDRO MOROUÇO⁴, JOÃO VALENTE-DOS-SANTOS^{2,5}, RUI SOLES-GONÇALVES⁶, JORGE CONDE⁷, JOSÉ M. CASANOVA⁸, MANUEL J. COELHO-E-SILVA^{2*}

¹Department of Medical Imaging and Radiation Therapy, School of Health and Technology, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

²CIDAF (UID/DTP/04213/2016), Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

³Kineanthropometry Laboratory, Physical Activity and Health Promotion, Alagoas Federal University, Arapiraca, Brazil

⁴Centre for Rapid and Sustainable Product Development (CDRSP), Polytechnic Institute of Leiria, Leiria, Portugal

⁵Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University of Humanities and Technologies, Lisbon, Portugal

⁶Department of Physiotherapy, School of Health and Technology, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁷Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁸Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

RESUMO

O presente estudo examinou as diferenças de massa gorda e magra, conteúdo (CMO) e densidade mineral óssea (DMO), força estática e força isocinética entre um grupo de futebolistas, não profissionais (n=31, 23.44 anos, IC95% 22.48-24.39 anos), e um grupo de jovens adultos (n=35, 21.65 anos, IC95% 20.74-22.54 anos), fisicamente ativos e saudáveis. Ambos os grupos foram submetidos a medidas antropométricas e de pletismografia de ar deslocado para determinar o volume corporal e, subsequentemente, a densidade corporal. O tecido magro, o tecido gordo e o CMO e DMO foram obtidos por absorciometria de raios-X de dupla energia. A avaliação da força em ação isométrica dos membros superiores foi realizada com um dinamómetro mecânico e a avaliação isocinética dos músculos extensores e flexores do joelho foi realizada em modo concêntrico, à velocidade angular de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$. O tamanho do efeito das comparações entre grupos foi estimado através do “d” de Cohen. A absorciometria permitiu observar que o grupo de futebolistas obteve níveis superiores de CMO (+651 g, $d=1.60$, $p<0.01$). A mesma tendência ($d=1.20$ to 1.90 , $p<0.01$) foi verificada para a DMO [+19.4%, +8.6% e + 16.8% para a coluna lombar (L1-L4), membros superiores e membros inferiores, respectivamente). Relativamente à avaliação funcional, os futebolistas apenas obtiveram valores superiores de força na preensão manual (+5.6 kg·f). A prática de atividades com inúmeros impactos mecânicos, como o futebol, é suficiente para promover a obtenção e controlo de composição corporal ideal, conferindo vantagens acrescidas de tecido ósseo em jovens adultos do sexo masculino.

PALAVRAS-CHAVE:

atletas e não atletas, desporto com impacto mecânico, DXA, saúde óssea, avaliação funcional.

ABSTRACT

The current cross-sectional study was aimed to compare soft-tissue composition, total and regional bone mineral content (BMC) and density (BMD), static grip and knee joint isokinetic strength between amateur soccer players (n=31, 23.44 years, 95%CI 22.48-24.39 years) and active healthy adults (n=35, 21.65 years, 95%CI 20.74-22.54 years). Body size given by stature, was measured. Air-displacement plethysmography (compartment volume without subject minus volume with subject) was used to estimate body volume and, in turn, density. Total and regional body composition; BMC and BMD were assessed for the whole body and at standardized regions using dual energy X-ray absorptiometry. Static grip strength was assessed with an adjustable dynamometer and maximal moments of strength of concentric muscular actions for the knee extensors and flexors were assessed by isokinetic dynamometry at $60^{\circ} \cdot s^{-1}$. Cohen's d effect sizes and thresholds were used to evaluate the magnitude of the differences between groups. Soccer players showed largely greater total body BMC compared with the healthy active adults (+651 g, d=1.60, p<0.01). Furthermore, soccer players displayed largely higher (d=1.20 to 1.90, p<0.01) skeletal BMD [+19.4%, +8.6% and +16.8% for lumbar spine (L1-L4), upper limbs and lower limbs, respectively]. Likewise, static grip strength was also moderately greater (d=0.99, p<0.01) in the soccer players (+5.6 kg·f).

Conclusion: These results suggest that impact-loading activities such as amateur soccer practice promote adequate body soft-tissue composition and gains in bone mineral acquisition at strained body sites in male adults.

KEYWORDS:

athletes and non-athletes, impact loading sport, DXA, bone health, functional evaluation.

INTRODUÇÃO

A saúde óssea é considerada como tendo um relevante impacto na sociedade contemporânea, quer em termos de saúde pública, como também do ponto de vista económico e social, devido, em boa parte, ao progressivo envelhecimento da população. A osteoporose decorre do processo de remodelação óssea, quando a taxa de reabsorção óssea excede a formação do tecido ósseo, resultando em valores baixos de densidade mineral óssea, associados a fracas propriedades mecânicas, constituindo um quadro de fragilidade e vulnerabilidade a fraturas, sobretudo em quedas (Seeman, 2003). Embora, durante o envelhecimento, as mulheres tenham maior risco de fratura óssea devido à menor aposição periosteal (Duan, Turner, Kim, & Seeman, 2001), estima-se que o risco de homens com mais de 50 anos vivenciarem uma fratura osteoporótica é de 27% (Cooley & Jones, 2001). Por sua vez, a atividade física tem sido consistentemente associada a benefícios para a saúde metabólica, mental, cardiovascular, independentemente da idade e sexo, incluindo também os indicadores de saúde óssea.

A urbanização crescente da população mundial das áreas rurais para as regiões predominantemente metropolitanas concorre para a redução da mobilidade diária, associando-se à modernização dos sectores de atividade económica, tradicionalmente nos sectores primários e secundários (agrícola e industrial) para o terciário (serviços), com implicações na redução da equação energética diária. A este quadro hipocinético, associa-se um contexto obesogénico, caracterizado por comportamentos sedentários social e individualmente sedutores (especialmente o tempo de ecrã) combinados com o consumo de alimentos de baixo valor nutricional. O desenvolvimento morfológico e funcional durante a infância e adolescência é, reconhecidamente, um fator determinante para a saúde óssea na idade adulta (Bachrach, 2001). A participação desportiva é, muito provavelmente, uma das mais relevantes formas de atividade física nas duas primeiras décadas de vida, a par da Educação Física curricular. Esta constatação tem motivado as principais instituições promotoras de um estilo de vida saudável (e.g., Colégio Americano de Medicina do Desporto) a indicarem a atividade física, conjugada com uma adequada dieta alimentar, como foco muito relevante nas políticas de saúde pública (Pescatello, 2014).

Estudos experimentais têm procurado identificar a natureza e o tipo de relação dose-resposta, não se devendo assumir uma linearidade direta e proporcionalidade generalizada entre a atividade física e os benefícios para a saúde (Janssen & Leblanc, 2010), valorizando-se, particularmente, as porções de atividade física de intensidade moderada e vigorosa (Lee & Skerrett, 2001; Loprinzi, 2015), nomeadamente na melhoria da aptidão cardiorrespiratória, incluindo a alteração das proporções de massa gorda e massa magra, sendo menos estudados os efeitos da atividade física nos indicadores de saúde óssea (Janssen & Leblanc, 2010). O exercício eminentemente aeróbio tem merecido maior protagonismo nas recomendações à sociedade, mas relativamente à densidade mineral óssea (DMO), tem interesse conhecer-se

quais os tipos de atividades que concorrem para a sua melhoria, quais os fatores que lhe estão associados para potenciar os benefícios da atividade física (Izard, Fraser, Negus, Sale, & Greeves, 2016), e do ponto de vista metodológico, as tecnologias disponíveis permitem apreciar a especificidade dos ganhos de densidade mineral no tecido ósseo (Kelley, Kelley, & Tran, 2000). Existe um certo consenso em como o incremento de conteúdo mineral ósseo (CMO) requer exercícios eminentemente de força muscular, valorizando-se carga mecânica como elemento de fortalecimento do tecido ósseo (Robling, Castillo, & Turner, 2006; Nilsson, Ohlsson, Mellstrom, & Lorentzon, 2009). Um estudo com 361 participantes (24.1±0.6 anos de idade), evidenciou os benefícios associados ao futebol na densidade, geometria e microestrutura óssea (Nilsson, Ohlsson, Mellstrom, & Lorentzon, 2013). Dados semelhantes já haviam sido evidenciados pelas diferenças obtidas entre 14 modalidades desportivas (Morel, Combe, Francisco, & Bernard, 2001). Os estudos não são satisfatoriamente abundantes no que se refere à associação entre a participação desportiva e saúde óssea, considerando igualmente as componentes teciduais e provas de força específicas (relativamente aos grupos musculares testados e às formas de manifestação de força: estática, isocinética) (Lau et al., 2011; Pedersen, & Febbraio, 2012), colocando o interesse da investigação num quadro mais complexo de interassociações, para além de uma explicação simplista entre o impacto mecânico e a elevação do tecido ósseo.

Assim, considera-se relevante examinar a associação entre a massa gorda, a massa magra, o conteúdo mineral ósseo e as diferentes formas de expressão de força, nomeadamente a avaliada com recurso a dinamometria isocinética dos extensores e flexores do joelho (específica de futebolistas) e dinamometria estática de preensão manual (não específica do futebol), considerando para o efeito um grupo de futebolistas com vários anos de prática da modalidade competitiva, embora não profissional, por contraste a um de jovens adultos, da mesma idade, não praticantes de desporto federado, mas caracterizados como fisicamente ativos.

MÉTODOS

Amostra

A amostra foi composta por 66 adultos masculinos com uma amplitude cronológica entre os 18.5 e os 29.9 anos de idade, divididos num grupo de adultos saudáveis, sem meio de transporte próprio, uma média superior a 10000 passos diários e não portadores de qualquer doença, incluindo lesões neuromusculares (G1: n=35) e um grupo de praticantes de futebol federado (G2: n=31), recrutados localmente (isto é, clubes da terceira divisão nacional). A informação relativa aos anos de prática desportiva na modalidade de futebol foi fornecida pelos clubes e confirmada nas associações. Para serem incluídos no G2, os sujeitos tinham de ter um mínimo

de quatro anos de prática de futebol e treinarem pelo menos quatro vezes por semana nos escalões da Federação Portuguesa de Futebol.

Procedimentos

As recolhas foram realizadas de acordo com as normas éticas internacionais para ensaios com amostras humanas (Harriss, Macsween, & Atkinson, 2017), após aprovadas pela Comissão de Ética da Universidade de Coimbra (CE/FCDEF-UC/00102014). Todos os participantes assinaram um consentimento informado e a participação foi voluntária e informada acerca da natureza e objetivos do estudo, sendo permitida a desistência.

Antropometria

A estatura foi obtida através de um estadiómetro (Harpenden stadiometer, modelo 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, UK) com aproximação ao 0.1cm.

Pletismografia de ar deslocado

Foi utilizado um equipamento que permite determinar o volume corporal (Bod Pod Composition System, modelo Bod Pod 2006, Life Measurement, Inc., Concord, CA, USA) e, subsequentemente, a densidade corporal. Inicialmente foi avaliada a massa corporal, com a precisão de 0.01 kg, numa balança electrónica conectada ao aparelho. A calibração da unidade foi efetuada antes de cada teste individual, usando um cilindro de 50.225 litros. Todos os participantes foram testados com o uso de calções de banho de licra e touca, sentados na câmara do Bod Pod, imóveis, enquanto o volume corporal foi medido consecutivamente, até que dois valores dentro de 150mL tivessem sido obtidos. Quando necessário obter mais do que três volumes corporais, foi realizada uma avaliação adicional. O volume médio de ar nos pulmões e tórax durante a respiração corrente normal (volume de gás torácico) foi predito para cada sujeito, usando o cálculo do volume corporal. A densidade corporal (massa corporal/volume corporal) foi calculada e usada para estimar a percentagem de massa gorda (Siri, 1993). Todas as avaliações foram executadas pelo mesmo investigador com experiência técnica de laboratório.

Absorciometria de raios-X de dupla energia

Os parâmetros da composição dos tecidos corporais foram obtidos por absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA), avaliando os participantes em decúbito dorsal. Esta metodologia (Lunar DPX-PRO/NT/MD+) quantificou o tecido magro (TM), o tecido gordo (TG), CMO e DMO. Todas as avaliações foram efetuadas num laboratório certificado e por um técnico experiente.

Dinamometria preensão manual (força estática)

A avaliação da força em ação isométrica do membro superior foi realizada com um dinamômetro mecânico (Hand Dynamometer, Lafayette modelo 78010, USA) em ambos os membros. A preensão manual máxima foi efetuada sem haver qualquer contacto com o corpo e o registo do resultado expresso em kg·f.

Dinamometria isocinética

A avaliação isocinética (Biodex System 3, Shirley, NY, EUA) dos músculos extensores do joelho e flexores do joelho foi realizada apenas em modo concêntrico, à velocidade angular de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$. Os participantes foram colocados em posição sentada, sendo o braço da alavanca alinhado com o epicôndilo lateral do joelho e a tira de fixação na articulação tibiotársica colocada aproximadamente entre 3 a 5 cm do maléolo medial da tíbia. Os participantes foram instruídos para colocar as mãos nos ombros durante todo o teste. A amplitude de movimento durante o teste foi determinada através da extensão voluntária máxima (0° para 90° de flexão do joelho). A remoção do efeito da gravidade no braço do dinamómetro foi efetuada através da calibração do mesmo no início de cada sessão. A avaliação foi realizada em modo concêntrico (CON) e os participantes instruídos a realizar a máxima força. Foram realizadas cinco repetições máximas contínuas para a extensão e flexão do joelho em cada uma das velocidades. A informação retirada foi o momento de força máximo (MF_{max}), expresso em N·m. O aquecimento para o teste foi realizado em cicloergómetro (Monark 814E, Varberg, Sweden) com uma resistência mínima (≤ 60 rpm), três exercícios de alongamentos estáticos (20 segundos) dos quadricíptes, isquiotibiais e adutores, e ajustados no dinamómetro três repetições (para a extensão e flexão) nas velocidades de teste. Os dados foram posteriormente analisados recorrendo à filtragem e suavização das curvas com recurso ao programa AcqKnowledge, versão 4.1 (Biopac Systems, Inc.).

Análise estatística

A estatística descritiva (amplitude, média, erro padrão da média, 95% do intervalo de confiança da média e desvio-padrão) foi calculada para a totalidade da amostra. A normalidade das variáveis foi verificada através do teste Kolmogorov-Smirnov. O tamanho do efeito das comparações entre grupos foi estimado através do “d” de Cohen. A análise estatística foi conduzida no programa IBM SPSS 22.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL), com o nível de significância estabelecido nos 5%.

RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os valores descritivos obtidos na metodologia antropométrica, incluindo pletismografia de ar deslocado, e relativos à avaliação funcional, bem como os relativos à saúde óssea e composição tecidual. Verificou-se em diversas variáveis a violação da distribuição normal, apresentando coeficientes de variação acima dos 15%, refletindo a heterogeneidade intergrupar.

Tabela 1. Estatística descritiva e prova estatística para testar a normalidade da distribuição (n=66).

Variável	unidade medida	mínimo - máximo	valor	média		intervalo confiança 95%	desvio-padrão	normalidade (Kolmogorov-Smirnov)	
				erro padrão	valor			valor	p
Idade cronológica	anos	18.48 - 29.93	22.49	0.30		(21.80 a 23.17)	2.80	0.146	<0.01
Estatura	cm	155.8 - 191.5	176.9	0.7		(175.4 a 178.4)	6.0	0.068	0.20
Massa corporal	kg	50.1 - 101.9	74.6	1.335		(71.8 a 77.2)	10.9	0.142	<0.01
Volume corporal	L	46.2 - 100.2	70.1	1.379		(67.3 a 72.9)	11.2	0.160	<0.01
Densidade corporal	L·kg ⁻¹	1.018 - 1.092	1.066	0.002		(1.061 a 1.070)	0.019	0.139	<0.01
TM: corpo todo	kg	44.565 - 71.799	56.823	0.800		(55.525 a 58.442)	6.502	0.095	0.20
TM: membros inferiores	kg	6.057 - 12.487	8.789	0.183		(8.423 a 9.155)	1.489	0.106	0.06
TM: membro superiores	kg	2.322 - 7.647	4.750	0.085		(4.580 a 4.920)	0.692	0.111	0.04
TG: corpo todo	kg	2.392 - 36.735	13.253	1.038		(11.179 a 15.328)	8.439	0.167	<0.01
	%	4.8 - 39.1	17.3	1.1		(15.1 a 19.4)	9.7	0.154	<0.01
TG: membros inferiores	kg	0.409 - 8.614	2.302	0.242		(1.819 a 2.786)	1.965	0.168	<0.01
TG: membro superiores	kg	0.143 - 2.631	0.615	0.084		(0.448 a 0.782)	0.068	0.314	<0.01
CMO: corpo total	g	2215 - 4906	3370	65		(3241 a 3500)	525	0.079	0.20
DMO: corpo total	g·cm ⁻²	1.029 - 1.576	1.302	0.015		(1.273 a 1.332)	0.120	0.052	0.20
DMO: lombar 1-4	g·cm ⁻²	0.931 - 1.852	1.307	0.023		(1.312 a 1.408)	0.193	0.089	0.20
DMO: membros inferiores	g·cm ⁻²	1.370 - 2.257	1.741	0.025		(1.691 a 1.791)	0.203	0.077	0.20
DMO: membro superiores	g·cm ⁻²	0.900 - 1.303	1.109	0.011		(1.073 a 1.1118)	0.091	0.050	0.20
MF _{max} : extensores joelho (60°·s ⁻¹)	N·m	138 - 306	214	4		(206 a 223)	35	0.061	0.20
MF _{max} : flexores joelho (60°·s ⁻¹)	N·m	45 - 164	113	3		(107 a 120)	25	0.066	0.20
Dinamometria manual	kg·f	30.0 - 61.5	45.1	0.8		(43.6 a 46.7)	6.1	0.071	0.20

Nota: CMO: conteúdo mineral ósseo; DMO: densidade mineral óssea; TM: tecido magro; TG: tecido gordo; MF_{max}: momento de força máximo.

As comparações entre grupos são apresentadas na Tabela 2. No que se refere à composição corporal, foi possível verificar que o grupo de futebolistas apresentou valores superiores de densidade corporal ($+0.016 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$, $d=1.22$). Por sua vez, os adultos saudáveis apresentaram percentagens superiores de massa gorda nos diferentes segmentos analisados ($d=0.67$ a 1.67) e massa magra dos membros inferiores ($d=1.39$). A absorciometria permitiu observar que o grupo de futebolistas obteve níveis superiores de CMO ($+651 \text{ g}$, $d=1.60$).

Tabela 2. Estatística descritiva por grupo e diferença entre médias nas variáveis morfológicas e funcionais.

		G1: adultos saudáveis (n=35)	G2: futebolistas (n=31)	diferença médias (IC95%)	t	p	d	magnitude do efeito
Idade cronológica	anos	21.65 (20.74; 22.54)	23.44 (22.48; 24.39)					
Anos de prática desportiva	anos		14.4 (13.3; 15.5)					
Estatura	cm	175.1 (173.2; 177.0)	178.9 (176.9; 180.9)	-3.7 (-6.5 a -1.0)	-2.702	<0.01	0.67	(moderada)
Massa corporal	kg	73.7 (70.0; 77.4)	75.6 (71.7; 79.5)	-1.873 (-7.069 a 3.320)	-0.724	0.47	0.16	(trivial)
Densidade corporal	L·kg ⁻¹	1.059 (1.053; 1.065)	1.075 (1.068; 1.081)	-0.016 (-0.024 a -0.077)	-3.838	<0.01	1.22	(larga)
TM: corpo todo	kg	52.763 (51.117; 54.407)	61.409 (59.660; 63.157)	-8.646 (-11.047 a -6.246)	-7.195	<0.01	1.75	(larga)
TM: membro superiores	kg	4.850 (4.617; 4.390)	4.638 (4.390; 4.886)	0.212 (-0.128 a 0.552)	1.247	0.21	0.30	(pequena)
TM: membros inferiores	kg	9.597 (9.184; 10.009)	7.888 (7.439; 8.316)	1.719 (1.116 a 2.321)	5.703	<0.01	1.39	(larga)
TG: corpo todo	%	20.6 (17.9; 23.1)	13.5 (10.6; 16.3)	7.1 (3.1 a 11.0)	3.735	<0.05	0.87	(moderada)
TG: membro superiores	kg	15.821 (13.106; 18.537)	10.354 (7.470; 13.239)	5.467 (1.504 a 9.428)	2.756	0.08	0.67	(moderada)
TG: membros inferiores	kg	0.917 (0.713; 1.120)	0.275 (0.058; 0.491)	0.642 (0.345 a 0.940)	4.317	<0.01	1.05	(moderada)
	kg	3.500 (2.993; 4.007)	0.950 (0.412; 1.488)	2.550 (1.810 a 3.289)	6.888	<0.01	1.67	(larga)
CMO: corpo todo	g	3064 (2925; 3205)	3715 (3567; 3764)	-651 (-854 a -446)	-6.369	<0.01	1.60	(larga)
DMO: corpo todo	g·cm ⁻²	1.23 (1.20; 1.27)	1.38 (1.35; 1.41)	-0.14 (-0.19 a -0.10)	-1.593	<0.01	0.99	(moderada)
DMO: lombar L1-L4	g·cm ⁻²	1.24 (1.20; 1.29)	1.49 (1.43; 1.54)	-0.24 (-0.31 a -0.17)	-6.423	<0.01	1.90	(larga)
DMO: membros superiores	g·cm ⁻²	1.05 (1.03; 1.07)	1.14 (1.18 a 1.7)	-0.09 (-0.13 a 0.05)	-4.874	<0.01	1.22	(larga)
DMO: membros inferiores	g·cm ⁻²	1.61 (1.56; 1.66)	1.88 (1.83; 1.94)	-0.27 (-0.35 a -0.20)	-7.554	<0.01	1.90	(larga)
Dinamometria manual	kg·f	42.5 (40.6; 44.3)	48.1 (46.1; 50.1)	-5.6 (-8.3 a -2.9)	-4.156	<0.01	0.99	(moderada)
MF _{max} : extensores Joelho	N·m	212 (200; 224)	217 (205; 230)	-5 (-22 a 12)	-0.282	0.562	0.14	(trivial)
MF _{max} : flexores Joelho	N·m	113 (104; 121)	114 (104; 123)	-1 (-14 a 11)	-0.223	0.824	0.03	(trivial)

Nota: IC: intervalo de confiança; TM: tecido magro; TG: tecido gordo; CMO: conteúdo mineral ósseo; DMO: densidade mineral óssea; MF_{max}: momento de força máximo.

A mesma tendência foi verificada para a DMO (lombar L1-L4: $+0.24 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$, $+19.4\%$, $d=1.90$; membros superiores: $+0.09 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$, $+8.6\%$, $d=1.20$; membros inferiores: $+0.27 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$, $+16.8\%$, $d=1.90$), conforme é ilustrado na Figura 1. Relativamente à condição física, os futebolistas apenas obtiveram valores superiores de força na preensão manual ($+5.6 \text{ kg}\cdot\text{f}$, $d=0.99$).

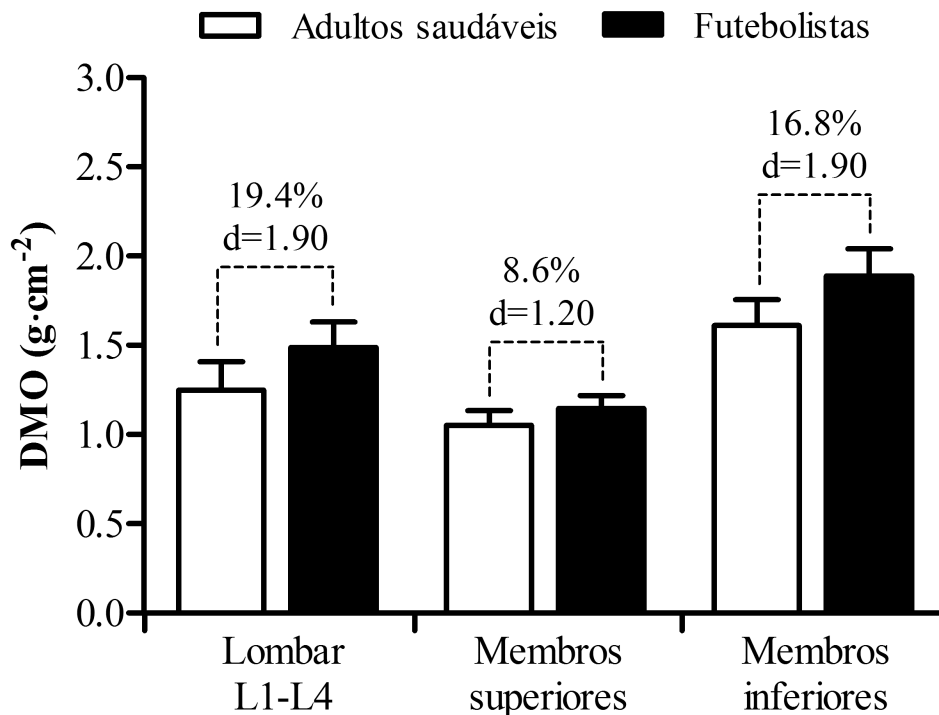


Figura 1. Diferenças ($p<0.01$) entre adultos ativos e saudáveis (barras brancas) e futebolistas adultos amadores (barras pretas) na densidade mineral óssea da coluna lombar (L1-L4), dos membros superiores e membros inferiores.

DISCUSSÃO

Diferenças de massa óssea têm sido justificadas através de fatores intrínsecos (e.g., sexo, idade) e extrínsecos (e.g., dieta alimentar, exercício físico) (Glaser & Kaplan, 1997), sendo os extrínsecos possíveis de serem adaptados e regulados de acordo com a saúde do indivíduo. O presente estudo comparou um grupo de adultos saudáveis e ativos, mas que não praticam uma modalidade desportiva de forma regular, com um grupo de praticantes de futebol federado, relativamente à composição corporal, saúde óssea e avaliação funcional. Os principais resultados sugerem que a prática do futebol, que se associa a cargas mecânicas promove, largamente, o CMO do corpo todo e, moderadamente, a DMO quando analisada para o corpo todo, mas mais substantivamente (em termos de magnitude dos efeitos) quando se observam regiões particulares (coluna lombar e regiões apendiculares, isto é, membros superiores e inferiores). Tal acontece, mesmo quando as diferenças para as formas de

manifestação de força muscular assumem menor magnitude de efeitos (trivial ou moderada). Adicionalmente, verificou-se que o grupo de adultos saudáveis apresentou índices de massa gorda superiores, sugerindo que um programa desportivo pode ser diferenciador na obtenção do equilíbrio energético e, conseqüentemente, na manutenção da massa corporal ideal, ou na obtenção de melhores indicadores de saúde do tecido ósseo, sendo observáveis, mesmo quando funcionalmente o nível de participação desportiva não é de alta competição e não são notadas diferenças funcionais relevantes entre os praticantes e adultos saudáveis fisicamente ativos.

A atividade física realizada durante a infância e adolescência produz efeitos duradouros na idade adulta e condiciona a saúde óssea nas idades mais avançadas (Bachrach, 2001). Em 2010, estimou-se que mais de 1 milhão de homens teve fratura por fragilidade óssea na União Europeia (Hernlund et al., 2013). Nos Estados Unidos da América as projeções são para que, de 2010 a 2030, o número de fraturas da anca em homens deverá aumentar em 51,8% (Stevens, Rudd, 2013), resultando em custos de tratamento e reabilitação acima dos 7 bilhões de dólares (Burge et al., 2007). Desta forma, estudar a saúde óssea em homens poderá contribuir para antever estratégias de atuação, específicas para esta população. Sendo o futebol uma modalidade amplamente praticada, de elevada intensidade e com elevado impacto mecânico articular (Mithoefer, Williams, Warren, Wickiewicz, & Marx, 2006), o presente estudo demonstrou ser uma proposta de prática desportiva suficiente para estimular a densidade mineral óssea. Os resultados obtidos confirmam os resultados de estudos anteriores (Wittich et al., 1998), em que o grupo de futebolistas apresentou uma densidade (corpo todo), cerca de 12% superior ao grupo de controlo. No entanto, ao invés do expectável, não se detetaram diferenças na força muscular isocinética entre grupos. Esta similaridade demonstra que a totalidade da amostra do presente estudo exerce uma atividade física passível de induzir adaptações na quantidade e funcionalidade do tecido muscular, sugerindo que as adaptações ósseas requerem doses superiores e especificidade, isto é, impacto mecânico (Nilsson, et al., 2013). Os futebolistas produzem níveis de força superiores, comparativamente ao grupo de adultos saudáveis, reforçando a ideia do teste de preensão manual, sendo de fácil aplicabilidade, cumpre uma função de diagnóstico geral e global de condição músculo-esquelético, sendo também utilizado na avaliação sumaria de grupos subnutridos(Leong et al., 2015).

A diferença no conteúdo mineral ósseo não foi notada como sendo significativa, num estudo comparativo de futebolistas com corredores (Fredericson, Chew, Ngo, Cleek, Kiratli, & Cobb, 2007). Estes praticantes deverão estar sujeitos a um impacto mecânico suficiente para essa aproximação mas quando relativizado à área do tecido ósseo, para determinar a densidade mineral óssea, foi possível observar uma diferença de magnitude larga nesta última. Portanto, embora o conteúdo mineral ósseo possa ser um parâmetro relevante para a saúde óssea, a densidade oferece-se como tendo maior validade de conteúdo.

Cumulativamente, foi possível verificar uma relação inversa entre a massa magra e massa gorda nos diferentes segmentos, decorrente da intensidade em *sprints*, saltos, aceleração e desacelerações a que os jogadores de futebol estão sujeitos (Carling & Orhant, 2010). Tal reforça a relevância de regimes de atividade física oscilatórios em intensidade, acíclicos em termos de padrão de movimentos e com impacto mecânico. Numa pesquisa com 88 participantes femininos em idades peri-pubertárias (6-11 anos, sendo 30 ginastas de alta competição com regimes de treino a rondar 16 horas semanais, 29 ginastas com regimes de treino entre 1-5 horas semanais e 29 jovens não praticantes da modalidade de ginástica) (Burt, Naughton, Greene, Courteix, & Ducher, 2012), foi avaliado o tecido magro, conteúdo e densidade mineral óssea do membro superior, geometria óssea do antebraço e três provas funcionais de desempenho muscular do membro superior, concluindo-se que as ginastas com regimes de treino mais modestos alcançaram melhores desempenhos funcionais, e valores mais favoráveis de geometria e resiliência do tecido ósseo, sendo as diferenças entre os dois grupos de ginastas a favor do grupo de elite no que diz respeito à massa muscular total e à área muscular da máxima secção transversa do antebraço.

O presente estudo apresenta algumas limitações. A amostra estudada, além de transversal, foi composta por grupos com uma dimensão amostral relativamente baixa e somente com sujeitos adultos e do sexo masculino. Isto reduz a extrapolação dos presentes resultados para outras amostragens. A análise destas diferenças em sujeitos com idades mais jovens, a inclusão de sujeitos do sexo feminino e com maior variabilidade de tamanho e composição corporal deve ser enfocada em futuras investigações. Isto vai permitir desenhar programas e estratégias adequadas para incrementar a saúde óssea durante os períodos de crescimento, maturação e desenvolvimento do segmento infanto-juvenil, conduzindo a uma prevenção mais eficaz de osteoporose.

CONCLUSÕES

Resumindo, a prática desportiva na modalidade de futebol, mesmo quando não acontece nos regimes de participação conhecidos para a alta competição, sendo acíclica e portadora de inúmeros impactos mecânicos, tendo uma enorme aceitação social, pode constituir-se como uma boa proposta de intervenção para obtenção e controlo de massa corporal ideal, conferindo vantagens acrescidas no que diz respeito à composição do tecido magro, tecido ósseo (ver Figura 1) e tecido gordo, mesmo quando acontece em regimes de treino desportivo que não resultam em substantivas vantagens funcionais dos futebolistas comparativamente a adultos fisicamente ativos e saudáveis. Isto sugere que os programas de intervenção delineados para a saúde óssea, devem reclamar organizações do volume, intensidade e frequência de forma distinta relativamente a outros programas delineados para a saúde cardiovascular ou para a saúde mental.

REFERÊNCIAS

- Bachrach, L. K. (2001). Acquisition of optimal bone mass in childhood and adolescence. *Trends Endocrinol Metab*, 12(1), 22-28.
- Burge, R., Dawson-Hughes, B., Solomon, D. H., Wong, J. B., King, A., & Tosteson, A. (2007). Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. *J Bone Miner Res*, 22(3), 465-475. doi: 10.1359/jbmr.061113
- Burt, L. A., Naughton, G. A., Greene, D. A., Courteix, D., Ducher, G. (2012). Non-elite gymnastics participation is associated with greater bone strength, muscle size, and function in pre- and early pubertal girls. *Osteoporos Int*, 23(4), 1277-1286.
- Carling, C., & Orhant, E. (2010). Variation in body composition in professional soccer players: interseasonal and intraseasonal changes and the effects of exposure time and player position. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1332-1339. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cc6154
- Cooley, H., Jones, G. (2001). A population-based study of fracture incidence in southern Tasmania: lifetime fracture risk and evidence for geographic variations within the same country. *Osteoporos Int*, 12(2), 124-130.
- Duan, Y., Turner, C. H., Kim, B. T., Seeman, E. (2001). Sexual dimorphism in vertebral fragility is more the result of gender differences in age-related bone gain than bone loss. *J Bone Miner Res*. 2001; 16(12), 2267-2275.
- Fredericson, M., Chew, K., Ngo, J., Cleek, T., Kiratli, J., & Cobb, K. (2007). Regional bone mineral density in male athletes: a comparison of soccer players, runners and controls. *Br J Sports Med*, 41(10), 664-668; discussion 668. doi: 10.1136/bjsm.2006.030783
- Glaser, D. L., & Kaplan, F. S. (1997). Osteoporosis. Definition and clinical presentation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 22(24 Suppl), 12S-16S.
- Harriss, D. J., Macsween, A., & Atkinson, G. (2017). Standards for Ethics in Sport and Exercise Science Research: 2018 Update. *Int J Sports Med*, 38(14), 1126-1131. doi: 10.1055/s-0043-124001
- Hernlund, E., Svedbom, A., Ivergard, M., Compston, J., Cooper, C., Stenmark, J. (2013). 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, Switzerland.
- Izard, R. M., Fraser, W. D., Negus, C., Sale, C., & Greeves, J. P. (2016). Increased density and periosteal expansion of the tibia in young adult men following short-term arduous training. *Bone*, 88, 13-19. doi: 10.1016/j.bone.2016.03.015
- Janssen, I., & Leblanc, A. G. (2010). Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 7, 40. doi: 10.1186/1479-5868-7-40
- Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Tran, Z. V. (2000). Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis. *J Appl Physiol*, 88(5), 1730-1736. doi: 10.1152/jappl.2000.88.5.1730

- Lau, R. W., Liao, L. R., Yu, F., Teo, T., Chung, R. C., & Pang, M. Y. (2011). The effects of whole body vibration therapy on bone mineral density and leg muscle strength in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*, 25(11), 975-988. doi: 10.1177/0269215511405078
- Lee, I. M., Skerrett, P. J. (2001). Physical activity and all-cause mortality: what is the dose-response relation? *Med Sci Sports Exerc*, 33(6), 459-47
- Leong, D. P., Teo, K. K., Rangarajan, S., Lopez-Jaramillo, P., Avezum, A., Jr., Orlandini, A., . . . Prospective Urban Rural Epidemiology Study, i. (2015). Prognostic value of grip strength: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. *Lancet*, 386(9990), 266-273. doi: 10.1016/S0140-6736(14)62000-6
- Loprinzi, P. D. (2015). Dose-response association of moderate-to-vigorous physical activity with cardiovascular biomarkers and all-cause mortality: Considerations by individual sports, exercise and recreational physical activities. *Prev Med*, 81, 73-77. doi: 10.1016/j.ypmed.2015.08.014
- Mithoefer, K., Williams, R. J., Warren, R. F., Wickiewicz, T. L., & Marx, R. G. (2006). High-impact athletics after knee articular cartilage repair: a prospective evaluation of the microfracture technique. *Am J Sports Med*, 34(9), 1413-1418. doi: 10.1177/0363546506288240
- Morel, J., Combe, B., Francisco, J., & Bernard, J. (2001). Bone mineral density of 704 amateur sportsmen involved in different physical activities. *Osteoporos Int*, 12(2), 152-157. doi: 10.1007/s001980170148
- Nilsson, M., Ohlsson, C., Mellstrom, D., & Lorentzon, M. (2009). Previous sport activity during childhood and adolescence is associated with increased cortical bone size in young adult men. *J Bone Miner Res*, 24(1), 125-133.
- Nilsson, M., Ohlsson, C., Mellstrom, D., & Lorentzon, M. (2013). Sport-specific association between exercise loading and the density, geometry, and microstructure of weight-bearing bone in young adult men. *Osteoporos Int*, 24(5), 1613-1622.
- Pedersen, B. K., Febbraio, M. A. (2012). Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nat Rev Endocrinol*, 8(8), 457-465.
- Pescatello, L. S. (2014). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health, 9th ed. Philadelphia.
- Robling, A. G., Castillo, A. B., & Turner, C. H. (2006). Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling. *Annu Rev Biomed Eng*, 8, 455-498. doi: 10.1146/annurev.bioeng.8.061505.095721
- Seeman, E. (2003). Reduced bone formation and increased bone resorption: rational targets for the treatment of osteoporosis. *Osteoporos Int*, 14(3), 2-8. doi: 10.1007/s00198-002-1340-9
- Siri, W. E. (1993). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition*, 9(5), 480-491; discussion 480, 492.
- Stevens, J. A., & Rudd, R. A. (2013). The impact of decreasing U.S. hip fracture rates on future hip

fracture estimates. *Osteoporos Int*, 24(10), 2725-2728. doi: 10.1007/s00198-013-2375-9

Wittich, A., Mautalen, C. A., Oliveri, M. B., Bagur, A., Somoza, F., & Rotemberg, E. (1998). Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density and size than age- and BMI-matched controls. *Calcif Tissue Int*, 63(2), 112-117.

3.5 Estudo 5

Artigo original

COMPOSIÇÃO ÓSSEA TOTAL E REGIONAL E COMPOSIÇÃO TECIDUAL EM ATLETAS FEMININAS ADOLESCENTE: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VOLEIBOLISTAS E NADADORAS

Original study

TOTAL AND REGIONAL BONE MINERAL AND TISSUE COMPOSITION IN FEMALE ADOLESCENT ATHLETES: COMPARISON BETWEEN VOLLEYBALL PLAYERS AND SWIMMERS

JOÃO VALENTE-DOS-SANTOS^{1,2}, ÓSCAR M. TAVARES^{1,3}, JOÃO P. DUARTE¹, PAULO SOUSA-E-SILVA¹, LUÍS RAMA¹, JOSÉ M. CASANOVA⁴, CARLOS A. FONTES-RIBEIRO^{5,6}, ELISA A. MARQUES⁷, ENIO V. RONQUE⁸, DANIEL COURTEIX^{9,10,11}, MANUEL J. COELHO-E-SILVA^{1*}

¹CIDAF (UID/DTP/04213/2016), Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

²Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University of Humanities and Technologies, Lisbon, Portugal

³Department of Medical Imaging and Radiation Therapy, School of Health and Technology, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁴Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁵IBILI, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁶Institute of Pharmacology and Experimental Therapeutics, Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

⁷University Institute of Maia (ISMAI), Porto, Portugal

⁸Study and Research Group in Metabolism, Nutrition, and Exercise (GPEMENE), State University of Londrina (UEL), Londrina, Brazil

⁹Laboratory of Metabolic Adaptations to Exercise in Physiological and Pathological Conditions, Clermont Auvergne University, Blaise Pascal University, Clermont-Ferrand, France

¹⁰School of Exercise Science, Faculty of Health, Australian Catholic University, Melbourne, Victoria, Australia

¹¹Research Centre in Human Nutrition, Auvergne, Clermont-Ferrand, France

RESUMO

O presente estudo transversal teve como objetivo comparar a composição total e regional dos ossos e tecidos moles entre adolescentes nadadoras (n=20, 15,71±0,93 anos) e voleibolistas (n=26, 16,20±0,77 anos). Determinaram-se estatura, altura sentada, massa corporal e pregas de gordura subcutâneas. A área mineral óssea, o conteúdo (BMC) e a densidade (BMD) foram avaliados em todo o corpo e em regiões padronizadas utilizando a absorciometria de raios-X de dupla energia. A ingestão calórica foi obtida usando questionários semi-quantitativos estruturados de frequência alimentar. Em comparação com as nadadoras, as jogadoras de voleibol apresentaram valores moderadamente superiores para a massa corporal total, gordura subcutânea abdominal e nos membros inferiores (d=0,67 a 1,06, p<0,05). Além disso, as jogadoras de voleibol mostraram valores moderadamente superiores de BMC (d=0,76 a 1,06, p <0,05) (12,4%, 13,8%, 15,1% e 15,8% para corpo inteiro, sub-cabeça, tronco e membros inferiores, respectivamente) e de BMD (5,5%, 6,5%, 7,6% e 6,4%, respectivamente). Da mesma forma, as jogadoras de voleibol apresentaram valores moderadamente maiores para o tecido magro mole nos membros inferiores, tecido gordo para corpo inteiro e tronco (d=0,72 a 0,87, p<0,05) (5,9%, 29,4% e 28,2, respectivamente). Atletas jovens do sexo feminino que participam de atividades de carga mecânica de alta intensidade, como voleibol, apresentam ganhos moderados no BMC e na BMD em todas as regiões padronizadas do esqueleto, à exceção dos membros superiores.

PALAVRAS-CHAVE:

atleta adolescente feminina, desporto com impacto e não-impacto mecânico, exercício, saúde óssea, composição corporal, DXA

ABSTRACT

The current cross-sectional study was aimed to compare total and regional bone and soft-tissue composition between female adolescent swimmers (n=20, 15.71±0.93 years) and volleyball athletes (n=26, 16.20±0.77 years). Body size given by stature, sitting height and body mass and skinfolds were measured. Bone mineral area, content (BMC) and density (BMD) were assessed for the whole body and at standardized regions using dual energy X-ray absorptiometry. Dietary intake was obtained using structured semi-quantitative food frequency questionnaires. Volleyball players showed moderately greater total body mass, and abdominal and lower limbs subcutaneous fat compared with swimmers (d=0.67 to 1.06, p<0.05). Furthermore, volleyball players displayed moderately higher (d=0.76 to 1.06, p<0.05) skeletal BMC (12.4%, 13.8%, 15.1% and 15.8% for whole body, subhead, trunk and lower limbs, respectively) and BMD (5.5%, 6.5%, 7.6% and 6.4%, respectively) than swimmers. Likewise, lean soft tissue at the lower limbs and fat tissue for the whole body and trunk were also moderately greater (d=0.72 to 0.87, p<0.05) in the volleyball players (5.9%, 29.4% and 28.2, respectively). Youth female athletes who participate in high-intensity mechanical loading activities such as volleyball exhibit moderate gains in BMC and BMD at all skeletal sites, except at the upper limbs.

KEYWORDS:

adolescent female athletes, impact loading and non-impact loading sports, exercise, bone health, body composition, DXA

INTRODUÇÃO

Com o aumento da esperança média de vida, a osteoporose tem se tornado uma importante preocupação em saúde, devido ao seu impacto económico e aos seus efeitos nocivos à saúde humana, especialmente entre as mulheres (Johnell & Kanis, 2006). A estrutura óssea do adulto é largamente determinada durante as duas primeiras décadas de vida, assim os fatores que estimulam a formação óssea durante a infância e adolescência têm um papel importante na prevenção da osteoporose em anos tardios do ciclo de vida (Rizzoli, Bianchi, Garabedian, McKay, & Moreno, 2010). Particularmente, o sexo, a etnia, as hormonas, consumo de álcool e tabaco, nutrição e prática de atividade física estão entre os fatores que mais contribuem e que podem influenciar a aquisição óssea no início da vida (Bonjour, Chevalley, Rizzoli, & Ferrari, 2007).

Durante o período de crescimento, a atividade física (principalmente atividades de sustentação de peso) é um fator particularmente relevante para alcançar um ótimo nível de massa óssea, devido à resposta osteogénica positiva (Wallace, Kwaczala, Judex, Demes, & Carlson, 2013; Behringer, Gruetzner, McCourt, & Mester, 2014). Por exemplo, um estudo transversal de Ginty et al. (2005) demonstrou que a prática de atividades de carga de alto impacto (como *jogging*, ténis, futebol, rugby, basquetebol e exercícios com pesos livre) durante pelo menos 1h diária está associada a maiores ganhos de tamanho corporal (+ 3,4%) e maior conteúdo mineral ósseo (BMC) na região da coxa (+ 8,5%) entre adolescentes do sexo masculino, comparados aos que apenas praticam, como mediana, 7min/dia de atividades de carga considerada de alto impacto. Embora as atividades de sustentação de peso durante a infância e adolescência tenha sido amplamente reconhecidas como benéficas para a saúde óssea (Boreham, & McKay, 2011), estudos anteriores têm o seu foco predominantemente na avaliação do efeito combinado de diferentes desportos com cargas de alto impacto (misturando participantes de diferentes modalidades desportivas na mesma categoria de carga óssea) (Gruodyte, 2010; Nichols, Rauh, Barrack, & Barkai, 2007). Assim, o efeito osteogénico de desportos específicos é menos compreendido. Entre os desportos específicos considerados, a pesquisa tende a concentrar-se no futebol masculino.

Músculo e osso estão intrinsecamente ligados, não apenas mecanicamente mas também molecular e geneticamente. Estudos recentes demonstraram uma "*cross talk*" molecular entre ambos, pois os tecidos libertam fatores endócrinos, parácrinos e autócrinos que podem mediar a comunicação intercelular (Pedersen, & Febbraio, 2012). Embora os desportos considerados sem impacto do ponto de vista mecânico (i.e. natação), sejam amplamente reconhecidos como não tendo efeito positivo substancial na saúde óssea (Tenforde & Fredericson, 2011; Scofield & Hecht, 2012), também eles estimulam a contração muscular capaz de induzir hipertrofia e potencialmente estimular a "*cross talk*" molecular entre músculo e osso (Sartori & Sandri, 2015). Assim, explorar o efeito do voleibol e da natação, que são claramente diferentes do

ponto de vista da sustentação de peso e da carga óssea, pode ajudar a entender a interação entre o músculo esquelético e o osso durante o crescimento. As diferenças entre os sexos na qualidade e força óssea estão bem descritas na literatura (Seeman, 2001). No final da puberdade, os meninos apresentam maior resistência óssea do que as meninas, uma vez que apresentam maior tamanho ósseo (Kirmani et al., 2009); e, durante o envelhecimento, comparativamente às mulheres, os homens apresentam uma maior aposição periosteal, aumentando o tamanho ósseo, compensando a perda de massa óssea, correndo assim menos riscos de fraturas ósseas na velhice (Duan, Turner, Kim, & Seeman, 2001). Assim, a relação entre atividade física e saúde óssea é particularmente relevante entre as mulheres, uma vez que, em comparação com os homens, correm maior risco de sofrer de Osteoporose e até de fraturas ósseas em idades mais avançadas. Atualmente, a modalidade desportiva mais eficaz para a promoção da saúde óssea no sexo feminino é desconhecida, em grande parte devido aos efeitos confusos da maturação biológica no desenvolvimento ósseo durante a adolescência (Burt, Naughton, Greene, Courteix, & Ducher, 2012; Ferry, Lespessailles, Rochcongar, Duclos, & Courteix, 2013).

O objetivo do presente estudo é comparar o conteúdo total e regional do osso (conteúdo mineral e densidade) e composição de tecidos moles (gordo e magro) entre nadadoras e voleibolistas adolescentes femininas. Como o impacto positivo da participação desportiva na massa óssea pode ser atenuado por fatores de consumo alimentar (nutrição) (i.e. cálcio, proteínas e ingestão calórica total), esta componente será controlada. Como hipóteses de estudo é espectável que as jogadoras de voleibol tenham maior BMC e densidade mineral óssea (BMD) no corpo inteiro e em regiões padronizadas de interesse comparativamente às nadadoras; não são expectáveis diferenças de grande magnitude nos tecidos moles.

MÉTODOS

Amostra

A amostra foi composta por 46 atletas femininas (nadadoras: n=20 e voleibolistas: n=26) com idades compreendidas entre os 14,5-17,4 anos que foram recrutadas voluntariamente de sete clubes desportivos da Região Centro de Portugal e que possuem protocolos de cooperação com a Universidade de Coimbra. Como critérios de inclusão foram estabelecidos: (i) ocorrência da menarca > a 1 ano (auto-reportada); (ii) ter um mínimo de 2 anos de participação competitiva a nível nacional; (iv) ausência de uso de medicamentos que possam afetar o metabolismo ósseo (questionário); (vi) ausência de fraturas ósseas. A idade cronológica foi calculada com aproximação 0,1, subtraindo a data de nascimento à data das avaliações laboratoriais.

Procedimentos

Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comité de Ética da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra (CE/FCDEF-UC/00102014) e correspondem aos Padrões Éticos estabelecidos para a Medicina Desportiva (Harriss, Macsween, & Atkinson, 2017). Os participantes foram informados dos objetivos e metodologias do estudo bem como que a participação seria voluntária e que poderiam retirar-se a qualquer momento. O consentimento informado foi obtido. Todas as medições foram concluídas no mesmo laboratório.

Treino

As informações sobre os anos formais de participação desportiva e sessões anuais de treino foram obtidas através de fichas individuais de registo fornecidas pelos treinadores e confirmado nas respectivas Associações. Os nadadores participaram em média em 4-6 sessões de treino por semana (60-120 min·sessão⁻¹) e 1-2 competições por mês. Os jogadores de voleibol participaram em média em 3-4 sessões de treino por semana, geralmente 90 min·sessão⁻¹ e 1 jogo por semana, vulgarmente aos fins-de-semana. O calendário de competição flutuou de outubro a maio para a natação e de setembro a julho para o voleibol.

Questionário de frequência alimentar

A ingestão alimentar foi controlada através de um questionário de frequência alimentar semi-quantitativo estruturado, (Lopes, Aro, Azevedo, Ramos, & Barros, 2007) referindo-se aos últimos 12 meses e compreendendo 86 itens. Este é um instrumento dietético validado utilizado frequentemente em Portugal e baseia-se na periodicidade de consumo das principais fontes de proteínas (%Kcal), hidratos de carbono (%Kcal), gordura total (%Kcal), gordura saturada (%Kcal), gordura monoinsaturada (%Kcal), gordura polinsaturada (%Kcal), colesterol (mg), fibras (g), etanol (g) e cálcio (mg).

Composição corporal e pregas de gordura subcutânea

Um único técnico experiente realizou a antropometria de acordo com procedimentos recomendados e padronizados (Lohman, Roche, & Martorell, 1988). A estatura e a altura sentado foram medidas com aproximação de 0,1cm (o comprimento dos membros inferiores foi calculado a partir da diferença de ambos) usando um estadiómetro Harpenden (modelo 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, Reino Unido) e a massa corporal com precisão de 0,1kg usando uma balança SECA. (modelo 770, Hanover, MD, EUA). Sete pregas de gordura subcutânea (PGS) (tricipital, bicipital, subescapular, supra-iliaca, abdominal, anterior da coxa e geminal medial) foram medidas com aproximação milimétrica usando um adipómetro Lange (Beta Technology,

Ann Arbor, MI, EUA). Os erros técnicos de medida para estatura (0,29cm), altura sentado (0,30cm), massa corporal (0,19kg) e PGS (0,74-1,04 mm) estão dentro dos intervalos estandardizados de vários inquéritos de saúde nos Estados Unidos (Malina, Bouchard, & Bar-Or, 2004).

Absorciometria de raios-x de dupla energia (DXA)

A absorciometria (*pencil-beam Lunar DPX-PRO*) foi utilizada para medir o BMC (g), BMD ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), tecido gordo e tecido magro mole de corpo inteiro e regiões de interesse. Os participantes foram colocados em decúbito dorsal na posição anatômica de referência, alinhados com o eixo horizontal central. Os pés foram fixados com uma fita de velcro para evitar movimentos durante a aquisição. Um técnico qualificado executou e analisou todos os varrimentos seguindo as diretrizes do fabricante (Lunar Encore software v.13.6). As regiões de interesse foram determinadas posteriormente, manualmente e de acordo com as diretrizes da Sociedade Internacional de Densitometria Clínica, sendo distribuídas da seguinte forma: sub-cabeça (clavícula como referência), tronco, membros superiores e membros inferiores. A calibração do aparelho foi executada e verificada diariamente usando o “phantom” de resina epoxy de calibração Lunar.

Análise estatística

A estatística descritiva (média, desvio padrão e amplitude) foi calculada para a totalidade da amostra. O teste de *Kolmogorov-Smirnov* foi utilizado para verificar a distribuição das variáveis. Sempre que as suposições de normalidade foram violadas, as transformações logarítmicas foram calculadas para reduzir a não uniformidade do erro. O teste *t-student* de amostras independentes foi utilizado para comparar as características das atletas de desportos contrastantes. Os tamanhos de efeito e intervalos do *d* de Cohen (0,2; 0,6; 1,2; 2,0, 4,0 para trivial, pequeno, moderado, grande, muito grande e extremamente grande) foram aplicados para avaliar a magnitude das diferenças (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). A análise da covariância (ANCOVA) foi estudada para determinar as diferenças significativas entre os grupos na composição total e regional óssea e tecidual mole (gordo e magro), após ajustes para a estatura. As correlações do tamanho do efeito (ES-*r*) foram estimadas usando a raiz quadrada da razão entre o valor de F ao quadrado e a diferença entre o valor de F ao quadrado e os graus de liberdade (Rosnow & Rassithal, 1996). Os coeficientes foram interpretados da seguinte forma: trivial ($r < 0,1$), pequeno ($0,1 < r < 0,3$), moderado ($0,3 < r < 0,5$), grande ($0,5 < r < 0,7$), muito grande ($0,7 < r < 0,9$), quase perfeito ($r > 0,9$) e perfeito ($r=1$) (Hopkins et al., 2009). A significância estatística foi estabelecida para um valor de $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software IBM SPSS v.23 para Mac OS (SPSS Inc., IBM Company, NY, USA) e o software *GraphPad Prism* (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, USA).

RESULTADOS

As características descritivas e os resultados do teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* para a amostra total, são apresentados na Tabela 1. A média de idade de ocorrência da menarca foi de 12,90 (95%CL: 12,55 a 13,25 anos), o que se aproxima à média obtida em estudos anteriores de estudantes portuguesas (12,53±1,27 e 12,03±1,26 anos, respectivamente) (Padez & Rocha, 2003). A prática desportiva (anos), o volume anual de treino (K-S=0,169 e 0,225; p<0.05) e a maioria de parâmetros do questionário de frequência alimentar (i.e., proteínas, hidratos de carbono, colesterol, fibras, e etanol: K-S=0,168 a 0,490; p<0.05) não cumpriram com os pressupostos de normalidade, em contraste com as variáveis de tamanho corporal. A presente amostra tem uma estatura e massa corporal médias que se aproximam, respectivamente, dos percentis 53 e 68, específicos da idade para meninas norte-americanas (Kuczmarski et al., 2000).

Tabela 1. Estatística descritiva para idade cronológica, idade da menarca, anos de treino, sessões anuais, parâmetros de frequência alimentar e antropometria para a totalidade da amostra (n=46).

Variável	unidade	Descritivas										Normalidade	
		Amplitude					valor	SEM	Média		Desvio padrão	K-S	p
		mínimo	máximo	valor	SEM	inferior			superior	95% CL			
Idade cronológica	anos	14,50	17,48	15,99	0,13	15,73	16,24	0,87	0,108	0,200			
Idade da menarca	anos	10,74	16,52	12,90	0,17	12,55	13,25	1,18	0,082	0,200			
Anos de treino	anos	2	11	6,2	0,6	5,1	7,3	3,7	0,169	0,002			
Sessões anuais de treino	#	58	350	195	14	166	223	96	0,225	0,000			
Ingestão calórica	Kcal/dia	1145	5710	2762	202	2352	3173	1195	0,134	0,115			
Proteínas	%Kcal	12,0	29,0	19,1	0,7	17,7	20,5	4,1	0,207	0,001			
Hidratos de carbono	%Kcal	30,0	666,0	67,9	17,6	32,1	103,8	104,4	0,490	0,000			
Lípidos	%Kcal	21,0	41,0	32,3	0,9	30,5	34,0	5,1	0,085	0,200			
Coolesterol	mg	169	1166	427	37	352	503	220	0,176	0,008			
Fibras	g	11	75	32	3	27	37	15	0,168	0,014			
Etanol	g	0	11	2	1	1	3	3	0,367	0,000			
Cálcio	mg	435	2620	1224	87	1046	1401	517	0,122	0,200			
Estatura	cm	151,7	172,5	163,0	0,8	161,3	164,6	5,5	0,094	0,200			
Altura sentado	cm	71,3	95,1	86,8	0,6	85,5	88,1	4,4	0,128	0,055			
Comprimento dos membros inferiores	cm	67,9	83,0	76,1	0,5	75,1	77,1	3,4	0,072	0,200			
Massa corporal	kg	42,0	88,1	58,4	1,2	56,0	60,8	8,2	0,106	0,200			
PGS tricipital	mm	8	29	19,3	0,7	17,8	20,8	5,0	0,112	0,188			
PGS subescapular	mm	7	22	12,9	0,6	11,8	14,1	3,8	0,137	0,030			
PGS supra-iliaca	mm	10	35	20,6	1,0	18,6	22,6	6,8	0,120	0,096			
PGS abdominal	mm	7	39	20,1	1,0	18,0	22,1	7,0	0,109	0,200			
PGS crural anterior	mm	6	38	22,3	1,0	20,3	24,3	6,9	0,105	0,200			
PGS geminal media	mm	9	26	17,8	0,7	16,3	19,3	5,0	0,135	0,035			

SEM=erro padrão da média, 95%CL=95% limites de confiança; PGS=prega de gordura subcutânea.

A estatística descritiva para os parâmetros DXA de corpo inteiro e apendicular está resumida na Tabela 2. As médias (95%CL) para BMC, DMO, tecido magro mole e tecido gordo foram 2513 (2381 a 2645g), 1,155 (1,128 a 1,182 g·cm⁻²), 38,7 (37,7 a 39,6kg) e 15,4 (13,5 a 17,4kg), respectivamente. Com exceção para o tecido gordo de todo o corpo (K-S=0,155; p<0,05), tronco (K-S=0,173; p<0,05) e membros inferiores (K-S=0,148; p<0,05), todas as variáveis apresentaram uma distribuição normal (K-S=0,054 a 0,131, p>0,05).

Tabela 2. Estatística descritiva para os parâmetros de absorciometria de raios-x de dupla energia para a totalidade corporal e regiões de interesse (n=46).

Variável	unidade	Descritivas										Normalidade				
		Amplitude					Média		95% CL			Desvio padrão	K-S	P		
		mínimo	máximo	valor	SEM	inferior	superior									
BMC																
Corpo inteiro	g	1748	4006	2513	66	2381	2645	445	0,087	0,200						
Sub-cabeça	g	1398	3403	2025	58	1908	2141	393	0,092	0,200						
Tronco	g	552	1554	865	29	806	925	200	0,099	0,200						
Membros superiores	g	164	441	295	8	280	311	53	0,129	0,052						
Membros inferiores	g	568	1413	864	23	817	911	158	0,079	0,200						
BMD																
Corpo inteiro	g·cm ⁻²	0,981	1,384	1,155	0,013	1,128	1,182	0,090	0,054	0,200						
Sub-cabeça	g·cm ⁻²	0,872	1,281	1,034	0,013	1,009	1,060	0,086	0,119	0,102						
Tronco	g·cm ⁻²	0,824	1,245	0,994	0,013	0,967	1,021	0,090	0,131	0,048						
Membros superiores	g·cm ⁻²	0,683	0,967	0,807	0,009	0,790	0,824	0,058	0,117	0,134						
Membros inferiores	g·cm ⁻²	0,882	1,489	1,200	0,018	1,165	1,236	0,121	0,067	0,200						
Tecido magro mole																
Corpo inteiro	kg	31,0	44,3	38,7	0,5	37,7	39,6	3,2	0,084	0,200						
Tronco	kg	14,6	21,5	18,2	0,3	17,7	18,7	1,7	0,082	0,200						
Membros superiores	kg	2,8	5,7	4,2	0,9	4,1	4,4	0,6	0,083	0,200						
Membros inferiores	kg	10,2	16,0	13,2	0,2	12,8	13,6	1,3	0,118	0,122						
Tecido gordo																
Corpo inteiro	kg	4,7	40,9	15,4	1,0	13,5	17,4	6,5	0,155	0,007						
Tronco	kg	2,4	19,8	7,5	0,5	6,5	8,5	3,4	0,173	0,001						
Membros superiores	kg	0,2	4,5	1,3	0,1	1,0	1,5	0,9	0,150	0,011						
Membros inferiores	kg	1,8	15,9	7,5	0,5	6,4	8,5	3,5	0,148	0,013						

SEM=erro padrão da média, 95%CL=95% limites de confiança.

Os valores descritivos para as variáveis: idade cronológica, idade da ocorrência da menarca, o histórico de treino, a antropometria e a ingestão alimentar são apresentados na Tabela 3. As nadadoras têm experiência desportiva [$d=1,69$ ($t=-3,836$, $p<0,01$)] e número anual de sessões de treino (ou seja, volume de treino) [$d=6,30$ ($t=20,814$, $p<0,01$)] significativamente maiores quando comparado às voleibolistas. As jogadoras de voleibol são mais pesadas, ingerem maiores níveis de colesterol e apresentam valores de adiposidade superiores quando comparadas com os seus pares de natação [massa corporal: $d=-0,79$ ($t=-2,596$, $p<0,01$); PGS suprailíaca, abdominal e crural anterior: $d=-0,67$ a $-1,06$ ($t=-2,233$ a $-3,556$, $p=0,031$ a $p<0,01$); colesterol: $d=0,87$ ($t=-2,485$, $p<0,018$)].

Table 3. Médias e desvios padrão por modalidade (nadadores vs. voleibolistas) em relação à idade, experiência de treino e ingestão alimentar.

Variáveis dependentes	X: Modalidade		Comparações ^b				
	unidade	Natação (n=20)	Voleibol (n=26)	diferença de médias (95%CL)		efeitos de magnitude	
				t	p	d	(descrição)
Y ₁ : Idade cronológica	anos	15,71±0,93	16,20±0,77	-0,49 (-1,00; 0,02)	-1,957	0,057	-0,59 (pequeno)
Y ₂ : Idade da menarca	anos	13,31±1,33	12,59±0,95	0,72 (0,04; 1,39)	2,121	0,040	0,65 (moderado)
Y ₃ : Anos de treino	anos	8,9±3,9	4,1±1,8	4,8 (2,9; 6,7)	-3,836	<0,01	1,69 (grande)
Y ₄ : Sessões anuais de treino	#	298±34	115±26	182 (164; 200)	20,814	<0,01	6,30 (extremamente grande)
Y ₅ : Ingestão calórica ^a	Kcal/dia	2557±1188	3036±1188	-480 (-1305; 346)	-1,183	0,245	-0,42 (pequeno)
Y ₆ : Proteína ^a	%Kcal	18,1±2,8	20,5±5,2	-2,4 (-5,5; 0,7)	-1,590	0,128	-0,62 (moderado)
Y ₇ : Hidratos de carbono ^a	%Kcal	52,7±6,4	88,3±16,0	-35,7 (-124,3; 53,0)	-0,863	0,403	-3,19 (muito grande)
Y ₈ : Lípidos ^a	%Kcal	31,9±4,6	32,9±5,8	-1,0 (-4,6; 2,6)	-0,578	0,567	-0,20 (pequeno)
Y ₉ : Colesterol ^a	mg	353±174	527±241	-174 (-317; -32)	-2,485	0,018	-0,87 (moderado)
Y ₁₀ : Fibras ^a	g	33,0±15,8	30,9±15,4	2,0 (-8,8; 12,9)	0,378	0,708	0,14 (trivial)
Y ₁₁ : Etanol ^a	g	2,5±3,8	0,9±2,3	1,5 (-0,6; 3,6)	1,458	0,155	0,51 (pequeno)
Y ₁₂ : Cálcio ^a	mg	1141±556	1334±455	-192 (-550; 166)	-1,091	0,283	-0,39 (pequeno)
Y ₁₃ : Estatura	cm	161,3±4,4	164,2±6,0	-2,9 (-6,1; 0,3)	-1,821	0,075	-0,55 (pequeno)
Y ₁₄ : Massa corporal	kg	55,0±5,6	61,0±9,0	-6,0 (-10,6; -1,3)	-2,596	0,013	-0,79 (moderado)
Y ₁₅ : PGS tricipital	mm	17,9±6,0	20,4±3,9	-2,5 (-5,7; 0,6)	-1,642	0,111	-0,52 (pequeno)
Y ₁₆ : PGS subescapular	mm	12,4±4,2	13,3±3,5	-1,0 (-3,3; 1,3)	-0,868	0,390	-0,24 (pequeno)
Y ₁₇ : PGS suprailiac	mm	17,8±5,5	22,7±6,9	-4,9 (-8,7; -1,1)	-2,581	0,013	-0,79 (moderado)
Y ₁₈ : PGS abdominal	mm	17,6±6,1	22,0±7,1	-4,5 (-8,5; -0,4)	-2,233	0,031	-0,67 (moderado)
Y ₁₉ : PGS crural anterior	mm	18,7±6,8	25,1±5,6	-6,5 (-10,1; -2,8)	-3,556	0,001	-1,06 (moderado)
Y ₂₀ : PGS geminal medial	mm	17,9±5,3	17,7±4,8	0,20 (-2,8; 3,2)	0,113	0,910	0,04 (trivial)

SEM=erro padrão da média, 95%CL=95% limites de confiança; PGS=prega de gordura subcutânea.

^a 20 nadadoras e 15 voleibolistas completaram o questionário de frequência alimentar.

^b Resultados das comparações entre grupos para o teste *t-student* de amostras independentes.

A Tabela 4 e a Figura 1 compreendem a estatística descritiva da análise DXA. As jogadoras de voleibol apresentam BMC e BMD significativamente maiores para todo o corpo [+12,4%: $d=-0,80$ ($t=-2,637$, $p<0,05$) e +5,5%: $d=-0,80$ ($t=-2,574$, $p<0,05$), respectivamente]; sub-cabeça [+13,8%: $d=-0,83$ ($t=-2,724$, $p<0,01$) e +6,5%: $d=-0,89$ ($t=-2,893$, $p<0,01$), respectivamente]; tronco [+15,1%: $d=-0,76$ ($t=-2,491$, $p<0,05$) e +7,6%: $d=-0,98$ ($t=-3,233$, $p<0,01$), respectivamente] e membros inferiores [15,8%: $d=-1,06$ ($t=-3,476$, $p<0,01$) e +6,4%: $d=-0,71$ ($t=-2,344$, $p<0,05$), respectivamente]. Também as voleibolistas apresentaram valores superiores de tecido magro mole no corpo inteiro [+29,4%: $d=-0,87$ ($t=-2,853$, $p<0,01$)] e nos membros inferiores [+5,9%: $d=-0,72$ ($t=-2,217$, $p<0,05$)] bem como tecido gordo no tronco [+28,2%: $d=-0,73$ ($t=-2,456$, $p<0,05$)]. As diferenças estatisticamente significativas entre os grupos seguiram uma tendência semelhante [moderada $Es-r=0,30$ a $0,46$ ($F=4,179$ a $11,581$, $p <0,05$ a $<0,01$)], quando o tamanho corporal foi controlado pela ANCOVA.

Tabela 4. Médias e desvios padrão por modalidade (nadadores vs. voleibolistas) em relação aos parâmetros avaliados por absorciometria de raios-x de dupla energia.

Y _i	X: Modalidade		Comparações ^a				ANCOVA			
	Natação (n=20)	Voleibol (n=26)	diferença de médias (95%CL)	d	efeitos de magnitude (descrição)	t	t-student	F	P	ES-r
									(controlada para tamanho corporal ^b)	
BMC (g)										
Y ₁ : Corpo inteiro	2328±338	2656±470	-328 (-578; -77)	-0,80	(moderado)	-2,637	0,012	5,871	0,020	0,347
Y ₂ : Sub-cabeça	1856±284	2154±420	-298 (-518; -77)	-0,83	(moderado)	-2,724	0,009	6,095	0,018	0,352
Y ₃ : Tronco	786±153	926±213	-140 (-254; -27)	-0,76	(moderado)	-2,491	0,017	4,573	0,038	0,310
Y ₄ : Membros superiores	290±36	300±64	-10 (-42; 22)	-0,19	(trivial)	-0,626	0,534	0,123	0,727	0,053
Y ₅ : Membros inferiores	781±106	928±164	-147 (-232; -62)	-1,06	(moderado)	-3,476	0,001	11,581	0,001	0,461
BMD (g·cm⁻²)										
Y ₆ : Corpo inteiro	1,118±0,079	1,184±0,089	-,065 (-0,116; -0,014)	-0,80	(moderado)	-2,574	0,013	6,808	0,012	0,370
Y ₇ : Sub-cabeça	0,995±0,070	1,064±0,086	-0,069 (-0,116; -0,021)	-0,89	(moderado)	-2,893	0,006	7,514	0,009	0,386
Y ₈ : Tronco	0,950±0,067	1,028±0,091	-0,078 (-0,127; -0,030)	-0,98	(moderado)	-3,233	0,002	7,452	0,009	0,384
Y ₉ : Membros superiores	0,801±0,049	0,812±0,066	-0,011 (-0,046; 0,024)	-0,19	(trivial)	-0,616	0,541	0,995	0,324	0,150
Y ₁₀ : Membros inferiores	1,155±0,103	1,235±0,123	-0,080 (-0,149; -0,011)	-0,71	(moderado)	-2,344	0,024	6,808	0,012	0,370
Tecido magro mole (kg)										
Y ₁₁ : Corpo inteiro	38,6±3,0	38,7±3,4	-0,1 (-2,0; 1,8)	-0,03	(trivial)	-0,109	0,914	6,548	0,014	0,364
Y ₁₂ : Tronco	18,7±1,7	17,9±1,6	0,8 (-0,2; 1,8)	0,59	(pequeno)	1,596	0,118	0,277	0,601	0,080
Y ₁₃ : Membros superiores	4,4±0,4	4,1±0,7	0,3 (0,1; 0,6)	0,52	(pequeno)	2,096	0,043	4,856	0,033	0,319
Y ₁₄ : Membros inferiores	12,7±1,1	13,6±1,4	-0,8 (-1,6; -0,1)	-0,72	(moderado)	-2,217	0,032	4,179	0,047	0,298
Tecido gordo (kg)										
Y ₁₅ : Corpo inteiro	12,5±4,4	17,7±7,1	-5,2 (-8,8; -1,5)	-0,87	(moderado)	-2,853	0,007	6,569	0,014	0,364
Y ₁₆ : Tronco	6,2±2,3	8,5±3,8	-2,4 (-4,3; -0,4)	-0,73	(moderado)	-2,456	0,018	5,126	0,029	0,326
Y ₁₇ : Membros superiores	1,1±0,9	1,5±0,8	-0,4 (-0,9; 0,1)	-0,48	(pequeno)	-1,602	0,116	3,204	0,081	0,263
Y ₁₈ : Membros inferiores	8,0±4,4	7,0±2,6	0,9 (-1,3; 3,2)	0,29	(pequeno)	0,865	0,394	1,251	0,270	0,168

95%CL=95% limites de confiança, ES-r=correlação do tamanho do efeito,

^a Resultados das comparações entre grupos nos parâmetros avaliados por absorciometria de raios-x de dupla energia, diferença de médias, magnitude do tamanho do efeito, resultados do teste *t-student* de amostras independentes e resultados da ANCOVA tendo a estatura como co-variável,

^b Estatura como co-variável.

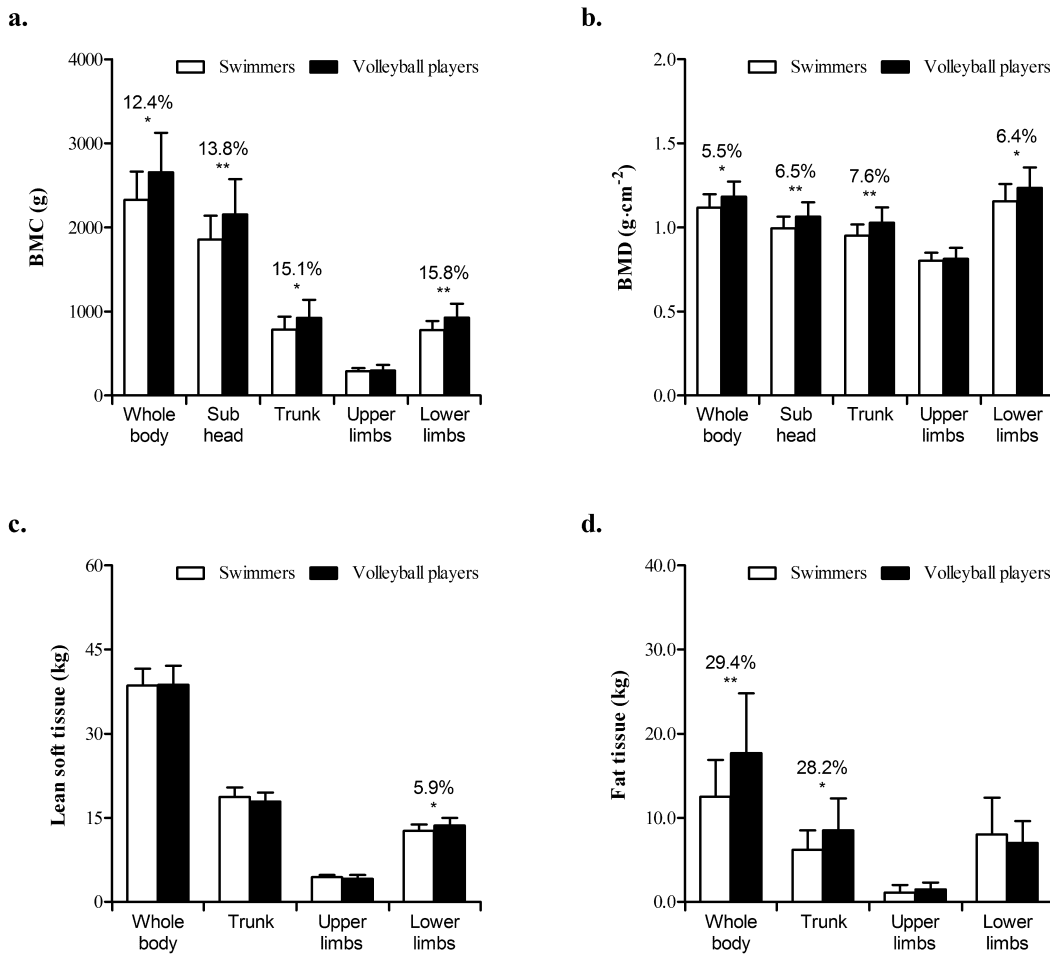


Figura 1. Conteúdo mineral ósseo (BMC, painel a), densidade mineral óssea (BMD, painel b), tecido magro mole (painel c) e tecido gordo (painel d) em jovens nadadoras (barras brancas) e jovens voleibolistas (barras pretas).

* indica diferenças entre grupos ($p < 0.05$), ** $p < 0.01$.

DISCUSSÃO

A participação em atividades relacionadas com o desporto organizado é comum durante a adolescência em muitos países e representa uma parcela substancial de atividade física e gasto diário de energia. Nos adolescentes portugueses do sexo masculino com idade entre 13 e 16 anos, a participação em desportos organizados contribuiu com 35-42% do gasto energético diário de intensidade moderada a vigorosa (Machado-Rodrigues, et al., 2012). No entanto, a atividade física é um comportamento multidimensional que ocorre em variados contextos, e os seus potenciais benefícios para a saúde associados ao gasto energético regular em atividades físicas estão atualmente bem descritos. Entretanto, acredita-se que as tensões associadas às forças de sustentação da massa corporal e a reação ao solo tenham efeitos benéficos sobre o BMC e a BMD. O presente estudo objetivou comparar a composição corporal de adolescentes do

sexo feminino de praticantes de voleibol e nadadoras. Os resultados mostraram que, após controlar o tamanho corporal, as jogadoras de voleibol apresentam maior BMC e BMD quando comparadas com as nadadoras. Embora a natação estimule a hipertrofia muscular, os nossos resultados mostram que as nadadoras apresentam menor espessura de PGS (medida de adiposidade) e que as diferenças entre grupos para as PGS suprailíaca, abdominal e crural anterior são moderadas enquanto que para o tecido magro mole são pequenas. Assim, os estímulos mecânicos e não-mecânicos associados à natação podem não ser suficientes para desencadear uma resposta das células ósseas.

O osso é um elemento da composição corporal que é foco de atenção especificamente no contexto da prevenção da Osteoporose durante anos tardios do ciclo de vida. Em geral, quanto mais conteúdo mineral for acumulado no esqueleto durante os processos de crescimento e maturação, mais prevenido estará o indivíduo nas últimas décadas do ciclo de vida, quando o conteúdo mineral ósseo começa a declinar. A evidência de estudos transversais sugere que o pico de aquisição de massa óssea é atingido durante a adolescência e afeta significativamente o BMC observado na vida adulta (Rizzoli, Bianchi, Garabedian, McKay, & Moreno, 2010; Tenforde & Fredericson, 2011; Kini & Nandeesh, 2012). Em jovens adultos, verificou-se que a prática de atividade física durante a adolescência no sexo masculino proporcionava mais 8-10% de BMC ajustado à totalidade corporal, região pélvica e colo do fêmur ($p < 0.05$) e que a mesma prática no sexo feminino facultava 9 e 10% mais BMC ajustado na região pélvica e colo do fêmur na idade adulta. Estes resultados sugerem que os benefícios da atividade física no osso durante a adolescência são conservados na idade adulta jovem (Baxter-Jones, Kontulainen, Faulkner, & Bailey, 2008). Assim, a adoção de rotinas de atividade física, incluindo exercício e participação desportiva durante a adolescência, pode ajudar a prevenir doenças, como a Osteoporose, durante o envelhecimento.

Os menores valores de BMD encontrados em nadadores, quando comparados com outros desportos, têm sido investigados nos últimos anos (Gomez-Bruton et al., 2015). Embora os mecanismos não sejam totalmente claros, há evidências recentes que apontam possíveis explicações. Tem sido definido que as forças musculares produzidas durante desportos como a natação e o ciclismo não excedem o limite mínimo necessário para induzir um efeito osteogénico (Heinonen, Oja, Kannus, Sievanen, Manttari, & Vuori, 1993; Fehling, Aekel, Clasey, Rector, & Stillman, 1995). Entre os aspetos relevantes, deste efeito não significativo da natação na saúde óssea, destaque para a sua prática em ambiente hipogravítico (Tenforde, & Fredericson, 2011; Tenforde, Fredericson, Sayres, Cutti, & Sainani, 2015), e durante grandes períodos de tempo (Ferry, et al., 2013). Essas rotinas excessivas de treino limitam o tempo disponível para a realização de outras atividades paralelas/complementares, incluindo atividades de levantamento de peso.

Os aparentes benefícios de um esporte que provoque cargas de alto impacto (i.e., voleibol) no BMC e na BMD, no presente estudo, parecem ser específicos para as regiões do tronco e membros inferiores. As diferenças nos membros superiores revelaram-se triviais. O impacto mecânico origina remodelação óssea, adaptando a estrutura óssea em resposta a estas capacidades (Tenforde & Fredericson, 2011). O stress gerado pelo exercício físico no osso estimula o alinhamento do colagénio nos locais diretamente afetados pela atividade, levando a maior resistência óssea (Kini & Nandeesh, 2012). O elevado impacto associado aos saltos exigidos para a prática do voleibol pode explicar, pelo menos em parte, as diferenças observadas para o BMC, BMD e massa muscular nos membros inferiores. O mesmo efeito nos membros inferiores foi observado em meninas praticantes de futebol, no qual os saltos, os remates, as acelerações, travagens e mudanças de sentido comumente realizados são determinantes (Ferry et al., 2013). Sabe-se também, que as células ósseas perdem sensibilidade com estímulos mecânicos prolongados (Umemura, Ishiko, Yamauchi, Kurono, & Mashiko, 1997), por isso, incorporar períodos de descanso entre sessões de cargas curtas e vigorosas pode ser uma estratégia válida para promover a osteogénese. A prática de voleibol é caracterizada por movimentos intermitentes, que contêm acelerações e múltiplos saltos, o que pode explicar os maiores valores de massa óssea observados nas atletas de voleibol feminino em relação às nadadoras.

Neste presente estudo, a análise dos resultados da aplicação do questionário de frequência alimentar sugeriu diferenças apenas para a ingestão de colesterol, com as maiores quantidades a serem consumidas pelas jogadoras de voleibol em comparação com as nadadoras. As voleibolistas apresentaram maior valor médio de massa corporal (+6 kg), mas não de estatura.

As diferenças entre os grupos nos componentes avaliadas pela DXA de corpo inteiro foram moderadas para o CMO (328 g) e para o tecido adiposo (5200g) e triviais para o tecido magro mole (100g). Reduzidos valores de massa magra constituem um dos determinantes de risco mais relevantes para a baixa densidade mineral óssea em corredores adolescentes do sexo feminino (Tenforde et al., 2015), e estão também relacionados com ganhos de DMO e alterações na geometria do osso em atletas de futebol feminino (Ferry, et al., 2013). Como descrito anteriormente, parte do efeito osteogénico atribuído à participação desportiva pode estar relacionado com o aumento da massa muscular e consequente efeito nas células ósseas (Tenforde & Fredericson, 2011; Kini & Nandeesh, 2012).

Um dos principais pontos fortes deste estudo tem que ver com a inclusão de atletas no final da adolescência (ou seja, voleibolistas e nadadoras). Outra ponto forte do estudo foi o uso da metodologia DXA, considerada a modalidade de imagem mais segura e apropriada para avaliar a composição corporal. A presente investigação não é isenta de limitações. Primeiro, o desenho transversal impede comentários sobre causalidade. O tamanho da amostra é

relativamente pequeno e não foi possível controlar o histórico de participação em outros desportos ou fatores que afetam a densidade mineral óssea. Segundo, não foram realizados exames regionais na coluna lombar e no fémur proximal, e nenhuma propriedade geométrica precisa foi capturada pela DXA. Finalmente, informações, de estudos de alta qualidade que podem controlar as influências da maturidade biológica, são necessárias sobre os efeitos de atividades físicas específicas na saúde óssea de atletas jovens do sexo feminino. Isso ajudará a informar programas e estratégias para melhorar a saúde óssea durante o período de crescimento e desenvolvimento da adolescência, levando à prevenção da Osteoporose nos anos tardios do ciclo de vida.

Concluindo, as voleibolistas apresentaram maior BMC e BMD em todo o corpo, sub-cabeça tronco e membros inferiores e maiores níveis de adiposidade quando comparados às nadadoras. Os resultados encontrados suportam o facto de que a frequência de 3 a 4 sessões por semana de atividade física caracterizada pela elevada carga de alto impacto está associada a uma maior massa óssea em todo o corpo e outras regiões específicas de interesse. Os benefícios esqueléticos observados também podem traduzir-se em mudanças positivas na geometria e qualidade óssea, proporcionando um aumento substancial na resistência óssea. Este estudo observacional fornece implicações práticas para jovens inativos, jovens atletas de desporto de carga sem impacto (incluindo natação) e treinadores que podem beneficiar da complementaridade de rotinas de treino com atividades osteogénicas (Gomez-Bruton et al., 2015) como resistência força e treino pliométrico.

AGRADECIMENTOS

O CIDAF é financiado pela FCT (uid/dtp/04213/2016). Jvds e JPD são parcialmente suportados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal, respectivamente: (SFRH/BPD/100470/2014 e SFRH/BD/101083/2014. A contribuição inicial do Filipe Simões (†2013) no presente projeto é lembrada. Os agradecimentos são extensíveis à Alexandra Silva, Nuno Amado e Shirley Souza pela sua participação na recolha de dados. Os autores agradecem ainda o esforço e a participação dos atletas, pais e treinadores.

REFERÊNCIAS

- Baxter-Jones, A. D., Kontulainen, S. A., Faulkner, R. A., & Bailey, D. A. (2008). A longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual from adolescence to young adulthood. *Bone*, 43(6), 1101-1107. doi: 10.1016/j.bone.2008.07.245
- Behringer, M., Gruetzner, S., McCourt, M., & Mester, J. (2014). Effects of weight-bearing activities on bone mineral content and density in children and adolescents: a meta-analysis. *J Bone Miner Res*, 29(2), 467-478. doi: 10.1002/jbmr.2036

- Bonjour, J. P., Chevalley, T., Rizzoli, R., & Ferrari, S. (2007). Gene-environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth. *Med Sport Sci*, 51, 64-80. doi: 10.1159/000103005
- Boreham, C. A., & McKay, H. A. (2011). Physical activity in childhood and bone health. *Br J Sports Med*, 45(11), 877-879. doi: 10.1136/bjsports-2011-090188
- Burt, L. A., Naughton, G. A., Greene, D. A., Courteix, D., & Ducher, G. (2012). Non-elite gymnastics participation is associated with greater bone strength, muscle size, and function in pre- and early pubertal girls. *Osteoporos Int*, 23(4), 1277-1286. doi: 10.1007/s00198-011-1677-z
- Duan, Y., Turner, C. H., Kim, B. T., & Seeman, E. (2001). Sexual dimorphism in vertebral fragility is more the result of gender differences in age-related bone gain than bone loss. *J Bone Miner Res*, 16(12), 2267-2275. doi: 10.1359/jbmr.2001.16.12.2267
- Fehling, P. C., Aekel, L., Clasey, J., Rector, A., & Stillman, R. J. (1995). A comparison of bone mineral densities among female athletes in impact loading and active loading sports. *Bone*, 17, 205-210
- Ferry, B., Lespessailles, E., Rochcongar, P., Duclos, M., & Courteix, D. (2013). Bone health during late adolescence: effects of an 8-month training program on bone geometry in female athletes. *Joint Bone Spine*, 80(1), 57-63. doi: 10.1016/j.jbspin.2012.01.006
- Ginty, F., Rennie, K. L., Mills, L., Stear, S., Jones, S., & Prentice, A. (2005). Positive, site-specific associations between bone mineral status, fitness, and time spent at high-impact activities in 16- to 18-year-old boys. *Bone*, 36(1), 101-110. doi: 10.1016/j.bone.2004.10.001
- Gomez-Bruton, A., Gonzalez-Aguero, A., Gomez-Cabello, A., Matute-Llorente, A., Casajus, J. A., & Vicente-Rodriguez, G. (2015). The effects of swimming training on bone tissue in adolescence. *Scand J Med Sci Sports*, 25(6), e589-602. doi: 10.1111/sms.12378
- Gruodyte, R., Jurimae, J., Cicchella, A., Stefanelli, C., Passariello, C., & Jurimae, T. (2010). Adipocytokines and bone mineral density in adolescent female athletes. *Acta Paediatr*, 99(12), 1879-1884. doi: 10.1111/j.1651-2227.2010.01905.x
- Harriss, D. J., Macsween, A., & Atkinson, G. (2017). Standards for Ethics in Sport and Exercise Science Research: 2018 Update. *Int J Sports Med*, 38(14), 1126-1131. doi: 10.1055/s-0043-124001
- Heinonen, A., Oja, P., Kannus, P., Sievanen, H., Manttari, A., & Vuori, I. (1993). Bone mineral density of female athletes in different sports. *Bone Miner*, 23(1), 1-14.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Johnell, O., & Kanis, J. A. (2006). An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*, 17(12), 1726-1733. doi: 10.1007/s00198-006-0172-4

- Kini, U. & Nandeesh, B. N. (2012). Physiology of bone formation, remodeling, and metabolism. In Fogelman, I., Gnanasegaran, G., van der Wall, H., (Eds.), *Radionuclide and Hybrid Bone Imaging* (pp. 29-57). Berlin: Springer.
- Kirmani, S., Christen, D., van Lenthe, G. H., Fischer, P. R., Bouxsein, M. L., McCready, L. K., . . . Khosla, S. (2009). Bone structure at the distal radius during adolescent growth. *J Bone Miner Res*, *24*(6), 1033-1042. doi: 10.1359/jbmr.081255
- Kuczmarski, R. J., Ogden, C. L., Guo, S. S., Grummer-Strawn, L. M., Flegal, K. M., Mei, Z., . . . Johnson, C. L. (2002). 2000 CDC Growth Charts for the United States: methods and development. *Vital Health Stat* *11*(246), 1-190.
- Lohman, T., Roche, A., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Lopes, C., Aro, A., Azevedo, A., Ramos, E., & Barros, H. (2007). Intake and adipose tissue composition of fatty acids and risk of myocardial infarction in a male Portuguese community sample. *J Am Diet Assoc*, *107*(2), 276-286. doi: 10.1016/j.jada.2006.11.008
- Machado-Rodrigues, A. M., Coelho e Silva, M. J., Mota, J., Santos, R. M., Cumming, S. P., & Malina, R. M. (2012). Physical activity and energy expenditure in adolescent male sport participants and nonparticipants aged 13 to 16 years. *J Phys Act Health*, *9*(5), 626-633.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign: Human Kinetics.
- Nichols, J. F., Rauh, M. J., Barrack, M. T., & Barkai, H. S. (2007). Bone mineral density in female high school athletes: interactions of menstrual function and type of mechanical loading. *Bone*, *41*(3), 371-377. doi: 10.1016/j.bone.2007.05.003
- Padez, C., Rocha, M. A. (2003). Age at menarche in Coimbra (Portugal) school girls: a note on the secular changes. *Ann Hum Biol*, *30*, 622-632
- Rizzoli, R., Bianchi, M. L., Garabedian, M., McKay, H. A., & Moreno, L. A. (2010). Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone*, *46*(2), 294-305. doi: 10.1016/j.bone.2009.10.005
- Rosnow, R. L., Rassithal, R. (1996). Computing contrast, effect sizes and conternulls on other people is published data: General procedures for research consumer. *Psychol. Methods* *1*, 331-340.
- Sartori, R., & Sandri, M. (2015). BMPs and the muscle-bone connection. *Bone*, *80*, 37-42. doi: 10.1016/j.bone.2015.05.023
- Scofield, K. L., & Hecht, S. (2012). Bone health in endurance athletes: runners, cyclists, and swimmers. *Curr Sports Med Rep*, *11*(6), 328-334. doi: 10.1249/JSR.0b013e3182779193
- Seeman, E. (2001). Clinical review 137: Sexual dimorphism in skeletal size, density, and strength. *J Clin Endocrinol Metab*, *86*(10), 4576-4584. doi: 10.1210/jcem.86.10.7960
- Tenforde, A. S., & Fredericson, M. (2011). Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM R*, *3*(9), 861-867. doi: 10.1016/j.pmrj.2011.05.019

- Tenforde, A. S., Fredericson, M., Sayres, L. C., Cutti, P., & Sainani, K. L. (2015). Identifying sex-specific risk factors for low bone mineral density in adolescent runners. *Am J Sports Med*, 43(6), 1494-1504. doi: 10.1177/0363546515572142
- Umemura, Y., Ishiko, T., Yamauchi, T., Kurono, M., & Mashiko, S. (1997). Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. *J Bone Miner Res*, 12(9), 1480-1485. doi: 10.1359/jbmr.1997.12.9.1480
- Wallace, I. J., Kwaczala, A. T., Judex, S., Demes, B., & Carlson, K. J. (2013). Physical activity engendering loads from diverse directions augments the growing skeleton. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 13(3), 283-288.

Capítulo 4

Conclusões

A DMO é o resultado de um processo dinâmico de formação e reabsorção do tecido ósseo chamado remodelação. A reabsorção causa deterioração desse tecido enquanto a formação do mesmo é responsável pela reconstrução e fortalecimento do tecido deteriorado. Esse processo ocorre ao longo da vida em ciclos de quatro a seis meses de duração (Cadore, Brentano, & Krueel, 2005). Numerosos estudos indicam que a atividade física está relacionada de forma positiva com a DMO, sendo um fator importante para a sua manutenção. Embora outros fatores como a genética, homeostasia hormonal e alimentação possam ser determinantes na DMO, a prática de exercício físico parece ter uma influência considerável nessa variável (Burrows, Nevill, Bird, & Simpson, 2003).

A prática de desporto durante o crescimento pode aumentar o pico de DMO nos ossos sujeitos a carga entre 10% a 20% em comparação com homólogos não fisicamente ativos. Este efeito pode ser potenciado quando o exercício começa antes do pico de crescimento da puberdade (Vicente-Rodríguez, 2006).

A realização de atividade física promove alterações no metabolismo ósseo de modo direto, através da força mecânica, ou indireto, causado por fatores hormonais. O desenvolvimento músculo-esquelético é superior ao crescimento da massa óssea de tal forma que admite-se que o aumento da força muscular intrínseca ao desenvolvimento muscular permite uma maior geração de forças na fixação óssea, que estimula o crescimento ósseo (Burrows et al., 2003).

Embora tenha sido relatado que a prática desportiva dificilmente provoca hipertrofia muscular em idade pré-púbere, estudos mais recentes evidenciaram o contrário, ou seja, a realização de exercício físico de forma intensiva está associada ao aumento da massa muscular durante o crescimento (Vicente-Rodríguez, 2006).

Assim, além do efeito direto do exercício físico no aumento da DMO, também pode contribuir indiretamente aumentando a massa muscular e, portanto, as forças geradas nos ossos onde os músculos hipertrofiados se ligam (Vicente-Rodríguez, 2006).

Desde há alguns anos que é aceite que o pico da velocidade de acumulação de massa óssea ocorre em torno dos 12-14 anos, e que o acréscimo do CMO é maior em crianças mais

ativas. Outros estudos também indicaram que os atletas em idade adulta que iniciaram as suas atividades desportivas antes da puberdade beneficiam de uma maior DMO. Estudos adicionais mostraram que rapazes e raparigas fisicamente ativos pré-púberes apresentam maior DMO na coluna lombar e/ou colo femoral do que seus pares não fisicamente ativos (Vicente-Rodríguez, 2006; Bailey et al., 2000).

Embora a maioria dos estudos dê ênfase à influência do tipo de exercício físico na DMO, outros fatores interferem, como por exemplo a força muscular e a composição corporal. Assim, independentemente do nível de atividade física, alguns estudos demonstraram que a DMO de atletas fisicamente ativos, ou mesmo sedentários, tem correlação com a força muscular, desenvolvida conforme o tipo de exercício físico ou atividade diária, e com a composição corporal do indivíduo (Burrows et al., 2003; Blain et al., 2002).

As atividades desportivas com impacto geram forças compressivas que geralmente foram propostas como estímulos essenciais para a formação e crescimento ósseo. Assim, a compressão intermitente das placas de crescimento provocadas pela atividade física ou exercício de impacto é aparentemente essencial para o crescimento ósseo (Malina, Bouchard, & Bar-Or, 2004).

Podemos sugerir que isso ocorre devido à relação existente entre DMO e o nível de força muscular, principalmente em indivíduos não treinados, o que possibilita a aplicação de sobrecarga crescente propícia a esse tipo de treino. Por outro lado, a sobrecarga imposta pela corrida é decorrente do peso corporal e, sendo assim, é constante ao longo do tempo. Embora possa haver maior número de estímulos durante a corrida, estudos demonstraram que a magnitude do estímulo é mais importante que a frequência do mesmo (Malina et al., 2004; Vicente-Rodríguez, 2006).

Em relação à prática de modalidades desportivas, Creighton, Morgan, Boardley, e Brolinson (2001) afirmam que o fortalecimento ósseo ocasionado pelo stress repetitivo, que surge durante o treino em longos períodos de tempo, pode não ser suficiente para aumentar a DMO em atletas que não entram em competição. Madsen, Adams, e Van Loan (1998) sugerem que a maior quantidade de DMO observada em atletas possa decorrer do nível elevado da atividade física praticado na adolescência, sugerindo uma DMO aumentada como consequência do treino a longo prazo. Karlsson, Magnusson, Karlsson, e Seeman (2001) estudaram jogadores de futebol adultos com diferentes níveis e duração de treinos e respetivo controlo com sedentários. Os jogadores de futebol, como um grupo, apresentaram uma DMO melhor em comparação com o controlo. No entanto, as diferenças da duração e dos níveis de treino não apresentam resultados proporcionais.

A maioria das investigações que registam grandes benefícios desportivos na DMO foram realizadas com ginastas que geralmente treinam muitas horas por semana. Os últimos estudos sugerem que quanto maior o volume do exercício, maior a acumulação de DMO (Nurmi-Lawton et al., 2004; Helge, & Kanstrup, 2002; Nickols-Richardson, Modlesky, O'Connor, & Lewis, 2000).

Embora a atividade desportiva mais adequada para um crescimento ósseo máximo permaneça desconhecida, evidências acumulam-se para sugerir que a participação em desportos com peso são muito eficientes na promoção da aquisição óssea mesmo em crianças pré-púberes. Por exemplo, foram relatados benefícios osteogénicos similares com apenas 3 horas por semana de futebol ou andebol (Vicente-Rodríguez et al., 2004).

As intervenções controladas de salto também mostraram aumentos significativos na massa óssea, mesmo com uma intervenção muito baixa, como 12 minutos, três vezes por semana. A ginástica provoca tensões enormes, mas o número de impacto é menor do que nos outros desportos (MacKelvie et al., 2004).

Assim, um efeito benéfico para o osso pode ser alcançado com duas estratégias diferentes: matriculando crianças num desporto de alta tensão, como a ginástica; ou promovendo a participação em desportos como o futebol ou andebol, onde o esqueleto em crescimento é submetido a flexões frequentes em diferentes direções, sem necessidade de um volume de exercício superior a 3 horas por semana (Vicente-Rodríguez, 2006).

As cargas mecânicas precisam de certa magnitude, taxa e frequência de tensão para serem eficazes de forma a estimular a osteogénese. Dorado et al. (2002) observou que os golfistas profissionais aumentaram a massa muscular no braço dominante em comparação com o braço que não joga, como relatado anteriormente em jogadores de ténis. Apesar de ambos os desportos provocarem hipertrofia muscular no braço dominante, apenas os jogadores de ténis mostram um aumento da DMO em comparação com o membro não dominante. Assim, as ações desportivas que envolvem tensões de tração, compressão, cisalhamento e torção nos ossos durante o crescimento têm um potencial osteogénico.

Os vários parâmetros avaliados decorrentes da aplicação de equipamentos concorrentes de DXA revelaram boa reprodutibilidade e permitiram confirmar uma ideia de qualidade dos indicadores. Foram encontradas diferenças negligenciáveis para a DMO, apesar de uma tendência para o equipamento Lunar DPX-MD+ produzir valores mais elevados para o CMO e também para a área.

O nosso estudo identificou claramente um novo modelo baseado em antropometria para estimar o volume da coxa em pesquisas sobre atletas adolescentes do sexo feminino. O

modelo é baseado em procedimentos propostos por Jones e Pearson (1967) com a adição de medidas simples de massa corporal. Foi internamente validado de forma cruzada com procedimentos estatísticos adequados, garantindo a sua aplicabilidade em amostras semelhantes. Esta equação representa uma alternativa precisa e prática para quantificar o volume da coxa em jogadoras de voleibol feminino na adolescência tardia.

A prática desportiva tem sido associada a diferenças benéficas em termos de lípidos e parâmetros ósseos entre adolescentes do sexo masculino. O basquetebol parece mais benéfico para os parâmetros ósseos (principalmente nos membros inferiores) do que a natação, enquanto os parâmetros metabólicos (lípidos) parecem ser mais afetados pela prática da natação do que de basquetebol. Assim, considerando que o desporto competitivo está intimamente ligado aos estilos de vida ativos e representa uma oportunidade para implementar a atividade física e para contrariar as tendências seculares do aumento das doenças não transmissíveis e da inatividade juvenil nos países ocidentais, os governos devem promover a prática desportiva entre os jovens. A educação física e os programas desportivos devem incluir atividades aeróbicas e anaeróbicas que possibilitem melhorar os perfis sanguíneos dos jovens, no entanto é necessário algum cuidado na escolha do desporto mais indicado para melhorar a saúde óssea.

A prática desportiva na modalidade de futebol, mesmo quando não acontece nos regimes de participação conhecidos para a alta competição, sendo acíclica e portadora de inúmeros impactos mecânicos, tendo uma enorme aceitação social, pode constituir-se como uma boa proposta de intervenção para obtenção e controlo de massa corporal ideal, conferindo vantagens acrescidas no que diz respeito à composição do tecido magro, tecido ósseo e tecido gordo, mesmo quando acontece em regimes de treino desportivo que não resultam em substantivas vantagens funcionais dos futebolistas comparativamente a adultos fisicamente ativos e saudáveis. Isto sugere que os programas de intervenção delineados para a saúde óssea, devem reclamar orientações do volume, intensidade e frequência de forma distinta relativamente a outros programas delineados para a saúde cardiovascular ou para a saúde mental.

A nossa investigação mostrou que os jogadores de voleibol apresentam maior CMO e DMO em todo o corpo, tronco e membros inferiores e maiores níveis de adiposidade quando comparados com os nadadores. Os resultados suportam o facto de que 3 a 4 vezes por semana de atividades de alto impacto estão associadas a uma maior massa óssea. Os benefícios observados também se podem traduzir em mudanças positivas na geometria e qualidade do osso, proporcionando um aumento substancial da força óssea. Este estudo observacional fornece implicações práticas para jovens sedentários, atletas jovens de desportos que não implicam alto impacto (incluindo natação) e treinadores que podem beneficiar de rotinas de

treino complementares com atividades portadoras de peso osteogénico, como resistência, força e treino pliométrico.

Capítulo 5

Referências

- Abu-Zidan, F. M., Hefny, A. F., & Corr, P. (2011). Clinical ultrasound physics. *J Emerg Trauma Shock*, 4(4), 501-503. doi: 10.4103/0974-2700.86646
- Bailey, D. A., Martin, A. D., McKay, H. A., Whiting, S., & Mirwald, R. (2000). Calcium accretion in girls and boys during puberty: a longitudinal analysis. *J Bone Miner Res*, 15(11), 2245-2250. doi: 10.1359/jbmr.2000.15.11.2245
- Baltzopoulos, V., & Brodie D. A. (1989) *Isokinetic dynamometry: applications and limitations*. Champaign: Human Kinetics.
- Beune, G., & Borms, J. (1990). Cineantropometria: Raízes, Desenvolvimento e Futuro. *Rev Bras Ciências Esporte*, 4(3), 76-97.
- Blain, H., Vuillemin, A., Guillemin, F., Durant, R., Hanesse, B., de Talance, N., . . . Jeandel, C. (2002). Serum leptin level is a predictor of bone mineral density in postmenopausal women. *J Clin Endocrinol Metab*, 87(3), 1030-1035. doi: 10.1210/jcem.87.3.8313
- Burrows, M., Nevill, A. M., Bird, S., & Simpson, D. (2003). Physiological factors associated with low bone mineral density in female endurance runners. *Br J Sports Med*, 37(1), 67-71.
- Cadore, E. L., Brentano, M. A., & Kruel, L. F. (2005). Efeitos da atividade física na densidade mineral óssea e na remodelação do tecido ósseo. *Rev Bras Med Esporte*, 11(6), 373-379. doi: 10.1590/S1517-86922005000600013.
- Carvalho, A., & Neto. C. (1999). Composição corporal através dos métodos da pesagem hidrostática e impedância bioelétrica em universitários. *Rev Bras Cineantropom & Desempenho Hum*, 1, 18-23.
- Costa, R. F. 2001. *Composição corporal: teoria e prática da avaliação*. São Paulo: Manole.
- Creighton, D. L., Morgan, A. L., Boardley, D., & Brolinson, P. G. (2001). Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol* (1985), 90(2), 565-570.
- Criee, C. P., Sorichter, S., Smith, H. J., Kardos, P., Merget, R., Heise, D., . . . Respiratory, C. (2011). Body plethysmography--its principles and clinical use. *Respir Med*, 105(7), 959-971. doi: 10.1016/j.rmed.2011.02.006
- Dorado, C., Sanchis Moysi, J., Vicente, G., Serrano, J. A., Rodriguez, L. R., & Calbet, J. A. (2002). Bone mass, bone mineral density and muscle mass in professional golfers. *J Sports Sci*, 20(8), 591-597. doi: 10.1080/026404102320183149
- Drouin, J. M., Valovich-mcLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2004).

- Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol*, 91(1), 22-29. doi: 10.1007/s00421-003-0933-0
- Duren, D. L., Sherwood, R. J., Czerwinski, S. A., Lee, M., Choh, A. C., Siervogel, R. M., & Cameron Chumlea, W. (2008). Body composition methods: comparisons and interpretation. *J Diabetes Sci Technol*, 2(6), 1139-1146. doi: 10.1177/193229680800200623
- Helge, E. W., & Kanstrup, I. L. (2002). Bone density in female elite gymnasts: impact of muscle strength and sex hormones. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 174-180.
- Heyward, V., & Wagner, D. (2004). *Applied Body Composition Assessment*. Illinois: Human Kinetics.
- Jones, P. R., & Pearson, J. (1969). Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *J Physiol*, 204(2), 63P-66P.
- Karlsson, M. K., Magnusson, H., Karlsson, C., & Seeman, E. (2001). The duration of exercise as a regulator of bone mass. *Bone*, 28(1), 128-132.
- Kierszenbaum, A. L., & Laura L. T. (2012). *Histology and Cell Biology: An Introduction to Pathology*. Philadelphia: Saunders.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of Biomechanics (2nd ed)*. New York: Springer
- Kumar, V., Cotran, R. S., Robbins, S. L. (2004). *Robbins Basic Pathology (7th ed)*. Philadelphia: Saunders.
- Lee, S. Y., & Gallagher, D. (2008). Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 11(5), 566-572. doi: 10.1097/MCO.0b013e32830b5f23
- Lima, J. (2005). *Técnicas de Diagnóstico com Raios X*. Coimbra: Imprensa da Universidade.
- MacKelvie, K. J., Petit, M. A., Khan, K. M., Beck, T. J., & McKay, H. A. (2004). Bone mass and structure are enhanced following a 2-year randomized controlled trial of exercise in prepubertal boys. *Bone*, 34(4), 755-764. doi: 10.1016/j.bone.2003.12.017
- Madsen, K. L., Adams, W. C., & Van Loan, M. D. (1998). Effects of physical activity, body weight and composition, and muscular strength on bone density in young women. *Med Sci Sports Exerc*, 30(1), 114-120.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign: Human Kinetics.
- Nickols-Richardson, S. M., Modlesky, C. M., O'Connor, P. J., & Lewis, R. D. (2000). Premenarcheal gymnasts possess higher bone mineral density than controls. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 63-69.
- Nurmi-Lawton J. A., Baxter-Jones A. D., Mirwald R. L., Bishop, J. A., Taylor, P., Cooper, C., New, Evidence of sustained skeletal benefits from impact-loading exercise in sustained skeletal benefits from impact-loading exercise in young females: a 3-year longitudinal study. *J Bone Miner Res*, 19(2):314-22.
- Oldroyd, B., Smith, A. H., & Truscott, J. G. (2003). Cross-calibration of GE/Lunar pencil and fan-beam dual energy densitometers--bone mineral density and body composition

- studies. *Eur J Clin Nutr*, 57(8), 977-987. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601633
- Peacock, M. (2010). Calcium metabolism in health and disease. *Clin J Am Soc Nephrol*, 5 Suppl 1, S23-30. doi: 10.2215/CJN.05910809
- Pisco, J. M. (2003). *Imagiologia Básica*. Lisboa: Lidel.
- Pooley, R. A. (2005). AAPM/RSNA physics tutorial for residents: fundamental physics of MR imaging. *Radiographics*, 25(4), 1087-1099. doi: 10.1148/rg.254055027
- Rech, C. R., Ferreira, L. A., Cordeiro, B. A., Vasconcelos, F.G., Petroski, E. L. (2007). Estimativa da composição corporal por meio da absorptometria radiológica de dupla energia. *R. bras. Ci e Mov*. 2007; 15(4): 87-98.
- Resnick, D. (1998). *Huesos y Articulaciones en Imagen* (2ª ed). Madrid: Marban.
- Rezende, F., Rosado, L., Franceschini, S., Rosado, G., Ribeiro, R., & Bouzas J. C. (2007). Revisão crítica dos métodos disponíveis para avaliar a composição corporal em grandes estudos populacionais e clínicos. *Arch Latinoamer Nutr*, 57(4), 327-334.
- Sant'Anna, M. S., Priore, S. E., & Franceschini, S. C. (2009). Methods of body composition evaluation in children. *Rev Paul Pediatr*, 27(3), 315-321. doi: 10.1590/S0103-05822009000300013
- Sapega, A. A. (1990). Muscle performance evaluation in orthopaedic practice. *J Bone Joint Surg Am*, 72(10), 1562-1574.
- Sardinha, L. (1997). Avaliação da composição corporal. In Barata, T. (Eds.), *Actividade Física* (pp. 167-179). Odivelas: Europress.
- Sawyer, A. J. (2007). *Bone Densitometry in Growing Patients: Guidelines for Clinical Practice*. Totowa: Humana Press.
- Seeley, R., Stephens, T., & Tate, P. (2007). *Anatomia & Fisiologia* (6ª ed). Loures: Lusociência
- Sodeman, J., William, A., & Sodeman, T. M. (1979). *Pathologic Physiology Mechanisms of Disease* (6th ed). Philadelphia: Saunders.
- Vicente-Rodríguez, G. (2006). How does Exercise Affect Bone Development during Growth? *Sports Med*, 37(7), 561-569.
- Vicente-Rodriguez, G., Ara, I., Perez-Gomez, J., Serrano-Sanchez, J. A., Dorado, C., & Calbet, J. A. (2004). High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. *Med Sci Sports Exerc*, 36(10), 1789-1795.
- Wang, W., Wang, Z., Faith, M. S., Kotler, D., Shih, R., & Heymsfield, S. B. (1999). Regional skeletal muscle measurement: evaluation of new dual-energy X-ray absorptiometry model. *J Appl Physiol*, 87(3), 1163-1171.
- Wells, J. C., & Fewtrell, M. S. (2006). Measuring body composition. *Arch Dis Child*, 91(7), 612-617. doi: 10.1136/adc.2005.085522
- Zabka, F. F., Valente, H. G., & Pacheco, A. M. (2011). Isokinetic Evaluation of Knee Extensor and Flexor Muscles in Professional Soccer. *Rev Bras Med Esporte*, 17(3) 189-192 doi: 10.1590/S1517-86922011000300008

Capítulo 6

Lista de publicações relacionadas com a Tese

Artigos em revistas com arbitragem científica

Publicados

- Agostinete, R. R., Duarte, J. P., Valente-Dos-Santos, J., Coelho-e-Silva, M. J., Tavares, O. M., Conde, J. M., . . . Fernandes, R. A. (2017). Bone tissue, blood lipids and inflammatory profiles in adolescent male athletes from sports contrasting in mechanical load. *PLoS One*, 12(6), e0180357. doi: 10.1371/journal.pone.0180357
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M. J., Franco, S., Figueiredo, A. J., Tavares, O. M., Ferry, B., . . . Malina, R. M. (2012). Agreement between anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry assessments of lower-limb volumes and composition estimates in youth-club rugby athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*, 37(3), 463-471. doi: 10.1139/h2012-027
- Duarte, J. P., Tavares, O. M., Valente-Dos-Santos, J., Severino, V., Ahmed, A., Rebelo-Goncalves, R., . . . Coelho-e-Silva, M. J. (2016). Repeated Dribbling Ability in Young Soccer Players: Reproducibility and Variation by the Competitive Level. *J Hum Kinet*, 53, 155-166. doi: 10.1515/hukin-2016-0019
- Tavares, O. M., Valente-Dos-Santos, J., Duarte, J. P., Povoas, S. C., Gobbo, L. A., Fernandes, R. A., . . . Coelho, E. S. M. J. (2016). Concurrent agreement between an anthropometric model to predict thigh volume and dual-energy X-Ray absorptiometry assessment in female volleyball players aged 14-18 years. *BMC Pediatr*, 16(1), 190. doi: 10.1186/s12887-016-0730-7
- Valente-Dos-Santos, J., Coelho-e-Silva, M. J., Tavares, O. M., Brito, J., Seabra, A., Rebelo, A., . . . Malina, R. M. (2015). Allometric modelling of peak oxygen uptake in male soccer players of 8-18 years of age. *Ann Hum Biol*, 42(2), 125-133. doi: 10.3109/03014460.2014.932007

Submetidos

- Óscar M. Tavares, João P. Duarte, Daniela C. Costa, Paulo Sousa-E-Silva, Diogo Martinho, Leonardo G. O. Luz, Pedro Duarte-Mendes, João Valente-Dos-Santos, Jorge Conde,

José M. Casanova, Edilson S Cyrino, Manuel J. Coelho-E-Silva. CONCORDÂNCIA ENTRE ABSORCIÓMETROS DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA COM “PENCIL-BEAM” E “FAN-BEAM”: indicadores de saúde óssea e composição tecidual de corpo todo e regional em atletas adultos. *Rev Assoc Médica Brasileira* - Manuscript ID RAMB-2017-0234.R1. (ESTUDO 1).

Óscar M. Tavares, João P. Duarte, Daniela C. Costa, Paulo Sousa-E-Silva, Diogo Martinho, Leonardo G. O. Luz, Pedro Morouço, João Valente-Dos-Santos, Rui Soles-Gonçalves, Jorge Conde, José M. Casanova, Manuel J. Coelho-E-Silva. DENSIDADE MINERAL ÓSSEA, COMPOSIÇÃO CORPORAL E FORÇA POR DINAMOMETRIA ESTÁTICA E ISOCINÉTICA: estudo comparativo entre futebolistas adultos amadores e adultos ativos e saudáveis. Manuscript ID RAMB-2017-0217.R1. (ESTUDO 4).

João Valente-dos-Santos, Óscar M. Tavares, João P. Duarte, Paulo M. Sousa-e-Silva, Luís M. Rama, José M. Casanova, Carlos A. Fontes-Ribeiro, Elisa A. Marques, Daniel Courteix, Enio R Ronque, Manuel J. Coelho-e-Silva. Total and Regional Bone Mineral and Tissue Composition in Female Adolescent Athletes: comparison between Volleyball players and Swimmers. *Biology of Sports*. (ESTUDO 5).

Capítulo 7

Anexos

RESEARCH ARTICLE

Bone tissue, blood lipids and inflammatory profiles in adolescent male athletes from sports contrasting in mechanical load

Ricardo R. Agostinete^{1,2}, João P. Duarte^{3,4}, João Valente-dos-Santos^{3,5,6,7}, Manuel J. Coelho-e-Silva^{3*}, Oscar M. Tavares⁸, Jorge M. Conde⁹, Carlos A. Fontes-Ribeiro^{6,10}, Giancarlo Condello¹¹, Laura Capranica¹¹, Suziane U. Caires^{1,2}, Rômulo A. Fernandes^{1,2,12}

1 Department of Physical Education, Laboratory of Investigation in Exercise (LIVE), São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Brazil, **2** Department of Physical Therapy, Post-Graduation Program in Physical Therapy, São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Brazil, **3** CIDAF (UID/DTP/04213/2016), Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal, **4** Portuguese Foundation for Science and Technology (SFRH/BD/101083/2014), Lisbon, Portugal, **5** Portuguese Foundation for Science and Technology (SFRH/BPD/100470/2014), Lisbon, Portugal, **6** Institute for Biomedical Imaging and Life Sciences (IBILI), Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal, **7** Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University of Humanities and Technologies, Lisbon, Portugal, **8** Department of Medical Imaging and Radiation Therapy, School of Health and Technology, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, Portugal, **9** Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, Portugal, **10** Institute of Pharmacology and Experimental Therapeutics, Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal, **11** Department of Movement, Human and Health Sciences, University of Rome Foro Italico, Rome, Italy, **12** Post-Graduation Program in Kinesiology, Institute of Biosciences, São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Brazil

* mjcesilva@hotmail.com



 OPEN ACCESS

Citation: Agostinete RR, Duarte JP, Valente-dos-Santos J, Coelho-e-Silva MJ, Tavares OM, Conde JM, et al. (2017) Bone tissue, blood lipids and inflammatory profiles in adolescent male athletes from sports contrasting in mechanical load. *PLoS ONE* 12(6): e0180357. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357>

Editor: Juha Tuukkanen, University of Oulu, FINLAND

Received: January 18, 2017

Accepted: June 14, 2017

Published: June 29, 2017

Copyright: © 2017 Agostinete et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Funding: This study was supported by the São Paulo Research Foundation (FAPESP, Process 2013/06963-5, 2015/13543-8 and 2016/06920-2), JPD (SFRH/BD/101083/2014) and Jvds (SFRH/BPD/100470/2014) were partially supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology. CIDAF is registered in Portuguese

Abstract

Exploring the effect of non-impact and impact sports is particular relevant to understand the interaction between skeletal muscle and bone health during growth. The current study aimed to compare total and regional bone and soft-tissue composition, in parallel to measurements of blood lipid and inflammatory profiles between adolescent athletes and non-athletes. Anthropometry, biological maturity, dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans, training load and lipid and inflammatory profiles were assessed in a cross-sectional sample of 53 male adolescents (20 non-athletes, 15 swimmers and 18 basketball players) aged 12–19 years. Multiple comparisons between groups were performed using analysis of variance, covariance and magnitude effects ($ES-r$ and Cohen's d). The comparisons of controls with other groups were very large for high-sensitivity C-reactive protein (d range: 2.17–2.92). The differences between sports disciplines, regarding tissue outputs obtained from DXA scan were moderate for all variables except fat tissue ($d = 0.4$). It was possible to determine small differences ($ES-r = 0.17$) between controls and swimmers for bone area at the lower limbs (13.0%). In parallel, between swimmers and basketball players, the gradient of the differences was small ($ES-r$ range: 0.15–0.23) for bone mineral content (24.6%), bone area (11.3%) and bone mineral density (11.1%) at the lower limbs, favoring the basketball players. These observations highlight that youth male athletes presented better blood and soft tissues profiles with respect to controls. Furthermore, sport-specific differences emerged for the lower limbs, with basketball players presenting higher bone mineral content, area and density than swimmers.

Foundation for Science and Technology: uid/dtp/04213/2016. No other current funding sources for this study. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

Introduction

Regular participation in sport is a feature of the daily lives of youth. Evidence based on three day diary records in boys and girls 12–14 years [1], accelerometry in boys 6–12 years [2], questionnaires in U.S. boys and girls 11–12 years [3] and girls 13–18 years [4], and questionnaires in Finnish twins 16–18 years [5] indicate higher levels of physical activity in sport participants compared to non-participants. In fact, regular engagement in physical exercise (e.g., 60 minutes of moderate- to vigorous-intensity physical activity daily) is recommended for youth to develop healthy musculoskeletal tissues, cardiovascular system, and to maintain healthy blood parameters and body weight [6]. A recent study compared the effects of a 6-month soccer programme and a traditional physical activity programme on changes in body composition, cardiometabolic, inflammatory and oxidative stress markers, in parallel to measurements of cardiorespiratory fitness in obese boys [7]. After the intervention, both groups had significantly lower relative fatness and waist circumference, total cholesterol, and improved cardiorespiratory fitness. The results also suggested that soccer-based intervention was more effective for the reduction of childhood obesity and associated consequences. Given the seemingly central role of competitive sport in the developmental process of youth, a question of relevance is the sport-related long-term benefits of participation.

Adolescence is considered a crucial period for bone formation and the literature suggested that about 90% of bone mass observed in adulthood is acquired during early life stages [8]. By inference, it is expected that children and adolescents with low levels of bone mineral have an increased likelihood of developing osteoporosis [9], which is a chronic disease with a great socio-economic impact [10] and currently considered as the worldwide second cause of disability affecting one third of women and one out of eight men 50 years [11]. Acquisition of bone mineral content during the first two decades of life should be considered a relevant public health strategy and exercise is considered an effective determinant to increase the peak bone mass during early life [12], in addition to genetic, hormonal and nutritional determinants.

Existing recommendations for physical activity focus on the manipulation of frequency, intensity and volume aiming to improve bone health. The tensile and compressive forces associated with muscular contractions during weight-bearing activities and specialized exercises such as strength and resistance training consistently have a favourable influence on skeletal tissue [13–15] and comparisons of elite young athletes with less active youth [16, 17] indicate a beneficial effect of physical activity on skeletal health. The osteogenic influence of physical activity is generally sites specific and related to local mechanical strains. The benefits are reflected in bone mineral content, bone mineral density, and apparent bone mineral density. A systematic review conducted by Strong et al. [18] concluded that the benefits are not as consistently established for adolescents in later stages of puberty. The literature suggests improvement in health outcomes in association with physical activity in obese and non-obese youth but the dose of physical activity that is necessary to prevent or treat may be specific to each health outcome [18].

In general, recommendations support physical activity to maintain healthy body weight and lipid profiles [19, 20] relevant to prevent from childhood obesity and risks of coronary heart diseases and atherosclerosis [21]. However, distinct sport-based programs could lead to different responses. According to Strong et al. [18], youth engaging in ≥ 4 -month of regular physical exercise encompassing at least 40-min of moderate- to vigorous-intensity activities could have beneficial effects on triglyceride and high density lipoprotein cholesterol (HDL-c) levels, whereas effects on total cholesterol and low density lipoprotein cholesterol (LDL-c) levels resulted not consistent. Furthermore, high intensity exercise could promote inflammatory

cytokines releases, such as the C-reactive protein (CRP), which negatively impacts the somatic growth of children and adolescents [22].

The present study was aimed to compare whole-body and regional indicators of bone tissue, in parallel to measurements of blood lipid and inflammatory profiles in adolescent athletes contrasting in mechanical load (basketball and swimming athletes) and non-athlete counterparts. It is hypothesized that sport-associated variation are specific to health outcomes and when regarding measurements of bone mineral content, differences between athletes and non-athletes are generalized while between swimmers and basketball players groups are more apparent in specific regions (upper arms, trunk, lower limbs).

Materials and methods

Ethics statement

All procedures were approved by the ethical board of the Sao Paulo State University (CAAE, 02891112.6.0000.5402) and were conducted in accordance with the Declaration of Helsinki for human studies by the World Medical Association. After approval obtained from the Municipal Department of Education and Department of Sports to collect data in schools and sport clubs, respectively, parents or legal guardians completed a written statement of consent. Participants were informed about the objectives and methodology and also that participation was voluntary and that they could withdraw from the experiment at any time.

Participants

The final sample was composed of 53 male adolescents (S1 File). Twenty adolescents composed the Control Group (recruited in several public and private schools) while 33 adolescents were athletes (Basketball, $n = 18$; Swimming, $n = 15$). Swimmers and basketball players were recruited in two clubs registered in the respective national federations.

The inclusion criteria for this study were: (i) chronological age between 10 and 19 years; (ii) male sex; (iii) no use of medication that could affect bone metabolism; (iv) absence of previous or current bone fractures. Furthermore, to be included in the control group, participants had to declare to participate in regular physical education classes (two hours for week⁻¹) with no previous or actual engagement in organized sports.

Anthropometry

Stature and sitting height were recorded with a stadiometer (Sanny, model American Medical of the Brazil Ltda, Brazil) and a table (Harpenden sitting height table, model 98.607, Holtain Ltd, Crosswell, UK) to the nearest 0.1 cm. Leg length was estimated as stature minus sitting height. Body mass was measured using a digital scale (Filizzola PL 150, model Filizzola Ltda, Brazil) to the nearest 0.1 kg. A trained technician performed all measurements during a single visit to the laboratory. Finally, sitting height and body mass was used to calculate the individual body mass index (BMI, m²/kg).

Biological maturity

The maturity offset was calculated [23]. It corresponds to an algorithm derived from two longitudinal studies of Canadian youth and one of Belgian twins was used to predict the time (years) from/to age peak of height velocity (APHV), labeled maturity offset. Then, predicted

APHV (years) was estimated as chronological age minus maturity offset.

$$\begin{aligned} \text{Maturity offset (in years)} &= -9.236 + (0.0002708 \times (\text{Leg length} \times \text{Sitting height})) + (-0.001663 \times (\text{Age} \times \text{Leg length})) \\ &+ (0.007216 \times (\text{Age} \times \text{Sitting height})) + \left(0.02292 \times \left(\frac{\text{Bodymass}}{\text{Stature}} \times 100\right)\right) \end{aligned} \quad (1)$$

Dual X-ray energy absorptiometry (DXA)

Total tissue (kg), fat tissue (kg), lean soft tissue (kg), bone mineral content (BMC, g), bone mineral density (BMD, g/cm²) and bone area (in cm²) were assessed using DXA (Lunar DPX-NT; General Electric Healthcare, Little Chalfont, Buckinghamshire, UK) and data for head, upper limbs, lower limbs, trunk (ribs, pelvis and column) and whole body were processed by means of a GE Medical System Lunar software (version 4.7). A certified technician calibrated the equipment on a daily basis and performed the scans with the participant wearing light clothes (short and t-shirt) and laying in the supine position on the apparatus (approximately 15 minutes). The precision of the machine in terms of coefficient of variation was 0.66% (n = 30 subjects not involved in this study).

Training routine

The athletes reported their experience in the sports (in years) and the coaches reported the minutes trained per day and sessions trained per week by each athlete (weekly training volume). None of the athletes involved in the study performed another supervised physical exercise.

Training load

Thirty minutes after the end of the training, according literature recommendation [24], athletes were administered the CR-10 rating of perceived exertion (RPE) scale [25] adapted by Foster et al.[26] and reported the training duration (min). Thus, training load per day was calculated multiplying the score of the RPE with the total duration of the training section (in minutes)[24, 26] and summated to obtain the monthly training load.

Vitamin D intake

The adolescents reported through of a questionnaire (listed with foods rich in vitamin D usually present in a Brazilian diet) the frequency of consumption of foods rich (Likert scale) in vitamin D in a week, considering the previous week of the evaluation. The sums of the values of scale were considered as a vitamin D intake score.

Lipid and inflammatory profiles

Blood samples were collected during a rest day following a training session. A certified technician collected blood samples in the morning after a 12-hour fasting. An autoanalyzer (Dimension RxL Max; Siemens Dade-Behring, Deerfield, Illinois) and an enzymatic colorimetric kit were used to assess total cholesterol, HDL-c, LDL-c, very-low density lipoprotein cholesterol (VLDL-c) and triacylglycerol. In addition, high-sensitivity (H-S) CRP was assessed through the turbidimetric method (LabMax 240; Chema Diagnostica, Monsano, Italy) using an enzyme kit (Millipore, St. Charles, Missouri) with intra- and inter-assay reliability ranging between 4.6 and 6.0%, respectively.

Table 1. Descriptive statistics on chronological age, maturation, training experience, parameters of training experience, indicators of lipid profile plus inflammatory biomarker, anthropometry of the overall body size and outputs of whole body DXA assessments for the total sample (n = 53).

Variable	unit	Descriptive							Normality (kolmogorov-Smirnov)	
		Range		Mean			Standard deviation	K-S value	p	
		minimum	maximum	value	SEM	95% CI				
						lower	upper			
Chronological age	years	12	19	14.34	0.26	13.83	14.85	1.92	0.191	<0.001
Maturity offset	years	-2.6	2.9	0.08	0.21	-0.34	0.51	1.55	0.100	0.200
Age at peak height velocity	years	12.7	16.8	14.25	0.11	14.03	14.47	0.81	0.094	0.200
Vitamin D	score	0	14	6.4	0.49	5.40	7.39	3.6	0.161	0.002
Sport experience ^a	years	2.0	13.4	5.66	0.5	4.60	6.73	3.00	0.136	0.126
Training sessions per week ^a	sessions	2	6	5.55	0.169	5.20	5.89	0.971	0.438	<0.001
Training time per week ^a	min	720	2160	1108	47.8	1010	1205	274	0.290	<0.001
Training load during past month ^a		2880	27930	13863	1037	11747	15979	5868	0.174	0.015
Body mass	kg	41.6	91.1	67.6	1.59	64.3	70.8	11.6	0.063	0.200
Stature	cm	150.4	199.7	174.2	1.64	170.9	177.5	11.9	0.073	0.200
Sitting height	cm	76.0	101.3	89.2	0.87	87.5	91.0	6.3	0.079	0.200
Estimated leg length	cm	70.2	104.9	84.9	0.95	83.0	86.8	6.9	0.079	0.200
Total cholesterol	mg/dL	103	208	147.8	3.0	141.6	154.0	22.5	0.093	0.200
HDL-c	mg/dL	32	73	46.5	1.1	44.31	48.82	8.1	0.109	0.169
LDL-c	mg/dL	49.4	137.2	88.4	2.5	83.3	93.6	18.5	0.092	0.200
VLDL-c	mg/dL	4.7	49.5	12.7	1.1	10.5	15.0	8.0	0.235	<0.001
Triglycerides	mg/dL	23.7	247.4	63.9	5.5	52.8	75.0	40.2	0.235	<0.001
HS C-reactive protein	mg/L	0.24	14.78	3.42	0.3	2.7	4.0	2.3	0.176	<0.001
DXA, whole-body										
Total tissue	kg	40.6	91.0	66.8	1.61	63.6	70.0	11.7	0.069	0.200
Fat tissue	kg	3.2	33.1	13.2	1.10	11.0	15.4	8.0	0.152	0.004
Lean soft tissue	kg	27.2	74.2	50.7	1.63	47.4	53.9	11.9	0.108	0.178
Bone mineral content	g	1634	4800	2883	101.1	2680	3086	736	0.106	0.200
Bone area	Cm ²	1676	3078	2411	46	2319	2504	336	0.081	0.200
Bone mineral density	g/cm ²	0.921	1.559	1.185	0.020	1.144	1.225	0.146	0.093	0.200

Abbreviations: SEM, standard error of the mean; 95%CI, 95% confidence intervals; HDL-c, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-c, low-density lipoprotein cholesterol; VLDL-c, very-low-density lipoprotein cholesterol; HS C-reactive protein, high-sensitivity C-reactive protein; DXA, dual-energy X-ray absorptiometry.

^a Uniquely for swimmers and basketball players.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.t001>

Statistical analysis

For the descriptive statistic was composed of mean, standard deviation, median, range (minimum and maximum value), mean (and respective standard error of the mean plus 95% confidence interval) and standard deviation. Normal distribution was examined using the test Kolmogorov-Smirnov. Analysis of variance (ANOVA) was used to assess the effect of sport participation on anthropometry, maturation, metabolic outputs, obtained from blood samples, and variables derived from the DXA assessments. Additionally, taking into account bone parameters as outcome, multivariate models adjusted by chronological age, maturity offset, score of vitamin D and weekly training volume have been created using analysis of covariance (ANCOVA). The associated magnitude effect among independent and dependent variables were determined by means of the effect size correlations (ES-r), which is estimated using the square root of the ratio of the F-value squared and the difference between the F-value squared

and degrees of freedom. Coefficients were interpreted as follows: trivial ($r < 0.1$), small ($0.1 < r < 0.3$), moderate ($0.3 < r < 0.5$), large ($0.5 < r < 0.7$), very large ($0.7 < r < 0.9$), nearly perfect ($r > 0.9$) and perfect ($r = 1$) [27]. Additionally, multiple comparisons between

Table 2. Descriptive statistics for variables reporting inter-individual variability on DXA assessments on trunk, upper limbs and lower limbs (n = 53).

Variable	unit	Descriptive						Standard deviation	Normality (kolmogorov-Smirnov)	
		Range		Mean			K-S value		p	
		minimum	maximum	value	SEM	95% CI				
						lower				upper
Total tissue										
Trunk	kg	16.8	39.9	29.9	0.7	28.4	31.3	5.4	0.083	0.200
Upper limbs	kg	3.5	10.3	7.2	0.2	6.7	7.6	1.7	0.114	0.085
Lower limbs	kg	15.7	34.9	24.9	0.6	23.6	26.2	4.7	0.067	0.200
Fat tissue										
Trunk	kg	1.6	16.9	6.6	0.5	5.6	7.7	3.8	0.139	0.012
Upper limbs	kg	0.1	2.5	0.7	0.08	0.5	0.9	0.6	0.216	0.000
Lower limbs	kg	0.9	13.6	5.2	0.4	4.3	6.2	3.4	0.154	0.003
Lean soft tissue										
Trunk	kg	12.1	31.9	22.2	0.7	20.7	23.7	5.4	0.126	0.036
Upper limbs	kg	2.6	9.1	6.0	0.2	5.5	6.5	1.8	0.097	0.200
Lower limbs	kg	9.4	28.2	18.4	0.6	17.2	19.7	4.4	0.079	0.200
Bone mineral content										
Trunk	g	423	1531	907	36	834	980	265	0.089	0.200
Upper limbs	g	168	603	373	16	340	407	121	0.122	0.046
Lower limbs	g	641	2104	1175	42	1090	1261	310	0.081	0.200
Bone area										
Trunk	cm ²	576	1191	890.7	21	848	933	154	0.085	0.200
Upper limbs	cm ²	263	560	415	10	393	437	78	0.089	0.200
Lower limbs	cm ²	581	1153	865	16	832	897	117	0.062	0.200
Bone mineral density										
Trunk	g/cm ²	0.730	1.286	0.998	0.018	0.961	1.034	0.132	0.094	0.200
Upper limbs	g/cm ²	0.638	1.281	0.878	0.022	0.833	0.923	0.162	0.113	0.090
Lower limbs	g/cm ²	1.011	1.981	1.339	0.027	1.284	1.394	0.200	0.078	0.200

Abbreviations: SEM, standard error of the mean; 95%CL, 95% confidence intervals.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.t002>

Table 3. Means and standard deviations by group and results of ANOVA to test the effect of sport participation on chronological age, maturation, training experience, indicators of lipid profile plus inflammatory biomarker, anthropometry of the overall body size and outputs of whole body DXA assessments.

Dependent variable		X: independent variable (Sport participation)			ANOVA			
Y _i :	unit	Controls (n = 20)	Swimmers (n = 15)	Basketball players (n = 18)	F	p	Magnitude effect	
							ES-r	(qualitative)
Chronological age	years	13.0 ± 1.3	15.9 ± 2.1 ^{b,c}	14.5 ± 0.9 ^{b,d}	15.850	<0.001	0.388	(moderate)
Maturity offset	years	-1.2 ± 1.0	1.1 ± 1.5 ^b	0.7 ± 0.74 ^b	23.939	<0.001	0.489	(moderate)
Age at peak height velocity	years	14.2 ± 0.4	14.8 ± 0.9 ^c	13.7 ± 0.6 ^d	9.733	<0.001	0.280	(small)
Vitamin D	score	9.5 ± 3.3	4.3 ± 2.0 ^b	4.6 ± 2.4 ^b	20.838	<0.001	0.455	(moderate)
Training experience ^a	years	-	7.2 ± 2.9 ^c	4.3 ± 2.3 ^d	-	-	-	-
Training per week ^a	sessions	-	5.8 ± 0.5	5.3 ± 1.1	-	-	-	-
Training per week ^a	min	-	1152 ± 387.6	1072 ± 122.9	-	-	-	-
Training load past month ^a		-	15991 ± 6577	11986 ± 4569	-	-	-	-
Log-transformed TLPM ^a		-	4.16 ± 0.2	4.04 ± 0.2	-	-	-	-
Body mass	kg	61.2 ± 13.0	66.2 ± 12.7 ^c	75.7 ± 9.8 ^{b,d}	10.130	<0.001	0.288	(small)
Stature	cm	164.0 ± 7.5	174.9 ± 8.5 ^{b,c}	185.0 ± 8.2 ^{b,d}	32.045	<0.001	0.562	(large)
Sitting height	cm	83.5 ± 4.2	91 ± 5.0 ^b	94.1 ± 3.9 ^b	29.520	<0.001	0.541	(large)
Estimated leg length	cm	80.4 ± 5.6	83.9 ± 4.2 ^c	90.8 ± 6.0 ^{b,d}	17.506	<0.001	0.412	(moderate)
Total cholesterol	mg/dL	153.7 ± 20.9	151.4 ± 17.9	138.3 ± 25.5	2.636	0.082	0.095	(small)
HDL	mg/dL	44.3 ± 5.0	50.9 ± 9.3 ^b	45.3 ± 8.9	3.416	0.041	0.120	(small)
LDL	mg/dL	91.5 ± 19.4	90.8 ± 14.1	83.0 ± 20.4	1.168	0.319	0.045	(small)
VLDL	mg/dL	17.7 ± 10.8	9.5 ± 2.3 ^b	9.8 ± 3.9 ^b	7.848	0.001	0.239	(small)
Triglycerides	mg/dL	88.9 ± 54.0	47.8 ± 11.9 ^b	49.4 ± 19.5 ^b	7.860	0.001	0.239	(small)
HS C-reactive protein	mg/L	1.3 ± 1.0	3.9 ± 0.6 ^{b,c}	5.3 ± 2.5 ^{b,d}	28.464	<0.001	0.537	(large)
DXA, whole-body								
Total tissue	kg	60.1 ± 8.1	65.7 ± 12.1	75.2 ± 9.8 ^{b,d}	10.926	<0.001	0.304	(moderate)
Fat tissue	kg	18.6 ± 8.8	8.7 ± 4.9 ^b	11.0 ± 5.6 ^b	10.260	<0.001	0.291	(small)
Lean soft tissue	kg	39.1 ± 6.9	54.0 ± 8.2 ^{b,c}	60.6 ± 7.2 ^{b,d}	41.706	<0.001	0.625	(large)
Bone mineral content *	g	2941 ± 194	2664 ± 143	3001 ± 142	2.863	0.067	0.111	(small)
Bone area *	cm ²	2370 ± 194	2324 ± 143	2419 ± 141	0.221	0.803	0.010	(trivial)
Bone mineral density *	g/cm ²	1.198 ± 0.048	1.134 ± 0.035	1.213 ± 0.035	2.621	0.084	0.102	(small)

Abbreviations: HDL-c, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-c, low-density lipoprotein cholesterol; VLDL-c, very-low-density lipoprotein cholesterol; HS C-reactive protein, high-sensitivity C-reactive protein; DXA, dual-energy X-ray absorptiometry; ES-r, effect size correlation.

* ANCOVA model adjusted by chronological age, maturity offset, score of vitamin D intake and weekly training volume (data presented as mean ± SEM).

^a Compare means for two groups using independent t-test.

^b p-value <0.05 compared to controls.

^c p-value <0.05 compared to basketball players

^d p-value <0.05 compared to swimmers.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.t003>

groups (controls vs. swimmers; controls vs. basketball players, swimmers vs. basketball players) were performed by calculating Cohen's *d* effect sizes [28]. Thresholds were interpreted as follows: 0.2, 0.6, 1.2, 2.0, 4.0 for small, moderate, large, very large and extremely large differences, respectively [27]. Statistical significance was set at p-value <0.05 and all analyses were performed using the statistical software SPSS (version 24.0).

Results

The descriptive characteristics and results of the Kolmogorov-Smirnov test for age, biological maturity, training experience, indicators of lipid and inflammatory profile, anthropometry of

the overall body size and outputs of the whole body DXA assessments, for the total sample, are presented in Table 1. Descriptive statistics for DXA regional body composition are summarized in Table 2.

Group-related variation for chronological age, maturation, training experience, indicators of lipid profile plus inflammatory biomarker, anthropometry of the overall body size and outputs of whole body DXA assessments is present in Table 3. The basketball players reported an accumulated training experience of 4.3 ± 2.3 (95%CI = 3.1–5.4) years, an actual training volume of 5.3 ± 1.1 (95%CI = 4.7–5.9) days week⁻¹ and a cumulated weekly training of 1072 ± 123 (95%CI = 1010–1133) min. The swimmers reported an accumulated training experience of 7.2 ± 2.9 (95%CI = 5.6–8.9) years, an actual training volume of 5.8 ± 0.5 (95%CI = 5.4–6.1) days week⁻¹, and a cumulated weekly training of 1152 ± 387 (95%CI = 937–1366) min.

Controls were younger (13.0 ± 1.3 , 95%CI = 12.3–13.6 years) and showed a lower maturity offset (-1.2 ± 1.0 , 95%CI = -1.7 – -0.7 yrs), compared to basketball players (age: 14.5 ± 0.9 , 95%CI = 14.0–14.9 years; maturity offset: 0.7 ± 0.7 , 95%CI = 0.3–1.1 years) and swimmers (age: 15.9

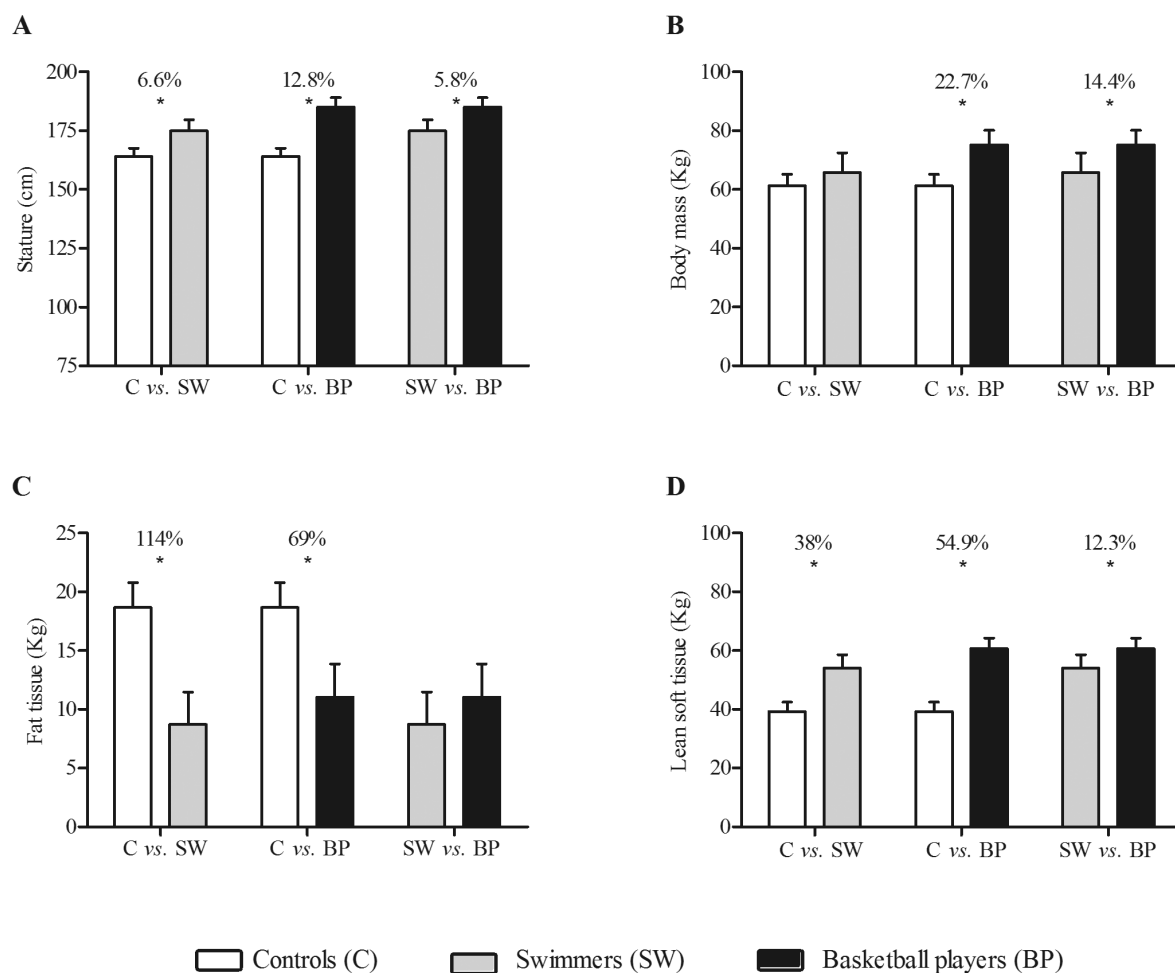


Fig 1. Stature (panel A), body mass (panel B), fat tissue (panel C) and lean soft tissue (panel D) in male controls (white bars), swimmers (grey bars) and basketball players (black bars). * indicates difference between the groups ($p < 0.05$).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.g001>

Table 4. Means and standard deviations by group and results of ANOVA to test the effect of sport participation on DXA assessments on trunk, upper limbs and lower limbs.

Dependent variable		X: independent variable (Sport participation)			ANOVA			
Y _i :	unit	Controls (n = 20)	Swimmers (n = 15)	Basketball players (n = 18)	F	p	magnitude effect	
							ES-r	(qualitative)
Total tissue								
Trunk	kg	26.5 ± 3.8	30.4 ± 6.1 ^a	33.1 ± 4.1 ^a	9.742	<0.001	0.280	(small)
Upper limbs	kg	5.7 ± 1.0	7.7 ± 1.6 ^a	8.3 ± 1.2 ^a	21.712	<0.001	0.465	(moderate)
Lower limbs	kg	23.2 ± 3.4	22.8 ± 4.3	28.5 ± 4.3 ^{a,b}	10.976	<0.001	0.305	(moderate)
Fat tissue								
Trunk	kg	8.9 ± 4.4	4.8 ± 2.9 ^a	5.7 ± 2.8 ^a	6.845	0.002	0.215	(small)
Upper limbs	kg	1.2 ± 0.7	0.4 ± 0.3 ^a	0.5 ± 0.3 ^a	12.394	<0.001	0.331	(moderate)
Lower limbs	kg	7.7 ± 3.7	3.0 ± 1.7 ^a	4.4 ± 2.4 ^a	13.226	<0.001	0.346	(moderate)
Lean soft tissue								
Trunk	kg	16.8 ± 3.0	24.6 ± 3.8 ^a	26.3 ± 3.2 ^a	42.354	<0.001	0.629	(large)
Upper limbs	kg	4.2 ± 1.1	6.8 ± 1.3 ^a	7.4 ± 1.1 ^a	39.392	<0.001	0.612	(large)
Lower limbs	kg	14.5 ± 2.6	18.7 ± 2.9 ^a	22.6 ± 2.9 ^{a,b}	39.205	<0.001	0.611	(large)
Bone mineral content*								
Trunk	g	952 ± 78	837 ± 57	915 ± 56	1.138	0.329	0.047	(trivial)
Upper limbs	g	359 ± 31	375 ± 23	387 ± 23	0.218	0.805	0.009	(trivial)
Lower limbs	g	1238 ± 92	1002 ± 68	1250 ± 67 ^b	6.957	0.002	0.232	(small)
Bone area*								
Trunk	cm ²	904 ± 46	874 ± 34	888 ± 34	0.143	0.867	0.006	(trivial)
Upper limbs	cm ²	390 ± 26	429 ± 19	430 ± 19	0.448	0.642	0.019	(trivial)
Lower limbs	cm ²	899 ± 42	795 ± 31 ^a	885 ± 30 ^b	4.681	0.014	0.169	(small)
Bone mineral density*								
Trunk	g/cm ²	1.019 ± 0.042	0.944 ± 0.031	1.020 ± 0.031	3.179	0.051	0.121	(small)
Upper limbs	g/cm ²	0.875 ± 0.051	0.862 ± 0.037	0.895 ± 0.037	0.413	0.664	0.018	(trivial)
Lower limbs	g/cm ²	1.350 ± 0.068	1.257 ± 0.050	1.397 ± 0.049 ^b	4.049	0.024	0.150	(small)

Abbreviations: ES-r, effect size correlation.

* ANCOVA model adjusted by chronological age, maturity offset, score of vitamin D intake and weekly training volume (data presented as mean ± SEM).

^a p-value <0.05 compared to controls.

^b p-value <0.05 compared to swimmers.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.t004>

±2.1, 95%CI = 14.7–17.1 years; maturity offset: 1.1±1.5, 95%CI = 0.2–1.9 years) counterparts (p<0.001, ES-r range: 0.4–0.5). Furthermore, APHV showed a difference (p<0.001, ES-r = 0.3) only between swimmers (14.8±0.9, 95%CI = 14.2–15.3 years) and basketball players (13.7±0.6, 95%CI = 13.4–14.0 years), with controls showing intermediate values (14.2±0.4, 95%CI = 14.0–14.5 yrs). In general, basketball players showed highest stature, body mass, and lean soft tissue values, swimmers intermediate values, and controls the lowest values. Fig 1 shows the relative differences (p<0.05) between groups for stature (range: 5.8–12.8%), body mass (range: 14.4–22.7%), fat tissue (range: 69–114%) and lean soft tissue (range: 12.3–54.9%). Finally, 45% of controls were categorized as normal weight, 45% overweight, and 10% as obese. Conversely, athletes of swimmers were categorized as 86.7% normal weight and 13.3% as overweight. The basketball players were categorized 61.1% as normal weight and 38.9% as overweight. The whole body bone variables were similar among the groups.

Concerning the blood parameters, only total cholesterol and LDL-c showed no difference between groups (Table 3). Conversely, controls showed differences with respect to the athletes

Table 5. Mean difference between groups on chronological age, maturation, training experience, parameters of training load, anthropometry of the overall body size, indicators of lipid profile plus inflammatory biomarker and outputs of whole body DXA.

Dependent variable	Unit	Mean differences between groups								
		Controls vs. Swimmers			Controls vs. Basketball players			Swimmers vs. Basketball players		
		mean dif. (95% CI)	d	qualitative	mean dif. (95% CI)	d	qualitative	mean dif. (95% CI)	d	qualitative
Total cholesterol	mg/dL	2.34 (-15.71; 20.39)	0.12	(trivial)	15.43 (-1.73; 32.60)	0.68	(small)	13.09 (-5.38; 31.57)	0.58	(small)
HDL-c	mg/dL	-6.63 (-13.09; -0.17)	0.95	(moderate)	-0.96(-7.10; 5.19)	0.14	(small)	5.67 (-0.94; 12.28)	0.64	(small)
LDL-c	mg/dL	0.75 (-14.50; 16.01)	0.07	(trivial)	8.49 (-6.01; 23.01)	0.56	(small)	7.74 (-7.87; 23.36)	0.45	(small)
VLDL-c	mg/dL	8.21 (2.30; 14.12)	1.01	(moderate)	7.89 (2.27; 13.52)	0.98	(moderate)	-0.32 (-6.37; 5.73)	0.10	(trivial)
Triglycerides	mg/dL	41.10 (11.56; 70.63)	1.01	(moderate)	39.44 (11.35; 67.53)	0.98	(moderate)	-1.65 (-31.88; 28.57)	0.10	(trivial)
HS C-reactive protein	mg/L	-2.53 (-3.92; -1.15)	2.92	(very large)	-3.97 (-5.26; -2.67)	2.17	(very large)	-1.43 (-2.71; -0.15)	0.78	(moderate)
DXA-Whole body										
Total tissue	kg	-5.62(-13.85; 2.61)	0.58	(moderate)	-15.07 (-22.90; -7.24)	1.72	(large)	-9.45 (-19.59; 0.68)	0.89	(moderate)
Fat tissue	kg	9.93 (4.23; 15.64)	1.37	(large)	7.61 (2.19; 13.04)	1.04	(moderate)	-2.32 (-10.04; 5.40)	0.44	(small)
Lean soft tissue	kg	-14.88 (-21.02; -8.74)	2.03	(very large)	-21.51 (-27.35; -15.67)	3.12	(very large)	-6.63 (-13.05; -0.21)	0.88	(moderate)
BMC *	g	276 (-493; 1046)	-	—	-60 (-838; 717)	-	—	-336 (-691; 18)	-	—
Bone area *	cm ²	45 (-721; 813)	-	—	-48 (-823; 726)	-	—	-94 (-448; 259)	-	—
BMD *	g/cm ²	0.065 (-0.125; 0.255)	-	—	-0.015 (-0.207; 0.177)	-	—	-0.080(-0.167; 0.008)	-	—

Abbreviations: mean dif., mean difference; 95%CI, 95% confidence interval; d, Cohen's d; HDL-c, high-density lipoprotein cholesterol; LDL-c, low-density lipoprotein cholesterol; VLDL-c, very-low-density lipoprotein cholesterol; HS C-reactive protein, high-sensitivity C-reactive protein; DXA, dual-energy X-ray absorptiometry; BMC, bone mineral content; BMD, bone mineral density.

* adjusted by chronological age, maturity offset, score of vitamin D intake and weekly training volume. The cohen's d was withdrawn because adjusted means did not present standard deviation required for the calculation.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.t005>

for triacylglycerol ($p = 0.001$, $ES-r = 0.2$) and HS-CRP ($p < 0.001$, $ES-r = 0.5$), and for HDL ($p = 0.04$, $ES-r = 0.1$) with respect to swimmers only.

The effect of sport participation on regional soft tissue and bone variables is presented in Table 4. Soft tissue differences emerged mainly between the athletes and controls ($p < 0.01$; $ES-r$ range: 0.2–0.6). However, for bone variables differences were mainly noted between the sports participation groups at the lower limbs ($p < 0.05$; $ES-r$ range: 0.1–0.2).

Multiple comparisons between groups were presented in Tables 5 and 6 and Figs 2–4. Among blood parameters, only VLDL and triglycerides showed a moderate effect between controls and athletes. The comparisons of controls with other groups were very large for H-S CRP (d range: 2.17–2.92; difference between groups: 185.7–290.4%). Regarding bone mineral density, the differences between controls and the other two groups were moderate when compared to swimmers ($d = 1.10$) and very large when compared to basketball players ($d = 2.19$).

The comparisons between swimmers and basketball players presented small to trivial differences for the metabolic parameters, with the exception of HS-CRP ($d = 0.8$; difference between groups: 36.7%). Regarding tissue outputs obtained from DXA scan, differences between sport disciplines were interpreted as moderate for all variables except fat tissue ($d = 0.4$). While considering different sites in the assessment of bone variables, it was possible to determine small

differences ($ES-r = 0.17$) between controls and swimmers for bone area at the lower limbs (103.7 cm^2 , 13.0%). In parallel, between swimmers and basketball players, the gradient of the differences was small ($ES-r$ range: 0.15–0.23) for bone mineral content (247.4 g, 24.6%), bone area (89.9 cm^2 , 11.3%) and bone mineral density (0.141 g/cm^2 , 11.1%) at the lower limbs, favoring the basketball players.

Table 6. Mean difference between groups on DXA assessments on trunk, upper limbs and lower limbs.

Dependent variable	Unit	Controls vs. Swimming			Controls vs. Basketball			Swimming vs. Basketball		
		mean dif. (95% CI)	d	qualitative	mean dif. (95% CI)	d	qualitative	mean dif. (95% CI)	d	qualitative
		Total tissue								
Trunk	kg	-3.94 (-7.81; -0.07)	0.82	(moderate)	-6.67 (-10.35; -2.99)	1.71	(large)	-2.72 (-7.37; 1.91)	0.55	(small)
Upper limbs	kg	-2.07 (-3.15; -0.99)	1.60	(large)	-2.67 (-3.70; -1.64)	2.36	(very large)	-0.60 (-1.82; 0.62)	0.43	(small)
Lower limbs	kg	0.40 (-2.92; 3.73)	0.11	(trivial)	-5.30 (-8.46; -2.13)	1.39	(large)	-5.70 (-9.90; -1.51)	1.35	(large)
Fat tissue										
Trunk	kg	4.05 (1.16; 6.94)	1.10	(moderate)	3.24 (0.49; 5.99)	0.90	(moderate)	-0.81 (-4.00; 2.37)	0.29	(small)
Upper limbs	kg	0.76 (0.33; 1.20)	1.32	(large)	0.71 (0.30; 1.12)	1.25	(moderate)	-0.06 (-0.55; 0.43)	0.18	(trivial)
Lower limbs	kg	4.76 (2.40; 7.11)	1.62	(large)	3.37 (1.13; 5.61)	1.09	(moderate)	-1.39 (-4.03; 1.25)	0.66	(moderate)
Lean soft tissue										
Trunk	kg	-7.73 (-10.52; -4.95)	2.32	(very large)	-9.50 (-12.15; -6.84)	3.09	(very large)	-1.76 (-4.62; 1.10)	0.51	(small)
Upper limbs	kg	-2.66 (-3.64; -1.68)	2.27	(very large)	-3.19 (-4.12; -2.26)	2.93	(very large)	-0.53 (-1.51; 0.46)	0.44	(small)
Lower limbs	kg	-4.18 (-6.52; -1.83)	1.55	(large)	-8.16 (-10.39; -5.93)	3.01	(very large)	-3.98 (-6.49; -1.47)	1.39	(large)
Bone mineral content*										
Trunk	g	114.3 (-194.0; 422.8)	-	—	-36.5 (-275.1; 348.1)	-	—	-77.8 (-220.1; 64.3)	-	—
Upper limbs	g	-15.5 (-141.5; 110.4)	-	—	-27.4 (-154.7; 99.8)	-	—	-11.8 (-69.9; 46.2)	-	—
Lower limbs	g	235.2 (-131.8; 602.4)	-	—	-12.1 (-383.1; 358.8)	-	—	-247.4 (-416.8; -78.1)	-	—
Bone area*										
Trunk	cm ²	30.3 (-154.8; 215.6)	-	—	15.8 (-171.3; 202.9)	-	—	-14.5 (-99.9; 70.8)	-	—
Upper limbs	cm ²	-38.9 (-144.8; 66.9)	-	—	-39.9(-146.9; 67.0)	-	—	-0.97 (-49.8; 47.8)	-	—
Lower limbs	cm ²	103.7 (63.0; 270.6)	-	—	13.8 (-154.7; 182.3)	-	—	-89.9 (-166.9; -13.0)	-	—
Bone mineral density*										
Trunk	g/cm ²	0.074 (-0.093; 0.242)	-	—	-0.002 (-0.171; 0.168)	-	—	-0.076 (-0.154; 0.001)	-	—
Upper limbs	g/cm ²	0.014 (-0.187; -0.215)	-	—	-0.020 (-0.223; -0.183)	-	—	-0.034 (-0.126; 0.059)	-	—
Lower limbs	g/cm ²	-0.093 (-0.174; 0.360)	-	—	-0.048 (-0.318; 0.223)	-	—	-0.141 (-0.264; -0.017)	-	—

Abbreviations: DXA, dual-energy X-ray absorptiometry; mean dif., mean difference; 95%CI, 95% confidence interval; d, Cohen's d.

* adjusted by chronological age, maturity offset, score of vitamin D and weekly training volume. The cohen's d was withdrawn because adjusted means did not present standard deviation required for the calculation.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.t006>

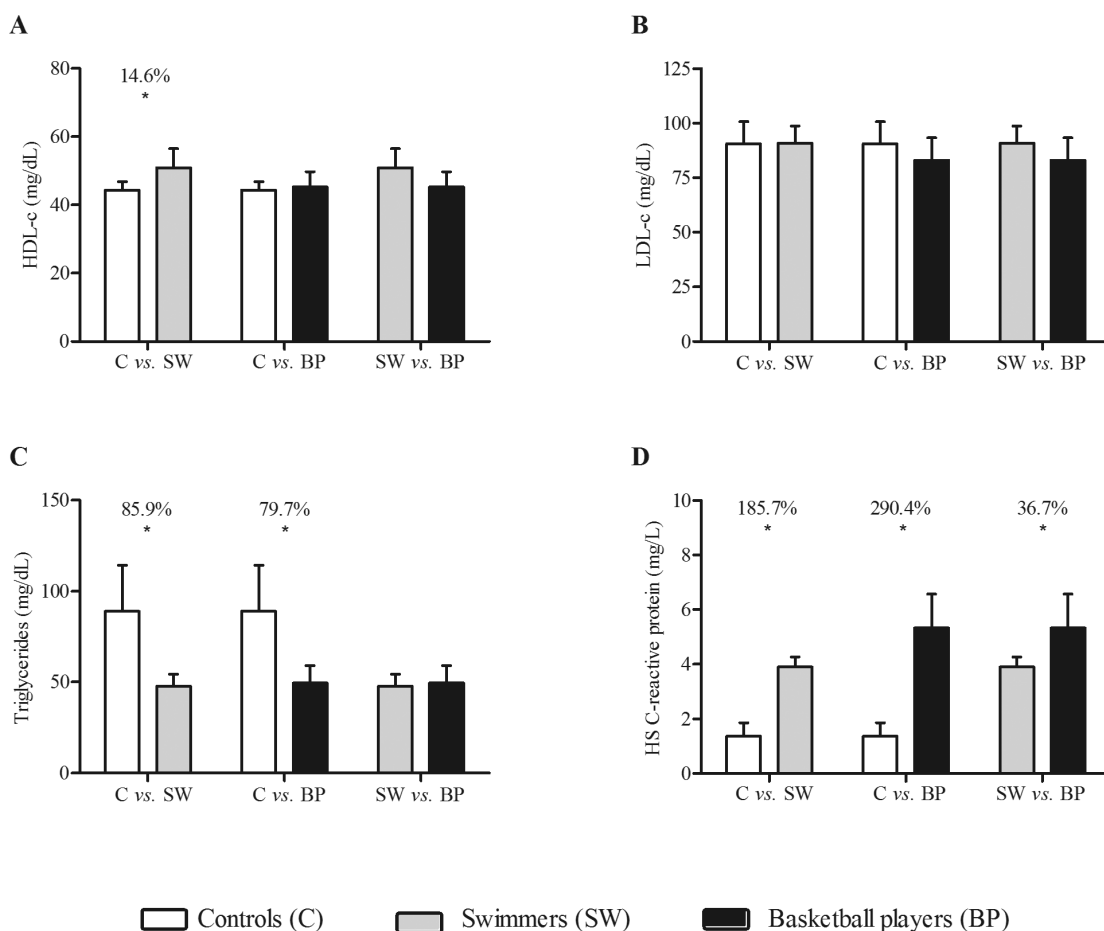


Fig 2. High-density lipoprotein-cholesterol (HDL-c), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-c), triglycerides and high-sensitivity C-reactive protein (hsCRP) in male controls (white bars), swimmers (grey bars) and basketball players (black bars). * indicates difference between the groups ($p < 0.05$).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.g002>

Discussion

The present study presents the opportunity to deepen the knowledge of exercise-related effects on bone and blood health in youth, including participants of different typologies of sports. In particular, basketball is considered to rely predominantly on the anaerobic metabolism to perform short all-out jumping and sprint performances [29], whereas swimming involves cyclic sequences primarily supported by the aerobic metabolism [30, 31]. The main findings of the present study were that youth athletes presented a better BMI, blood health with respect to controls. Although swimmers and basketball players showed more lean soft tissue and also an advanced maturity offset, after adjustments for potential confounders (i.e., chronological age, maturity offset, vitamin D and training per week [minutes]) the bone content and density were similar to the observed in control group. Comparing the sport participation groups, differences emerged for the lower limbs, with basketball players presenting higher BMD and BMC compared to swimmers.

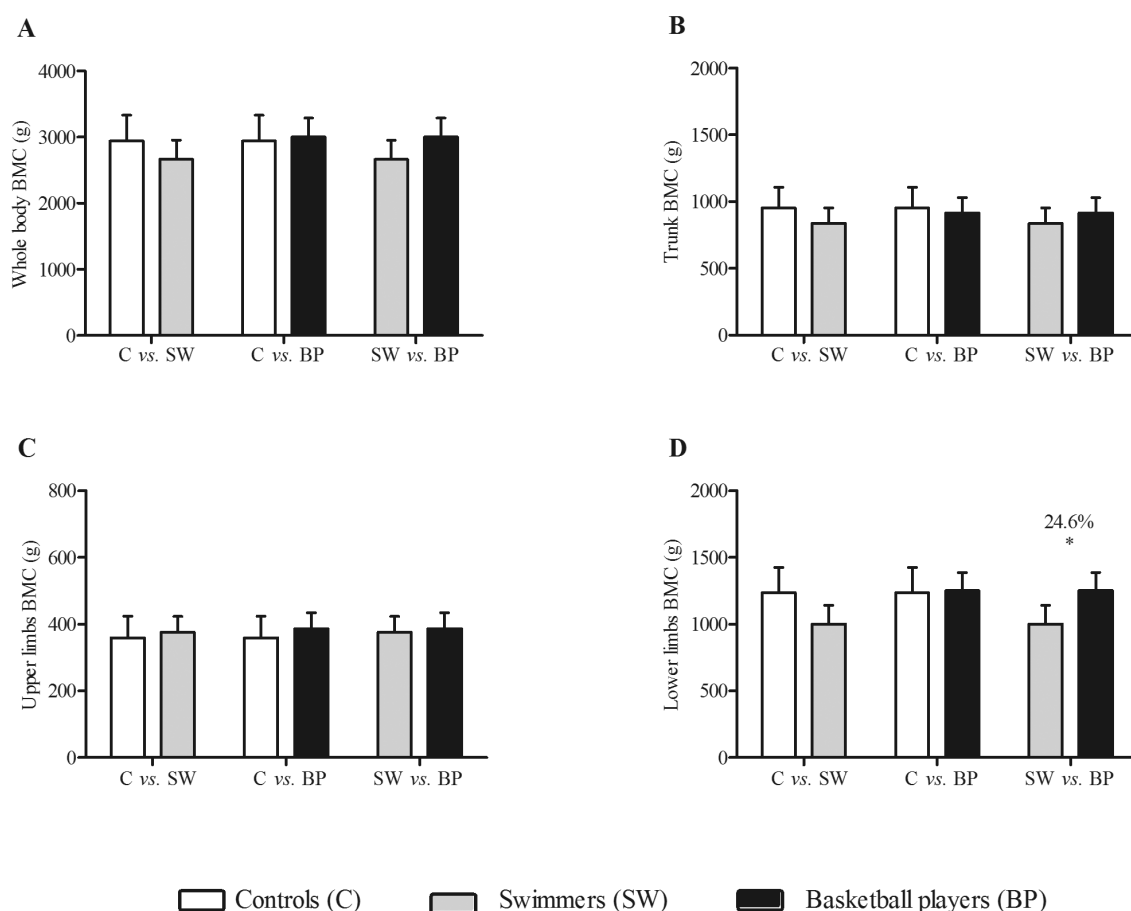


Fig 3. Whole body bone mineral content (BMC), trunk BMC, upper limbs BMC, lower limbs BMC in male controls (white bars), swimmers (grey bars) and basketball players (black bars) adjusted by chronological age, maturity offset, vitamin D intake and weekly training load. * indicates difference between the groups ($p < 0.05$).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.g003>

Sport-specific stimuli could affect bone parameters. In fact, tennis players presented high bone mass at the distal portion of the radius [32], whereas players showed high bone mass mainly in the femur [12]. The present findings provide novel information of youth basketball players and swimmers. In line with the literature [33], basketball players showed the highest stature values, substantiating the knowledge that this sport favours the selection of tall athletes, but also the highest bone area, BMC, and BMD, especially evident for the lower limbs. In fact, basketball can be considered as a "high-impact" sport, which requires high intensity sprints and abrupt decelerations, vertical jump-landings, lay-ups, and shooting [34] resulting in mechanical loads that stimulate the bone remodeling process and an increased bone health of lower limbs [34, 35] unlike swimming which is performed in hypogravity and does not promote mechanical stimulation during its practice [36]. However, when comparing with the control group, although basketball athletes tended to higher values of bone variables, the results were not significantly different between the groups. These results can be explained by the fact that sport participation tends to influence bone mass gain during the entire adolescence (until

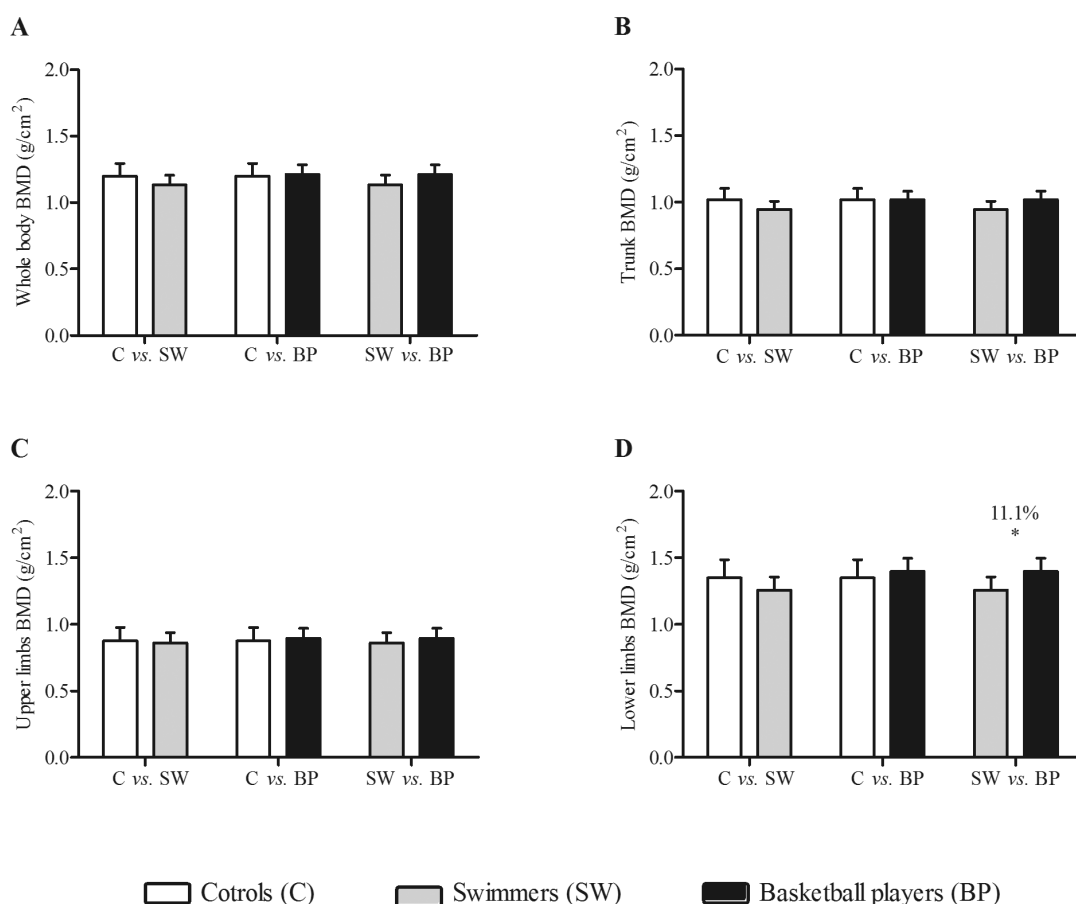


Fig 4. Whole body bone mineral content (BMD), trunk BMD, upper limbs BMD, lower limbs BMD in male controls (white bars), swimmers (grey bars) and basketball players (black bars) adjusted by chronological age, maturity offset, vitamin D intake and weekly training load. * indicates difference between the groups ($p < 0.05$).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180357.g004>

18–20 years) and the mean age of the basketball players was 14.5 ± 0.9 years. Thus, longer follow-up periods may be able to show a deeper understanding of the impact of sport on bone health [37].

In adults a regular practice of physical exercise is associated to improvements in blood lipid profile [38] and reductions of the risks of non-communicable diseases [39], but in children and adolescents the evidence is still unclear because most studies have been accomplished on single interventions, often focused on youth presenting obesity and/or metabolic disorders [40]. In this study, the lack of differences between groups on total cholesterol and LDL indicates that 2-hour week⁻¹ school physical education could protect healthy youth, independently of sport practice. Conversely, sport practice can provide additional positive effects on the other blood parameters. In fact, athletes presented better VLDL and triacylglycerol profiles with respect to the control group, probably due to increased requirements of free fatty acids for oxidation and utilization for sustaining training [41–43]. Furthermore, sport-specific demands could differentiate other blood parameters. Actually, the highest concentration of HDL in swimmers seems to substantiate that aerobic exercises could be more effective in increasing

HDL [44], whereas the highest HS-CRP in basketball players might indicate that this sport induces a pronounced inflammatory response [45].

Despite these findings support the positive effects of swimming and basketball on blood profiles and bone health of youth athletes, the cross-sectional design of this study allows only speculations and limits the possibility to prove causality. Furthermore, the lack of information on nutrition, hormonal status, other inflammatory and anti-inflammatory markers, also should be considered a potential limitation that need further investigations.

Conclusions

In summary, sport participation has been linked to beneficial differences in terms of lipids and bone parameters among male adolescents. Basketball seems more beneficial to bone parameters (mainly in lower limbs) than swimming, while metabolic parameters (lipids) seem more likely to be affected by swimming participation than basketball. Thus, considering that competitive sport is deeply linked to active lifestyles and represents an important opportunity to implement physical activity [46–48] and to counteract the secular trends of increasing non-communicable diseases [49] and of youth inactivity in western countries [50], policy makers should enforce sport practice of youth individuals. Physical education and sport programs should include aerobic and anaerobic activities that enhance the possibility to ameliorate blood profiles of youth but it is necessary caution in the choose of the most appropriated sport when targeting improvements in bone health.

Supporting information

S1 File. Full dataset.
(XLSX)

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge São Paulo Research Foundation (FAPESP) and the effort of the participants and their parents and coaches.

Author Contributions

Conceptualization: RRA MJCS CAFR SUC RAF.

Data curation: RRA JPD JVdS MJCS OMT JMC SUC RAF.

Formal analysis: JPD JVdS MJCS OMT JMC CAFR.

Funding acquisition: RRA JPD JVdS MJCS JMC SUC RAF.

Investigation: RRA MJCS OMT CAFR SUC RAF.

Methodology: RRA MJCS OMT CAFR GC LC SUC RAF.

Project administration: RRA SUC RAF.

Resources: RRA JPD JVdS MJCS OMT JMC CAFR GC LC SUC RAF.

Validation: RRA JVdS MJCS OMT CAFR LC SUC RAF.

Visualization: RRA JPD JVdS MJCS GC LC SUC RAF.

Writing – original draft: RRA JPD JVdS MJCS OMT JMC CAFR GC LC SUC RAF.

Writing – review & editing: RRA JPD JVdS MJCS OMT JMC CAFR GC LC SUC RAF.

References

1. Katzmarzyk PT, Malina RM. Contribution of organized sports participation to estimated daily energy expenditure in youth. *Pediatr Exerc Sci*. 1998; 10: 378–386.
2. Wickel EE, Eisenmann JC. Contribution of youth sport to total daily physical activity among 6-to 12-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc*. 2007; 39(9):1493–1500. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318093f56a> PMID: 17805079
3. Trost SG, Pate RR, Saunders R, Ward DS, Dowda M, Felton G. A prospective study of the determinants of physical activity in rural fifth-grade children. *Prev Med*. 1997; 26(2): 257–263. <https://doi.org/10.1006/pmed.1996.0137> PMID: 9085396
4. Pfeiffer KA, Dowda M, Dishman RK, McIver KL, Sirard JR, Ward DS, et al. Sport participation and physical activity in adolescent females across a four-year period. *J Adolesc Health*. 2006; 39(4): 523–529. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2006.03.005> PMID: 16982387
5. Aarnio M, Winter T, Peltonen J, Kujala U, Kaprio J. Stability of leisure-time physical activity during adolescence: A longitudinal study among 16-, 17- and 18-year-old Finnish youth. *Scand J Med Sci Sports*. 2002; 12(3): 179–185. PMID: 12135451
6. World Health Organization. Global strategy on diet, physical activity and health. physical activity and young people. Geneva: World Health Organization; 2004.
7. Seabra A, Katzmarzyk P, Carvalho MJ, Seabra A, Coelho-E-Silva M, Abreu S, et al. Effects of 6-month soccer and traditional physical activity programmes on body composition, cardiometabolic risk factors, inflammatory, oxidative stress markers and cardiorespiratory fitness in obese boys. *J Sports Sci*. 2016; 34(19):1822–1829. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1140219> PMID: 26890580
8. Nordström A, Karlsson C, Nyquist F, Olsson T, Nordström P, Karlsson M. Bone loss and fracture risk after reduced physical activity. *J Bone Miner Res*. 2005; 20(2): 202–207. <https://doi.org/10.1359/JBMR.041012> PMID: 15647813
9. Raisz LG. Pathogenesis of osteoporosis: concepts, conflicts, and prospects. *J Clin Invest*. 2005; 115(12): 3318–3325. <https://doi.org/10.1172/JCI27071> PMID: 16322775
10. Harvey N, Dennison E, Cooper C. Osteoporosis: impact on health and economics. *Nat Rev Rheumatol*. 2010; 6(2): 99–105. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2009.260> PMID: 20125177
11. Vos T, Flaxman AD, Naghavi M, Lozano R, Michaud C, Ezzati M, et al. Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990–2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2013; 380(9859): 2163–2196.
12. Tenforde AS, Fredericson M. Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM R*. 2011; 3(9): 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.05.019> PMID: 21944303
13. Mølgaard C, Thomsen BL, Michaelsen KF. The influence of calcium intake and physical activity on bone mineral content and bone size in healthy children and adolescents. *Osteoporos Int*. 2001; 12(10): 887–894. PMID: 11716194
14. Ruiz J, Mandel C, Garabedian M. Influence of spontaneous calcium intake and physical exercise on the vertebral and femoral bone mineral density of children and adolescents. *J Bone Miner Res*. 1995; 10(5): 675–682. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650100502> PMID: 7639101
15. Wiebe PN, Blimkie CJ, Farpour-Lambert N, Briody J, Woodhead H, Cowell C, et al. Correlates and determinants of bone mineral density in prepubertal girls. *Pediatr Exerc Sci*. 2002; 14(4): 345–357.
16. Dyson K, Blimkie C, Davison KS, Webber CE, Adachi JD. Gymnastic training and bone density in pre-adolescent females. *Med Sci Sports Exerc*. 1997; 29(4): 443–450. PMID: 9107625
17. Nordström P, Pettersson 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*. 1998; 13(7): 1141–1148. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.7.1141> PMID: 9661078
18. Strong WB, Malina RM, Blimkie CJ, Daniels SR, Dishman RK, Gutin B, et al. Evidence based physical activity for school-age youth. *J Pediatr*. 2005; 146(6): 732–737. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.01.055> PMID: 15973308
19. Kavey R-EW, Allada V, Daniels SR, Hayman LL, McCrindle BW, Newburger JW, et al. Cardiovascular risk reduction in high-risk pediatric patients: a scientific statement from the American Heart Association Expert Panel on Population and Prevention Science; the Councils on Cardiovascular Disease in the Young, Epidemiology and Prevention, Nutrition, Physical Activity and Metabolism, High Blood Pressure Research, Cardiovascular Nursing, and the Kidney in Heart Disease; and the Interdisciplinary Working Group on Quality of Care and Outcomes Research: endorsed by the American Academy of Pediatrics. *Circulation*. 2006; 114(24): 2710–2738. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.179568> PMID: 17130340

20. Williams CL, Hayman LL, Daniels SR, Robinson TN, Steinberger J, Paridon S, et al. Cardiovascular health in childhood: A statement for health professionals from the Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in the Young (AHOY) of the Council on Cardiovascular Disease in the Young, American Heart Association. *Circulation*. 2002; 106(1): 143–160. PMID: 12093785
21. American Heart Association. Children and cholesterol. 2014. Available: http://www.heart.org/HEARTORG/Conditions/Cholesterol/UnderstandYourRiskforHighCholesterol/Children-and-Cholesterol_UCM_305567_Article.jsp#.WH3SebGcZE4.
22. Nemet D, Oh Y, Kim H-S, Hill M, Cooper DM. Effect of intense exercise on inflammatory cytokines and growth mediators in adolescent boys. *Pediatrics*. 2002; 110(4): 681–689. PMID: 12359780
23. Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*. 2002; 34(4): 689–694. PMID: 11932580
24. McGuigan MR, Al Dayel A, Tod D, Foster C, Newton RU, Pettigrew S. Use of session rating of perceived exertion for monitoring resistance exercise in children who are overweight or obese. *Pediatr Exerc Sci*. 2008; 20(3): 333–341. PMID: 18714122
25. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14(5): 377–381. PMID: 7154893
26. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*. 2001; 15(1): 109–115. PMID: 11708692
27. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009; 41(1): 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278> PMID: 19092709
28. Cohen J. *Statistical power analysis* (2nd ed.). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
29. Gillam G. Physiological basis of basketball bioenergetics. *NCSA J*. 1985; 6: 44–71.
30. Pyne DB, Sharp RL. Physical and energy requirements of competitive swimming events. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2014; 24(4): 351–359. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.2014-0047> PMID: 25029351
31. Tanaka H. Swimming exercise: impact of aquatic exercise on cardiovascular health. *Sports Med*. 2009; 39(5): 377–387. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00004> PMID: 19402742
32. Ducher G, Tournaire N, Meddahi-Pellé A, Benhamou C-L, Courteix D. Short-term and long-term site-specific effects of tennis playing on trabecular and cortical bone at the distal radius. *J Bone Miner Metab*. 2006; 24(6): 484–490. <https://doi.org/10.1007/s00774-006-0710-3> PMID: 17072741
33. Zribi A, Zouch M, Chaari H, Bouajina E, Zouali M, Nebigh A et al. Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent basketball players. *J Clin Densitom*. 2014; 17(1): 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2013.04.001> PMID: 24485050
34. Quiterio ALD, Carnero EA, Baptista FM, Sardinha LB. Skeletal mass in adolescent male athletes and nonathletes: Relationships with high-impact sports. *J Strength Cond Res*. 2011; 25(12): 3439–3447. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318216003b> PMID: 22080311
35. Yang P, Brüggemann G-P, Rittweger J. What do we currently know from in vivo bone strain measurements in humans? *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2011; 11(1): 8–20. PMID: 21364270
36. Bellew JW, Gehrig L. A comparison of bone mineral density in adolescent female swimmers, soccer players, and weight lifters. *Pediatr Phys Ther*. 2006; 18(1): 19–22. <https://doi.org/10.1097/01.ppt.0000200952.63544.16> PMID: 16508530
37. Agostinete RR, Lynch KR, Gobbo LA, Lima MCS, Ito IH, Luiz-de-Marco R, et al. Basketball affects bone mineral density accrual in boys more than swimming and other impact sports: 9-mo follow-up. *J Clin Densitom*. 2016; 19(3): 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2016.04.006> PMID: 27174316
38. Tambalis KD, Panagiotakos DB, Kavouras SA, Sidossis LS. Responses of blood lipids to aerobic, resistance, and combined aerobic with resistance exercise training: a systematic review of current evidence. *Angiology*. 2009; 60(5): 614–632. <https://doi.org/10.1177/0003319708324927> PMID: 18974201
39. Naghii M, Aref M, Almadadi M, Hedayati M. Effect of regular physical activity on non-lipid (novel) cardiovascular risk factors. *Int J Occup Med Environ Health*. 2011; 24(4): 380–390. <https://doi.org/10.2478/s13382-011-0044-9> PMID: 22086451
40. Janssen I, LeBlanc AG. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2010; 7: 40. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-40> PMID: 20459784
41. Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition*. 2004; 20(7): 716–727.
42. Goodpaster FH, Brown FF. Skeletal muscle lipid and its association with insulin resistance: what is the role for exercise? *Exerc Sport Sci Rev*. 2005; 33(3): 150–154. PMID: 16006823

43. Horowitz JF. Fatty acid mobilization from adipose tissue during exercise. *Trends Endocrinol Metab.* 2003; 14(8): 386–392. PMID: 14516937
44. Kelley GA, Kelley K. Aerobic exercise and HDL 2-C: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Atherosclerosis.* 2006; 184(1): 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2005.04.005> PMID: 15907854
45. Pedersen BK, Febbraio M. Muscle-derived interleukin-6: A possible link between skeletal muscle, adipose tissue, liver, and brain. *Brain Behav Immun.* 2005; 19(5): 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2005.04.008> PMID: 15935612
46. European Commission. EU physical activity guidelines. Recommended policy actions in support of health-enhancing physical activity. 2008. Available: [http://www.ua.gov.tr/docs/default-source/gençlik-programi/eu-physical-activity-guidelines-2008-\(ab-beden-eğitimi-rehberi\).pdf?sfvrsn=0](http://www.ua.gov.tr/docs/default-source/gençlik-programi/eu-physical-activity-guidelines-2008-(ab-beden-eğitimi-rehberi).pdf?sfvrsn=0).
47. European Commission. Expert group on health-enhancing physical activity. Recommendations to encourage physical education in schools, including motor skills in early childhood, and to create valuable interactions with the sport sector, local authorities and the private sector. 2015. Available: <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=19860&no=1>.
48. Lipnowski S, LeBlanc CM, Canadian Paediatric Society, Healthy Active Living and Sports Medicine Committee. Healthy active living: Physical activity guidelines for children and adolescents. *Paediatr Child Health.* 2012; 17(4): 209–210. PMID: 23543633
49. World Health Organization. Global status report on noncommunicable diseases 2014. Geneva: World Health Organization, Department of Noncommunicable Diseases and Mental Health; 2014.
50. Dollman J, Norton K, Norton L. Evidence for secular trends in children’s physical activity behaviour. *Br J Sports Med.* 2005; 39(12): 892–897. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2004.016675> PMID: 16306494

Agreement between anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry assessments of lower-limb volumes and composition estimates in youth-club rugby athletes

Humberto M. Carvalho, Manuel J. Coelho-e-Silva, Sérgio Franco, António J. Figueiredo, Óscar M. Tavares, Béatrice Ferry, Iisabeth Hidalgo-Hermann, Daniel Courteix, and Robert M. Malina

Abstract: The purpose of this study was to assess the agreement of lower-limb volume estimates based on anthropometry and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) as a reference method in male rugby athletes. Predictive models using body mass and skinfolds were tested to improve the relative agreement between protocols (anthropometry, DXA). Rugby players ($n = 41$; 19.9 ± 2.2 years) volunteered for the study. Lower-limb total and fat-free volumes were estimated by anthropometry and also derived using DXA. Cross-validation between the anthropometry technique and DXA was then performed. Lower-limb volume estimates by anthropometry overestimated reference values and tended to be further from the reference values with the increase of scale. For the total sample, standard errors of measurement for volume estimates by anthropometry were 1.99 L and 1.34 L for total and fat-free volumes, respectively. Correlations with reference values were 0.81 for lower-limb volume and 0.90 for lower-limb fat-free volume. Correlations between estimated prediction equations and reference values showed higher correlations ($r = 0.96$ for lower-limb volume and $r = 0.93$ for lower-limb fat-free volume) compared with anthropometric estimates. Overall, the agreement of anthropometry method to quantify lower-limb volumes with DXA as a reference in young adult rugby players is acceptable and is a practical method when more expensive and complex techniques are not available. The consideration of body mass and lower-limb skinfolds increases the precision of lower-limb volume estimates using anthropometry in the young adult rugby players.

Key words: cross-validation, Deming regression, body composition, muscle volume estimation.

Résumé : Cet article se propose de valider chez des joueurs de rugby l'estimation du volume du membre inférieur au moyen d'une technique anthropométrique comparativement à la méthode de référence, l'absorptiométrie à rayons-X en double énergie (DXA). On utilise des modèles prédictifs intégrant la masse corporelle et les plis cutanés pour améliorer la concordance des deux protocoles (anthropométrie, DXA). Des joueurs de rugby ($n = 41$; $19,9 \pm 2,2$ ans) se portent volontaires pour cette étude. On estime par anthropométrie le volume total et le volume sans gras du membre inférieur et on l'évalue aussi par DXA. Puis on réalise une validation croisée des deux méthodes (anthropométrie et DXA). Les estimations anthropométriques du volume du membre inférieur sont trop élevées par rapport aux valeurs de référence et ces estimations sont d'autant plus éloignées des valeurs de référence lorsque les valeurs sont plus élevées. Pour toutes les données de l'échantillon, les erreurs types de mesure des estimations par anthropométrie du volume total et du volume sans gras du membre inférieur sont 1,99 L et 1,34 L, respectivement. Les coefficients de corrélation avec la valeur de référence sont 0,81 pour le volume du membre inférieur et 0,90 pour le volume sans gras. Les coefficients de corrélation entre les équations prédictives et les valeurs de référence sont, comparativement aux estimations anthropométriques, plus grands : 0,96 pour le volume total et 0,93 pour le volume sans gras. Globalement, l'utilisation de la méthode anthropométrique pour estimer le volume des membres inférieurs obtenu par DXA, méthode de référence, est acceptable chez de jeunes joueurs de rugby et constitue une méthode pratique quand l'équipement plus sophistiqué et plus onéreux n'est pas disponible. La prise en compte de la masse corporelle et des plis cutanés du membre inférieur augmente la précision de l'estimation anthropométrique du volume du membre inférieur chez de jeunes joueurs de rugby.

Received 27 April 2011. Accepted 13 January 2012. Published at www.nrcresearchpress.com/apnm on 12 April 2012.

H.M. Carvalho, M.J. Coelho-e-Silva, S. Franco, and A.J. Figueiredo. Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física, Estádio Universitário Coimbra Pavilhão-III, 3040-156 Coimbra, Portugal.

Ó.M. Tavares. School of Health and Technology, Coimbra, Portugal.

B. Ferry. Université de Limoges, Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, Département des Sciences et Métiers du Sport, France; Clermont-Ferrand Université, Université Blaise Pascal, Laboratory of Exercise Biology, EA 3533, France.

I. Hidalgo-Hermann and D. Courteix. Clermont-Ferrand Université, Université Blaise Pascal, Laboratory of Exercise Biology, EA 3533, France.

R.M. Malina. Department of Kinesiology, Tarleton State University, Stephenville, Texas, USA; Department of Kinesiology and Health Education, University of Texas, Austin, Texas, USA.

Corresponding author: Humberto Moreira Carvalho (e-mail: hmoreiracarvalho@gmail.com).

Mots-clés : validation croisée, régression de Deming, composition corporelle, estimation du volume musculaire.

[Traduit par la Rédaction]

Introduction

Tissue level components of body composition include adipose, skeletal muscle, bone, visceral, and brain tissues. The skeletal muscle component is of interest in studies dealing with athletic performance or body weight management. In particular, interactions between changes in performance (e.g., short-term power, prolonged maximal power) induced by training combined or not with diet intervention and variation in skeletal muscle mass is of interest in sport sciences, physiotherapy, nutrition, and medicine.

Muscular strength is related to several determinants such as body size, in general, and muscle size, in particular (Jaric et al. 2005). Moreover, strength testing is routinely performed in children and adolescents during maximal growth spurts, and it is relevant to monitor progress in muscle power outputs combined with changes in whole and local morphology. It has been argued recently that lower-limb volume as an indicator of active muscle mass may be the most relevant allometric denominator for the scaling of maximal oxygen uptake in samples heterogeneous for body size and composition (Tolfrey et al. 2006).

Anthropometry offers a simple, inexpensive, and noninvasive assessment for the estimation of limb volumes (adipose and fat-free) (Jones and Pearson 1969; Villaça et al. 2008). A geometric model of the lower limb using a truncated cone based on skinfold thicknesses, circumferences, and lengths is available (Jones and Pearson 1969) and often used in children and adolescents (Doré et al. 2000, 2001; Martin et al. 2003, 2004) healthy adults (Rance et al. 2006), and also in clinical samples (Villaça et al. 2008). The method relies on several assumptions. First, skinfolds provide an accurate estimate of the thickness of subcutaneous adipose tissue. Second, the limb is circular, with subcutaneous adipose tissue forming an annulus. Third, for the determination of muscle volumes, intermuscular fat and bone volumes are negligible or a constant proportion of the nonsubcutaneous adipose tissue. Studies on the validation of the technique in athletes are limited.

Computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) allow the assessment of localized muscle morphology (Sipilä and Suominen 1995). MRI is widely recognized as the "gold standard" for *in vivo* tissue morphometry (Beneke et al. 1991; Heymsfield et al. 1997) and is preferred over CT, as it does not involve radiation exposure. However, both methods are expensive, time consuming, and require equipment that is often limited to research units. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) provides an additional method for estimating regional skeletal muscle *in vivo* at a lower cost and substantially less radiation exposure compared with CT. The technique is based on the differential attenuation of two photon beams as the various tissues of the body absorb them (Pietrobelli et al. 2003) and is described as an accurate method for assessing body composition and skeletal mass (Goran 1998; Kohrt 1998). The technique has been validated against gold standard methods (MRI and CT)

(Fuller et al. 1999; Salamone et al. 2000; Visser et al. 1999; Wang et al. 1996), and evidence shows good reproducibility for leg lean soft tissue (Fuller et al. 1999). It has the potential to assess appendicular composition, requiring little effort. Nevertheless, small but systematic and predictable errors in DXA soft tissue composition analysis thus can arise in the assessment (Pietrobelli et al. 1998).

Athletes generally strive to achieve an optimum sport-specific body size and composition in an attempt to maximize performance. They also tend to have less relative fatness than nonathletes of the same age and sex (Malina et al. 2004). Variation in relative fatness also varies with sport, discipline (i.e., throwers, jumpers, runners), and playing position (i.e., fullback, halfback, forward) within a team sport (Malina 2007). Research focusing on the physiological and anthropometrical characteristics of rugby players and the demands of competition was reviewed (Duthie et al. 2003; Gabbett et al. 2008). Variation in stature and body mass and its composition by position was noted (Duthie et al. 2003), and the importance of quantifying changes in lean mass was recognized (Duthie et al. 2006). Anthropometric equations obtained in general population may not be generalized to athletes. As such, rugby players may provide a useful model for evaluating agreement between concurrent assessments of lower-limb volumes.

In the context of the preceding, the purpose of this study was to evaluate the agreement of lower-body volume estimated by anthropometry relative to DXA estimates adopted as a reference in young adult male rugby players. The analysis also considered an extension of the anthropometric approach by adding body mass and lower-limb skinfolds in new predictive models.

Materials and methods

Participants

The sample included 41 male rugby players aged 16.0 to 23.7 years at the time of testing. Chronological age was calculated to the nearest 0.1 year by subtracting birth date from date of assessments. All but one participant (African, removed from analysis) were Caucasian. All procedures were approved by the Scientific Committee of the Faculty of Sports Science and Physical Education of the University of Coimbra and the Auvergne Ethics Committee, and informed written consent was obtained from each participant.

Anthropometry

All measurements were made by a single individual using the protocols described by Lohman and colleagues (Lohman et al. 1988). Stature was measured with a portable stadiometer (Harpender model 98.603, Holtain Ltd., Crosswell, UK) to the nearest 0.1 cm. Body mass was measured with a portable balance (Seca model 770, Hanover, Maryland, USA) to the nearest 0.1 kg. Lower-limb volume (LLV^A) and fat-free lower-limb volume (FFLLV^A) in both extremities were

estimated from four skinfolds, circumferences, and partial lengths of both legs (Jones and Pearson 1969). The technique partitioned the lower limb into six segments, which are similar to truncated cones. Horizontal circumferences were measured at the gluteal furrow (highest possible horizontal circumference), midhigh (at the level of the largest midhigh circumference), minimum circumference above the knee, maximum circumference around the knee (patella level), minimum circumference below the knee, maximum calf circumference, and minimum ankle circumference. Skinfolds were measured on the anterior and posterior aspects of the thigh at the level of midhigh circumference and on the medial and lateral aspects of the calf at the level of maximum circumference. The lengths between each circumference from the gluteal furrow to minimum ankle circumference were measured and summed (overall, six partial lengths). The assumption of a circular annular geometry of subcutaneous adipose tissue is built into equations for estimating cross-sectional areas (Forbes 1978; Frisancho 1990):

- $A = C^2/4\pi$, where C is one leg circumference (e.g., midhigh circumference);
- $C_{\text{fat-free}} = C - (\pi/2) \times (\Sigma\text{skf})$, where Σskf at midhigh circumference level is the sum of anterior and posterior skinfolds and at maximum calf circumference level is the sum of medial and lateral skinfolds;
- $A_{\text{fat-free}} = [C - (\pi/2) \times (\Sigma\text{skf})]^2/4\pi$

Calculation of each assumed truncated cone volume of a limb segment was given as follows (Jones and Pearson 1969):

- $V = [A_1 + A_2 + (A_1 \times A_2)^{0.5}] \times h/3$, where A_1 (e.g., area at the gluteal furrow circumference level) and A_2 (e.g., area at the midhigh circumference level) are the areas at the top and bottom of the section and h is the length (e.g., distance between measures of gluteal furrow circumference and midhigh circumference levels);
- $V_{\text{corr}} = [A_1 + A_{2\text{corr}} + (A_1 \times A_{2\text{corr}})^{0.5}] \times h/3$, where, in this example, $A_{2\text{corr}}$ is the area at bottom of the section (i.e., corrected area at midhigh circumference level).

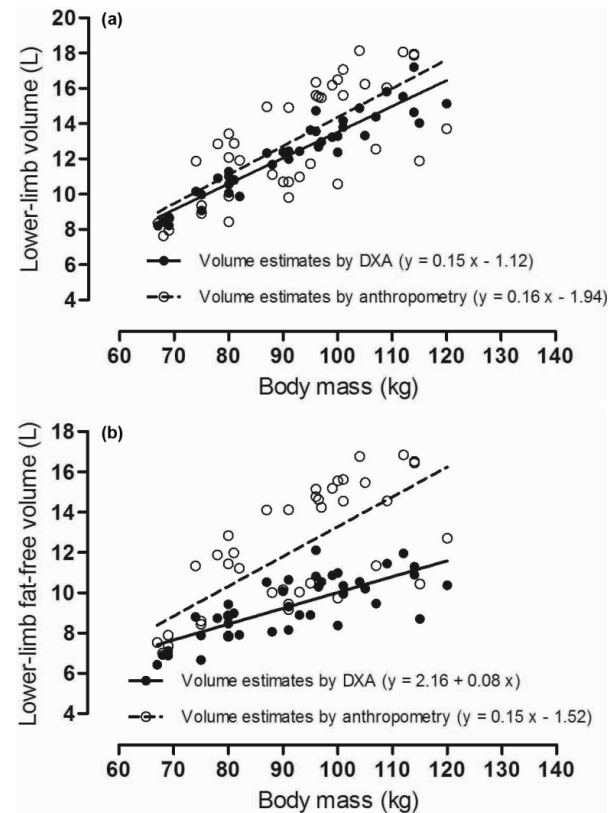
LLV^A was calculated as the sum of volumes of the six segments. FLLV^A was estimated using the corrected volumes in the sum of volumes. All equations were entered into a widely available data sheet software (Microsoft™ Office Excel 2007).

Based on 18 participants measured twice within a week, intraobserver technical errors of measurement were calculated for the anthropometric dimensions. Technical errors were 0.29 to 0.74 cm for circumferences, 0.65 to 0.88 mm for skinfolds, and 0.16 to 0.46 cm for lengths. The estimates were within the range previously reported for intra- and inter-observer errors in anthropometric surveys (Malina 1995).

Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA)

Lower-limb volume was also assessed by whole-body DXA (Hologic QDR-4500) and total body scan software (version 9.10, Hologic Inc., Bedford, Massachusetts, USA). Subjects lay supine on the bed and were scanned from head to toe in 3.5 min. DXA provides three compartment determinations: lean tissue mass, fat mass, and bone mineral content. Fat-free mass (FFM, kg) represents the sum of lean tissue

Fig. 1. Regressions between lower-limb volumes measured by dual-energy X-ray absorptiometry and anthropometry with body mass on male and female athletes. The correlation (r) and the reference line from the equation are presented. (A) lower-limb volumes (L) and body mass (kg); (B) lower-limb fat-free volumes (L) and body mass (kg).



mass and bone mineral content. Lower-limb FFM (LLFFM^{DXA}, kg) (whole-limb, thigh, and calf separated) were derived from whole-body scans, partitioning the legs following the same seven anatomic landmarks used in the anthropometry (Fig. 1). Lower-limb volume LLV^{DXA} (L) was calculated as $[\text{LLFFM}^{\text{DXA}}/1.1 + \text{LLFM}^{\text{DXA}}/0.9]$, with 1.1 kg·L⁻¹ being the mean density of FFM and 0.9 kg·L⁻¹ being the mean density of FM (Visser et al. 1997).

Statistical analysis

The assumption of normality was checked by the Shapiro-Wilk test and by visual inspection of normality plots. When assumptions were violated, log transformations were performed to reduce nonuniformity of error. Values were back-transformed to generate estimated means. Differences between lower-body volumes were explored by using paired-sample Student's t tests.

Bivariate coefficients of correlation were determined to describe the association between the concurrent lower-limb volumes assessments. Confidence intervals (CI) were set at 95%. Agreement between anthropometric volume estimates (practical approach) and estimated volumes based on DXA (reference measure) was assessed using Deming regression

Table 1. Lower-limb volume estimates (mean and standard deviations) measured by anthropometry and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in rugby players, and mean differences between methods (95% confidence interval (CI)).

	DXA	Anthropometry	Mean differences
Lower-limb fat-free mass (kg)	11.63 (2.92)	13.26 (3.33)**	1.62 (95% CI, 1.07–2.18)
Lower-limb volume (L)	12.31 (2.24)	13.01 (3.20)**	0.70 (95% CI, 0.09–1.31)
Lower-limb fat-free volume (L)	9.36 (1.51)	12.05 (3.03)**	2.69 (95% CI, 2.12–3.26)

Note: **, $P \leq 0.01$.

analysis. Whereas an ordinary least-squares regression method assumes that only the measurements on the y axis are associated with random measurement errors, the Deming method (i.e., ordinary least products regression) takes into account measurement errors for both methods (y and x axes) (Cornbleet and Gochman 1979). Additionally, the limits of agreement between lower-limb volumes estimates by anthropometry and DXA were also assessed by plotting the mean differences between methods (Bland–Altman analysis) (Bland and Altman 1986).

Stepwise regression of log-transformed variables was performed to identify which combination of variables best predicted lower-limb volume, with estimates based on DXA as the dependent variable. Body mass, sum of lower-limb skinfolds (anterior and posterior thigh, medial and lateral calf), and LLV^A or LLFFV^A were initially included as independent variables in the regression models of lower-limb volume estimation. This method allows an interpretation of the contribution of the independent variables to the agreement of anthropometric and DXA volumes estimates as proportions, similar to proportional multiplicative allometric approaches (Nevill and Holder 1994; Carvalho et al. 2011; Nevill et al. 2006). Individual values of predicted lower-limb volume were calculated by back-transformation of the values generated in the corrected estimation equations. The regression models were then internally validated with the predicted residual sum of squares (PRESS) method (Holiday et al. 1995). Correlation coefficients were considered trivial ($r < 0.1$), small ($0.1 < r < 0.3$), moderate ($0.3 < r < 0.5$), large ($0.5 < r < 0.7$), very large ($0.7 < r < 0.9$), nearly perfect ($r > 0.9$), and perfect ($r = 1$) (Hopkins 2002). Significance was set at $P < 0.05$. Statistical analyses were performed using SPSS for Windows version 14.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) and GraphPad Prism software (GraphPad Software, Inc., La Jolla, California, USA).

Results

The means (standard deviations) for stature and body mass of rugby players were 180.0 cm (6.5) and 91.8 kg (14.3), respectively. Lower-limb estimates based on DXA and anthropometry are summarized in Table 1. Lower-limb estimates derived from anthropometric variables were always significantly larger than estimates by DXA ($P < 0.01$).

Relationships between body mass and lower-limb volume values (total and fat-free) by DXA and anthropometry based on linear regression are presented in Fig. 1. The results indicated that a higher proportion of variation was explained by body mass in total volume estimates than fat-free volume estimates with both the anthropometric and DXA methods. The

best regression fitted line in fat-free volumes tended to diverge farther apart with an increase of body size.

Pearson correlations between anthropometric volume estimations and reference values were very large ($r = 0.81$, 95% CI = 0.67–0.90, for lower-limb volume; $r = 0.90$, 95% CI = 0.83–0.95, for lower-limb fat-free volume). For LLV^A estimates, fitted lines from predictions determined by equations derived from the Deming regressions indicated that rugby players tended to be further from the reference values with increased magnitude of the scale (see Fig. 2). For LLFFV^A values, fitted line indicated that anthropometry overestimated volumes, and slopes tended to increase with an increase in the magnitude of the scale (see Fig. 3). The standard errors of estimates ($S_{y,x}$) were 1.99 L and 1.34 L for LLV^A and LLFFV^A, respectively.

A slope coefficient different from 1 indicates a proportional error, and a nonzero intercept likely reflects a systematic error (fixed error) (Cornbleet and Gochman 1979; Ludbrook 1997). The slope coefficients in both lower-limb total and fat-free volume estimates were significantly different from 1 (slope = 1.43, 95% CI = 1.09–1.76, $P < 0.01$, for LLV^A; slope = 2.02, 95% CI = 1.70–2.83, $P < 0.01$, for LLFFV^A). In the same way, the intercepts were significantly different from zero (intercept = –4.55, 95% CI = –8.78–0.32, $P < 0.01$, for LLV^A; intercept = –6.83, 95% CI = –9.81 – –3.85, $P < 0.01$, for LLFFV^A). The agreement, expressed in absolute values (L), in the mean difference of the anthropometric and DXA volumes estimates ranged from –3.03 to 4.44 L for lower-limb volume and from –0.82 to 6.20 L for lower-limb fat-free volume (see Figs. 2 and 3).

Prediction models for lower-limb total and fat-free volumes obtained from stepwise regressions of log-transformed variables are presented in Table 2. The equations derived from stepwise regression models added body mass to LLV^A as a predictor of the reference measure (DXA). Sum of lower-limb skinfolds was also included as a predictor in the lower-limb fat-free volume model. The correlation between the independent variables included in the final models and the DXA volume values were 0.97 and 0.94 for lower-limb volume and lower-limb fat-free volume, respectively.

Cross-validation of the new prediction models with the PRESS statistics are summarized in Table 2, and agreement of the new lower-limb volume prediction equations and the reference method are shown in Fig. 4 for total and fat-free volumes. Deming regression analyses between estimated prediction equations and reference values showed higher correlations ($r = 0.96$ for lower-limb volume and $r = 0.93$ for lower-limb fat-free volume) compared with anthropometric estimates. Limits of agreement of the equations estimates with DXA volume estimates as reference ranged from –1.24

Fig. 2. Deming regressions between lower-limb volumes (LLV) measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and anthropometry, and the limits of agreement (Bland–Altman plot) between anthropometry and DXA in estimating the LLV on male rugby players. (A) Lower-limb volume derived from anthropometry (LLV^A) plotted against lower-limb volume measured by DXA (LLV^{DXA}); (B) Bland–Altman plot comparing volume estimates by anthropometry and DXA. The solid lines in the Bland–Altman plots represent the mean differences between the reference technique and the anthropometric estimates.

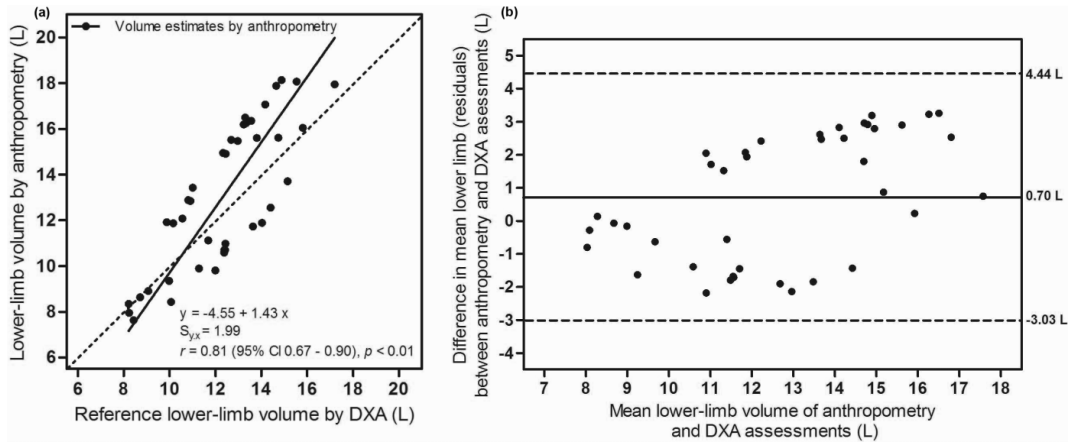
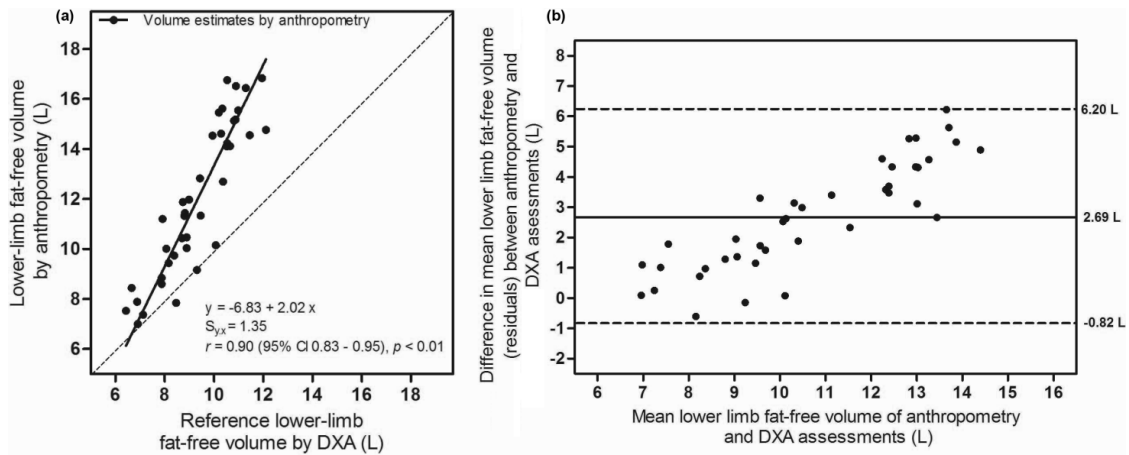


Fig. 3. Deming regressions between fat-free lower-limb volumes (FLLV) measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and anthropometry, and the limits of agreement (Bland–Altman plot) between anthropometry and DXA in estimating the FLLV on male rugby players. (A) Fat-free lower-limb volume derived from anthropometry ($FLLV^A$) plotted against lower-limb volume measured by DXA ($FLLV^{DXA}$); (B) Bland–Altman plot comparing fat-free volume estimates by anthropometry and DXA. The solid lines in the Bland–Altman plots represent the mean differences between the reference technique and the anthropometric estimates.



to 1.26 L for lower-limb volume and from -1.10 to 1.02 L for lower-limb fat-free volume. Correlations between differences of volume estimates by the prediction equations and DXA estimates were nonsignificant, near zero for lower-limb volume and $r = -0.18$ for lower-limb fat-free volume.

Discussion

Estimated lower-limb volume by anthropometry using the truncated cone model in mature rugby players is overestimated compared with DXA assessments. Concurrent methods presented high correlation coefficients. Interestingly, differences between LLV^A and reference values tended to be related to body mass. Predictive models adding body size and lower-

limb skinfolds increased the precision of lower-limb volume estimates (Fig. 4).

The overestimation of limb volumes by anthropometry was consistent with reports comparing the protocol and DXA estimates in older male and female adults (Villaça et al. 2008; Rance et al. 2006) and MRI estimates in a small sample of athletes (Tohill and Stewart 2002). In the present study, the $S_{y \cdot x}$ was 1.99 L for LLV^A , corresponding to a coefficient of variation of 13.8%. When the truncated cone models included skinfolds, $S_{y \cdot x}$ (1.35 L) and the corresponding coefficient of variation (11.8%) were lower (Fig. 3).

The agreement estimates in the present study were higher than those reported for healthy active older women and older male and female adults with clinical indications (Villaça et al.

Table 2. Log-regression models and internal cross-validation for the prediction equations.

	<i>r</i>	Standard error of estimate	Coefficient	Cross-validation	
				R_{PRESS}^2	$\text{SEE}_{\text{PRESS}}$
Lower-limb volume					
Intercept			-2.08		
Body mass			0.92		
LLV by anthropometry			0.17		
Total model	0.97	0.05		0.93	0.05
Lower-limb fat-free volume					
Intercept			-0.51		
Body mass			0.45		
Σ skinfolds			0.17		
LLFFV by anthropometry			0.37		
Total model	0.94	0.06		0.89	0.05

Note: LLV, lower-limb volume; LLFFV, lower-limb fat-free volume; standard error of estimate derived from antilogarithmic transformation were 1.05 L for the LLV model and 1.06 L for the FLLV model.

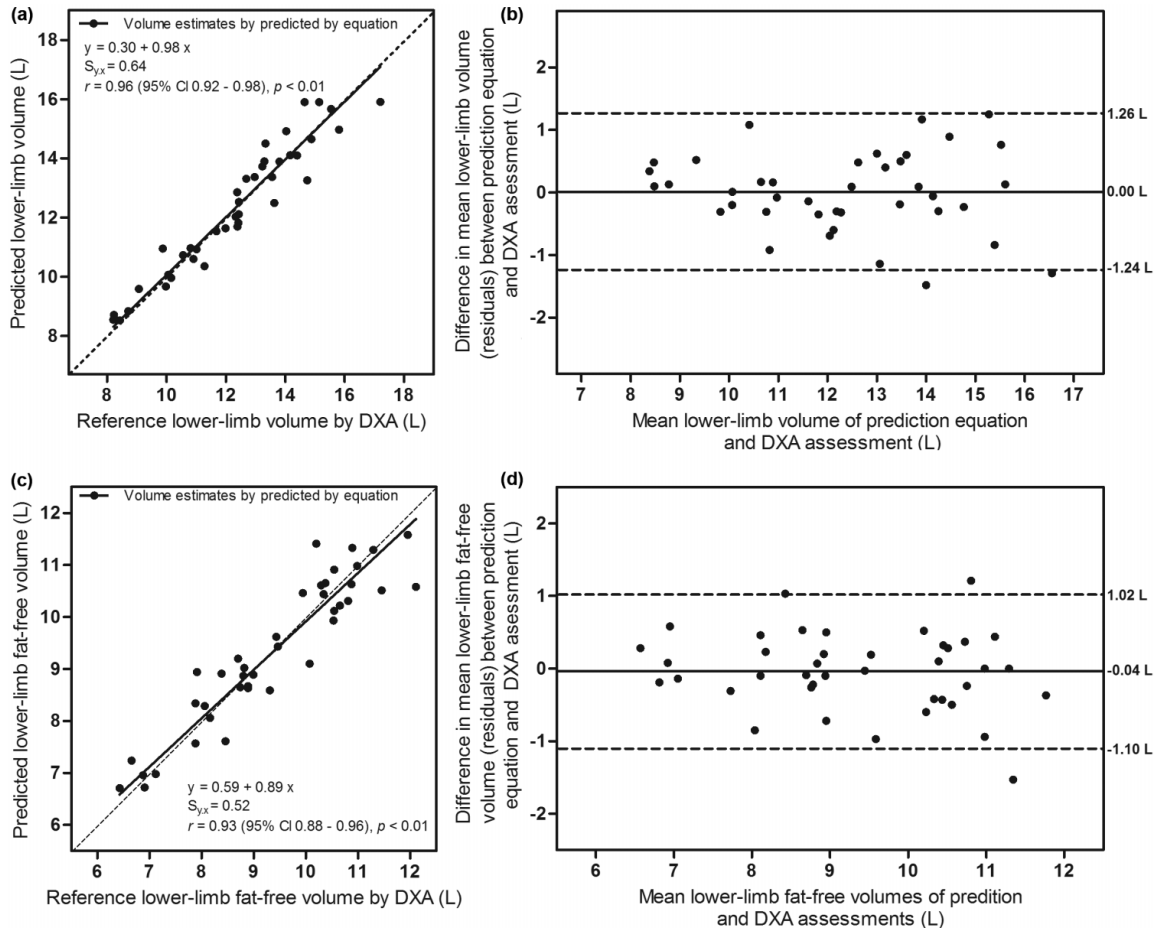
2008; Rance et al. 2006). The higher lower-limb FFM in the present study of young adult athletes (corresponding to higher thigh and calf muscular hypertrophy compared with nonathletes) may lead to increased estimation errors due to the assumptions that the limb is circular and that subcutaneous adipose tissue forms an annulus and the limited number of measurement locations used to predict the total volume. Previous observations indicated limitations of anthropometric predictions of thigh volumes relative to MRI estimates with increasing adiposity; results were attributed to a combination of factors, including altered fat distribution and technical difficulty in raising thigh skinfolds (Tohill and Stewart 2002). Underlying biological variability may also be present in skinfold measurements due to interindividual differences in subcutaneous fat distribution (Lohman 1981). Although such limitations increase the uncertainties of LLV^A estimates, they do not prevent its validity in young adult athletes. The measure of lean and fat mass by DXA includes the bone matrix (BMC is the measure of the bone mineral alone and does not represent the real bone mass). The bone matrix is measured by way of lean and fat masses, and these two compartments appear in the whole lean and fat measures. This can induce another bias in the calculation of body composition and, even of minor value, could partly explain the gap between methods.

The potential sources of disagreement between methods of measurement are fixed and proportional bias and random error. Fixed bias means that one method gives values that are higher (or lower) than those from the other by a constant quantity (Ludbrook 1997). Proportional bias means that one method gives values that are higher (or lower) than those from the other by a quantity that is proportional to the level of the measured variable (Ludbrook 1997; Atkinson and Nevill 1998; Hopkins 2000). Random error may be derived from quality of measurements and normal biological variation (Ludbrook 1997; Atkinson and Nevill 1998; Hopkins 2000). When assessing the agreement between methods, it must be assumed that measurements made by either method are attended by random error. The ordinary least squares method is the most commonly used statistical technique to estimate the slope and intercept of linearly related compari-

son data (Cornbleet and Gochman 1979). The method assumes that comparative method values are without random error and that test method random error is constant throughout the range of the data (Martin 2000). The approach may be limited as both *y* and *x* values are attended by random error. An alternative approach is the least products regression (Deming regressions) where random errors are present in both dependent and independent variables and are accommodated in the regression model (Cornbleet and Gochman 1979; Ludbrook 1997). The alternative linear regression is also a sensitive technique for detecting and distinguishing fixed and proportional bias between methods and has been recommended to physiologists (Cornbleet and Gochman 1979; Brace 1977).

To our knowledge, this may be the first study aimed at examining the relative contribution of independent variables (body mass and lower-limb skinfolds) to agreement between volumes estimated by anthropometry and DXA, as well as calibrating the new predictive model based on anthropometry vs. lower-limb volumes based on DXA estimates in young adult rugby players. The predictive models considering anthropometric estimates were shown to be valid and non-biased and to accurately predict lower-limb volumes relative to DXA estimates as the reference. A high correlation between volume estimates using the prediction models and DXA estimates was observed ($r = 0.96$ for lower-limb volume, $r = 0.93$ for lower-limb fat-free volume). The stepwise regression models confirmed the importance of accounting for body mass and lower limb sum of skinfolds to increase agreement of volume estimates by anthropometry with reference estimates. There were no significant mean differences between predicted and measured lower-limb volume. Additionally, all derived equations presented high R_{PRESS}^2 and low $S_{y \cdot x \cdot \text{PRESS}}$ values (Table 2). Given the sample size in this study, the PRESS method was used to avoid data splitting (Holiday et al. 1995) and permitted the use of a larger number of individuals to develop and cross-validate the new lower-limb volume predictive equations. Analysis of agreement between lower-limb volume predictive equations and DXA estimates using Deming regressions indicated that no

Fig. 4. Agreement of the generated anthropometric equations to predict lower-limb volumes in the young adult athletes with DXA as the reference method. The left panels are linear least products regressions between volume estimates measured using the reference method (DXA) and estimates using derived equations (upper panel (A), lower-limb volumes; lower panel (C), lower-limb fat-free volumes). The correlations (r), the $S_{y \cdot x}$, and the reference line from the equation are presented. The right panels illustrate the relation between the residuals (mean differences between predicted lower-limb volumes measured by DXA and predicted by derived equations) and lower-limb volumes by each of the new equations (upper panel (B), lower-limb volumes; lower panel (D), lower-limb fat-free volumes). The solid lines in the Bland–Altman plots represent the mean differences between the reference technique and the anthropometric equations. The broken lines represent 95% limits of agreement (± 1.96 SD). All values are expressed in litres.



proportional difference between methods was present, as the 95% CI for the slopes values contained 1 (95% CI = 0.88–1.07 for lower-limb volume; 95% CI = 0.81–1.05 for lower-limb fat-free volume) and the slopes were not significantly different from the unit. The intercept was significantly different from zero ($P < 0.01$), indicating that both methods differ at least by a constant amount. Small limits of agreement were found, and the relationship between residuals and predicted lower-limb volume from derived equations showed no significant trend line (see Fig. 4). Altogether, the results suggest that the new equations fit lower-limb volume in young adult rugby players.

The present study is limited by the sample size, as $S_{y \cdot x}$ is accurate only for the athletes in this study. Additionally, small systematic and predictable errors in DXA soft tissue

composition analysis that can take place in the assessment (Pietrobelli et al. 1998) need to be considered.

Conclusion

In conclusion, the agreement of anthropometry method to quantify lower-limb volumes with DXA as a reference in young adult rugby players is acceptable and is a practical method when more expensive and complex techniques are not available. However, the lower accuracy observed might be due to the variability in lower-body composition associated with body size and muscular development via training adaptation. It is noteworthy that including body mass and lower-limb skinfolds might increase the precision of lower-limb volume estimates using anthropometry in the young male adult rugby player. Additional validation studies should

validate critically lower-limb volume estimation models in similar samples within the sports training context.

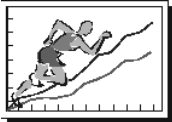
Acknowledgments

The first author was supported by a grant of the Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Portugal (SFRH/BD/41647/2007).

References

- Atkinson, G., and Nevill, A.M. 1998. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* **26**(4): 217–238. doi:10.2165/00007256-199826040-00002. PMID:9820922.
- Beneke, R., Neuberger, J., and Bohndorf, K. 1991. Muscle cross-section measurement by magnetic resonance imaging. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **63**(6): 424–429. doi:10.1007/BF00868073. PMID:1765055.
- Bland, J.M., and Altman, D.G. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* **327**(8476): 307–310. doi:10.1016/S0140-6736(86)90837-8. PMID:2868172.
- Brace, R.A. 1977. Fitting straight lines to experimental data. *Am. J. Physiol.* **233**(3): R94–R99. PMID:910941.
- Carvalho, H.M., Coelho-e-Silva, M.J., Gonçalves, C.E., Philippaerts, R.M., Castagna, C., and Malina, R.M. 2011. Age-related variation of anaerobic power after controlling for size and maturation in adolescent basketball players. *Ann. Hum. Biol.* **38**(6): 721–727. doi:10.3109/03014460.2011.613852. PMID:21923618.
- Cornbleet, P.J., and Gochman, N. 1979. Incorrect least-squares regression coefficients in method-comparison analysis. *Clin. Chem.* **25**(3): 432–438. PMID:262186.
- Doré, E., Diallo, O., Franca, N.M., Bedu, M., and Van Praagh, E. 2000. Dimensional changes cannot account for all differences in short-term cycling power during growth. *Int. J. Sports Med.* **21**(5): 360–365. doi:10.1055/s-2000-3783. PMID:10950446.
- Doré, E., Bedu, M., França, N.M., and Van Praagh, E. 2001. Anaerobic cycling performance characteristics in prepubescent, adolescent and young adult females. *Eur. J. Appl. Physiol.* **84**(5): 476–481. doi:10.1007/s004210100385. PMID:11417438.
- Duthie, G., Pyne, D., and Hooper, S. 2003. Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports Med.* **33**(13): 973–991. doi:10.2165/00007256-200333130-00003. PMID:14606925.
- Duthie, G.M., Pyne, D.B., Hopkins, W.G., Livingstone, S., and Hooper, S.L. 2006. Anthropometry profiles of elite rugby players: quantifying changes in lean mass. *Br. J. Sports Med.* **40**(3): 202–207. doi:10.1136/bjism.2005.019695. PMID:16505074.
- Forbes, G.B. 1978. Body composition in adolescence. In *Human growth: postnatal growth, neurobiology*. Edited by F. Falkner and J.M. Tanner. Plenum Press, New York.
- Frisancho, A.R. 1990. Anthropometric standards for the assessment of growth and nutritional status. University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
- Fuller, N.J., Hardingham, C.R., Graves, M., Screatton, N., Dixon, A.K., Ward, L.C., and Elia, M. 1999. Assessment of limb muscle and adipose tissue by dual-energy X-ray absorptiometry using magnetic resonance imaging for comparison. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* **23**(12): 1295–1302. doi:10.1038/sj.jjo.0801070. PMID:10643687.
- Gabbett, T., King, T., and Jenkins, D. 2008. Applied physiology of rugby league. *Sports Med.* **38**(2): 119–138. doi:10.2165/00007256-200838020-00003. PMID:18201115.
- Goran, M.I. 1998. Measurement issues related to studies of childhood obesity: assessment of body composition, body fat distribution, physical activity, and food intake. *Pediatrics.* **101**(3): 505–518. PMID:12224657.
- Heymsfield, S.B., Wang, Z., Baumgartner, R.N., and Ross, R. 1997. Human body composition: advances in models and methods. *Annu. Rev. Nutr.* **17**(1): 527–558. doi:10.1146/annurev.nutr.17.1.527. PMID:9240939.
- Holiday, D.B., Ballard, J.E., and McKeown, B.C. 1995. PRESS-related statistics: regression tools for cross-validation and case diagnostics. *Med. Sci. Sports Exerc.* **27**(4): 612–620. PMID:7791595.
- Hopkins, W.G. 2000. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* **30**(1): 1–15. doi:10.2165/00007256-200030010-00001. PMID:10907753.
- Hopkins, W.G. 2002. A scale of magnitudes for effect statistics. Available from <http://www.sportsci.org/resource/stats/index.html> [accessed 10 December 2010].
- Jaric, S., Mirkov, D., and Markovic, G. 2005. Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. *J. Strength Cond. Res.* **19**(2): 467–474. PMID:15903392.
- Jones, P.R., and Pearson, J. 1969. Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *J. Physiol.* **204**(2): 63P–66P. PMID:5824654.
- Kohrt, W.M. 1998. Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition. *J. Appl. Physiol.* **84**(1): 372–377. PMID:9451659.
- Lohman, T.G. 1981. Skinfolts and body density and their relation to body fatness: a review. *Hum. Biol.* **53**(2): 181–225. PMID:7239496.
- Lohman, T.G., Roche, A.F., and Martorell, R. 1988. Anthropometric standardization reference manual. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Ludbrook, J. 1997. Comparing methods of measurements. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* **24**(2): 193–203. doi:10.1111/j.1440-1681.1997.tb01807.x. PMID:9075596.
- Malina, R.M. 1995. Anthropometry. In *Physiological assessment of human fitness*. Edited by P.J. Maud and C. Foster. Human Kinetics, Champaign, Illinois. pp. 205–220.
- Malina, R.M. 2007. Body composition in athletes: assessment and estimated fatness. *Clin. Sports Med.* **26**(1): 37–68. doi:10.1016/j.csm.2006.11.004. PMID:17241914.
- Malina, R.M., Bouchard, C., and Bar-Or, O. 2004. Growth, maturation, and physical activity. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Martin, R.F. 2000. General deming regression for estimating systematic bias and its confidence interval in method-comparison studies. *Clin. Chem.* **46**(1): 100–104. PMID:10620577.
- Martin, R.J., Doré, E., Hautier, C.A., Van Praagh, E., and Bedu, M. 2003. Short-term peak power changes in adolescents of similar anthropometric characteristics. *Med. Sci. Sports Exerc.* **35**(8): 1436–1440. doi:10.1249/01.MSS.0000079074.47756.AB. PMID:12900701.
- Martin, R.J., Doré, E., Twisk, J., van Praagh, E., Hautier, C.A., and Bedu, M. 2004. Longitudinal changes of maximal short-term peak power in girls and boys during growth. *Med. Sci. Sports Exerc.* **36**(3): 498–503. doi:10.1249/01.MSS.0000117162.20314.6B. PMID:15076793.
- Nevill, A., and Holder, R. 1994. Modelling maximum oxygen uptake — a case study in non-linear regression model formulation and comparison. *J. R. Stat. Soc. Ser. A Stat. Soc.* **43**(4): 653–666.
- Nevill, A.M., Stewart, A.D., Olds, T., and Holder, R. 2006. Relationship between adiposity and body size reveals limitations of BMI. *Am. J. Phys. Anthropol.* **129**(1): 151–156. doi:10.1002/ajpa.20262. PMID:16270304.
- Pietrobelli, A., Wang, Z., Formica, C., and Heymsfield, S.B. 1998.

- Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *Am. J. Physiol.* **274**(5): E808–E816. PMID:9612238.
- Pietrobelli, A., Peroni, D.G., and Faith, M.S. 2003. Pediatric body composition in clinical studies: which methods in which situations? *Acta Diabetol.* **40**(0 Suppl. 1): S270–S273. doi:10.1007/s00592-003-0084-0. PMID:14618491.
- Rance, M., Morio, B., Courteix, D., Bedu, M., Van Praagh, E., and Duché, P. 2006. Lower-limb and whole-body tissue composition assessment in healthy active older women. *Ann. Hum. Biol.* **33**(1): 89–99. doi:10.1080/03014460500446319. PMID:16500814.
- Salamone, L.M., Fuerst, T., Visser, M., Kern, M., Lang, T., Dockrell, M., et al. 2000. Measurement of fat mass using DEXA: a validation study in elderly adults. *J. Appl. Physiol.* **89**(1): 345–352. PMID:10904070.
- Sipilä, S., and Suominen, H. 1995. Effects of strength and endurance training on thigh and leg muscle mass and composition in elderly women. *J. Appl. Physiol.* **78**(1): 334–340. PMID:7713834.
- Tolfrey, K., Barker, A., Thom, J.M., Morse, C.I., Narici, M.V., and Batterham, A.M. 2006. Scaling of maximal oxygen uptake by lower leg muscle volume in boys and men. *J. Appl. Physiol.* **100**(6): 1851–1856. doi:10.1152/jappphysiol.01213.2005. PMID:16484361.
- Tohill, P., and Stewart, A.D. 2002. Estimation of thigh muscle and adipose tissue volume using magnetic resonance imaging and anthropometry. *J. Sports Sci.* **20**(7): 563–576. doi:10.1080/026404102760000062. PMID:12166882.
- Villaça, D.S., Lerario, M.C., dal Corso, S., Nápolis, L., de Albuquerque, A.L.P., Lazaretti-Castro, M., et al. 2008. Clinical value of anthropometric estimates of leg lean volume in nutritionally depleted and non-depleted patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Br. J. Nutr.* **100**(2): 380–386. doi:10.1017/S0007114507886399. PMID:18184453.
- Visser, M., Gallagher, D., Deurenberg, P., Wang, J., Pierson, R.N., Jr., and Heymsfield, S.B. 1997. Density of fat-free body mass: relationship with race, age, and level of body fatness. *Am. J. Physiol.* **272**(5): E781–E787. PMID:9176176.
- Visser, M., Fuerst, T., Lang, T., Salamone, L., and Harris, T.B. 1999. Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. Health, aging, and body composition study — Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Body Composition Working Group. *J. Appl. Physiol.* **87**(4): 1513–1520. PMID:10517786.
- Wang, Z.M., Visser, M., Ma, R., Baumgartner, R.N., Kotler, D., Gallagher, D., and Heymsfield, S.B. 1996. Skeletal muscle mass: evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J. Appl. Physiol.* **80**(3): 824–831. PMID:8964743.



Repeated Dribbling Ability in Young Soccer Players: Reproducibility and Variation by the Competitive Level

by

João P. Duarte¹, Óscar Tavares³, João Valente-dos-Santos^{1,2}, Vitor Severino¹,
Alexis Ahmed¹, Ricardo Rebelo-Gonçalves¹, João R. Pereira¹, Vasco Vaz¹,
Susana Póvoas⁴, André Seabra⁵, Sean P. Cumming⁶, Manuel J Coelho-e-Silva¹

The intermittent nature of match performance in youth soccer supports relevance of ability to repeatedly produce high-intensity actions with short recovery periods. This study was aimed to examine the reproducibility of a repeated dribbling ability protocol and, additionally, to estimate the contribution of concurrent tests to explain inter-individual variability in repeated dribbling output. The total sample comprised 98 players who were assessed as two independent samples: 31 players were assessed twice to examine reliability of the protocol; and 67 juveniles aged 16.1 ± 0.6 years were compared by the competitive level (local, $n = 34$; national, $n = 33$) to examine construct validity. All single measurements appeared to be reasonably reliable: total (ICC = 0.924; 95%CI: 0.841 to 0.963); ideal (ICC = 0.913; 95%CI: 0.820 to 0.958); worst (ICC = 0.813; 95%CI: 0.611 to 0.910). In addition, the percentage of the coefficient of variation was below the critical value of 5% for total (%CV = 3.84; TEM = 2.51 s); ideal (%CV = 3.90, TEM = 2.48 s). Comparisons between local and national players suggested magnitude effects as follows: moderate (d -value ranged from 0.63 to 0.89) for all repeated sprint ability scores; large for total ($d = 1.87$), ideal ($d = 1.72$), worst ($d = 1.28$) and moderate for composite scores: the fatigue index ($d = 0.69$) and the decrement score ($d = 0.67$). In summary, the dribbling protocol presented reasonable reproducibility properties and output extracted from the protocol seemed to be independent from biological maturation.

Key words: short-term maximal effort; intra-class correlation; reliability.

Introduction

Soccer is the most popular sport in the world with 265 million registered participants worldwide (FIFA, 2012). In Portugal, recent statistics suggest that more than 154 thousand players within the national federation (Portuguese Institute of Statistic, 2013) represent about 29% of youth participating in organized and competitive sports. In Portugal youth soccer is organized into four age-groups: infantiles (under-13), initiates (under-15), juveniles (under-17) and juniors

(under-19). Seniors compete at the professional (18 clubs in the top league, 24 clubs in the second league) and amateur level (III division nationwide; regional competitions: level 1-3). Most, but not all of the top soccer clubs competing at the professional level have youth academies.

On average, youth soccer players cover approximately 6 km during competitions, of which 16% of the distance is covered at speeds above $13.0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (Castagna et al., 2009). Critical

¹ – uid/dtp/03213/2016, Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, PORTUGAL.

² - Faculty of Physical Education and Sport, ULHT, Lisbon, PORTUGAL.

³ - School of Health and Technology, Coimbra, PORTUGAL.

⁴ - CIDESD, University Institute of Maia (ISMAI), Maia, PORTUGAL.

⁵ - Faculty Sport, University of Porto, PORTUGAL.

⁶ - School for Health, University of Bath, UNITED KINGDOM.

moments in soccer commonly consist of high intensity short-term efforts, either with or without the ball. The ability to sprint with the ball at high speed has been recognized as a desirable attribute in youth soccer (Malina et al., 2005; Reilly et al., 2000), as well as the ability of dribbling and/or rapidly changing directions and positions. The intermittent nature of match performance in soccer requires the ability to repeatedly produce high-intensity actions every 72 s (Bradley et al., 2009). Moreover, literature indicates that 1.2 to 2.4% of the total covered distance is performed with the ball (Di Salvo et al., 2007). Data from matches of the English FA Premier League, using the Prozone® path identification system, identified changes of directions between 45° and 135° as the most frequent, in comparison to directional changes of <135° (Robinson et al., 2011).

The relationships between repeated sprint ability and other performance attributes in soccer, such as acceleration, agility, explosive leg power and aerobic conditioning through the age groups (U11 to U18) were examined using a 6 x 30 m sprint protocol. Despite some variation induced by age, it was found that repeated sprint ability correlated positively with other tests (Spencer et al., 2011), what is in accordance with the results of previous studies (Young et al., 1996). Although a positive relationship between sprinting and dribbling has been well documented, it should be noted that the skill of dribbling is complex and may be influenced by a number of additional factors. Indeed, previous research suggests that amateur and professional soccer players differ in developmental changes in dribbling (Huijgen et al., 2010). However, the extent to which developmental differences impact the relationship between sprinting and changes in directions is still unclear.

Coordinative performance tends to decrease as a result of fatigue (Cortis et al., 2011). Thus, coaches should include agility drills toward the end of a training session to better prepare players to cope with match demands. Within the multivariate domains of soccer, crucial attributes include the ability to control the ball with the feet, shoot at the goal with accuracy, dribble and retain possession. Tessitore et al. (2011) observed a decrease in performance of athletes in the first 10 days of the preseason, however, the best dribbling

performances were obtained during the last training session. This suggests that despite temporary decreases in performance during the period of high volume/intensity conditioning, positive agility adaptations occur after three weeks of practice. Another research studied the relationship between straight sprinting ability and change of direction sprint tests which was examined among 157 male rugby players aged 8-19 years. It was concluded that performance in change of direction in sprint tests was positively correlated with age and the mastery level of players, while straight sprint test performance depended exclusively on age (Condello et al., 2013). Literature also indicates that repeated sprint ability differentiates between players who drop out of competitive soccer and those who continue and are promoted (Figueiredo et al., 2009). Repeated dribbling ability may also serve as a positive predictor of talent in youth soccer (Ali, 2011). It could be argued that it is a more ecologically valid test of ability as it requires the athlete to perform with the ball at their feet. A candidate test in talent identification should be able to discriminate players by competitive levels. Moreover, motor tests need to be characterized by reproducibility (Barrow et al., 1989). With this in mind, the present study aimed to examine the reproducibility of a repeated dribbling ability protocol, to estimate the contribution of concurrent protocols (sprint and dribbling) in the classification of young soccer players by the competitive level and, finally, identify the correlates of repeated dribbling output (total time, ideal time, a fatigue index and a decrement score).

Material and Methods

Participants

The sample included 98 soccer players with a mean age of 16.0 ± 1.1 years. Information regarding training experience and the playing position was obtained from each player and checked by club records. The study included two subsamples: a) 31 players were assessed twice to examine reliability of the RDA test; b) 67 juveniles were tested for comparisons considering the competitive level to examine construct validity (local: $n = 34$; national: $n = 33$).

Procedures

The Scientific Committee of the Faculty of Sports Sciences and Physical Education of the

University of Coimbra approved the study. Subsequently, four clubs were contacted. Parents or legal guardians provided informed consent and players were informed that their participation was voluntary and that they could withdraw from the study at any time. All procedures were in accordance with ethical standards for sports medicine (Harriss and Atkinson, 2009). Tests were performed on the same weekday and at the same time period (i.e. 16:00-20:00) to avoid variation due to the circadian rhythm. Test conditions were controlled and test sessions were performed on artificial grass under similar conditions (Oregon Scientific RMR383HG: air temperature 24.8-30.1 °C; humidity 30-41%).

Chronological age and maturation

Chronological age (CA) was calculated during the first visit to the clubs. Regarding biological maturation, somatic maturation was assessed as the percentage of estimated mature stature (EMS%). This non-invasive method was developed by an algorithm proposed by Khamis and Roche (1994). Predicted mature stature was derived from chronological age, stature, body mass and mid-parent stature. Afterwards, current stature was expressed as the percentage of predicted mature stature and for two players of the same age; the one who was closer to mature stature was more advanced in biological maturation than the individual who was farther from mature stature.

Body size variables

Body mass (BM) and stature were measured to the nearest 0.1 kg and 0.1 cm using a scale (SECA 770, Hanover, MD, USA) and a stadiometer (Harpenden 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, UK), respectively. The triceps and medial calf skinfolds were measured using a Lange Caliper (Beta Technology, Ann Arbor, MI, USA), and fat mass (FM) was estimated using equations from the Slaughter et al.'s study (1988). Fat-free mass (FFM) was also calculated. Anthropometric evaluation of total thigh volume (TV_{ANTH}) of the dominant leg was obtained from three circumferences and partial lengths. The thigh was partitioned into two segments which resembled truncated cones. Circumferences were measured at the most possible proximal circumference, the middle thigh and above the patella (minimum). The lengths between consecutive circumferences were also measured.

Calculation of the volume of each assumed truncated cone volume was based on the equation proposed by Jones and Pearson (1969). The original study considered six truncated segments of the leg (seven circumferences, six lengths). In the current study, TV_{ANTH} was calculated as the sum of volumes derived from two truncated cones: truncated cone A was determined from circumferences measured at gluteal furrow and the mid-thigh; truncated cone B was similarly determined by using circumferences at the mid-thigh and at the transversal plane above the patella.

Standing long jump and sit-ups

As in previous studies (Coelho-e-Silva et al., 2012; Freitas et al., 2014), a standing long jump (SLJ) was used to test power and a sit-up test was used to evaluate the dynamic endurance of abdominal muscles. Both tests were performed according to Council of Europe (1988) guidelines. For the SLJ the subject stood just behind the take-off line with the feet together and was instructed to jump as far as possible. The test was performed twice and the better score was used for further analysis. When testing sit-ups the subject lay on his back on the mat with the arms folded and the hands on the shoulders. The knees were bent (90 degrees) and the heels were in contact with the floor. The participants' ankles were held by another subject who counted aloud each time a complete sit-up was performed. With each sit-up the elbows had to touch the knees.

Repeated sprint ability

Repeated sprint ability (RSA): Short-term maximal output (RSA: 7 x 35 m / 25'') was assessed as described by Bangsbo (1994). This test corresponds to seven consecutive 35 m sprints including changes of directions and a recovery period of 25 s between sprints during which the subject runs or walks from the end line back to the starting line. The time for each sprint was recorded by a digital chronometer connected to photoelectric cells (Globus Ergo Tester Pro). The following variables were determined: a) the fastest sprint, b) the slowest sprint, c) the sum of all sprints, d) the ideal time that corresponded to the best sprint multiplied by six. Two additional composite scores were considered: e) fatigue time: the worst sprint minus the best sprint (Bangsbo, 1994); and f) a decrement score (Bishop et al., 2001):

$100 * (\text{sum } 7 \text{ sprints} / \text{ideal time}) - 100.$

Repeated dribbling ability

Repeated dribbling ability (RDA-7): A modified version of RSA was also performed (RDA-7: 7x35-m/25''). This protocol resembles the one of RSA assessment as it consists of seven consecutive 35 m runs with changes of directions with the ball, including a 25 s recovery period between runs. The time for each sprint was recorded by a digital chronometer connected to photoelectric cells (Globus Ergo Tester Pro). The same RSA output was retained for subsequent analyses: a) the fastest sprint, b) the slowest sprint, c) the sum of all sprints, d) the ideal time that corresponded to the best sprint multiplied by seven. Two additional composite scores were considered: e) fatigue time; f) a decrement score. The standing long jump was used to test the power (Council of Europe, 1988). The test was performed twice and the better score was registered. A sit-up test was used to evaluate the dynamic endurance of abdominal muscles (Council of Europe, 1988). The test was performed once and the total number of correctly performed and fully completed sit-ups within the 30 s period was taken as the score.

Analysis

Descriptive statistics were reported (means \pm standard deviations) and standard error of the means for the total sample (n=98). Additionally, based on a subsample (n=31), means and standard deviations at time moments 1 and 2 (one week apart) were reported. The intra-class correlation coefficient (ICC) was calculated in parallel to technical error of measurement (TEM) following the equation proposed by Mueller and Martorell (1988). The coefficient of variation (%CV and respective 95% confidence intervals) was expressed as the percentage of the mean. Performance output included total time (sum of all trials), ideal time (best trial multiplied by the number of trials) and the worst trial. Comparisons between under-17 adolescent soccer players classified by the competitive level (local, n=34; national, n=33) were performed using an independent t-test in addition to effect size evaluation. Cohen's d effect sizes (ES) and thresholds (<0.2, 0.2-0.6, 0.6-1.2, 1.2-2.0, 2.0-4.0 for trivial, small, moderate, large, very large and extremely large, respectively) were also used to compare the magnitude of the differences in

physical and technical performance (Hopkins, 2004). The smallest worthwhile difference was set at Cohen's effect size of 0.2 as recommended for team sports and fitness tests (Ali, 2011; Hopkins, 2000). Discriminant function analysis was subsequently performed to obtain the best predictor to classify under-17 soccer players into their original competitive groups. Finally, multiple linear regression analyses (backward method) were used to obtain predictive models for each of the RDA output from a pool of candidate determinants (training experience, chronological age, somatic maturation, stature, body mass, % fat mass, estimated thigh volume, sit-ups and a standing long jump). All statistical analyses were performed using IBM SPSS v.20 for Mac OS software (SPSS Inc., IBM Company, NY, USA).

Results

Descriptive statistics for adolescent soccer players aged 16.0 ± 1.1 years (n = 98) are presented in Table 1 which includes training experience, decimal age, biological maturation given as the attained percentage of predicted mature stature, anthropometry and performance scores derived from the two protocols: repeated sprint ability and repeated dribbling ability. Training experience ranged from 2 to 12 years. Thirteen players (13.3%) were already mature since they attained 100% of the predicted mature stature. The analysis of reproducibility (Table 2) was conducted for a subsample of 31 soccer players (under-15: n=10; under-17: n=11; under-19: n=10) extracted from the total sample presented in Table 1. From session 1 to session 2, eleven players improved their performance in RDA-total, fourteen improved their RDA-ideal scores and fifteen obtained better scores in the RDA-worst output. All single measurements appeared to be reasonably reliable: RDA-total (ICC = 0.924; 95%CI: 0.841 to 0.963); RDA-ideal (ICC = 0.913; 95%CI: 0.820 to 0.958); RDA-worst (ICC = 0.813; 95%CI: 0.611 to 0.910). Additionally, the percentage of the coefficient of variation was below the critical value of 5% for RDA-total (%CV = 3.84; TEM = 2.51 s); RDA-ideal (%CV = 3.90, TEM = 2.48 s).

Table 1
Descriptive statistics for the total sample (n=98)

Variable (Xi)	units	Range		Mean			SD
		minimum	maximum	value	SE	95% CI	
Training experience	years	2.0	12.0	7.5	0.3	(6.99 to 8.03)	2.6
Chronological age	years	12.9	18.6	16.0	0.1	(15.8 to 16.3)	1.1
Attained EMS	%	84.6	100.0	97.8	0.3	(97.2 to 98.8)	2.8
Stature	cm	152.2	189.1	172.5	0.7	(171.1 to 174.0)	7.6
Body mass	kg	36.3	101.0	64.5	1.2	(62.2 to 66.9)	11.6
Fat mass	%	9.1	30.4	16.5	0.5	(15.5 to 17.5)	5.0
Fat mass	kg	4.9	28.2	10.9	0.5	(10.0 to 11.9)	5.0
Fat free mass	kg	31.4	77.7	53.6	0.8	(52.0 to 55.3)	8.4
Thigh volume	L	3.19	11.82	5.26	0.18	(4.93 to 5.65)	1.74
RSA total time	s	46.58	71.80	51.60	0.35	(50.90 to 52.29)	3.47
RSA ideal time	s	42.56	64.47	49.53	0.30	(48.94 to 50.12)	2.94
RSA worst trial	s	6.81	10.96	7.71	0.06	(7.58 to 7.83)	0.61
RDA total time	s	54.17	85.34	63.80	0.57	(62.67 to 64.92)	5.62
RDA ideal time	s	50.89	79.76	60.30	0.48	(59.35 to 61.24)	4.71
RDA worst trial	s	8.03	15.56	9.90	0.14	(9.62 to 10.18)	1.38

*(estimate mature stature); RSA (repeated sprint ability);
RDA (repeated dribbling ability); SE (standard error);
95%CI (95% confidence interval); SD (standard deviation)*

Table 2
Correlations between sessions, technical error of measurements (TEM), coefficient of variation (%CV) and intra-class correlation coefficient (ICC) with respective 95% CI (n=31)

Variables	Time		ICC	TEM	%CV	
	moment 1	moment 2				
	Mean ± SD	Mean ± SD	Value	(95% CI)		
RDA total time, s	67.20 ± 6.17	68.55 ± 6.87	0.924	(0.841 to 0.963)	2.61	3.84
RDA ideal time, s	63.15 ± 5.67	63.98 ± 6.57	0.913	(0.820 to 0.958)	2.48	3.90
RDA worst trial, s	10.51 ± 1.56	10.67 ± 1.29	0.813	(0.611 to 0.910)	0.80	7.53

RDA (repeated dribbling ability); TEM (technical error of measurements); %CV (% coefficient of variation); ICC (intra-class correlation coefficient); 95% CI (95% confidence interval); RDA (repeated dribbling ability); RDA total time (sum of the seven trials); RDA ideal time (corresponds to the best trial multiplied by seven); RDA worst trial (corresponds to the poorest performance in the repeated trials)

Table 3
Descriptive statistics for performance output (sit-ups, standing long jump, RSA and RDA) by the competitive level and comparison between groups (n=67)

Yi: Dependent variables	Xi: Independent variable Mean ± SD (95% CI of mean)		Difference between groups (95%CI of mean)	Effect size: d (qualitative)	SWD
	Local (n = 34)	National (n = 33)			
Sit-ups, rep	29 ± 4	31 ± 3	+2 (+1 to +4)	0.65 (moderate)	0.13
SLJ, cm	209 ± 14	221 ± 14	+12 (+6 to +19)	0.88 (moderate)	0.18
RSA-total, s	51.58 ± 2.65	49.71 ± 1.64	+1.861 (+0.782 to +2.940)	0.83 (moderate)	0.37
RSA-ideal, s	49.47 ± 2.38	48.20 ± 1.46	+1.265 (+0.297 to +2.233)	0.63 (moderate)	0.25
RSA-worst, s	7.74 ± 0.53	7.35 ± 0.30	+0.395 (+0.183 to 0.606)	0.89 (moderate)	0.08
RSA-FI, s	0.68 ± 0.42	0.46 ± 0.20	+0.214 (+0.053 to +0.375)	0.66 (moderate)	0.04
RSA-DS, %	4.28 ± 2.53	3.14 ± 1.26	+1.140 (+0.161 to +2.118)	0.86 (moderate)	0.35
RDA-total, s	65.34 ± 4.17	59.01 ± 2.16	+6.326 (+4.696 to +7.951)	1.87 (large)	1.27
RDA-ideal, s	61.27 ± 2.59	56.62 ± 2.32	+4.647 (+3.351 to +5.943)	1.72 (large)	0.93
RDA-worst, s	10.26 ± 1.33	8.95 ± 0.49	+1.312 (+0.821 to +1.803)	1.28 (large)	0.26
RDA-FI, s	1.51 ± 1.22	0.86 ± 0.46	+0.649 (+0.196 to +1.102)	0.69 (moderate)	0.13
RDA-DS, %	6.65 ± 4.59	4.25 ± 1.80	+2.395 (+0.683 to +4.106)	0.67 (moderate)	0.48

SLJ (Standing long jump); RSA (repeated sprint ability); RDA (repeated dribbling ability); FI (fatigue index); DS (decrement score); SD (standard deviation); d (effect size value); SWD (smallest worthwhile difference)

Table 4
 Results of multiple regression analyses (backward mode) for prediction of RDA derived output from training experience, chronological age, somatic maturation, stature, body mass, body composition (%fat mass), estimated thigh volume, sit-ups and a standing long jump for under-17 soccer players (n=67)

Dependent variable (Yi)		Predictors				Model Summary				
		coefficient	SE	partial r	tolerance	VIF	R	R ²	Adjusted R ²	SEE
RDA-total	Constant	153.240	28.043				0.737	0.543	0.514	3.206
	Attained EMS%	-0.713	0.302	-0.220	0.847	1.180				
	Years training	-1.003	0.190	-0.475	0.915	1.092				
	Thigh volume	0.789	0.314	0.234	0.850	1.176				
	SLJ	-0.077	0.028	-0.251	0.860	1.163				
RDA-ideal	Constant	96.774	9.598				0.674	0.454	0.428	2.666
	Chronological age	-1.106	0.641	-0.184	0.763	1.310				
	Years training	-0.717	0.165	-0.442	0.835	1.198				
	SLJ	-0.066	0.023	-0.280	0.880	1.136				
RDA-fatigue	Constant							0.236		
	Years training	0.734	0.618				0.486		0.212	0.868
	Thigh volume	-0.110	0.050	-0.245	0.971	1.029				
RDA-decrement	Constant	0.273	0.080	0.380	0.971	1.029				
	Constant	71.649	29.727				0.387	0.150	0.123	3.448
	Attained EMS%	-0.718	0.305	-0.277	0.959	1.043				
	Thigh volume	0.897	0.318	0.332	0.959	1.043				

EMS (estimate mature stature); SLJ (standing long jump); 95% CI (95% confidence interval);

* signals were inverted since a better performance corresponds to a lower score

In contrast, the worst dribbling trial presented a TEM of 0.80 s (%CV = 7.53).

The comparison of the under-17 players classified as local and national is presented in Table 3. It is possible to note an overall trend towards better performance in the national group on output derived from both the RSA and RDA protocols. The magnitude of these effects was moderate (d-value ranged from 0.63 to 0.89) for all RSA scores while for RDA effect size was large for RSA-total (d = 1.87), RDA-ideal (d = 1.72), RDA-worst (d = 1.28) and moderate for composite scores: the fatigue index (d = 0.69) and decrement score (d = 0.67). Furthermore, it was possible to

perform a significant discriminant function analysis (stepwise method: Wilks' Lambda = 0.520, $df_1 = 1$, $df_2 = 1$, $df_3 = 65$; $r_c = 0.693$) that correctly classified 58 (86.6%) from 67 under-17 soccer players into the original groups. The model had a single significant predictor: RDA-total (F = 60.116, $df_1 = 1$, $df_2 = 65$, $p < 0.01$).

Table 4 presents the relations among training experience, chronological age, somatic maturation, anthropometry and output derived from the RDA test. Backward multiple linear regression analysis suggested that 51.4% of the inter-individual variance in RDA-total time was explained by four predictors. Explained variance

for RDA-ideal time was 42.8% and based on three predictors. Fatigue index and decrement scores presented 21.2% and 12.3%, respectively, of explained variance from models that uniquely considered two independent variables. Training experience entered three times in the predictive models and seemed to be the most relevant determinant of RDA output. Lower limb explosive strength given by the standing long jump was a significant predictor for RDA-total and RDA-ideal times, but it did not enter in the composite scores (fatigue index and decrement score). Thigh volume emerged as a predictor of RDA-total and RDA-ds (decrement score) suggesting that larger volume corresponded to poorer performance in the mentioned output. Finally, somatic maturation was a significant determinant for the RDA-total time and RDA-decrement score.

Discussion

The current study examined the reliability and construct validity of the Repeated Dribbling Ability test as a protocol to assess soccer specific skills. The RDA test demonstrated acceptable reliability among young soccer players. Furthermore, variation of RDA output was found to be related to the competitive level (national level versus local level) as elite soccer players performed better than their local peers. Test re-test reliability was classified as poor (<0.40), fair (between 0.40 and <0.70), good (between 0.70 and <0.90) and excellent (≥ 0.90) following the guidelines suggested by Hopkins (2004). By inference, the RDA protocol produced excellent ICC values: 0.92 and 0.91 for total and ideal times, respectively. The current study also suggested significant relationships between repeated dribbling ability and training experience, age, somatic maturation, thigh volume as well as jumping performance. Finally, the magnitude of the mean difference between soccer players contrasting in the competitive level (local vs. national) was larger on two dependent variables: total time and ideal time (both from the repeated dribbling protocol).

Sprinting and running are fundamental movement skills for most sporting activities and are common forms of locomotion performed by children during playground games and activities. Furthermore, sprinting performance appears to be

an important determinant of success in youth sports (Mendez-Villanueva et al., 2011). Assessments of maximal speed are commonly included in batteries of talent identification tests and studies focused on sport selection in youth soccer (Coelho-e-Silva et al., 2010). A significant change in leg length, standing height and mass across all maturation groups was reported in a previous study analyzing sprint performance and maturation in 332 boys aged 11-15 years (Meyers et al., 2015). Such growth-related changes are expected as part of natural processes of growth and maturation (Malina et al., 2004). Furthermore, stature and leg length were significantly related to speed, only when maturation was not controlled for. This suggests that the relationship between stature, leg length and speed is partially due to the influence of maturation in the sample population. Relationships between motor performance, as measured by various fitness tests, and age at peak height velocity were studied in a sample of 173 Flemish boys who were first measured yearly between 13 and 18 years and then again, as adults at 30 years of age (Lefevre et al., 1990). Comparisons were made between boys with an early, average and late age at peak height velocity and it was concluded that during adolescent years, three performance tasks, namely speed of limb movement, explosive strength and static strength, were negatively related to age at peak height velocity; thus, early maturers performed significantly better than late maturers. Maturity associated differences in most of these performance attributes are, however, generally attenuated or reversed in adulthood (Lefevre et al., 1990).

Variation in body size is also associated with contrasting maturity status in youth soccer players (Figueiredo et al., 2009), following patterns observed in the general population (Lefevre et al., 1990). Boys advanced in skeletal maturity are taller and heavier and possess greater absolute and relative lean mass than those on time and late in skeletal maturity (Malina et al., 2004). The differences among boys of contrasting maturity status also tend to persist when maturity-related variation in body height and mass is statistically controlled (Beunen et al., 1981). Performance differences among maturity groups were apparent by 13 years of age and tended to be greater at 14 and 15 years (Malina et

al., 2004). The proportion of late maturing boys in elite adolescent soccer players also decreases with the competitive level and increasing chronological age (Malina et al., 2000), likely as a result of both the systematic and self-selection. Among adolescent soccer players performance tests showed a significant gradient of early>on time>late among boys aged 13-14 years (Figueiredo et al., 2009). The impact of experience, body size and maturity status to variation in the functional capacities of adolescent soccer players was estimated in a sample of 69 players (aged 13.2-15.1 years) from Portuguese clubs competing in the highest division for their age; it was concluded that training was significantly related to aerobic resistance, whereas body size (body mass and stature) was a significant variable considering sprint and vertical jump tests (Malina et al., 2004).

Comparisons of the characteristics of regionally selected (regional elite, $n = 45$) and non-selected (local level, $n = 69$) under-14 players have considered body mass, stature, skinfolds, functional capacities, soccer-specific skills and goal orientation in addition to skeletal age assessed with the Fels method (Coelho-e-Silva et al., 2010). Selected players tend to present advanced maturity status, are heavier and taller; perform better in explosive power, repeated sprint ability and ball control; and are also more ego-oriented. The current study also examined variation by the competitive level in repeated sprint ability in parallel to assessment in repeated dribbling ability and differences were larger in RDA output as presented in Table 3. Of note, the discriminant function that was obtained to classify players by the competitive level retained RDA output (total time) as crucial information in parallel to years of practice, chronological age and fat free mass.

Predictors of functional capacities and skills in 143 soccer players aged 11-14 years from five clubs in Portugal were investigated using multiple linear regression analysis (Figueiredo et al., 2011). The explained variances differed among the various functional capacities (22-48%) and skills (25%). Skeletal maturity was a predictor of the countermovement jump. For repeated sprints, training history (positive), adiposity (negative) and body mass (negative) accounted for 27% of the variance in the fastest sprint. In the current

study RDA-total was related to lower limb strength given by jumping performance, thigh volume, years of practice and the attained percentage of estimated mature stature. The other output derived from RDA protocols appeared independent of maturation, which may be very important for talent identification. Circumpubertal Flemish soccer players were successfully classified by the competitive level based on tests such as a 30 m dash, a shuttle sprint, an endurance shuttle run, sit-ups, sit-and-reach combined with manipulative motor skills such as lobbing, juggling and dribbling (Vaeyens et al., 2006). Another independent study (Figueiredo et al., 2009) compared the baseline physical growth and biological maturity status, functional capacities, sport-specific skills and goal orientation of youth soccer players who subsequently discontinued participation in the sport (drop-out), continued to participate at the same level (club) or moved to a higher playing standard (elite). Elite players performed better than dropouts in ball control, dribbling speed and the wall pass, and when compared to club players they were only better in the wall pass. Club players performed better than dropouts in dribbling speed and the wall pass.

In the present study, the repeated dribbling trial presented the lowest reliability coefficient (0.81) among the variables of interest. The data of the current study presented ideal and total time having larger coefficients (0.91-0.93). Similar results were found in recent soccer studies applying the running anaerobic sprint test (RAST) with a small sample ($n = 14$) of under-17 soccer players (de Andrade et al., 2014), where a mean time ICC of 0.96 was obtained. Another study noted that performance in kicking velocity among soccer players aged 12-15 years old revealed an ICC of 0.87 (Berjan-Bacvarevic et al., 2012). For the test of changes of direction, Lockie et al. (2013) determined an ICC value of 0.86 for the total time performance. Future studies may consider conducting 7 trials retaining the best 6, with respect to the Bangsbo fatigue index (worst minus best). Recommendations for effective warm-up routines vary depending on the nature and duration of the exercise to be performed (Bishop, 2003a). Previous studies have shown importance of the warm-up and preceding activity performance, which consists of active or passive

warming of body tissues in preparation for physical or sport activity (Bishop, 2003b); in the present study, although the warm-up was monitored, the daily routines of the sample were not controlled. Warm-up routines should include, in general, whole-body movements for 5 to 10 min followed by 5 min of recovery (Bishop, 2003b). The American College of Sports Medicine recommends a warm up including 5 to 10 min of callisthenic-type exercises and 5 to 10 min of progressive aerobic activity (ACSM, 2009). Regarding the decrement score, in addition to the potential erroneous fluctuations of the worst performance affecting the overall total time instead of the ideal time, there are some criticisms about using ratios between variables. Finally, the output obtained from the RDA protocol may probably need to consider qualitative information (the number of steps and ball touches in each trial) hypothesizing fatigue in movement inherent to the protocol.

Acknowledgements

In memorium of Filipe Simões, a beloved friend and colleague. This research was partially supported by Fundação para a Ciência e a Tecnologia [SFRH/BD/101083/2014; SFRH/BPD/100470/2014; uid/dtp/04213/2016]. The authors have no potential conflicts of interest.

References

- Ali A. Measuring soccer skill performance: a review. *Scand J Med Sci Sports*, 2011; 21(2): 170-183
- American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, 8th ed, Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 90; 2009
- Bangsbo J. *Fitness training in football - a scientific approach*. Bagsvaerd: HO and Storm, 88-97; 1994
- Barrow HM, Mckee R, Tritschler T. *A Practical approach to measurement in physical education*. Dubuque: WmC, Brown Publishers, 80-125; 1989
- Berjan-Bacvarevic B, Pazin N, Bozic PR, Mirkov D, Kukolj M, Jaric S. Evaluation of a composite test of kicking performance. *J Strength Cond Res*, 2012; 26(7): 1945-1952
- Beunen G, Ostyn M, Simons J, Renson R, Van Gerven D. Chronological and biological age as related to physical fitness in boys 12 to 19 years. *Ann Hum Biol*, 1981; 8: 321-331
- Bishop D, Spencer M, Duffield R, Lawrence S. The validity of a repeated sprint ability test. *J Sci Med Sport*, 2001; 4(1): 19-29
- Bishop D. Warm up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Med*, 2003a; 33(6): 439-454
- Bishop D. Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Med*, 2003b; 33(7): 483-498
- Bradley P, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, Krstrup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sport Sci*, 2009; 27(2): 159-168
- Castagna C, Impellizzeri F, Cecchini E, Rampinini E, Alvarez JC. Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *J Strength Cond Res*, 2009; 23: 1954-1959

- Coelho-e-Silva MJ, Figueiredo AJ, Simões F, Seabra A, Natal A, Vaeyens R, Philippaerts R, Cumming SP, Malina RM. Discrimination of u-14 soccer players by level and position. *Int J Sports Med*, 2010; 31(11): 790-796
- Coelho-e-Silva MJ, Vaz V, Simões F, Carvalho HM, Valente-Dos-Santos J, Figueiredo AJ, Pereira V, Vaeyens R, Philippaerts R, Elferink-Gemser MT, Malina RM. Sport selection in under-17 male roller hockey. *J Sports Sci*, 2012; 30(16): 1793-1802
- Council of Europe. *Eurofit: Handbook for the Eurofit tests of Physical Fitness*. Rome: Council of Europe; 1988
- Condello G, Minganti C, Lupo C, Benvenuti C, Pacini D, Tessitore A. Evaluation of change-of-direction movements in young rugby players. *Int J Sports Physiol Perform*, 2013; 8(1): 52-56
- Cortis C, Tessitore A, Lupo C, Pesce C, Fossile E, Figura F, Capranica L. Inter-limb coordination, strength, jump, and sprint performances following a youth men's basketball game. *J Strength Cond Res*, 2011; 25(1): 135-142
- de Andrade VL, Pereira Santiago PR, Kalva Filho CA, Campos EZ, Papoti M. Reproducibility of running anaerobic sprint test (rast) for soccer players. *J Sports Med Phys Fit*, 2014; 56(1-2): 34-38
- Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calderon Montero FJ, Bachl N, Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med*, 2007; 28(3): 222-227
- Figueiredo AJ, Coelho-e-Silva MJ, Malina RM. Predictors of functional capacity and skill in youth soccer players. *Scand J Med Sci Sports*, 2011; 21: 446-454
- Figueiredo AJ, Gonçalves CE, Coelho-e-Silva MJ, Malina RM. Youth soccer players, 11-14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. *Ann Hum Biol*, 2009; 36(1): 60-73
- Freitas AS, Figueiredo AJ, de Freitas AL, Rodrigues VD, da Cunha AA, Deusdara FF, Coelho-e-Silva MJ. Biological Maturation, Body Morphology and Physical Performance in 8-16 year-old obese girls from Montes Claros - MG. *J Hum Kinet*, 2014; 43: 169-176
- Harriss DJ, Atkinson G. International Journal of Sports Medicine - ethical standards in sport and exercise science research. *Int J Sports Med*, 2009; 30(10): 701-702
- Hopkins W. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 2000; 30: 1-15
- Hopkins W. Sportsmedicine 8, 2004. Available at: <http://www.sportsci.org/jour/04/wghtests.htm>; accessed on 27.01.2015
- Huijgen BC, Elferink-Gemser MT, Post W, Visscher C. Development of dribbling in talented youth soccer players aged 12-19 years: a longitudinal study. *J Sport Sci*, 2010; 28(7): 689-698
- Jones PR, Pearson J. Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *J Physiol*, 1969; 204(2): 63-66
- Khamis HJ, Roche AF. Predicting adult stature without using skeletal age: the Khamis-Roche method. *Pediatrics*, 1994; 94(4): 504-507
- Lefevre J, Beunen G, Steens G, Claessens A, Renson R. Motor performance during adolescence and age thirty as related to age at peak height velocity. *Ann Hum Biol*, 1990; 17(5): 423-435
- Lockie RG, Schultz AB, Callaghan SJ, Jeffriess MD, Berry SP. Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT). *J Sports Sci Med*, 2013; 12(1): 88-96
- Malina RM, Cumming SP, Kontos AP, Eisenmann JC, Ribeiro B, Aroso J. Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13-15 years. *J Sport Sci*, 2005; 23: 515-22
- Malina RM, Eisenmann JC, Cumming SP, Ribeiro B, Aroso J. Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *Eur J Appl Physiol*, 2004; 91: 555-562
- Malina RM, Pena Reyes ME, Eisenmann JC, Horta L, Rodrigues J, Miller R. Height, mass and skeletal

- maturity of elite Portuguese soccer players aged 11-16 years. *J Sport Sci*, 2000; 18: 685-693
- Mendez-Villanueva A, Buchheit M, Kuitunen S, Douglas A, Peltola E, Bourdon P. Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *J Sport Sci*, 2011; 29(5): 477-484
- Meyers RW, Oliver JL, Hughes MG. Maximal Sprint Speed in Boys of Increasing Maturity. *Pediatr Exerc Sci*, 2015; 27: 85-94
- Mueller WM, Martorell R. *Reliability and accuracy of measurement. In: Lohman TG, Roche AF, Martorell R, eds. Anthropometric standardization reference manual.* Champaign, IL: Human Kinetics, 83-86; 1988
- Reilly T, Williams AM, Nevill A, Franks A. A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *J Sport Sci*, 2000; 18: 695-702
- Robinson G, O'Donoghue P, Wooster B. Path changes in the movement of English Premier League soccer players. *J Sport Med Phys Fit*, 2011; 51: 220-226
- Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, Bembien DA. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol*, 1988; 60(5): 709-723
- Spencer M, Pyne D, Santisteban J, Mujika I. Fitness determinants of repeated-sprint ability in highly trained youth football players. *Int J Sports Physiol Perform*, 2011; 6(4): 497-508
- Tessitore A, Perroni F, Cortis C, Meeusen R, Lupo C, Capranica L. Coordination of soccer players during preseason training. *J Strength Cond Res*, 2011; 25: 3059-3069
- Vaeyens R, Malina RM, Janssens M, Van Renterghem B, Bourgois J, Vrijens J, Philippaerts RM. A multidisciplinary selection model for youth soccer: the Ghent Youth Soccer Project. *Br J Sports Med*, 2006; 40: 928-934
- Young W, Hawken M, McDonald L. Relationship between speed, agility and strength qualities in Australian Rules Football. *Strength Cond Coach*, 1996; 4: 3-6

Corresponding author:

Manuel J Coelho-e-Silva


Faculty of Sports Science and Physical Education, University of Coimbra, Portugal
Estádio Universitário de Coimbra, Pavilhão III
3040-156 Coimbra, Portugal
Phone number: +351 964 809 054
Fax number: +351 239 802 779
E-mail: mjcesilva@hotmail.com

RESEARCH ARTICLE

Open Access



Concurrent agreement between an anthropometric model to predict thigh volume and dual-energy X-Ray absorptiometry assessment in female volleyball players aged 14-18 years

Oscar M. Tavares^{1,2}, João Valente-dos-Santos^{1,3,4} , João P. Duarte¹, Susana C. Póvoas⁵, Luís A. Gobbo⁶, Rômulo A. Fernandes⁶, Daniel A. Marinho⁷, José M. Casanova⁸, Lauren B. Sherar⁹, Daniel Courteix^{10,11,12} and Manuel J. Coelho-e-Silva^{1*}

Abstract

Background: A variety of performance outputs are strongly determined by lower limbs volume and composition in children and adolescents. The current study aimed to examine the validity of thigh volume (TV) estimated by anthropometry in late adolescent female volleyball players. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) measures were used as the reference method.

Methods: Total and regional body composition was assessed with a Lunar DPX NT/Pro/MD+/Duo/Bravo scanner in a cross-sectional sample of 42 Portuguese female volleyball players aged 14–18 years (165.2 ± 0.9 cm; 61.1 ± 1.4 kg). TV was estimated with the reference method (TV-DXA) and with the anthropometric method (TV-ANTH). Agreement between procedures was assessed with Deming regression. The analysis also considered a calibration of the anthropometric approach.

Results: The equation that best predicted TV-DXA was: $-0.899 + 0.876 \times \log_{10}(\text{body mass}) + 0.113 \times \log_{10}(\text{TV-ANTH})$. This new model (NM) was validated using the predicted residual sum of squares (PRESS) method ($R_{\text{PRESS}}^2 = 0.838$). Correlation between the reference method and the NM was 0.934 (95%CI: 0.880–0.964, $S_y \cdot x = 0.325$ L).

Conclusions: A new and accurate anthropometric method to estimate TV in adolescent female volleyball players was obtained from the equation of Jones and Pearson alongside with adjustments for body mass.

Keywords: Adolescent female athletes, Body composition, Deming regression, PRESS

Background

Human structure is commonly viewed as a hierarchy of organism, system, organ, tissue and cell [1, 2]. Consequently, body composition may be approached at different levels. Total body cannot be considered as a compositional level and the cellular level is of limited and specific interest. Taking these previous notes into account, the organizational system is often reduced into

the *chemical* and the *anatomical* levels as proposed by Martin and Drinkwater [3].

Research dealing with body composition is often focused in the absolute quantity, percentage and distribution of body fat, in part, because of the apparent negative relationship of the fat component to health status. In the context of many sports, changing total and regional muscle component is a determinant factor in performance [4, 5] and the limited literature [6] suggests that total and appendicular lean soft tissue estimates have probably not received enough attention when compared to fat mass.

* Correspondence: mjesilva@hotmail.com

¹UID/DTP/03213/2016, Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Pavilhao III, 3040-156 Coimbra, Portugal
Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2016 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

Lean soft tissue estimates derived from tissue-based models have been previously proposed [7–13]. A variety of fitness measures in youth were shown to be strongly determined by appendicular skeletal muscle mass [14–16]. Moreover, lower leg muscle [17] or thigh muscle volume [18] have been identified as preferable allometric scaling denominators to normalize VO_{2peak} compared with body mass or either fat-free mass (FFM).

The method for determining body composition should be selected depending on research objectives. In general, methods have been developed with specific assumptions [2, 8, 9, 19] which limits its use to a certain group; such as males or females, general population or athletes, adults or children. At the organ and tissue level, imaging techniques such as computed axial tomography (CT) and multi-scan magnetic resonance imaging (MRI) are considered the “criterion” methods in assessing body composition [20, 21]. The image quality of CT is improving [22] but, compared to exposures of 2.5 mSv of typical natural environments, the effective radiation exposure is still ~10 mSv for a full body scan [21]. MRI, although safe, requires a high technical proficiency and is not cost-effective. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) uses a relatively low dose of ionizing radiation (i.e., 1 mSv per scan) and is considered the safest and appropriate imaging modality to assess body composition [23]. Still, the selection also needs to consider practical implications such as cost, operation, required technical skills, subject cooperation. Accessible, safe and cost-effective strategies are needed.

Water displacement leg volumetry offers a simple approach and was used for validation of lower limb volume derived from six truncated cone formulas in 32 young male and 15 adult females [24]. Studies on the validation of this anthropometric protocol in athletes are still limited to male rugby players [25]. In addition, in a sample of male adult cadavers mid-thigh girth was the best predictor of skeletal mass with a coefficient of correlation of 0.94 [9]. Therefore, the current study examines the validity of thigh volume (TV) estimated by anthropometry relative to estimates by DXA as the reference method in late adolescent female volleyball players. The analysis also considered a calibration of the anthropometric approach proposed by Jones and Pearson [24] by adding supplemental variables.

Methods

Study design and participants

The current cross-sectional study was part of a research project conducted in the Midlands of Portugal. Participants were recruited voluntarily from four competitive clubs covering three urban areas (Aveiro, Coimbra and Leiria). All volleyball players were from middle and high socio-economic status; considering parents educational

background [26]. Adolescents were students in elementary and secondary schools. A total of 54 female adolescent volleyball players were assessed. The following inclusion criteria were considered: (i) chronological age >14.0 years and <17.9 years; (ii) based on self-reported information reaching menarche >1 year (range: 1.5–6.4 years) before testing; (iii) having all data completed. The final sample of the current study was composed of 42 female volleyball players aged 14.0–17.9 years of European (Caucasian) ancestry.

Procedures

All research procedures were reviewed and approved by the Sports Science and Physical Education Faculty Scientific Committee of the University of Coimbra (CE/FCDEF-UC/00102014). Informed and formal written consent was acquired from all parents or legal guardians. During Easter breaks (i.e., 2-week period) of 2014 and 2015, coaches and athletes visited the laboratories in groups of 4–6 players during weekday afternoons. All measurements were taken in the same day. The anthropometric data was collected in standardized conditions by single and highly trained technician (MJCS), adopting recommended procedures [27]. DXA measurements were performed at the Department of Medical Imaging and Radiation Therapy at the School of Health and Technology of Coimbra. A single laboratory professional positioned the participants, performed the scans and executed the analysis according to the manufacturer’s manual.

Training history

Volleyball training years were obtained by individual interview at clubs and confirmed through the records at the Portuguese Volleyball Federation. Annual training volume for each player was daily recorded by the head coaches using standardized reporting forms of the research project. Players had ~3 training sessions per week of ~90 min-session⁻¹ and usually one game on Saturdays. Injuries and illnesses were accounted as nonattendances to training in the final annual training volume calculations.

Anthropometry

Stature (Harpender stadiometer, model 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, UK), body mass (Seca electronic scale, model 770, Hamburg, Germany) and two skinfolds (Lange caliper, Beta Technology, Ann Arbor, MI, USA) were measured. Anterior and posterior skinfold measurement was performed on the right side of the body, to the nearest 0.1 mm, at the same level as mid-thigh circumference. The posterior thigh skinfold is not previewed in the above-cited standardized procedures but was already adopted in previous studies dealing with

school children aged 10–13 years of both sexes [28, 29] and male adolescent rugby players [25]. Standing up, the participant places the right foot at the edge of the box with the knee bent at a right angle. The posterior skinfold site is then measured on the midline of the thigh with the technician kneeling and facing the left side of the participant.

Non-invasive estimation of thigh volume

Thigh volume estimated by anthropometry (TV-ANTH) of the right leg was determined from three circumferences and two partial lengths measured two times each and averaged for analysis. The technique was based on the procedures proposed by Jones and Pearson [24] in which the TV is fractioned into two portions, like two truncated cones: truncated cone 1 was determined from circumferences measured at the most proximal gluteal furrow and at one-third of the subischial height up from the tibial–femoral joint space; truncated cone 2 was similarly determined by using circumferences at the one-third of the subischial height up from the tibial–femoral joint space and at the transversal plan above the patella. Further details are provided in a clinical study [30]. In brief, volume was estimated from an equation derived from proximal (A_1) and distal (A_2) area sections that composed the truncated cones, and L is the length between the two transverse plans:

$$TV-ANTH = ([A_1 + A_2 + (A_1 \times A_2)]^{0.5}) \times \frac{1}{3} \times L \quad (1)$$

The areas A_1 and A_2 were derived from leg circumferences:

$$A = \frac{C^2}{4 \times \pi} \quad (2)$$

DXA

Whole-body DXA scans were performed with a Lunar DPX-PRO/NT/MD+ densitometer (Software Lunar Encore for Windows version 13.6, Waltham, MA, USA). Participants were positioned and examined according to the manufacturer's manual. Regional composition of the lower limbs was sectioned following the same anatomic landmarks used in the anthropometric protocol. To derive thigh volume (TV-DXA), thigh lean soft tissue and bone were summed to obtain FFM in kilograms. Fat mass (FM) was also derived in kilograms. TV-DXA was calculated as:

$$TV-DXA = \frac{FFM_{DXA} + FM_{DXA}}{1.1 \quad 0.9} \quad (3)$$

The 1.1 g·mL⁻¹ and the 0.9 g·mL⁻¹, represents the mean density for FFM and FM, respectively [31].

Data quality

An independent sample of 20 late adolescent athletes from several sports was evaluated in all anthropometric dimensions two times within one week by the same technician (MJCS). Technical error of measurement (TEM; [32]) for stature and body mass were 0.32 cm and 0.21 kg, respectively. Corresponding values for front and posterior thigh skinfolds were 0.91 mm. For circumferences, TEM were 0.84 cm for proximal, 0.50 cm mid-thigh and 0.50 cm for distal. For the two partial lengths, TEM were 0.62 cm and 0.44 cm. The obtained errors of measurers are within the range of errors of a variety of field surveys [32]. Test-retest of DXA scans in 10 individuals displayed a coefficient of variation of 0.8% and 1.6% for lean soft tissue and percent of FM, respectively.

Data analysis

Descriptive statistics for the total sample of female adolescent volleyball players were calculated and the Kolmogorov-Smirnov test was used to analyse the degree of normality. Log₁₀-transformations were applied to reduce nonuniformity of errors. The interrelationship between body mass and estimates of TV (TV-DXA and TV-ANTH) were examined using Pearson Correlation. Years of training, annual number of training sessions, chronological age, age at menarche, log₁₀ (stature), log₁₀ (body mass), log₁₀ (anterior thigh skinfold) and log₁₀ (posterior thigh skinfold), were included in the stepwise regression model as potential independent variables with log₁₀ (TV-DXA) as the dependent variable. To avoid collinearity a variance inflation factor < 10 and a tolerance > 0.10 was set [33]. Individual values of predicted TV were calculated by back-transformation of the values generated by the new model (TV-NM). The predicted residual sum of squares (PRESS) was used to validate the regression model [34]. Differences between estimated TV by the new predictive model and TV estimated by DXA were evaluated with paired-sample Student's *t*-tests. Agreement between anthropometric estimates (practical approach) and volume based on DXA was assessed using Deming regressions [35]. This regression method was adopted since both *x* and *y* variables are subject to error. Limits of agreement between TV-NM and TV-DXA were assessed with Bland-Altman plots [36]. Alpha level was set at 0.05. Data analyses were completed using IBM SPSS v.23 for Mac OS.

Results

Descriptives for training experience, chronological age, estimated age at menarche, stature, body mass and appendicular skinfolds are summarized in Table 1. Body mass and posterior thigh skinfold did not fit the assumptions of normal distribution; all non-normally distributed variables were log transformed. All volleyball players

Table 1 Descriptive statistics for the total sample of female adolescent volleyball players (n = 42) and test of normal distribution

	Range	Mean		SE	SD	Kolmogorov-Smirnov	
		Value	95% CI			Value	P-value
Training (years)	2-8	4.21	3.57-4.85	0.32	2.85	0.113	0.200
Training sessions (#)	30-129	92.5	85-100	3.7	24.1	0.132	0.062
CA (years)	14.00-18.76	16.76	16.40-17.12	0.18	1.16	0.091	0.200
Age at menarche (years)	10.75-15.67	12.72	12.44-13.00	0.14	0.90	0.097	0.200
CA - age at menarche (years)	1.46-6.39	4.04	3.67-4.41	0.18	4.41	0.088	0.200
Stature (cm)	154.8-175.6	165.2	163.5-166.9	0.9	5.5	0.093	0.200
Body mass (kg)	47.5-88.1	61.1	58.2-64.0	1.4	9.4	0.145	0.026
Skinfold thigh anterior (mm)	14-38	24.7	23.0-26.4	0.8	5.4	0.111	0.200
Skinfold thigh posterior (mm)	17-42	26.3	24.2-28.5	1.1	6.9	0.148	0.022

CA chronological age, CI confidence intervals for the mean, SE standard error of the mean, SD standard deviation

attained menarche (ranged 10.8–15.7 years) and compete in organized and competitive volleyball (2-8 years). Mean statures and body masses (\pm SD) were 165.2 \pm 0.9 cm and 61.1 \pm 1.4 kg, respectively.

TV estimates derived from anthropometry and by DXA are summarized in Table 2. The means and standard deviation for TV-ANTH and TV-DXA were 4.91 \pm 1.03 L and 5.55 \pm 0.90 L, respectively. TV-ANTH did not fit the assumptions of normal distribution and were subsequently log-transformed.

Relationships between body mass and estimates of TV (TV-ANTH; TV-DXA) are illustrated in Fig. 1. The correlation coefficients were 0.935 (95%CI: 0.882–0.965; 87.4% of variance in TV-DXA explained by body mass) and 0.815 (95%CI: 0.680–0.897; 66.5% of variance in TV-ANTH explained by body mass). The concurrent assessments of TV (TV-ANTH; TV-DXA) presented a large correlation (0.814; 95%CI: 0.678–0.896) with 66.37% of overlapping variance (Fig. 2). The slope coefficient was 0.850 (95%CI: 0.656–1.04) and was not considered different from the unit. The intercept was 1.620 (0.408–2.350) and was not significantly different from zero. A slope coefficient different from one reflects a proportional error while a systematic error corresponds to an intercept different from zero [35, 37, 38].

The regression model for TV prediction is given in Table 3. The correlation between the TV-NM including \log_{10} (body mass), \log_{10} (TV-ANTH) with TV-DXA was

0.922 (85.1% of overlapping variance). The prediction equation was as follows:

$$\begin{aligned} \text{TV-NM} = & -0.899 + 0.876 \\ & \times \log_{10}(\text{body mass}) + 0.113 \\ & \times \log_{10}(\text{TV-ANTH}) \end{aligned} \quad (4)$$

PRESS statistics were used to internally validate the TV-NM as presented in Table 3. The R^2 (0.838) was higher than R^2 presented in Fig. 2 (0.663) and SEE in Table 3 was low (0.027) which emphasized the accuracy of the model.

Deming regression analysis determined a nearly perfect correlation between TV-DXA and the TV-NM proposed in the current study for female adolescent volleyball: $R = 0.934$ and a $S_{y-x} = 0.325$ (Fig. 3a). As reported in Fig. 3a, the intercept (-0.273) and slope (1.050) of the equation did not significantly differ from zero and one, respectively, rejecting the possibility of systematic or proportional bias. The measurement differences (error) relative to magnitude of TV were homoscedastic ($r = 0.128$; 95%CI: -0.183 to +0.416; Fig. 3b) with no significant mean differences between TV estimates by the ANTH-based NM and by DXA (Table 4).

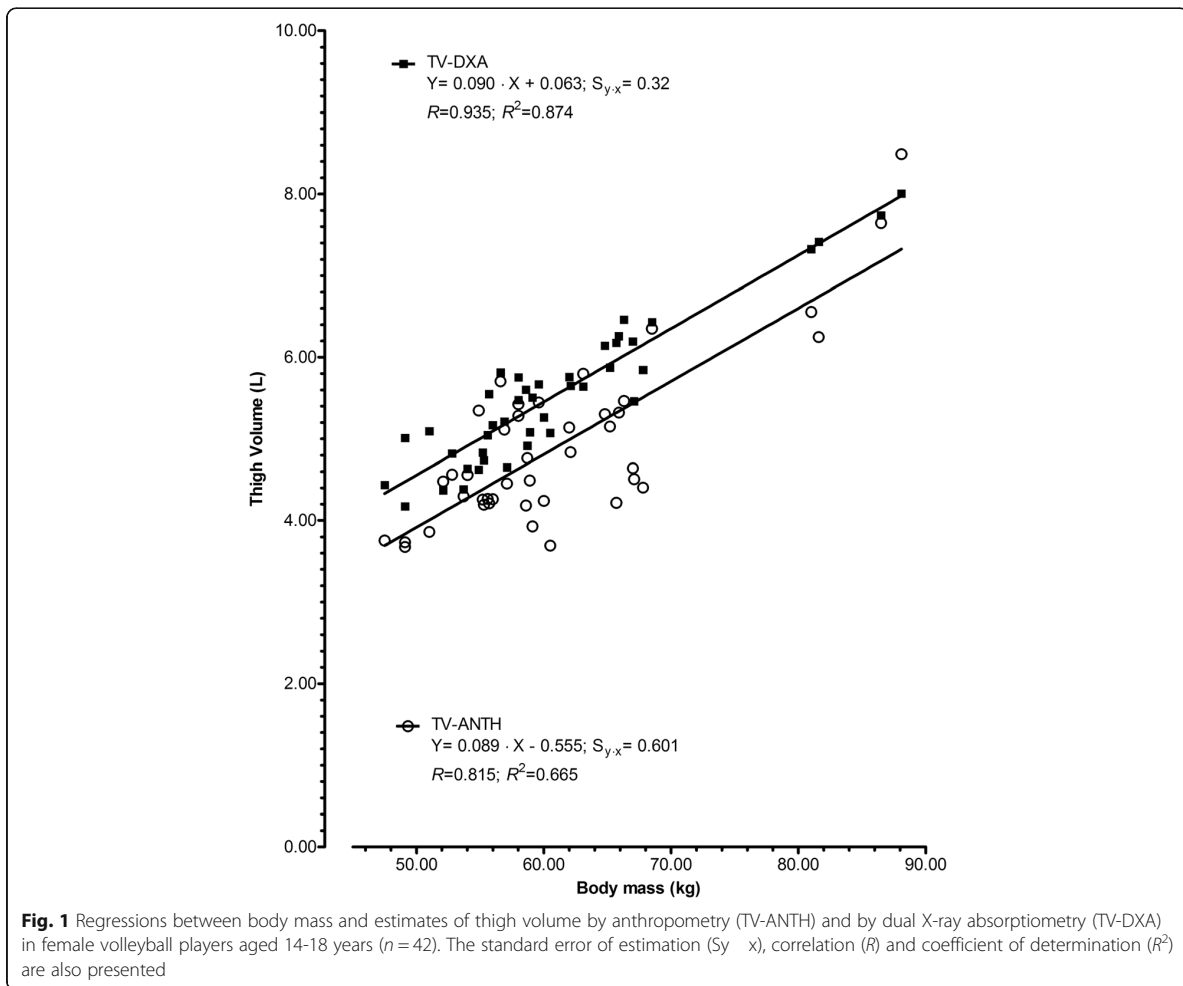
Discussion

The present study developed and cross-validated an anthropometric equation for estimating TV based on DXA assessments in female late adolescent athletes. Estimated

Table 2 Thigh volume estimates by anthropometry and by dual X-ray absorptiometry in female adolescent volleyball players (n = 42) and test of normal distribution

	Range	Mean		SE	SD	Kolmogorov-Smirnov	
		Value	95% CI			Value	P-value
TV-ANTH (L)	3.67-8.49	4.91	4.59-5.23	0.16	1.03	0.157	0.011
TV-DXA (L)	4.17-8.00	5.55	5.27-5.83	0.14	0.90	0.123	0.113

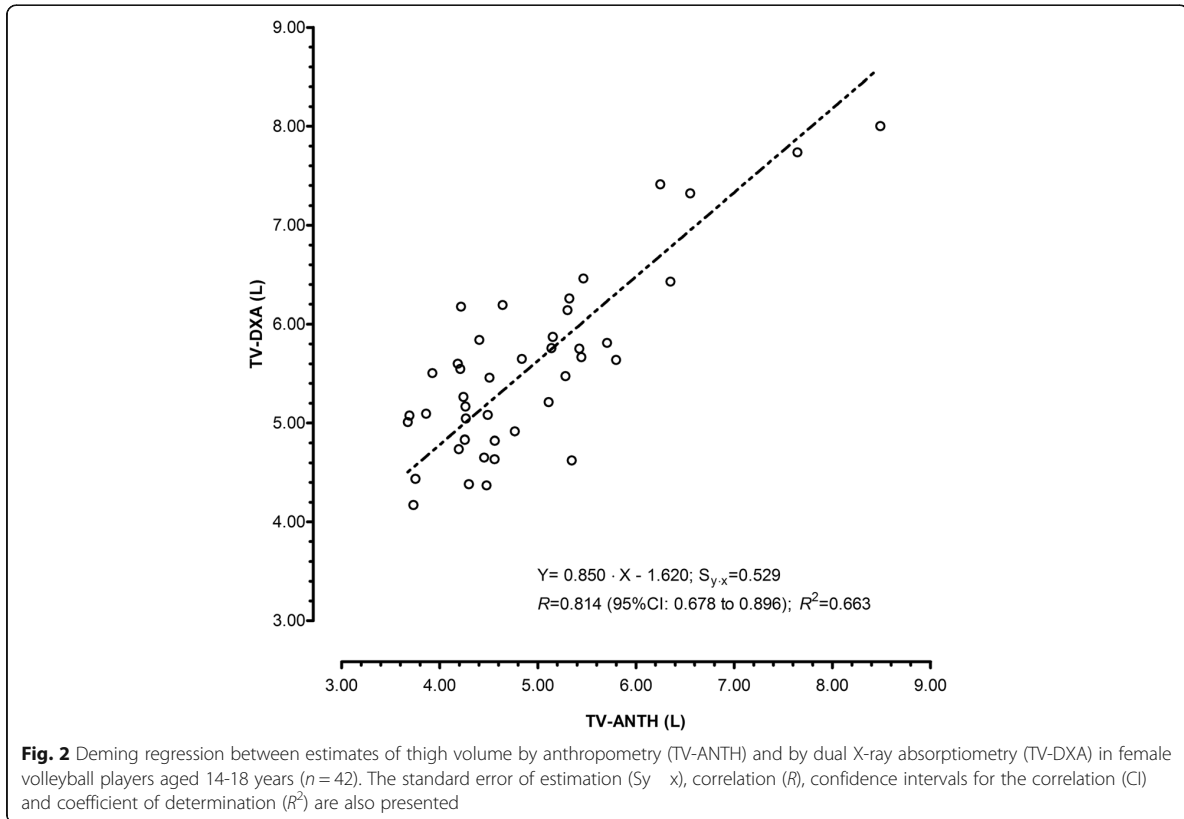
TV-ANTH thigh volume estimated by anthropometry, TV-DXA thigh volume estimated by dual X-ray absorptiometry, CI confidence intervals for the mean, SE standard error of the mean, SD standard deviation



TV using the anthropometric equation [24] with adjustments for body mass among predictors increased the precision of the estimates relative to assessments by DXA which is considered a non-invasive imaging and reference technique. The data of the present study suggested that TV tended to be underestimated when derived from anthropometric models that combine the sum of two truncated cones compared to measurements derived from DXA assessments, although concurrent estimates were highly correlated ($R = 0.814$; 95%CI: 0.678–0.896). Among the limitations of this studies is the fact that DXA assumes constant density for all its components (i.e., skeletal mass tissue = $1.04 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$) and small errors into DXA estimates of skeletal mass may be introduced by the variability in actual skeletal mass density [12, 39]. Also, for the conversion of values of mass to volume, constant densities of FFM and FM values are used. It is known that actual densities may vary

between different genders, ethnic groups and according to age [40].

Anthropometric equations for the prediction of total body lean soft tissue were developed in a large sample of nonobese and obese adults using MRI as the reference method [13]. These models are based in several assumptions: (i) lean soft tissue is theoretically in the shape of a cylinder; (ii) skinfolds can be used to correct measures of limb circumferences and provide reliable estimates of limb lean soft tissue circumferences; and, (iii) that the squared value of appendicular limb lean soft tissue circumferences generate estimates of lean soft tissue area. Though the accuracy of these models in predicting skeletal mass in adults exists [10], evidence of its applicability in young athletes is still lacking. In the current study, the difference between total body mass derived from scale mass and DXA was less than 1%. This value is within the range of under- or overestimation of whole-body FM using DXA due to extracellular fluid variations



[41]. DXA-determined appendicular lean soft tissue has been validated against CT [31, 42]. This method was proposed as a reference imaging technique for the evaluation of limb lean soft tissue [10–13]. The method enables the identification of particular regions of interest and separates respective masses into bone mineral content plus two tissue compartments: fat and lean soft tissue [43].

The ordinary least squares method is generally used to obtain the slope and intercept of linearly related data. The technique presumes that the comparative method values are without error [44]. However, when random error affects both y and x values the least squares method may not be appropriate. Deming regression is a promising alternative

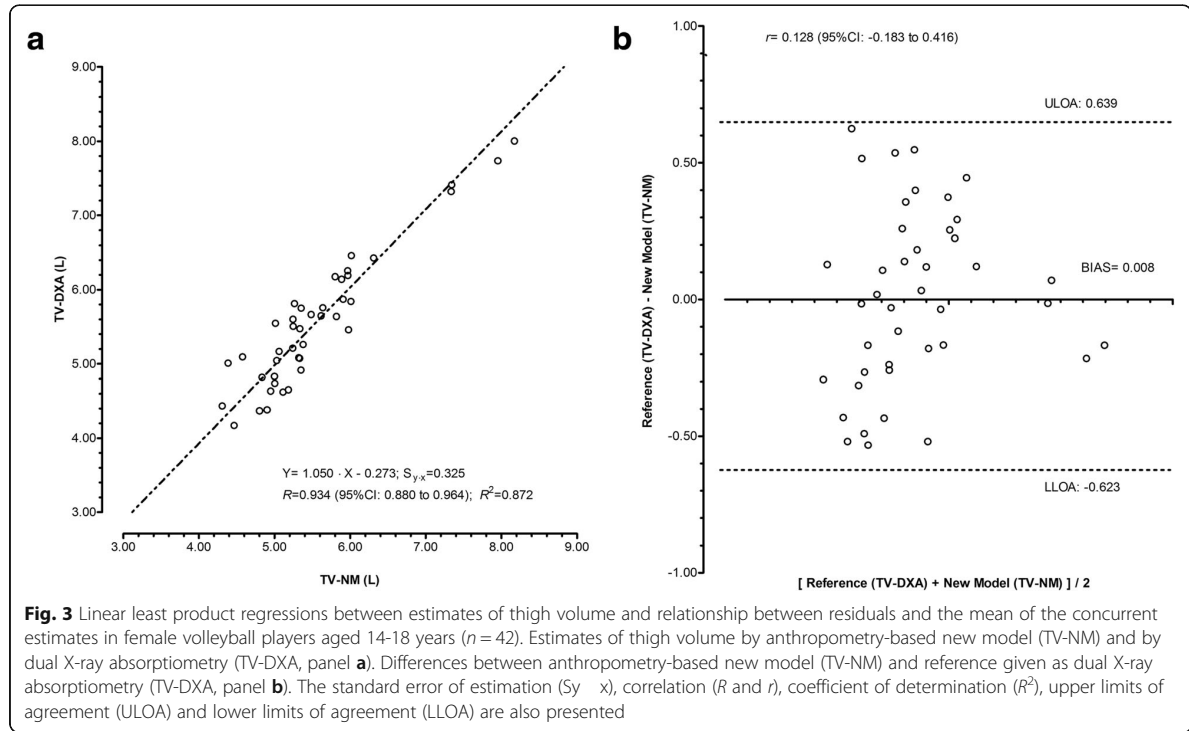
because accommodates both y and x errors [25, 29, 45].

The sample of the current study was smaller than the 268 participants used in a previous study [6] but comparable with the study of rugby players aged 19.9 ± 2.2 years ($n = 41$) [25]. An appropriate participant-to-variable ratio is considered a relevant aspect while using multiple regressions, and it is recommended to maintain the critical proportion higher than 5:1 and preferably 20:1 [46]. In the current study, the baseline ratio was 5:1 with eight candidate predictors. The final model was based on a ratio of 21:1 with two significant predictors obtained from a sample of 42 female volleyball players. The PRESS method was used to avoid data splitting [34] which is a well-known method where the complete

Table 3 Regression model to obtain log-transformed estimates of thigh volume in female adolescent volleyball players and internal cross-validation analysis for the new model using PRESS

X_i	Intercept and predictors						Model summary				PRESS	
	β	SEE	P-value	Partial-r	VIF	1/VIF	R	SEE	R^2	R^2_{adj}	R^2	SEE
Intercept	-0.899	0.153	<0.001				0.922	0.027	0.851	0.843	0.838	0.027
\log_{10} (body mass)	0.876	0.108	<0.001	0.810								
\log_{10} (TV-ANTH)	0.113	0.081	0.172	0.138	0.386	2.589						

TV-ANTH thigh volume estimated by anthropometry, β , beta unstandardized, SEE standard error or estimate, r and R : correlation, VIF variance inflation factor, 1/VIF tolerance, R^2 coefficient of determination, R^2_{adj} : adjusted coefficient of determination



sample data are typically split into a fitting sample and a validation sample [37, 38]. The term PRESS corresponds to an acronym for predicted residual sum of squares. After obtaining a candidate model using multiple linear regressions analysis, the PRESS technique involves different prediction equations to obtain independent residuals since each case is left out of the respective model for estimation purposes.

A previous study with Portuguese adolescents athletes [6] was the first to present anthropometric-based equations to estimate limbs lean soft tissue with DXA as the reference method. Body mass was the strongest predictor of DXA-measured appendicular lean soft tissue, explaining 83% of the variation in appendicular lean soft tissue, while sex and stature contributed with 5% and 3% of additional explained variance. Chronological age only added 0.4% of the explained inter-individual variability. Among 65 boys and girls below stage 5 of sexual maturation, it was demonstrated that the stages of sexual

maturation failed to contribute in the prediction of skeletal muscle after including body weight [11]. However, it should be noted that sexual maturation was determined by combining self-assessed stages of breast and pubic hair development, which could lead to misclassification between genders [40]. It is believed that appendicular fat tissue and appendicular lean soft tissue may be differently affected by inter-individual variability of biological maturation [47], since, on average, boys linearly increase muscle mass whereas girls attain a plateau in muscle mass and accumulate larger amounts of fat mass, particularly in the extremities. A recent study in healthy circumpubertal boys [29], used predicted mature (adult) stature as a non-invasive maturity status and identified a positive and significant contribution of this variable to explain inter-individual differences in lower limbs lean soft tissue. Additional studies are necessary to check for the adequacy of sex-specific models, while also using a valid assessment of biological maturity.

Table 4 Thigh volume estimates by the anthropometry-based new model and by dual energy X-ray absorptiometry in female adolescent volleyball players, mean differences between methods and paired *t*-test ($n = 42$)

	Methods				Differences			Paired <i>t</i> -test	
	TV-DXA		TV-NM		Mean	95%CI	SD	$t_{(df=41)}$	P-value
	Mean	SD	Mean	SD					
Thigh volume (L)	5.545	0.858	5.553	0.899	-0.899	-0.108–0.092	0.322	0.160	0.873

TV-DXA thigh volume estimated by dual X-ray absorptiometry, TV-NM thigh volume estimated by anthropometry-based new model, SD standard deviation, CI confidence intervals for the mean differences

The allometric modelling procedures of the present study did not identify a significant contribution of years of training, annual number training sessions, chronological age, age at menarche, stature or posterior thigh skinfold to predict TV. Years of training are strongly correlated with chronological age and both variables presented a small range of variability and normal distribution. On the other hand, annual number of training sessions does not represent specify and intensity of the training activities. Similarly to previous studies [6, 25, 28, 29], body mass ($R = 0.810$) explained most of the variance of the TV-NM proposed in the current study for female adolescent volleyball players. The estimated TV using the anthropometric equation [24] added little explained variance ($R = 0.138$). Other approaches to estimate appendicular volume without the inclusion of TV-ANTH should be explored.

The available literature was lacking in non-invasive models to estimate appendicular size descriptors for female adolescent athletes. Estimates of lower limbs soft tissue or volume [16–18] are highly and positively associated with a multiplicity of ergometer and fitness assessments. Also, they have been shown to be more suitable scaling denominators than body mass or FFM to predict peak oxygen uptake in adolescent (14.5–16.5 years) male roller hockey players [16] and to predict outputs resulting from short-term power assessments in adolescent (14.0–16.0 years) male basketball players [5]. The equation derived from the present study is a useful analytical tool for the critical interpretation of variation of TV within and between individuals and presented similar internal validity to other available studies for similar proposes [6, 25, 28, 29].

It was possible to obtain an acceptable and nonbiased method to accurately predict thigh volume in female volleyball players aged 14–18 years. Strengths of the present study include the analysis of agreement between thigh volume predicted by a new anthropometry based model and estimated with DXA; which indicated no proportional bias between methods (see Fig. 2). Also, conclusions of the present study cumulatively emerged from the PRESS statistics combined with the analysis of mean differences and also from the plot of individual differences by mean scores of the measurements defining upper and lower limits of agreement. A substantial percentage of variance was explained by the new predictive model ($R^2 = 0.872$) and body mass was a relevant and additional predictor. The current investigation is not without limitations. The study was limited to a relatively small sample of 42 female volleyball players from a narrow age range. Moreover, prediction equations tend to be population specific and additional validation studies in female adolescent volleyball players are required to validate this model.

Conclusions

The current study clearly identified a new anthropometric-based model to estimate TV in research dealing with female late adolescent athletes. The model is based on procedures proposed by Jones and Pearson [24] with the addition of simple body mass measures. It was internally cross-validated with suitable statistical procedures, ensuring its applicability to similar samples. This equation represents an accurate and practical alternative to quantify TV in late adolescent female volleyball players.

Additional file

Additional file 1: Dataset used in this Research. YT: years of training; ANS: annual number of training sessions; ANG: annual number of games; BM: body mass; H: stature; SKTA: anterior mid-thigh skinfold; SKTP: posterior mid-thigh skinfold; PTL: proximal thigh length; DTL: distal thigh length; TTL: total thigh length; CGF: circumference at the most proximal gluteal furrow (highest possible horizontal circumference); CMT: circumference at the one-third of the subschial height up from the tibial–femoral joint space; CMTc: circumference at the one-third of the subschial height up from the tibial–femoral joint space corrected for subcutaneous adipose tissue thickness; CDT: circumference at the minimum circumference above the patella (distal thigh); TVANTH: thigh volume based on Jones and Pearson; TVANTHFF: fat free volume in the thigh calculated based on Jones and Pearson; TVANTHF: fat volume in the thigh based on Jones and Pearson; DXATV: thigh volume estimated by DXA; DXATVFF: fat free volume in the thigh estimated by DXA; DXATVF: fat volume in the thigh estimated by DXA. (XLSX 21 kb)

Abbreviations

A: Area sections; C: Circumferences; CT: Computed axial tomography; DXA: Dual-energy X-ray absorptiometry; FFM: Fat-free mass; FM: Fat mass; MRI: Magnetic resonance imaging; PRESS: Predicted residual sum of squares; TEM: Technical errors of measurement; TV: Thigh volume; TV-ANTH: Thigh volume estimated by anthropometry; TV-DXA: Thigh volume estimated by DXA; TV-NM: Thigh volume estimated by anthropometry-based new model

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the early contribution of Filipe Simões (†2013). Our thanks also go to Alexandra Silva, Nuno Amado and Shirley Souza for the input in the collection of the data.

Funding

Jvds (SFRH/BPD/100470/2014) and JPD (SFRH/BD/101083/2014) were partially supported by FCT. No other current funding sources for this study. The funder played no role in the design, collection, analysis or interpretation of the data, nor in the preparation of the manuscript or decision to submit the manuscript for publication.

Availability of data and materials

The dataset supporting the conclusions of this article is fully available without restriction and is included in the additional file 1.

Authors' contributions

Conceived and designed the experiments: OMT DAM JMC DC MJCS. Performed the experiments: OMT JPD MJCS. Analyzed the data: Jvds JPD LAG RAF LBS MJCS. Data interpretation: Jvds JPD SCP LAG RAF DAM JMC LBS MJCS. Wrote the paper: OMT Jvds JPD DC MJCS. Revised manuscript content: SCP LAG RAF DAM JMC LBS. Approved final version of manuscript: OMT Jvds JPD SCP LAG RAF DAM JMC LBS DC MJCS.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interest.

Consent for publication

Not applicable.

Ethics approval and consent to participate

The study was approved the Sports Science and Physical Education Faculty Scientific Committee of the University of Coimbra (CE/FCDEF-UC/00102014) and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki for human studies by the World Medical Association. Informed and formal written consent was acquired from all parents or legal guardians.

Author details

¹UID/DTP/03213/2016, Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Pavilhão III, 3040-156 Coimbra, Portugal. ²Department of Medical Imaging and Radiation Therapy, School of Health and Technology (SFRH/BPD/100470/2014), Lisbon, Portugal. ³Faculty of Physical Education and Sport, Lusófona University of Humanities and Technologies, Lisbon, Portugal. ⁴Portuguese Foundation for Science and Technology (SFRH/BPD/100470/2014), Lisbon, Portugal. ⁵Research Centre in Sport and Physical Activity, Maia Institute of Higher Education, Maia, Portugal. ⁶Laboratory of Investigation in Exercise (LIVE), Department of Physical Education, São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Presidente Prudente, Brazil. ⁷Department of Sport Sciences, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal. ⁸Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal. ⁹School of Sport, Exercise and Health Sciences, Loughborough University, Loughborough, UK. ¹⁰Laboratory of Metabolic Adaptations to Exercise in Physiological and Pathological Conditions, Clermont Auvergne University, Blaise Pascal University, Clermont-Ferrand, France. ¹¹School of Exercise Science, Faculty of Health, Australian Catholic University, Melbourne, VIC, Australia. ¹²Research Centre in Human Nutrition, Auvergne, Clermont-Ferrand, France.

Received: 28 March 2016 Accepted: 15 November 2016

Published online: 24 November 2016

References

- Wang ZM, Ma R, Pierson RN, Heymsfield SB. Five-level model: reconstruction of body weight at atomic, molecular, cellular, and tissue-system levels from neutron activation analysis. *Basic Life Sci.* 1993;60:125–8.
- Eston R, Hawes M, Martin A, Reilly T. Human Body composition. In: Eston R, Reilly T, editors. *Kinanthropometry – tests, procedures and data.* Abingdon, Oxon: Routledge; 2009.
- Martin AD, Drinkwater DT. Variability in the measures of body fat: Assumptions or technique? *Sports Med.* 1991;11:277–88.
- Coelho-e-Silva MJ, Figueiredo AJ, Carvalho HM, Malina RM. Functional capacities and sport-specific skills of 14-to 15-year-old male basketball players: Size and maturity effects. *Eur J Sport Sci.* 2008;8(5):277–85.
- Carvalho HM, Coelho-e-Silva MJ, Figueiredo AJ, Gonçalves CE, Philippaerts RM, Castagna C, et al. Predictors of maximal short-term power outputs in basketball players 14–16 years. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(5):789–96.
- Quiterio AL, Carnero EA, Silva AM, Bright BC, Sardinha LB. Anthropometric models to predict appendicular lean soft tissue in adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(4):828–36.
- Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol.* 1921;4: 223–30.
- Heymsfield SB, McManus C, Smith J, Stevens V, Nixon DW. Anthropometric measurement of muscle mass: revised equations for calculating bone-free arm muscle area. *Am J Clin Nutr.* 1982;36(4):680–90.
- Martin AD, Spentz LF, Drinkwater DT, Clarys JP. Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(5):729–33.
- Kim J, Heshka S, Gallagher D, Kotler DP, Mayer L, Albu J, et al. Intermuscular adipose tissue-free skeletal muscle mass: estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in adults. *J Appl Physiol.* (1985). 2004;97(2):655–60.
- Kim J, Shen W, Gallagher D, Jones A, Wang Z, Wang J, et al. Total-body skeletal muscle mass: estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in children and adolescents. *Am J Clin Nutr.* 2006;84(5):1014–20.
- Kim J, Wang Z, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Gallagher D. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *Am J Clin Nutr.* 2002;76(2):378–83.
- Lee RC, Wang Z, Heo M, Ross R, Janssen I, Heymsfield SB. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr.* 2000;72(3):796–803.
- Davies CT, Barnes C, Godfrey S. Body composition and maximal exercise performance in children. *Hum Biol.* 1972;44(2):195–214.
- Docherty D, Gaul CA. Relationship of body size, physique, and composition to physical performance in young boys and girls. *Int J Sports Med.* 1991; 12(6):525–32.
- Valente-Dos-Santos J, Sherar L, Coelho-e-Silva MJ, Pereira JR, Vaz V, Cupido-Dos-Santos A, et al. Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey players under 17 years old. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2013;38(4):390–5.
- Tolfrey K, Barker A, Thom JM, Morse CI, Narici MV, Batterham AM. Scaling of maximal oxygen uptake by lower leg muscle volume in boys and men. *J Appl Physiol.* (1985). 2006;100(6):1851–6.
- Welsman JR, Armstrong N, Kirby BJ, Winsley RJ, Parsons G, Sharpe P. Exercise performance and magnetic resonance imaging-determined thigh muscle volume in children. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;76(1):92–7.
- Drinkwater DT, Martin AD, Ross WD, Clarys JP. Validation by cadaver dissection of Matiegka's equations for the anthropometric estimation of anatomical body composition in adult humans. In: Day JA, editor. *The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings.* Champaign, Illinois: Perspectives in Kinanthropometry; 1984.
- Lee SY, Gallagher D. Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2008;11(5):566–72.
- Seabolt LA, Welch EB, Silver HJ. Imaging methods for analyzing body composition in human obesity and cardiometabolic disease. *Ann N Y Acad Sci.* 2015;1353:41–59.
- Prado CM, Heymsfield SB. Lean tissue imaging: a new era for nutritional assessment and intervention. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2014;38(8):940–53.
- Albanese CV, Diessel E, Genant HK. Clinical applications of body composition measurements using DXA. *J Clin Densitom.* 2003;6(2):75–85.
- Jones PR, Pearson J. Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. *J Physiol.* 1969;204(2):63P–6P.
- Carvalho HM, Coelho-e-Silva MJ, Figueiredo AJ, Tavares OM, Ferry B, Hidalgo-Hermann I, et al. Agreement between anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry assessments of lower-limb volumes and composition estimates in youth-club rugby athletes. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012;37:463–71.
- Machado-Rodrigues AM, Coelho-e-Silva MJ, Mota J, Cumming SP, Riddoch C, Malina RM. Correlates of aerobic fitness in urban and rural Portuguese adolescents. *Ann Hum Biol.* 2011;38(4):479–84.
- Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric standardization reference manual.* Champaign, Illinois: Human Kinetics; 1988.
- Coelho-e-Silva MJ, Malina RM, Simoes F, Valente-Dos-Santos J, Martins RA, Vaz V, et al. Determination of thigh volume in youth with anthropometry and DXA: agreement between estimates. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(5):527–33.
- Valente-dos-Santos J, Coelho-e-Silva MJ, Machado-Rodrigues AM, Elferink-Gemser MT, Malina RM, Petroski EL, et al. Prediction equation for lower limbs lean soft tissue in circumpubertal boys using anthropometry and biological maturation. *PLoS ONE.* 2014;9(9):e107219.
- Villaca DS, Lerario MC, dal Corso S, Napolis L, de Albuquerque AL, Lazaretti-Castro M, et al. Clinical value of anthropometric estimates of leg lean volume in nutritionally depleted and non-depleted patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Br J Nutr.* 2008;100(2):380–6.
- Visser M, Fuerst T, Lang T, Salamone L, Harris TB. Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. Health, aging, and body composition study-dual-energy x-ray absorptiometry and body composition working group. *J Appl Physiol.* 1999;87:1513–20.
- Malina RM. Anthropometry. In: Maud PJ, Foster C, editors. *Physiological assessment of human fitness.* Champaign, Illinois: Human Kinetics; 1995. p. 205–19.
- Slinker BK, Glantz SA. Multiple regression for physiological data analysis: the problem of multicollinearity. *Am J Physiol.* 1985;249(1Pt2):R1–R12.
- Holiday DB, Ballard JE, McKeown BC. PRESS-related statistics: regression tools for cross-validation and case diagnostics. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(4):612–20.
- Ricker WE. Linear regressions in fishery research. *J Fish Res Board Can.* 1973;30:409–34.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307–10.
- Snee RD. Validation of regression models: methods and examples. *Technometrics.* 1977;19:415–28.

38. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12(3):175–81.
39. Snyder WS, Cook MJ, Nasset ES, Karhansen LR, Howells GP, Tipton IH. Report of the task group on reference men. Oxford, United Kingdom: Pergamon Press; 1975.
40. Lohman TG. Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exerc Sport Sci Rev.* 1986;14:325–57.
41. Pietrobelli A, Formica C, Wang Z, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am J Physiol.* 1996;271:E941–51.
42. Wang ZM, Visser M, Ma R, Baumgartner RN, Kotler D, Gallagher D, et al. Skeletal muscle mass: evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J Appl Physiol* (1985). 1996;80(3):824–31.
43. Shih R, Wang Z, Heo M, Wang W, Heymsfield SB. Lower limb skeletal muscle mass: development of dual-energy X-ray absorptiometry prediction model. *J Appl Physiol* (1985). 2000;89(4):1380–6.
44. Martin RF. General deming regression for estimating systematic bias and its confidence interval in method-comparison studies. *Clin Chem.* 2000;46(1):100–4.
45. Ludbrook J. Comparing methods of measurements. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 1997;24(2):193–203.
46. Vincent WJ. *Statistics in Kinesiology.* Champaign, Illinois: Human Kinetics; 2005.
47. Malina RM, Bar-Or O, Bouchard C. *Growth maturation and physical activity.* Champaign, Illinois: Human Kinetics; 2004.

Submit your next manuscript to BioMed Central
and we will help you at every step:

- We accept pre-submission inquiries
- Our selector tool helps you to find the most relevant journal
- We provide round the clock customer support
- Convenient online submission
- Thorough peer review
- Inclusion in PubMed and all major indexing services
- Maximum visibility for your research

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit



RESEARCH PAPER

Allometric modelling of peak oxygen uptake in male soccer players of 8–18 years of age

João Valente-dos-Santos¹, Manuel J. Coelho-e-Silva¹, Óscar M. Tavares², João Brito³, André Seabra⁴, António Rebelo⁵, Lauren B. Sherar⁶, Marije T. Elferink-Gemser^{7,8}, and Robert M. Malina^{9,10}

¹Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Coimbra, Coimbra, Portugal, ²School of Health Technology, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra, Portugal, ³National Sports Medicine Programme, Excellence in Football Project, ASPETAR Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Programme, Doha, Qatar, ⁴Research Centre in Physical Activity, Health and Leisure (CIAFEL), Faculty of Sport, University of Porto, Porto, Portugal, ⁵Center of Research, Education, Innovation and Intervention in Sport (CIFIID), Faculty of Sport, University of Porto, Porto, Portugal, ⁶School of Sport, Exercise and Health Sciences, Loughborough University, Loughborough, Leicestershire, UK, ⁷Center for Human Movement Sciences, University Medical Center Groningen, University of Groningen, Groningen, The Netherlands, ⁸Institute for Studies in Sports and Exercise, HAN University of Applied Sciences, Nijmegen, The Netherlands, ⁹Department of Kinesiology and Health Education, University of Texas at Austin, Austin, TX, USA, and ¹⁰Department of Kinesiology, Tarleton State University, Stephenville, TX, USA

Abstract

Background: Peak oxygen uptake (VO_{2peak}) is routinely scaled as mL O₂ per kilogram body mass despite theoretical and statistical limitations of using ratios.

Aim: To examine the contribution of maturity status and body size descriptors to age-associated inter-individual variability in VO_{2peak} and to present static allometric models to normalize VO_{2peak} in male youth soccer players.

Subjects and methods: Total body and estimates of total and regional lean mass were measured with dual energy X-ray absorptiometry in a cross-sectional sample of Portuguese male soccer players. The sample was divided into three age groups for analysis: 8–12 years, 13–15 years and 16–18 years. VO_{2peak} was estimated using an incremental maximal exercise test on a motorized treadmill. Static allometric models were used to normalize VO_{2peak} .

Results: The independent variables with the best statistical fit explained 72% in the younger group (lean body mass: $k = 1.07$), 52% in mid-adolescent players (lean body mass: $k = 0.93$) and 31% in the older group (body mass: $k = 0.51$) of variance in VO_{2peak} . The inclusion of the exponential term pubertal status marginally increased the explained variance in VO_{2peak} (adjusted $R^2 = 36$ –75%) and provided statistical adjustments to the size descriptors coefficients.

Conclusion: The allometric coefficients and exponents evidenced the varying inter-relationship among size descriptors and maturity status with aerobic fitness from early to late-adolescence. Lean body mass, lean lower limbs mass and body mass combined with pubertal status explain most of the inter-individual variability in VO_{2peak} among youth soccer players.

Keywords

Aerobic fitness, body composition, growth, static allometry, youth athletes

History

Received 5 April 2013

Revised 7 April 2014

Accepted 28 May 2014

Published online 8 October 2014

Introduction

In children and adolescents, VO_{2peak} increases as a function of body size, regardless of engagement in regular physical training (Armstrong & Welsman, 1994; Malina et al., 2004). Increments in absolute VO_{2peak} in adolescents are strongly correlated with increases in body mass which, among other factors, are connected to growth-related changes in lungs, heart and skeletal muscle mass (Rowland, 2005). Similar to left ventricular mass and cardiac output (Daniels et al., 1995), VO_{2peak} is strongly determined by the demands of metabolically active tissues (Rowland, 2005). Even though stature is

strongly correlated with lean body mass, the relationship is not perfect and may be a biased surrogate.

In boys, cross-sectional and longitudinal data for VO_{2peak} show an increase in VO_{2peak} with chronological age from 8–16 years, with an accelerated increase after 10 years of age (Malina et al., 2004). Longitudinal data shows that adolescent maximal growth in VO_{2peak} overlaps with the timing of peak height velocity (Geithner et al., 2004; Mirwald & Bailey, 1986). Although it should be noted that the variation in estimated parameters of VO_{2peak} may be related to sampling, testing protocols, equipment, analytical procedures and, in the case of longitudinal studies, intervals between observations and age at baseline (Malina et al., 2004). In addition, interpretation of VO_{2peak} is confounded by variation in body size (Welsman et al., 1996).

The adoption of ratios to obtain an output of peak oxygen uptake per unit of body mass or fat-free mass (i.e. mL/kg/min)

Correspondence: Manuel J. Coelho-e-Silva, Universidade de Coimbra, Estádio Universitário, Pavilhão III, 3040-156 Coimbra, Portugal. Tel: + 351 239 802770. E-mail: mjcesilva@hotmail.com

are often used in the literature, despite several theoretical and statistical limitations (Nevill et al., 1992), which have long been recognized (Malina, 2012; Tanner, 1949). Comparisons of VO_{2peak} using a ratio approach tend to penalize heavier athletes (Nevill et al., 2003) and proper scaling approaches are promoted, although not always adopted. Allometric modelling successfully accommodates the non-linear relationships between body size descriptors and VO_{2peak} and helps to minimize the impact of heteroscedastic (non-constant variance) errors, thus improving normalization (Nevill et al., 1992; Valente-Dos-Santos et al., 2013). In brief, allometry refers to the relationship between variables that are affected by proportional changes due to variation in body size and growth rate (Gunther, 1975). The concept has been used to study ontogenetic and phylogenetic changes in morphological, physiological or biochemical characteristics (Beunen et al., 1997). Ontogenetic allometry refers to differential growth in the individual (Balasekaran et al., 2005; Beunen et al., 1997) and is most often applied to longitudinal data (Gould, 1966). Static allometric coefficients (phylogenetic) reflect the dimensional relation between VO_{2peak} and size descriptors (Beunen et al., 1997), in conspecific individuals at the same developmental (ontogenetic) stage (Pelabon et al., 2013).

Cross-sectional studies in young people (Armstrong & Welsman, 1994; Welsman et al., 1996) produced exponents that are thought to reflect relationships between VO_{2peak} and size descriptors which approximate the theoretical range of geometric similarity (e.g. body mass to the power 0.67 (Schmidt-Nielsen, 1975) and elastic similarity (e.g. body mass to the power 0.75 (Kleiber & Rogers, 1961). However, other allometric coefficients are reported for VO_{2peak} : 1.01 (Cooper et al., 1984) and 0.90 (Cunha et al., 2011); which may be a consequence of varying experimental conditions (Rowland, 1998). In the meantime, the differential growth rates of size descriptors in relation to the developmental changes in this physiological parameter suggest that the same scaling exponent may not be generalized for all ages (Thomis et al., 2000).

Aerobic fitness depends on the oxidative mechanisms of exercising muscle (Armstrong & Welsman, 2001) and leg muscle mass has been indicated as a major contributor to the explained inter-individual variability in aerobic fitness (Nevill et al., 2004). Considering the extent to which the legs contribute to performance (Winter et al., 1991), it is surprising that scaling analyses which include an estimate of lean lower limbs mass in young athletes are lacking. The aim of the current study is to investigate the independent and interactive contributions of pubertal maturity status, stature, body mass, lean body mass and appendicular descriptors to the inter-individual variation in VO_{2peak} . A secondary aim is to present static allometric models to normalize VO_{2peak} in youth soccer players, using alternative descriptors and, in the case of lean body mass, concurrent estimates derived from anthropometry and dual energy X-ray absorptiometry (DXA).

Methods

Subjects

The sample included 81 healthy male soccer players aged 8–18 (14.98 ± 2.71) years of European (Caucasian) ancestry.

The players were members of eight soccer clubs from the metropolitan area of Porto (Portugal). All subjects were engaged in formal training (3–5 sessions/week; ~ 225 –450 min/week) and had competed for at least 3 years (usually 1–2 competitive games per week over a 10-month season). At the time of the measurements, no players suffered from chronic diseases or had been taking medication known to affect bone metabolism (e.g. corticosteroids) within 6 months of the testing date. The experimental protocol fitted the recommendations from the Declaration of Helsinki produced by the World Medical Association for research with humans. In addition, the procedures were approved by the Institutional Review Board of the Faculty of Sport, University of Porto. Participants were fully informed about the aims, experimental protocol and procedures and their parents provided written informed consent.

Age and maturity status

Chronological age was determined as the difference between date of birth and date of testing. The sample was divided into three age groups: 8.50–12.49 years, 12.50–15.49 years and 15.50–18.49 years to approximate early-, mid- and late-adolescence. Pubic hair (PH) development was assessed by an experienced physician using the criteria described by Tanner (1962).

Anthropometry

Anthropometry was performed by a single experienced observer following standard procedures (Lohman et al., 1988). Stature was measured to the nearest 0.1 cm with a Harpenden stadiometer (model 98.603, Holtain Ltd, Crosswell, UK) and body mass was measured to the nearest 0.1 kg using an electronic scale (Tanita, BC-418MA, Tanita Corporation of America, Arlington Heights, IL). The body mass index (BMI) was calculated and expressed as a BMI-for-age z-score (BMI_z) for a reference population (Kuczmarski et al., 2002). BMI_z has been suggested as a reasonable index of adiposity for youth (Freedman & Sherry, 2009). Lean body mass estimated from anthropometry was obtained from logarithmic transformed values of stature and body mass, BMI_z and chronological age using the protocol of Foster et al. (2012), as presented in Equation (1):

$$\begin{aligned} \ln \text{ lean body mass} = & -2.9585 + 0.8208 \cdot \ln \text{ stature} \\ & + 0.5607 \cdot \ln \text{ body mass} + 0.0000184 \cdot \text{body mass}^2 \\ & - 0.0159 \cdot \text{BMI}_z^2 + 0.0135 \cdot \text{chronological age} \end{aligned} \quad (1)$$

Dual energy X-ray absorptiometry

A Hologic QDR 4500A DXA scanner (Hologic Inc., Waltham, MA) with v.9.10 software was used to perform total body scans. DXA is an accepted measure of body composition (Ellis, 2000; Leahy et al., 2012). The procedure allows measurement of segmental composition: arms, legs and trunk. Daily calibration of the scanner was performed using a phantom spine containing composites of bone, fat and lean tissue. Participants were positioned on the scanner bed

according to manufacturer recommendations. The lower limbs on each image were sectioned as follows: all tissue distal to a line drawn through and perpendicular to the axis of the femoral neck and angled with the pelvic brim to the phalange tips. Lean lower limbs mass was obtained by adding the left and right legs. Mean variation between measured and reconstructed absolute whole-body mass with DXA software was 0.7%. Based on test–re-test in 15 individuals, the coefficients of variation for percentage body fat and lean body mass were 3.1% and 1.1%, respectively.

Peak aerobic fitness

VO_{2peak} was determined using an incremental running test on a motorized treadmill (Quasar-Med, Nussdorf, Germany) to voluntary exhaustion. Participants started at 2.2 m/s with subsequent increments of 0.2 m/s every minute until exhaustion. Expired oxygen (O_2) and carbon dioxide (CO_2) flow and concentrations were measured using an open circuit breath-by-breath automated gas analyser (Cortex, Metalyser, 3B, Leipzig, Germany). Calibration and ambient air measurements were conducted before each testing session according to the manufacturer guidelines. Before each test, flow and volume were calibrated using a 3-L capacity syringe (Hans Rudolph, Kansas City, MO). Gas analysers were calibrated using gases of known concentrations. Heart rate was measured every 5 seconds using a heart rate monitor (Vantage NV, Polar Electro, Kempele, Finland) connected to the gas-analyser system. Attainment of VO_{2peak} was confirmed if the athlete met at least two of the following criteria: respiratory exchange ratio ≥ 1.05 ; blood lactate concentrations >8 mmol/L; heart rate within 10% of the age predicted maximum; plateau in oxygen consumption despite increased exercise intensity or volitional exhaustion.

Statistical analyses

Descriptive statistics were calculated for all variables by age groups. Paired samples *t*-tests were used to compare lean body mass derived by DXA and anthropometry. Agreement between the reference method and the anthropometric estimate was assessed using Deming regression (i.e. least products regression method which accounts for the error of both *x* and *y* variables) and standard error of estimation ($S_{y \cdot x}$) (Ricker, 1973). Data were then visually inspected by plotting the errors against the DXA and anthropometric estimated means using the Bland–Altman plot (Bland & Altman, 2012). Heteroscedasticity was examined by calculating the correlation coefficients between the absolute differences and the corresponding mean, to check if errors were associated with the magnitude of the values. Finally, if measurement differences were normally distributed, reliability was assessed using the standard error of measurement and 95% limits of agreement (Bland & Altman, 2012).

Static (inter-individual) allometry coefficients were calculated for the natural logarithms of absolute VO_{2peak} (L/min) and natural logarithms of body descriptors (ln transformed stature, ln transformed body mass, ln transformed lean body mass, ln transformed and ln transformed lean lower limbs mass) in each age group. The static coefficients reflect the dimensional relationship between VO_{2peak} and body

descriptors in a given age group and are not identical with ontogenetic allometry coefficients which reflect proportional changes over time (Beunen et al., 1997). An initial allometric model was adopted, as follows:

$$y = a^k \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Values of *a* and *k* were derived from linear regressions of the logarithmic regression transformations in the form of:

$$\ln y = \ln a + k \cdot \ln x + \ln \varepsilon \quad (3)$$

where *y* was the dependent variable of VO_{2peak} (ln transformed VO_{2peak} , i.e. natural logarithms), *a* was the scaling constant and *k* the scaling exponent of the body descriptors. Residual VO_{2peak} (predicted – observed VO_{2peak}) were converted to absolute values and correlated with the predictor variables (i.e. ln transformed body descriptors) to examine the data for heteroscedasticity. Pearson correlations were also calculated between each allometric function and the respective scaling denominators, as a diagnostic test. Constant error variance (homoscedasticity), in the first case, and scaled power variables independency from size descriptors, in the second case, can be assumed if the correlations approach zero (Batterham et al., 1997; Nevill et al., 1992). Subsequently, a stepwise multiple linear regression based on proportional allometric models was used to fit the unknown parameters (Nevill & Holder, 1994). The models incorporated stage of PH (pubertal development: dummy coded) as an exponential term, in addition to body descriptors:

$$\begin{aligned} \ln(VO_{2peak}) = & k_1 \cdot \ln(\text{body descriptor}_1) \\ & + k_2 \cdot \ln(\text{body descriptor}_2) \\ & + a + b \cdot \text{PH stage}(\text{dummy coded}) + \ln \varepsilon \end{aligned} \quad (4)$$

A tolerance >0.10 and a variance inflation factor <10 were set to avoid collinearity between the explanatory variables (Slinker & Glantz, 1985). The incidence of high bivariate correlations between body composition indicators ($r = 0.97–0.99$) suggested unacceptable collinearity; separate regression models were thus used. The coefficient of determination (R^2) was reported to provide an indication of the explained variance. Magnitude of correlations was interpreted as follows: trivial ($r < 0.1$), small ($0.1 < r < 0.3$), moderate ($0.3 < r < 0.5$), large ($0.5 < r < 0.7$), very large ($0.7 < r < 0.9$) and nearly perfect ($r > 0.9$) (Hopkins et al., 2009). Statistical analyses were performed using IBM SPSS version 19.0 software (SPSS, Inc., IBM Company, Armonk, NY), GraphPad Prism version 5.03 software (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA) and MedCalc version 12.2.1 software (MedCalc, Ostend, Belgium). Alpha level was set at 0.05.

Results

Chronological age, training experience, maturity status, body size and composition and aerobic fitness of the soccer players by age group are described in Table 1. As expected, mean values of VO_{2peak} increased with age group. The majority of players aged 13–15 years (74%) were classified as late pubertal (PH4). In the older group (16–18 years) players tended to be classified as mature (PH5). In contrast, only six

Table 1. Descriptive statistics of soccer players by age group.

	8–12 years (n = 20)			13–15 years (n = 31)			16–18 years (n = 30)			All (n = 81)		
	Mean	SD	F	Mean	SD	F	Mean	SD	F	Mean	SD	F
Chronological age (years)	10.50	1.29		14.57	0.76		17.39	0.83		14.61	2.83	
Years of training (years)	1.7	1.2		4.7	2.3		7.1	2.8		4.8	3.1	
Stage of pubic hair												
PH 1			6 (30%)			–			–			6 (7%)
PH 2			9 (45%)			–			–			9 (11%)
PH 3			5 (25%)			8 (26%)			–			13 (16%)
PH 4			–			23 (74%)			10 (33%)			33 (41%)
PH 5			–			–			20 (67%)			20 (25%)
Stature (cm)	144.7	11.1		171.8	5.2		176.8	7.2		166.4	14.7	
Stature-for-age (z-score)	0.46	0.89		0.61	0.68		0.02	0.97		0.34	0.88	
Stature-for-age (percentile)	64	28		69	20		51	30		60	27	
Body mass (kg)	40.5	9.5		61.8	6.9		69.7	9.0		59.5	14.2	
Body mass-for-age (z-score)	0.71	0.82		0.66	0.48		0.29	0.68		0.54	0.67	
Body mass-for-age (percentile)	73	24		72	15		60	23		68	21	
BMI (kg/m ²)	19.1	2.4		20.9	1.7		22.7	2.2		21.1	2.5	
BMI-for-age (z-score)	0.71	0.75		0.41	0.50		0.30	0.65		0.44	0.64	
BMI-for-age (percentile)	72	23		64	17		60	22		65	21	
Lean body mass _{ANTH} (kg)	29.1	6.4		46.9	4.8		54.1	6.7		45.2	11.4	
Body mass _{DXA} (kg)	41.3	9.7		62.3	7.0		69.7	8.5		59.9	13.8	
Percentage of fat mass _{DXA} (%)	21.7	4.7		16.0	2.5		15.7	2.8		17.3	4.1	
Fat mass _{DXA} (kg)	8.8	2.0		10.0	2.2		11.0	2.8		10.1	2.5	
Lean body mass _{DXA} (kg)	31.2*	8.6		50.0*	5.4		56.0*	6.4		47.6*	11.8	
Lean lower limbs mass _{DXA} (kg)	11.0	3.2		18.1	2.3		19.9	2.6		17.0	4.4	
Peak oxygen uptake (L/min)	2.00	0.57		3.33	0.47		3.83	0.40		3.19	0.86	

Where applicable, results are expressed as frequencies (percentages) or mean ± SD.

DXA, dual X-ray absorptiometry; ANTH, anthropometry.

*Significant difference DXA vs ANTH (paired samples *t*-test, *p* < 0.05).

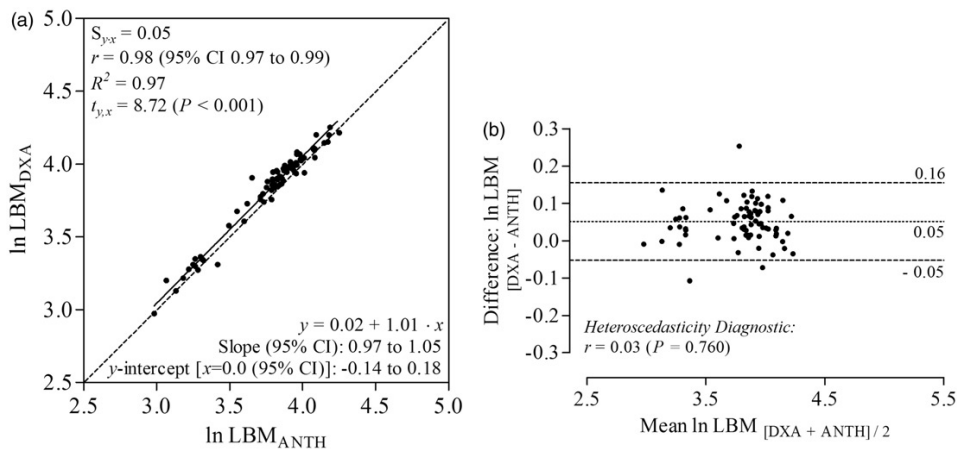


Figure 1. Deming regression between lean body mass (LBM) measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and the estimated LBM using the protocol of Foster et al. (2012) (a). The standard errors of estimation ($S_{y,x}$), correlations (r ; 95% CI), coefficient of determination (R^2), paired samples *t*-test ($t_{y,x}$) and the reference line from the equation are also presented (95% CI). (b) Bland-Altman Plot, illustrates the relation between residuals (mean differences between measured and predicted LBM) and the corresponding mean (heteroscedasticity diagnostic). The dashed lines represent 95% limits of agreement (± 1.96 SD).

(30%) and nine (45%) players of 8–12 years were, respectively, classified as pre-pubertal (PH1) and early pubertal (PH2). Mean statures and mean body masses fall between the 50th and 75th age-specific percentiles (Kuczmarski et al., 2002), which is consistent with other samples of adolescent Portuguese soccer players (Malina et al., 2013). Despite a trend for elevated mass-for-stature in all age groups, mean BMI_z was within the normal range for boys of the same age ($-1.0 < \text{BMI}_z < +1.0$). Estimates of lean body mass were

lower when assessed by the anthropometric protocol than those derived from DXA ($p < 0.05$).

Deming regression analyses between estimates of lean body mass (Figure 1(a)) showed a very large correlation ($r = 0.98$). The intercept (0.02, 95% CI = -0.14 – 0.18) and slope (1.01, 95% CI = 0.97 – 1.05) did not differ ($p > 0.05$) from the identity line (i.e. y -intercept = 0 when $x = 0$ and slope = 1). Therefore, the possibility of systematic or proportional bias was rejected (Ludbrook, 2002). Additionally, the

Bland-Altman plot (Figure 1(b)) for concurrent measurements of lean body mass showed that the error against the mean assumed a homoscedastic distribution ($r=0.03$, $p>0.05$) (Batterham et al., 1997; Nevill et al., 1992).

Static (inter-individual) allometric coefficients (k) were determined for the different age groups and are summarized in Table 2. The coefficients (k) suggested a non-linear association between VO_{2peak} and size descriptors. Coefficients consistently decreased with age and are as follows (i.e. for 8–12, 13–15 and 16–18 years, respectively): 2.71, 2.03 and 0.86 for stature; 0.98, 0.86 and 0.51 for body mass; 1.07, 0.93 and 0.42 for lean body mass derived by anthropometry; and 0.77, 0.70 and 0.39 for lean lower limbs mass. Overall, the

independent variables explained 60–72% in the younger group, 19–52% in players aged 13–15 years and 11–31% in the older group of variance in VO_{2peak} .

The absolute residuals derived from the allometric models (Table 2) were plotted against the best predictor variables (Figure 2, body mass (a–c); lean body mass (d–f); lean lower limbs mass (g–i)). The absolute residuals did not suggest heteroscedasticity ($r=0.001–0.36$; $p=0.990–0.111$), indicating that body mass, lean body mass (by anthropometry) and lean lower limbs mass by DXA can be used to obtain VO_{2peak} ‘size-free scores’ in young soccer players.

Significant static allometric models combining more than one size descriptor in addition to PH stage (dummy coded) are

Table 2. Allometric models* of the log transformed VO_{2peak} using log transformed total body and regional size descriptors.

y	x_i	8–12 years				13–15 years				16–18 years			
		$r_{y,x}$	k (95% CI)	R^2	SEE	$r_{y,x}$	k (95% CI)	R^2	SEE	$r_{y,x}$	k (95% CI)	R^2	SEE
ln VO_{2peak}	ln stature	0.78	2.71 (1.62–3.80)	0.60	0.17	0.44	2.03 (0.45–3.61)	0.19	0.13	0.33	0.86 (–0.09–1.80)	0.11	0.10
	ln body mass	0.84	0.98 (0.66–1.29)	0.70	0.15	0.66	0.86 (0.49–1.24)	0.43	0.11	0.58	0.51 (0.23–0.79)	0.31	0.09
	ln LBM _{ANTH}	0.85	1.07 (0.74–1.40)	0.72	0.14	0.65	0.93 (0.51–1.35)	0.52	0.11	0.48	0.42 (0.12–0.72)	0.23	0.09
	ln LLLM _{DXA}	0.78	0.77 (0.46–1.07)	0.60	0.17	0.61	0.70 (0.36–1.05)	0.38	0.11	0.46	0.39 (0.10–0.69)	0.21	0.09

r , Pearson’s product moment correlation coefficient; LBM, lean body mass; LLLM, lean lower limbs mass; ANTH, anthropometry; DXA, dual X-ray absorptiometry.

* $\ln(VO_{2peak}) = \ln a + k \cdot \ln(\text{body descriptor}) + \ln \varepsilon$.

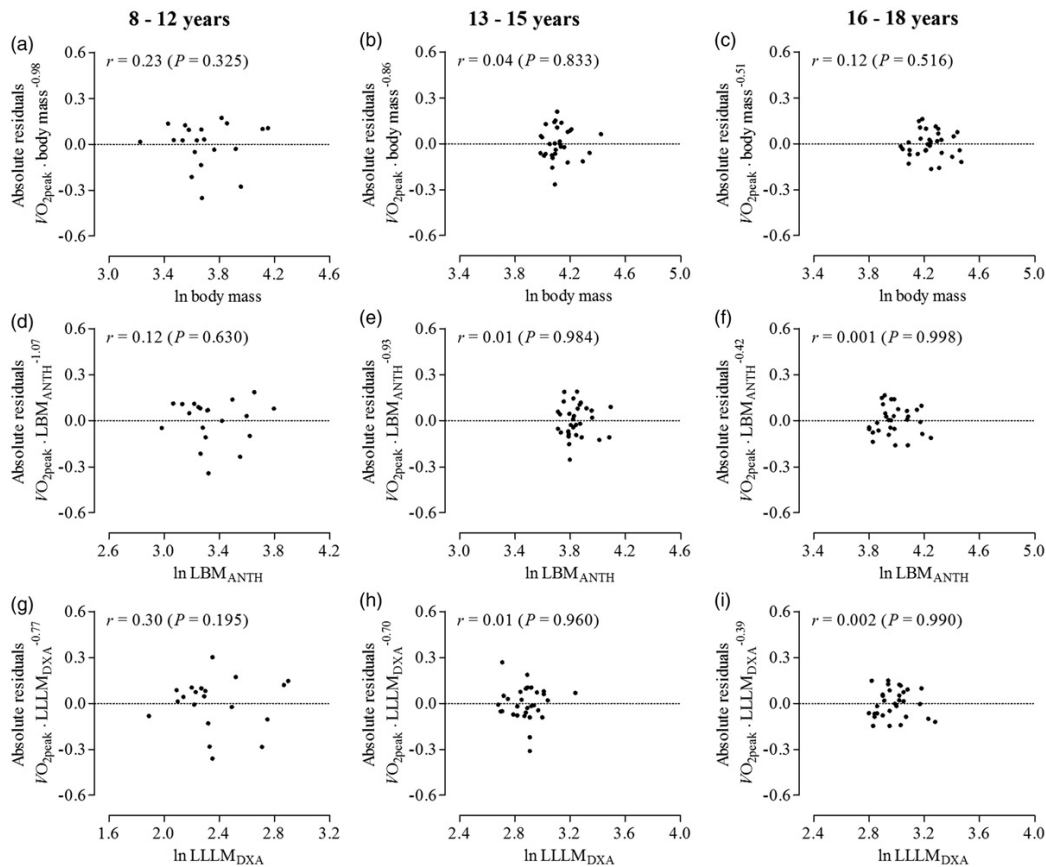


Figure 2. Relationship (r) of the absolute residuals from the simple static allometric models ($VO_{2peak} \cdot \text{body descriptor}^k$; Equation (3)) with ln transformed body descriptors: ln transformed body mass (a–c), ln transformed lean body mass derived by anthropometry (LBM_{ANTH}) (d–f) and ln transformed lean lower limbs mass measured by dual-energy X-ray absorptiometry (LLLM_{DXA}) (g–i).

Table 3. Significant multiplicative allometric models for scaling VO_{2peak} .

Age group	Model	Predictors	k (95% CI)	R	Adj. R^2	SEE
8–12 years	Model 1†	ln LBM _{ANTH} PH3 vs PH1	1.04 (0.71–1.37) 0.07 (–0.07–0.21)	0.87	0.75	0.14
13–15 years	Model 2‡	ln LLLM _{DXA} PH4 vs PH3	0.66 (0.32–1.01) 0.06 (–0.04–0.15)	0.65	0.41	0.11
16–18 years	Model 3§	ln body mass PH5 vs PH4	0.59 (0.27–0.90) 0.04 (–0.04–0.12)	0.60	0.36	0.09

LBM, lean body mass; LLLM, lean lower limbs mass; ANTH, Anthropometry; DXA, dual X-ray absorptiometry; PH, pubic hair development.

† $\ln(VO_{2peak}) = k_1 \cdot \ln(\text{stature}) + k_2 \cdot \ln(LBM_{ANTH}) + a + b \cdot \text{PH stage (dummy coded)} + \ln \varepsilon$.

‡ $\ln(VO_{2peak}) = k_1 \cdot \ln(\text{stature}) + k_2 \cdot \ln(LLLMDXA) + a + b \cdot \text{PH stage (dummy coded)} + \ln \varepsilon$.

§ $\ln(VO_{2peak}) = k_1 \cdot \ln(\text{stature}) + k_2 \cdot \ln(\text{body mass}) + a + b \cdot \text{PH stage (dummy coded)} + \ln \varepsilon$.

summarized in Table 3. Compared with previous models that considered a single variable (Table 2), the explained variance of VO_{2peak} is larger (36–75%) in the models presented in Table 3. Distinct multiplicative static allometric models emerged at each age group: lean body mass by anthropometry ($k = 1.04$) and PH development (PH3 vs PH1; $b = 0.07$) in players aged 8–12 years (75% of explained variance); advanced pubertal maturity (PH4 vs PH3; $b = 0.06$) and lean lower limbs mass ($k = 0.66$) explained 41% of variance in VO_{2peak} in players aged 13–15 years; finally, among older soccer players aged 16–18 years, body mass ($k = 0.59$) and pubertal maturity status (PH5 vs PH4; $b = 0.04$) explained 36% of variance in VO_{2peak} .

Figure 2 corresponds to the estimated curve for VO_{2peak} obtained from the anti-log function of the allometric models that produced the best statistical fit for each age group. Predicted VO_{2peak} increased substantially from 8–12 to 13–15 years (on average: 1.13 L/min, 52.3%) and then increments were more modest (from 13–15 to 16–18 years, on average: 0.51 L/min, 15.5%).

Discussion

The present study examined the age-associated variation in VO_{2peak} using static allometric modelling in male soccer players aged 8–18 years. Results were consistent with previous studies in young people that evidenced determinants of aerobic fitness: e.g. stature (Nevill, 1994; Valente-Dos-Santos et al., 2013), total body mass, appendicular mass and composition (Chamari et al., 2005; Cunha et al., 2011; Nevill et al., 2004) and pubertal status (Armstrong et al., 1999; Baxter-Jones et al., 1993). The non-linear allometric modelling procedures used in this study substantially accounted for inter-individual differences across ages (i.e. 8–12, 13–15 and 16–18 years). Therefore, the power functions (Nevill et al., 1992) can be used to derive VO_{2peak} ‘size free scores’ for each of the adopted size and composition variables in youth soccer players. This was also confirmed by homoscedasticity of the data (i.e. the null correlation between the absolute residuals of the power function models and their respective body dimension variables; see Figure 2).

Growth, pubertal status and body size of young soccer players

Physical performances that require movement of body mass through space will benefit individuals who have greater

stature-to-mass ratios (Nevill et al., 2009). Soccer players of the current study had mean statures and mean body masses between the 50th and 75th percentiles (Kuczmariski et al., 2002). Despite the trend for elevated mass-for-stature [73rd vs 64th (8–12 years), 72nd vs 69th (13–15 years) and 60th vs 51st percentiles (16–18 years), respectively], mean BMI_z was within the normal range for boys of the same age ($-1.0 < \text{BMI}_z < +1.0$). BMI-for-age (8–18 years) ranged from the 12th to 97th percentiles, but exceeded the ≥ 95 th percentile in only two players in the youngest group ($2.2 \pm 5\%$ of fat mass). This was consistent with observations for other samples of youth soccer players (Malina et al., 2013).

Inter-individual variability in body size and composition is substantial during puberty (Malina et al., 2004). The literature also suggests that individuals with greater fat mass-for-stature also have greater lean body mass-for-stature (Chinali et al., 2006). The elevated mass-for-stature likely reflects the advanced maturity status of the players (consistent with other data for youth soccer players (Malina, 2011; Malina et al., 2013) and perhaps the influence of systematic training on lean body mass (Malina et al., 2004). About 66% of the athletes were in PH4 and PH5 (33 and 20, respectively). In addition, 16% of players were in PH3 ($n = 13$) and 18% in PH2 and PH1 (respectively, 9 and 6). This distribution by pubertal status confirms the trend for the adolescent soccer players for being advanced in pubertal status, which likely reflects preferential selection of early maturers (Malina et al., 2013). Stage of pubic hair does not provide information on when a player entered that stage or how long he has been in that stage (Sherar et al., 2004). Nevertheless, the trend for pubertal development was consistent with skeletal age of Portuguese players of the same age acting in clubs and regional selections (Coelho-e-Silva et al., 2010) and also with skeletal age data of adolescent soccer players in general (Malina et al., 2010; Malina, 2011).

Whole body and regional size descriptors and static allometric models

Absolute values for VO_{2peak} in the current study were higher than values reported for the general population of the same age (Beunen et al., 2002; Geithner et al., 2004). Mean values of this sample of soccer players were comparable to adolescent male athletes of other team sports (Valente-Dos-Santos et al., 2013), but substantially lower than in professional soccer players (Tonnessen et al., 2013) and

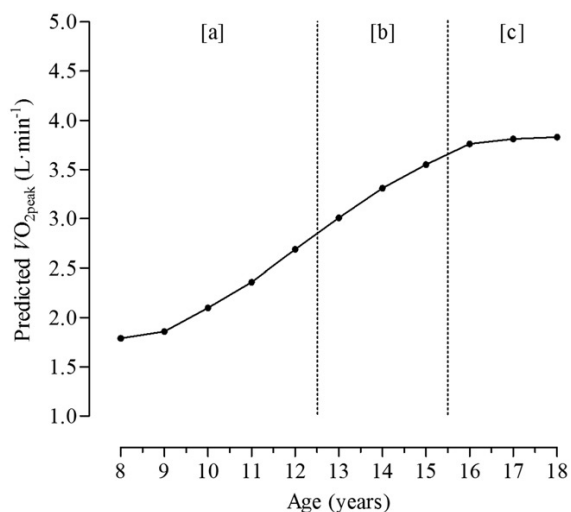


Figure 3. Predicted VO_{2peak} (L/min) of soccer players by chronological age. Data are predicted from the static allometric models in Tables 2 and 3: (a) $\ln(VO_{2peak}) = 1.04 \cdot \ln(LBM_{ANTH}) - 2.80 + 0.07 \cdot PH$ stage (PH3 vs PH1); (b) $\ln(VO_{2peak}) = -2.39 + 0.93 \cdot \ln(LBM_{ANTH})$; and (c) $\ln(VO_{2peak}) = 0.59 \cdot \ln(\text{body mass}) - 1.12 + 0.04 \cdot PH$ stage (PH5 vs PH4).

endurance-athletes in individual sports (Bunc, 2004). Although soccer is not an endurance sport *per se*, it has been suggested that high values of cardiorespiratory functions are important for players to maintain a high level of activity during an entire match (Castagna et al., 2009; Helgerud et al., 2001; Meckel et al., 2009; Stolen et al., 2005). The estimated curve for VO_{2peak} in the present sample (Figure 3) was consistent with corresponding trends in cross-sectional and longitudinal studies (Armstrong & Welsman, 1994; Baxter-Jones et al., 1993; Geithner et al., 2004; Malina et al., 2004; Valente-Dos-Santos et al., 2013) and also with the longitudinal development of aerobic performance assessed with the 20-metre multi-stage continuous shuttle endurance test in 10–18 years male soccer players (Valente-dos-Santos et al., 2012). In this last study, it was possible to produce a multi-level model that predicted aerobic performance of adolescent male soccer players taking into account chronological or skeletal age, body size and training.

The independent variables in the simple static allometric regression models explained, on average, 66%, 38% and 22% of variance in VO_{2peak} in players aged 8–12 years, 13–15 years and 16–18 years, respectively. This decrement in explained variance may be influenced by sport selection that systematically excludes players who are shorter, delayed in terms of maturation and spend less minutes in training and playing sessions. Late adolescence is also a period of decrements in annual changes on stature and body mass. However, stature and body mass are not the only descriptors that should be used in the scaling approach of physiological parameters (Nevill et al., 2005).

Theoretical allometric coefficients of $k = 0.66$ or $k \geq 0.75$ for body mass have been proposed as appropriate for the expression of oxygen consumption (e.g. Armstrong & Welsman, 1994; Batterham & Jackson, 2003; Cunha et al., 2011; Kleiber & Rogers, 1961; Nevill et al.,

2005; Rowland, 2005; Schmidt-Nielsen, 1975). Studies with children and adolescents have noted coefficients ranging from $k = 0.37$ – 1.17 (Beunen et al., 2002; Cooper et al., 1984; Cunha et al., 2011; Eisenmann et al., 2001; Rowland, 2005; Sjodin & Svedenhag, 1992; Welsman et al., 1996). Given the substantial variability in individual growth patterns in scaled VO_{2peak} , derivation of a single scaling factor is problematic.

For log transformed VO_{2peak} and body mass, coefficients decreased from $k = 0.98$ at 8–12 years to $k = 0.86$ at 13–15 years and to $k = 0.51$ at 16–18 years. The coefficients indicate that VO_{2peak} was proportionally higher at 8–15 years and proportionally lower at 16–18 years than theoretically expected from body mass. The trend was consistent with three important concepts. First, the same scaling coefficient may not be appropriate for all ages (Thomis et al., 2000). Second, scaling to either the traditional ratio standard ($mL/kg/min$) or to one of the theoretical coefficients ($mL/kg^{0.67}/min$ and $mL/kg^{0.75}/min$) may not be valid. Third, allometric coefficients should be developed for each particular sample (Balasekaran et al., 2005; Rowland, 1998).

VO_{2peak} may be confounded by variability in total body composition (Dencker et al., 2011). Thus, scaling VO_{2peak} on lean body mass has been suggested as an appropriate method for children and adolescents independent of ethnic ancestry, age, sex or body fat (McMurray et al., 2011). Lean body mass assessed by anthropometry provided the best statistical fit from 8–15-years-old ($R^2 = 72$ – 52%) than other predictors (i.e. stature, $R^2 = 19$ – 60% ; body mass, $R^2 = 70$ – 43% ; lean lower limbs mass, $R^2 = 60$ – 38%). The best model was obtained with an anthropometric estimate of lean body mass (Foster et al., 2012), that was noted as a non-biased assessment using DXA protocol as a reference (Bland & Altman, 2012; Holiday et al., 1995; Ludbrook, 2002; Ricker, 1973). By inference, lean body mass derived by anthropometry may be a reasonable and acceptable descriptor of the maximal metabolic capacity of muscles. The contribution of the muscle mass of the exercising lower limbs (Armstrong & Welsman, 2001; Nevill et al., 2004; Winter et al., 1991) and, more specifically, the metabolically active tissue (McMurray et al., 2011) was an additional relevant fact supported by the present study. Of relevance to soccer, enlargement of leg muscle mass in professional soccer may increase at a greater rate than that predicted by geometric similarity (1/3 power law) (Nevill et al., 2004). This trend was confirmed in the present results at early (8–12 years) and mid-adolescence (13–15 years) with relationships between VO_{2peak} and appendicular lean mass that overcome the theoretical range (lean lower limbs mass: $k = 0.77$ and 0.70 , respectively), but not, unequivocally, at 16–18 years ($k = 0.39$; $95\% \text{ CI} = 0.10$ – 0.69).

Proportional allometric modelling across adolescence

The proportional static allometric models (Beunen et al., 1997; Nevill & Holder, 1994) provided larger explained variance than those models obtained using simple allometric modelling. At 16–18 years the proportional static allometric model emphasizes the interactions between growth, pubertal maturation and systematic training (Malina et al., 2004; Nevill et al., 2004). It has been recently suggested that

pubertal maturation has no independent influence on VO_{2peak} (Cunha et al., 2011), but previous studies based on multi-level modelling (Armstrong et al., 1999; Baxter-Jones et al., 1993) noted an independent influence of pubertal maturation on VO_{2peak} . The current study was consistent with previous research on adolescent roller hockey players which used skeletal age as the maturity indicator in an allometric analysis (Valente-Dos-Santos et al., 2013). Longitudinal studies adopting skeletal age as a more sensitive indicator than pubertal status are needed. The proportional static allometric models adopted in the present study provided statistical adjustments to the size descriptors coefficients [8–12 years: $k=1.04$ (lean body mass by anthropometry); 13–15 years: $k=0.66$ (lean lower limbs mass); 16–18 years: $k=0.59$ (body mass)] with the inclusion of the exponential term PH stage [8–12 years: $b=0.07$ (PH3 vs PH1); 13–15 years: $b=0.06$ (PH4 vs PH3); 16–18 years: $b=0.04$ (PH5 vs PH4)].

Allometric scaling of VO_{2peak} showed lean body mass and body mass as preferential size descriptors compared with appendicular lean mass. Body mass, among other factors, is influenced by growth and maturity related changes in size of the lungs, heart and skeletal muscle (Rowland, 2005), but lean body mass represents more closely the active metabolic cell mass than body mass (Sheng & Huggins, 1979). Training is associated with adaptive changes in cardiac structure (Giada et al., 1998). Moreover, heart size is positively correlated with aerobic fitness, cardiac output and stroke volume in childhood, adolescence and adulthood (Osborne et al., 1992). Longitudinal studies spanning childhood and adolescence are needed to further understand curve trajectories of VO_{2peak} with a focus on intra-individual or ontogenetic allometric coefficients (k') derived multi-level multiplicative models that may be more appropriate for the analysis of VO_{2peak} during adolescence.

Although the current investigation has a number of strengths (e.g. objective measures, analytical procedures), it is not without limitations. Specifically, DXA has limitations related to costs and time and, consequently, non-invasive assessments can be used to determine lean mass in youth soccer players. Future studies should consider the development and cross-validation of anthropometric equations for estimating regional size descriptors such as lean lower limbs mass using DXA assessments as a reference in trained athletes of different ages. This approach has the potential to provide reliable, inexpensive and useful information. The current study used a non-invasive equation to determine lean body mass that produced a promising size descriptor for allometric scaling.

Conclusions

This study examined the relationship between VO_{2peak} and body size descriptors, estimates of total and regional lean mass and pubertal status in a sample of soccer players aged 8–18 years. The results confirmed the limitations of expressing VO_{2peak} per unit of body mass and suggested scaling exponents and allometric models to interpret aerobic fitness in relation to different size descriptors. Additionally, results confirmed the important relationship between body size descriptors and pubertal maturity status for soccer players at

different ages. Proportional, multiplicative allometric models are recommended for scaling VO_2 data as they allow a more critical interpretation of inter-individual variability. The approach offers an analytical framework for understanding VO_{2peak} in soccer players from late childhood through adolescence.

Acknowledgements

The authors thank the Portuguese Foundation for Science and Technology [SFRH/BD/64648/2009].

Declaration of interest

The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

References

- Armstrong N, Welsman JR. 1994. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev* 22: 435–476.
- Armstrong N, Welsman JR. 2001. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol* 85:546–551.
- Armstrong N, Welsman JR, Nevill A, Kirby BJ. 1999. Modeling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11–13 yr olds. *J Appl Physiol* 87:2230–2236.
- Balasekaran G, Robertson RJ, Goss FL, Suprasongsin C, Danadian K, Govindaswamy V, Arslanian SA. 2005. Short-term pharmacologically induced growth study of ontogenetic allometry of oxygen uptake in children. *Ann Hum Biol* 32:746–759.
- Batterham AM, George KP, Mullineaux DR. 1997. Allometric scaling of left ventricular mass by body dimensions in males and females. *Med Sci Sports Exerc* 29:181–186.
- Batterham AM, Jackson AS. 2003. Validity of the allometric cascade model at submaximal and maximal metabolic rates in exercising men. *Respir Physiol Neurobiol* 135:103–106.
- Baxter-Jones A, Goldstein H, Helms P. 1993. The development of aerobic power in young athletes. *J Appl Physiol* 75:1160–1607.
- Beunen G, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Thomis M, Lefevre J, Malina RM, Bailey DA. 2002. Intra-individual allometric development of aerobic power in 8- to 16-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc* 34: 503–510.
- Beunen GP, Rogers DM, Woynarowska B, Malina RM. 1997. Longitudinal study of ontogenetic allometry of oxygen uptake in boys and girls grouped by maturity status. *Ann Hum Biol* 24:33–43.
- Bland JM, Altman DG. 2012. Agreed statistics: measurement method comparison. *Anesthesiology* 116:182–185.
- Bunc V. 2004. Physiological and functional characteristics of adolescent athletes in several sports: implications for talent identification. In: Coelho-e-Silva MJ, Malina RM, editors. *Children and youth in organized sports*. Coimbra: Coimbra University Press. p 247–257.
- Castagna C, Impellizzeri F, Cecchini E, Rampinini E, Alvarez JC. 2009. Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *J Strength Cond Res* 23:1954–1959.
- Chamari K, Moussa-Chamari I, Boussaidi L, Hachana Y, Kaouech F, Wisloff U. 2005. Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med* 39:97–101.
- Chinali M, De Simone G, Roman MJ, Lee ET, Best LG, Howard BV, Devereux RB. 2006. Impact of obesity on cardiac geometry and function in a population of adolescents: the Strong Heart Study. *J Am Coll Cardiol* 47:2267–2273.
- Coelho-e-Silva MJ, Figueiredo AJ, Simoes F, Seabra A, Natal A, Vaeyens R, Philippaerts R, et al. 2010. Discrimination of u-14 soccer players by level and position. *Int J Sports Med* 31:790–796.
- Cooper DM, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. 1984. Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth in children. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 56:628–634.
- Cunha G, Lorenzi T, Sapata K, Lopes AL, Gaya AC, Oliveira A. 2011. Effect of biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory thresholds in soccer players: an allometric approach. *J Sports Sci* 29:1029–1039.

- Daniels SR, Kimball TR, Morrison JA, Khoury P, Witt S, Meyer RA. 1995. Effect of lean body mass, fat mass, blood pressure, and sexual maturation on left ventricular mass in children and adolescents. Statistical, biological, and clinical significance. *Circulation* 92: 3249–3254.
- Dencker M, Hermansen B, Bugge A, Froberg K, Andersen LB. 2011. Predictors of VO_{2Peak} in children age 6- to 7-years-old. *Pediatr Exerc Sci* 23:87–96.
- Eisenmann JC, Pivarnik JM, Malina RM. 2001. Scaling peak VO_2 to body mass in young male and female distance runners. *J Appl Physiol* 90:2172–2180.
- Ellis KJ. 2000. Human body composition: *in vivo* methods. *Physiol Rev* 80:649–680.
- Foster BJ, Platt RW, Zemel BS. 2012. Development and validation of a predictive equation for lean body mass in children and adolescents. *Ann Hum Biol* 39:171–182.
- Freedman DS, Sherry B. 2009. The validity of BMI as an indicator of body fatness and risk among children. *Pediatrics* 124:S23–S34.
- Geithner CA, Thomis MA, Vanden Eynde B, Maes HH, Loos RJ, Peeters M, Claessens AL, et al. 2004. Growth in peak aerobic power during adolescence. *Med Sci Sports Exerc* 36:1616–1624.
- Giada F, Bertaglia E, De Piccoli B, Franceschi M, Sartori F, Raviele A, Pasco P. 1998. Cardiovascular adaptations to endurance training and detraining in young and older athletes. *Int J Cardiol* 65:149–155.
- Gould SJ. 1966. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biol Rev Camb Philos Soc* 41:587–640.
- Günther B. 1975. Dimensional analysis and theory of biological similarity. *Physiol Rev* 55:659–699.
- Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. 2001. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1925–1931.
- Holiday DB, Ballard JE, Mckeown BC. 1995. PRESS-related statistics: regression tools for cross-validation and case diagnostics. *Med Sci Sports Exerc* 27:612–620.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. 2009. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41:3–13.
- Kleiber M, Rogers TA. 1961. Energy metabolism. *Annu Rev Physiol* 23: 5–36.
- Kuczmarzski RJ, Ogden CL, Grummer-Strawn LM, Flegal KM, Mei Z, Wei R, Curtin LR, et al. 2002. 2000 CDC growth charts for the United States: methods and development. Washington, DC: Vital and Health Statistics.
- Leahy S, O'Neill C, Sohun R, Jakeman P. 2012. A comparison of dual energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis to measure total and segmental body composition in healthy young adults. *Eur J Appl Physiol* 112:589–595.
- Lohman TG, Roche AF, Martorell R. 1988. Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ludbrook J. 2002. Statistical techniques for comparing measurers and methods of measurement: a critical review. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 29:527–536.
- Malina RM. 2011. Skeletal age and age verification in youth sport. *Sports Med* 41:925–947.
- Malina RM. 2012. Professor James M. Tanner and the sport sciences. *Ann Hum Biol* 39:372–381.
- Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. 2004. Growth, maturation, and physical activity. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Malina RM, Coelho e Silva MJ, Figueiredo AJ. 2013. Growth and maturity status of youth soccer players. In: Williams M, editor. Science and soccer: developing elite players. London: Routledge.
- Malina RM, Peña-Reyes ME, Figueiredo AJ, Coelho-e-Silva MJ, Horta L, Miller R, Chamorro M, et al. 2010. Skeletal age in youth soccer players: implication for age verification. *Clin J Sport Med* 20: 469–474.
- McMurray RG, Hosick PA, Bugge A. 2011. Importance of proper scaling of aerobic power when relating to cardiometabolic risk factors in children. *Ann Hum Biol* 38:647–654.
- Meckel Y, Machnai O, Eliakim A. 2009. Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *J Strength Cond Res* 23:163–169.
- Mirwald R, Bailey D. 1986. Maximal aerobic power, a longitudinal analysis. London, Ontario: Sports Dynamics.
- Nevill A. 1994. The need to scale for differences in body size and mass: an explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent. *J Appl Physiol* 77: 2870–2873.
- Nevill A, Bate S, Holder RL. 2005. Modeling physiological and anthropometric variables known to vary with body size and other confounding variables. *Am J Phys Anthropol* 41:S141–S153.
- Nevill A, Brown D, Godfrey R, Johnson P, Romer L, Stewart AD, Winter EM. 2003. Modeling maximum oxygen uptake of elite endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 35:488–494.
- Nevill A, Holder R. 1994. Modelling maximum oxygen uptake: a case study in non-linear regression model formulation and comparison. *J R Stat Soc* 43:653–666.
- Nevill A, Markovic G, Vucetic V, Holder R. 2004. Can greater muscularity in larger individuals resolve the 3/4 power-law controversy when modelling maximum oxygen uptake? *Ann Hum Biol* 31: 436–445.
- Nevill A, Ramsbottom R, Williams C. 1992. Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 65:110–117.
- Nevill A, Tsiotra G, Tsimeas P, Koutedakis Y. 2009. Allometric associations between body size, shape, and physical performance of Greek children. *Pediatr Exerc Sci* 21:220–232.
- Osborne G, Wolfe LA, Burggraf GW, Norman R. 1992. Relationships between cardiac dimensions, anthropometric characteristics and maximal aerobic power (VO_{2max}) in young men. *Int J Sports Med* 13:219–224.
- Pelabon C, Bolstad GH, Egset CK, Cheverud JM, Pavlicev M, Rosenqvist G. 2013. On the relationship between ontogenetic and static allometry. *Am Nat* 181:195–212.
- Ricker WE. 1973. Linear regressions in fishery research. *J Fish Res Board Can* 30:409–434.
- Rowland TW. 1998. The case of the elusive denominator. *Pediatr Exerc Sci* 10:1–5.
- Rowland TW. 2005. Children's exercise physiology. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt-Nielsen K. 1975. Scaling in biology: the consequences of size. *J Exp Zool* 194:287–307.
- Sheng HP, Huggins RA. 1979. A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat. *Am J Clin Nutr* 32: 630–647.
- Sherar LB, Baxter-Jones AD, Mirwald RL. 2004. Limitations to the use of secondary sex characteristics for gender comparisons. *Ann Hum Biol* 31:586–593.
- Sjodin B, Svedenhag J. 1992. Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol* 65:150–157.
- Slinker BK, Glantz SA. 1985. Multiple regression for physiological data analysis: the problem of multicollinearity. *Am J Physiol* 249:R1–R12.
- Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. 2005. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35:501–536.
- Tanner JM. 1949. Fallacy of per-weight and per-surface area standards, and their relation to spurious correlation. *J Appl Physiol* 2:1–15.
- Tanner JM. 1962. Growth at adolescence. Oxford: Blackwell.
- Thomis M, Rogers DM, Beunen GP, Woynarowska B, Malina RM. 2000. Allometric relationship between body size and peak VO_2 relative to age at menarche. *Ann Hum Biol* 27:623–633.
- Tonnessen E, Hem E, Leirstein S, Haugen T, Seiler S. 2013. Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989–2012. *Int J Sports Physiol Perform* 8:323–329.
- Valente-dos-Santos J, Coelho-e-Silva MJ, Duarte J, Figueiredo AJ, Liparotti, JR, Sherar LB, Elferink-Gemser MT, Malina RM. 2012. Longitudinal predictors of aerobic performance in adolescent soccer players. *Medicina* 48:410–416.
- Valente-dos-Santos J, Sherar LB, Coelho-e-Silva MJ, Pereira JR, Vasco V, Cupido-dos-Santos A, Baxter-Jones A, et al. 2013. Allometric scaling of peak oxygen uptake in male roller hockey players under 17 years old. *Appl Physiol Nutr Metab* 38:390–395.
- Welsman JR, Armstrong N, Nevill AM, Winter EM, Kirby BJ. 1996. Scaling peak VO_2 for differences in body size. *Med Sci Sports Exerc* 28:259–265.
- Winter EM, Brookes FB, Hamley EJ. 1991. Maximal exercise performance and lean leg volume in men and women. *J Sports Sci* 9:3–13.