

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

**EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA SOBRE O CONSUMO MÁXIMO DE
OXIGÊNIO, LIMIARES VENTILATÓRIOS E TORQUE MUSCULAR EM
JOGADORES DE FUTEBOL**

GIOVANI DOS SANTOS CUNHA

PORTO ALEGRE - RS

2011

GIOVANI DOS SANTOS CUNHA

**EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA SOBRE O CONSUMO MÁXIMO DE
OXIGÊNIO, LIMIARES VENTILATÓRIOS E TORQUE MUSCULAR EM
JOGADORES DE FUTEBOL**

Tese apresentada como requisito para
obtenção do grau de Doutor no Programa de
Pós-Graduação em Ciências do Movimento
Humano da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul.

Orientador Prof. Dr. Álvaro Reischak de Oliveira

Porto Alegre – RS

2011

GIOVANI DOS SANTOS CUNHA

**EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA SOBRE O CONSUMO MÁXIMO DE
OXIGÊNIO, LIMIARES VENTILATÓRIOS E TORQUE MUSCULAR DE
JOGADORES DE FUTEBOL**

Tese apresentada como requisito para
obtenção do grau de Doutor no Programa de
Pós-Graduação em Ciências do Movimento
Humano da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul.

Aprovada em: 26 de Setembro de 2011

BANCA EXAMINADORA

José Eduardo Wilken Bicudo (USP)

Jerri Luis Ribeiro (IPA)

Marco Aurélio Vaz (UFRGS)

Porto Alegre – RS 2011

*Dedico esta tese a minha mãe
Jacira dos Santos Cunha pelo
amor e apoio incondicional.*

O RELATO DE UMA TRAJETÓRIA E AGRADECIMENTOS

Minha trajetória acadêmica começou no dia 1º de setembro de 1999 quando ingressei no curso de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Durante a graduação estagiei nas escolinhas de futebol do Grêmio Football Porto Alegrense e paralelamente ingressei como monitor na disciplina de Fisiologia do Exercício e no Grupo de Estudos em Fisiologia e Bioquímica do Exercício (GEFEX), ambos de responsabilidade do professor Álvaro Reischak de Oliveira. Neste momento, inspirado pelos conhecimentos do professor Álvaro comecei a delinear o meu futuro acadêmico. Em dezembro de 2001 ingressei como bolsista no Centro de Excelência Esportiva (CENESP), agradecimento especial aos Professores Marcelo Cardoso, Antônio Carlos Guimarães, Claudia Lima e Álvaro Oliveira pelo treinamento e conhecimentos transmitidos sobre o processo de Avaliação Física. No ano de 2003, nosso primeiro estudo sobre Fisiologia do Exercício e futebol foi destaque no Salão de Iniciação científica da UFRGS, com agradecimento especial ao professor Jerri Ribeiro pelo auxílio nos projetos de iniciação científica e no trabalho de conclusão de curso. Após a graduação em 2003/2, ingressei no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da UFRGS sob a orientação do professor Álvaro Oliveira no ano de 2005, período de muito aprendizado e novas amizades, agradecimentos especiais aos colegas Everton Rocha, Rafael Baptista, André Estrela, Thiago Lorenzi, Katiuce Sapata, Fernando Diefenthaler, Orlando Laitano, Gustavo Gonçalves e Antônio Carlos Dourado. Ao longo do mestrado, gostaria de agradecer aos professores Marco Vaz pela magnífica disciplina de Mecânica Muscular que ampliou significativamente meus conhecimentos e ao professor Adroaldo Gaya por despertar a busca pelo conhecimento raciocinado. No mesmo período ingressei no curso de Especialização em Fisiologia do Exercício (UFRGS) e agradeço de forma especial ao

professor Álvaro pela bolsa de estudos. Em 2007 ingressei no Doutorado do referido programa e instigado pelos conhecimentos adquiridos no mestrado e principalmente na disciplina de Mecânica Muscular, comecei a estudar a relação do torque e da arquitetura muscular no contexto do futebol, conteúdos que fazem parte desta tese. Agradeço de forma especial ao professor Marco Vaz por ter disponibilizado o Laboratório de Plasticidade Muscular e sua equipe para a elaboração e execução da presente tese. Gostaria de agradecer de forma especial aos colegas Rafael Baptista, Jean Geremia, Fernando Lemos, André Lopes, Jocelito Martins e Diana Perin pelo auxílio na coleta de dados. Agradeço pela amizade dos colegas e professores já anteriormente citados e adicionalmente aos professores Rogério Voser, Luis Fernando Krueel, Flávio Castro, Leonardo Tartaruga, Ronei Pinto, Alberto Reppold, Paulo Ivo e aos colegas e amigos Eduardo Cadore, Fernanda Pezzi, Paulo Sehl, Eraldo Pinheiro, Rodrigo Bini, Felipe Carpes, Marcos Franken, Eduardo Ramos, Cristine Alberton, Alexandre Lazzarotto, Claudia Schneider, Cintia Stocchero e Maurício Veiga. Da mesma forma, gostaria de agradecer os funcionários do LAPEX e do PPGCMH André, Ana, Rosane, Rosângela, Luciano, Luis, Alex e Carla pelos anos de convivência. Gostaria de agradecer a participação de todos os atletas e ao Sport Club Internacional por ter participado do estudo, especial agradecimento aos professores Élio Carravetta e Felipe Irala. Finalmente gostaria de agradecer a minha namorada Gabriela Tomedi Leites pelo amor, carinho e compressão nesse período e no mesmo sentido, aos meus pais, Ely Roberto (*in memoriam*) e Jacira Cunha, ao meu irmão Sílvio Cunha e aos meus avós José Alves (*in memoriam*) e Celina Sanhudo. Perdoem-me se por acaso esqueci-me de algum amigo ou colega, mas saliento que todos aqueles que me ajudaram de alguma forma estão no meu coração.

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse Amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine. E ainda que tivesse o dom da profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse Amor, nada seria.

Apóstolo Paulo - Primeira Epístola aos Coríntios

RESUMO

A maturação biológica tem demonstrado efeito positivo sobre os valores absolutos de consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), limiares ventilatórios (LV_1 e LV_2) e torque muscular (TM) durante o crescimento, mas não está totalmente elucidado se este efeito é resultado apenas do aumento do tamanho corporal, da metodologia de normalização ou da melhora de fatores qualitativos do sistema cardiorrespiratório e muscular. Assim, conduzimos dois estudos com o objetivo de verificar o efeito da maturação biológica sobre: (1°) VO_{2max} , LV_2 e LV_1 ; (2°) TM e arquitetura muscular. No primeiro estudo, 79 jogadores de futebol classificados em três grupos de acordo com seu estágio maturacional, pré-púberes (PREP, n=14), púberes (PUB, n=38) e pós-púberes (POSP, n=27) realizaram um teste progressivo máximo em esteira para determinarmos o VO_{2max} , LV_2 e LV_1 . Os resultados demonstraram que o volume muscular estimado total (VMT) foi considerado a melhor variável de normalização e evidenciou que os valores de VO_{2max} $ml \cdot ml^{-0,43} \cdot min^{-1}$ foram significativamente maiores nos grupos POSP ($112,9 \pm 9,9$) e PUB ($107,4 \pm 9,5$) em relação ao grupo PREP ($100,0 \pm 7,8$), com a maturação biológica apresentando efeito positivo de 18%. O LV_2 ($ml \cdot ml^{-0,48} \cdot min^{-1}$) apresentou diferença significativa apenas entre os grupos POSP ($57,3 \pm 5,7$) e PREP ($51,7 \pm 5,3$), mas a maturação biológica não apresentou efeito significativo sobre essa variável. O LV_1 ($ml \cdot ml^{-0,43} \cdot min^{-1}$) não apresentou diferenças significativas entre os grupos, mas a maturação biológica apresentou efeito positivo de 5,7%. No segundo estudo, 34 jogadores de futebol classificados em dois grupos de acordo com seu estágio maturacional, PUB (n=15) e POSP (n= 19) realizaram uma dinamometria isocinética para mensurarmos o TM máximo conjuntamente com uma ultrasonografia para determinarmos as variáveis de arquitetura muscular. Os resultados demonstraram que não existiam diferenças significativas ($p > 0,05$) para o TM isométrico, concêntrico e excêntrico para as 18 contrações musculares testadas entre os grupos quando foram devidamente normalizados por expoentes alométricos específicos referentes à massa corporal (MC), além disso, a maturação biológica não demonstrou efeito consistente e independente das variáveis de arquitetura muscular. A espessura muscular (EM), comprimento do fascículo (CF), CF normalizado (CFn), ângulo de penação (AP) e a área de secção transversa (AST) não apresentaram diferenças significativas entre os grupos ($p > 0,05$), enquanto que, diferenças significativas foram estabelecidas para o comprimento da coxa e volume muscular estimado dos extensores do joelho (VM). As variáveis de arquitetura muscular demonstram ser variáveis explicativas do TM (10-36%). Os resultados dos dois estudos permitem concluir que a maturação biológica apresentou efeito positivo sobre o VO_{2max} e LV_1 , mas não apresentou efeito consistente e independente das variáveis de arquitetura muscular para o TM isométrico, concêntrico e excêntrico quando os dados foram devidamente normalizados por expoentes alométricos referentes ao VMT no primeiro estudo e por expoentes alométricos específicos referente a MC no segundo estudo, demonstrando que a normalização é um fator chave para compreendermos os efeitos da maturação biológica sobre as variáveis mensuradas.

Palavras-chave: *Maturação biológica, ergoespirometria, dinamometria isocinética, arquitetura muscular, alometria.*

ABSTRACT

The biological maturation show a positive effect on the maximal oxygen uptake (VO_{2max}) values, ventilatory threshold (VT_1 and VT_2) and muscle torque (T) during growth, however it is not completely elucidated if these effects happen only related the body size increased, the methodology standardization or the qualitative factors improvement of the cardiorespiratory and muscular system. Thus, we conducted two studies to determinate the biological maturation effect on: (1) VO_{2max} , VT_2 and VT_1 ; (2) T and muscle architecture. Seventy-nine soccer players, placed in three groups according to their maturational stage, pre-pubescent (PREP, n=14), pubescent (PUB, n=38) and post-pubescent (POSP, n=27), participated in the first study. They performed a progressive maximal treadmill test to determine the VO_{2max} , VT_2 and VT_1 . The estimated total muscle volume (TMV) was considered the greater variable standardization, beside the VO_{2max} $ml \cdot ml^{-0.43} \cdot min^{-1}$ values were significantly higher in groups POSP (112.9 ± 9.9) and PUB (107.4 ± 9.5) comparing with PREP group (100.0 ± 7.8), even though the positive effect of 18% of the biological maturation. There was difference in VT_2 ($ml \cdot ml^{-0.48} \cdot min^{-1}$) between POSP (57.3 ± 5.7) and PREP (51.7 ± 5.3) groups; however the biological maturation did not show significant effect on this variable. The VT_1 ($ml \cdot ml^{-0.43} \cdot min^{-1}$) showed no significant differences between groups, but there was a positive effect of 5.7% in the biological maturation. In the second study, 34 soccer players were placed in two groups according to their pubertal stage, PUB (n=15) and POSP (n=19). An isokinetic dynamometry was performed to measure the maximum T and an ultrasound was used to determine the muscle architecture variables. No differences ($p > 0.05$) were found in T isometric, concentric and eccentric contractions between the groups when these variables were properly normalized by specific allometric exponents related to body mass (BM). Additionally, biological maturation there was no consistent and independent effect of variables muscle architecture on T. The muscle thickness (MT), fascicle length (L_f), L_f normalized (L_{fn}), pennation angle (θ_p) and cross-sectional area (CSA) show no significant differences between the groups ($p > 0.05$). Significant differences were established for the thigh muscle length and estimated knee extensors volume (MV) and muscle architecture variables were considered explanatory variables of T (10-36%). Both studies results showed that the biological maturity had a positive effect on VO_{2max} and VT_1 , but there were no consistent and independent effect of the muscle architecture variables in isometric, concentric and eccentric T when these variables were properly normalized using allometric exponents related to TVM in the first study and using a specific allometric exponents related to BM in the second. These results demonstrate that the standardization is a key factor to understand the biological maturation effects on the measured variables.

Key-words: *Biological maturation, ergoespirometry, isokinetic dynamometry, muscle architecture, allometry.*

Lista de Siglas e Abreviações

AP	Ângulo de penação
AST	Área de secção transversa anatômica
ASTF	Área de secção transversa fisiológica
BAM	Braço de alavanca muscular
CF	Comprimento do fascículo
CFn	Comprimento do fascículo normalizado
CT	Tomografia computadorizada
CVM	Contração voluntária máxima
Dexa	Raio-X de dupla absorbância
E	Estatura
EM	Espessura muscular
FC	Frequência cardíaca
FC _{max}	Frequência cardíaca máxima
FM	Força muscular
LAn	Limiar anaeróbio
LV ₁	Limiar ventilatório 1
LV ₂	Limiar ventilatório 2
m	Metros
MC	Massa corporal
min	Minutos
MLG	Massa livre de gordura
MRI	Ressonância Magnética
POSP	Pós-púbere
PREP	Pré-púbere
PUB	Púbere
RER	Taxa de troca respiratória
s	Segundos
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
TM	Torque muscular
VCO ₂	Volume de dióxido de carbono
VE	Ventilação
VM	Volume muscular
VMT	Volume muscular estimado total

VO_{2max}	Consumo máximo de oxigênio
VO_{2pico}	Consumo de oxigênio de pico
$VO_{2submax}$	Consumo de oxigênio submáximo

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Tabela de 5 estágios de Tanner.
- Figura 2:** Ultrassom Aloka.
- Figura 3:** Volume muscular estimado.
- Figura 4:** Ergoespirômetro MGC-CPX-D.
- Figura 5:** Valores de consumo máximo de oxigênio em jogadores de futebol normalizados por volume muscular estimado total.
- Figura 6:** Valores de limiar ventilatório 2 em jogadores de futebol normalizados por volume muscular estimado total.
- Figura 7:** Valores de limiar ventilatório 1 em jogadores de futebol normalizados por volume muscular estimado total.
- Figura 8:** Determinação do volume muscular estimado, área de secção transversa (AST) e espessura muscular (EM).
- Figura 9:** Comprimento do fascículo (CF) e ângulo de penação do vasto lateral (VL).
- Figura 10:** Dinamômetro isocinético Biodex
- Figura 11:** Relações torque-ângulo expressas nas formas absoluta (A), relativa à MC (B) e ao VM (C) em jogadores de futebol.
- Figura 12:** Relações torque-velocidade expressas nas formas absoluta (A), relativa à MC (B) e ao VM (C) em jogadores de futebol.
- Figura 13:** Relação torque-ângulo normalizada por expoente alométrico médio em jogadores de futebol.
- Figura 14:** Relação torque-velocidade normalizada por expoente alométrico médio em jogadores de futebol.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Características antropométricas e anos de treinamento de jogadores de futebol de acordo com a maturação biológica.
- Tabela 2:** Principais correlações entre VO_{2max} , LV_2 e LV_1 com as variáveis antropométricas.
- Tabela 3:** Determinação dos expoentes alométricos para VO_{2max} , LV_2 e LV_1 em relação à massa corporal e ao volume muscular estimado em jogadores de futebol.
- Tabela 4:** Consumo máximo de oxigênio e limiares ventilatórios em jovens jogadores de futebol expressos em diferentes escalas em relação à massa corporal e ao volume muscular.
- Tabela 5:** Variáveis explicativas do VO_{2max} , LV_2 e LV_1 em jovens jogadores de futebol de acordo com a análise de regressão linear múltipla.
- Tabela 6:** Consumo máximo de oxigênio e limiares ventilatórios ajustados por volume muscular de acordo com a idade cronológica.
- Tabela 7 :** Características antropométricas e de arquitetura muscular em jogadores de futebol de acordo com os grupos maturacionais.
- Tabela 8:** Determinação dos expoentes alométricos referente à massa corporal para o TM isométrico, concêntrico e excêntrico dos extensores do joelho.
- Tabela 9:** Relações torque-ângulo e torque-velocidade normalizadas por expoentes alométricos específicos referente à massa corporal.
- Tabela 10:** Variáveis explicativas do torque muscular isométrico e dinâmico dos extensores do joelho expressos nas formas absoluta (Nm) e relativa à MC ($Nm.kg^{-1}$).
- Tabela 11:** Variáveis explicativas do torque muscular isométrico e dinâmico de extensores do joelho normalizados por expoentes alométricos específicos referentes à massa corporal.

Sumário

APRESENTAÇÃO.....	16
INTRODUÇÃO GERAL.....	18
OBJETIVOS.....	24
HIPÓTESES.....	26
1.0 CAPITULO I – REVISÃO DE LITERATURA.....	27
1.1 Demandas Físicas do Futebol.....	27
1.2 Demandas Fisiológicas do Futebol.....	29
1.3 Força no Futebol.....	32
1.4 Avaliação da Maturação Biológica e seus Efeitos sobre o Metabolismo.....	33
1.5 Influência da Maturação Biológica sobre o Limiar Anaeróbio.....	38
1.6 Influência da Maturação Biológica sobre VO_{2max}	39
1.7 Influência da Idade Cronológica e da Maturação Biológica sobre a FM e o TM.....	43
1.8 Utilização da Alometria para Normalização de Dados Biológicos.....	50
1.9 Utilização da Alometria para Normalização do VO_2 e LAn.....	54
1.10 Utilização da Alometria para a Normalização da FM e TM.....	58
1.11 Utilização do VM como variável de Normalização da FM, TM e VO_{2max}	65
2.0 CAPITULO II - NORMALIZAÇÃO POR VOLUME MUSCULAR EVIDENCIA O EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA SOBRE O CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO E LIMIARES VENTILATÓRIOS DE JOGADORES DE FUTEBOL.....	69
2.1 Introdução.....	69

2.2	Métodos e Materiais.....	72
2.3	Resultados.....	80
2.4	Discussão.....	89
2.5	Conclusão.....	97
3.0	CAPITULO III - EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA E DA ARQUITETURA MUSCULAR SOBRE O TORQUE ISOMÉTRICO E DINÂMICO DE JOGADORES DE FUTEBOL.....	98
3.1	Introdução.....	98
3.2	Métodos e Materiais.....	103
3.3	Resultados.....	111
3.4	Discussão.....	121
3.5	Conclusão.....	132
4.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133
5.0	REFERÊNCIAS.....	134
6.0	ANEXOS.....	157

APRESENTAÇÃO

A presente tese foi motivada a partir de um questionamento prático, pois verificamos em estudos anteriores no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX-UFRGS) que atletas de futebol com idades entre 12 e 18 anos apresentavam valores de consumo máximo de oxigênio ($60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) semelhantes aos de atletas profissionais, contrariando a literatura que reporta que crianças apresentam um menor valor do que adultos. Curiosamente, a velocidade de corrida no teste máximo realizado em esteira foi muito inferior e não poderia ser justificada por diferenças de tamanho corporal. Uma justificativa poderia ser atribuída à diferenças no metabolismo anaeróbio de crianças e adultos. Porém, contrariando as nossas expectativas, os valores de limiar anaeróbio expresso em função do consumo máximo de oxigênio ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e da velocidade de corrida (km.h^{-1}) eram semelhantes em crianças e adultos. Outra possibilidade poderia ser atribuída ao efeito positivo da maturação biológica sobre essas variáveis, visto que indivíduos mais avançados no processo maturacional geralmente apresentam maiores valores de consumo máximo de oxigênio, limiar anaeróbio, força e potência do que indivíduos menos maturados. Esta possibilidade era parcialmente verdadeira quando expressávamos o consumo máximo de oxigênio na forma absoluta (ml.min^{-1}), mas não na forma relativa à massa corporal ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). A partir disso, começamos a nos questionar se realmente a maturação biológica tem efeito sobre essas variáveis de desempenho ou se as formas tradicionais de expressão das variáveis acima são equivocadas.

As respostas a estes questionamentos têm um impacto importante sobre a prática esportiva, pois a maturação biológica é utilizada como uma variável de controle no processo de detecção de talentos e na prescrição do treinamento. Da mesma forma, verificar se os métodos de normalização do consumo máximo de oxigênio, limiar anaeróbio e força muscular

permitem comparar adequadamente indivíduos de diferentes tamanhos e composições corporais é primordial para identificar adaptações ao crescimento e ao treinamento.

A presente tese é composta de III capítulos principais. O capítulo I é referente à revisão de literatura, sendo composto por três artigos de revisão. O primeiro artigo aborda os aspectos físicos e fisiológicos do jovem jogador de futebol (publicado na Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício – Anexo IV). Na sequência do referido capítulo, abordamos os conceitos sobre alometria e a sua utilização para normalização do consumo máximo de oxigênio e limiar anaeróbio (submetido na Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano). O terceiro é referente à normalização da força e torque muscular em crianças e adolescentes (publicado na Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano – Anexo V). Além disto, verificamos a possibilidade de utilizarmos o volume muscular como variável de normalização tanto para o consumo máximo de oxigênio e limiares ventilatórios como para o torque muscular.

O capítulo II é apresentado em formato de artigo científico e descreve o experimento realizado com o objetivo principal de verificar o efeito da maturação biológica sobre o consumo máximo de oxigênio e limiares ventilatórios em jovens jogadores de futebol. Adicionalmente, pretendemos identificar quais as variáveis explicativas e o melhor método de normalização dessas variáveis.

O capítulo III também está em formato de artigo científico e descreve o experimento executado com o objetivo de verificar o efeito da maturação biológica sobre o torque muscular e sobre as relações torque-ângulo e torque-velocidade em jovens jogadores de futebol. Secundariamente, pretendemos identificar a melhor variável para normalizar o torque muscular.

Ao final da presente tese, é apresentada uma seção resumida com as principais considerações a cerca dos dois estudos.

INTRODUÇÃO GERAL

O desempenho no futebol depende de fatores técnicos, táticos, físicos, fisiológicos e psicológicos (Stolen et al., 2005, Cunha and Oliveira, 2008). Mais especificamente, o futebol necessita de atividades físicas intermitentes, onde as sequências de ações requerem uma variedade de habilidades em diversas intensidades (Cunha and Oliveira, 2008). A corrida é a atividade predominante, mas exercícios de explosão como tiros de velocidade (*sprints*), saltos, marcação e chute são fatores importantes para o desempenho do futebol de alto nível (Cometti et al., 2001). Estes esforços dependem da força máxima e da potência anaeróbia do sistema neuromuscular, principalmente dos membros inferiores (Cometti et al., 2001).

A força muscular (FM) é considerada uma variável importante para o desempenho no futebol, por melhorar a velocidade de execução de habilidades técnicas específicas como saltos e *sprints* (Wisloff et al., 2004, Bangsbo et al., 1991, Wisloff et al., 1998, Hoff and Helgerud, 2004). Além disso, altos níveis de FM melhoram a estabilidade das articulações em diversas situações do jogo, principalmente durante as contrações musculares excêntricas, fato este que auxilia na prevenção de lesões no futebol (Arnason et al., 2004, Cometti et al., 2001, Hoff and Helgerud, 2004, Wisloff et al., 2004).

Durante uma partida de futebol, estima-se que o metabolismo aeróbio contribua com aproximadamente 90% do custo energético (Bangsbo, 1994b). Assim, variáveis como o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) e limiar anaeróbio (LAn) tornam-se importantes para a prescrição e controle do treinamento neste esporte. O VO_{2max} tem sido considerado o melhor indicador de potência aeróbia em crianças e jogadores de futebol (Hoff and Helgerud, 2004, Armstrong and Welsman, 2000). Além disso, tem apresentado uma relação positiva com o número de *sprints*, envolvimento com a bola e com a distância percorrida total (km) durante uma partida de futebol (Helgerud et al., 2001).

O LAn também pode ser determinado pelo método ventilatório, o qual tem sido amplamente utilizado pela medicina esportiva (Hollmann, 2001), geralmente definido como a intensidade do exercício onde o metabolismo oxidativo não pode fornecer toda a energia necessária e a contribuição da energia anaeróbia começa a aumentar (Svedahl and MacIntosh, 2003). O LAn tem sido considerado importante no futebol, pois a sua intensidade média coincide com a intensidade do jogo (Bunc and Psotta, 2001, Casajus, 2001, Chamari et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004, Cunha et al., 2011, Cunha et al., 2008a). Além disso, é reconhecido como o indicador mais sensível às alterações da capacidade aeróbia em resposta ao treinamento (Hebestreit et al., 2000, Hoff and Helgerud, 2004, McMillan et al., 2005).

Tem sido demonstrado que a FM, o torque muscular (TM), o VO_{2max} e a potência anaeróbia aumentam progressivamente dos 8-18 anos de idade (Beunen and Thomis, 2000, De Ste Croix et al., 2003, Nedeljkovic et al., 2007, Rowland, 2005, Van Praagh, 2000, Van Praagh and Dore, 2002). Por essa razão jovens jogadores de futebol geralmente são categorizados de acordo com a sua idade cronológica. Esta categorização tem como objetivo fornecer aos atletas uma situação de paridade na prática do esporte e no processo de detecção de talentos (Figueiredo et al., 2009, Hirose, 2009, Nedeljkovic et al., 2007, Vaeyens et al., 2006, Coelho et al., 2010). Entretanto, a maturação biológica (idade biológica) pode interferir neste processo, pois recentes estudos tem chamado a atenção para os seus efeitos sobre VO_{2max} (Armstrong and Welsman, 2000, Armstrong and Welsman, 2001, Armstrong et al., 1999, Beunen et al., 2002, Eisenmann et al., 2001, Geithner et al., 2004, Malina et al., 2004), LAn (Cunha et al., 2008a, Cunha et al., 2011), potência anaeróbia (Armstrong et al., 2000, Malina et al., 2004), FM e TM (Nedeljkovic et al., 2007, Neu et al., 2002, Tonson et al., 2008, De Ste Croix et al., 2002). Logo, jogadores de futebol mais avançados no processo maturacional apresentam maiores níveis de FM, VO_{2max} , potência anaeróbia e

desenvolvimento da técnica esportiva (Philippaerts et al., 2006, Malina et al., 2000, Malina et al., 2004, Malina et al., 2007, Malina et al., 2005).

Por esse motivo, os fisiologistas do exercício enfrentam problemas para distinguir se as alterações nas variáveis físicas e fisiológicas do desempenho esportivo ocorrem em resposta ao treinamento, ao crescimento normal do indivíduo ou ainda por uma interação entre esses fatores. Variáveis como o VO_{2max} , LAn, FM e TM são influenciadas por diferenças na composição corporal e principalmente pela maturação biológica (Tolfrey et al., 2006, Welsman et al., 1996, Armstrong and Welsman, 2001, Armstrong et al., 1999, Cunha et al., 2008a, Cunha and Oliveira, 2008, De Ste Croix et al., 2003, Malina et al., 2004, Nevill et al., 2005, Rowland, 2005).

Um fator fundamental para distinguir a contribuição do treinamento e do crescimento sobre o desempenho esportivo é a normalização dos dados. Convencionalmente o tamanho corporal é controlado por uma simples divisão do VO_{2max} absoluto ($ml \cdot min^{-1}$) pela massa corporal (MC) em kilogramas (kg), criando a expressão padrão VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Nesse último, é assumido que o VO_{2max} está normalizado e a influência da MC foi devidamente ajustada. No entanto, a capacidade de desempenho dos sujeitos mais leves é superestimada e a de sujeitos mais pesados subestimada nessa forma de expressão (Chamari et al., 2005, Rowland, 2005). Existem muitas limitações teóricas e estatísticas para o uso desses padrões de expressão do VO_2 , principalmente porque o VO_2 não aumenta na mesma proporção que a MC (Armstrong et al., 1999, Armstrong and Welsman, 1994, Armstrong et al., 1997, Wisloff et al., 1998, Heil, 1997, Nevill et al., 1992, Nevill, 1994, Nevill and Holder, 1995, Welsman et al., 1996, Rowland, 2005, Armstrong and Welsman, 2000, Welsman and Armstrong, 2000, Nevill, 1997).

No mesmo sentido, a normalização mais comum para os dados de FM constitui na divisão do valor da FM absoluta pela MC, conhecida como expressão padrão (FM/MC). Da

mesma forma que o VO_{2max} , esse método de normalização tem sido criticado, pois tem sido demonstrado que a relação entre MC e FM não é linear, com os valores de FM aumentando em uma menor proporção do que a MC (Wisloff et al., 1998, Vanderburgh and Dooman, 2000, Vanderburgh et al., 1995, Batterham and George, 1997, Challis, 1999, Anderson and Rhodes, 1991, Davies and Dalsky, 1997, Dooman and Vanderburgh, 2000, Jaric et al., 2002a, Jaric et al., 2002b, Neder et al., 1999, Nevill et al., 1998, Weir et al., 1999), assim tornando-se inapropriada para ajustar adequadamente os efeitos da MC sobre a FM.

Atualmente existe um debate sobre qual o método mais apropriado para normalizar o VO_{2max} , LAn, FM e TM em crianças, adultos e atletas (Nevill et al., 2005). No intuito de realizar comparações adequadas entre jogadores de futebol de diferentes tamanhos corporais, muitos autores têm utilizado a equação alométrica ($Y=aX^b$) para normalizar os valores de VO_{2max} , LAn, FM e TM (Wisloff et al., 2004, Wisloff et al., 1998, Helgerud et al., 2001, Hoff et al., 2002, Chamari et al., 2004, Davis et al., 2007, Cunha et al., 2008a, Sanada et al., 2007), visto que essas variáveis não aumentam nas mesmas proporções que a MC (Bergh et al., 1991, Wisloff et al., 2004, Rowland, 2005, Armstrong and Welsman, 2000, Batterham and George, 1997, Challis, 1999, Davies and Dalsky, 1997, Dooman and Vanderburgh, 2000, Neder et al., 1999, Nevill et al., 1998, Vanderburgh and Dooman, 2000, Vanderburgh et al., 1995, Wisloff et al., 1998, Weir et al., 1999).

No entanto, o valor que o expoente alométrico (b) poderá assumir para o LAn, VO_{2max} , FM e TM ainda é motivo de muita controvérsia, pois este é dependente de vários aspectos como a composição corporal, idade cronológica, maturação biológica, variável de normalização, modalidade esportiva, tipo de contração e grupo muscular analisado (Armstrong et al., 1999, Heil, 1997, Nevill et al., 2005, Rowland, 2005, Agutter and Wheatley, 2004, Suarez et al., 2004, Batterham and Jackson, 2003, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2002a). Estudos específicos com crianças têm apresentado que o valor médio deste

expoente alométrico para o VO_{2max} é de aproximadamente $b= 0,83$, podendo variar de 0,37 a 1,18 (Rowland, 2005, Beunen et al., 2002). No que diz respeito à FM e ao TM, tem sido reportados consistentemente maiores valores de expoente alométrico para o TM ($b=1$) do que para a FM ($b=0,67$), com valores variando de aproximadamente 0,77 à 1,87 para o TM e de 0,33 à 0,87 para a FM (Aasa et al., 2003, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005, Jaric et al., 2002a, Markovic and Jaric, 2004, Markovic and Jaric, 2005, Wisloff et al., 1998, Malaguti et al., 2006, Folland et al., 2008, Hulens et al., 2001).

Especificamente no futebol, alguns estudos têm expressado o VO_{2max} na forma alométrica ($ml.kg^{-0,75}.min^{-1}$) a fim de realizar comparações adequadas entre jogadores de futebol de diferentes MC (Wisloff et al., 1998, Wisloff et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Chamari et al., 2004, McMillan et al., 2005, Cunha et al., 2008a), tendo em vista que o VO_{2max} não aumenta em direta proporção à MC (Bergh et al., 1991, Wisloff et al., 1998, Rowland, 2005, Hoff et al., 2002, McMillan et al., 2005). Diversos estudos corroboram com esta afirmação (Sjodin and Svedenhag, 1992, Heil, 1997, Rowland, 2005, Agutter and Wheatley, 2004, Cunha et al., 2008a). Por outro lado, como a FM e o TM ainda não apresentam protocolos de avaliação padronizados para o futebol (Stolen et al., 2005), são raros os estudos que utilizaram a alometria para normalização da FM (Wisloff et al., 2004), dificultado assim estabelecer expoentes alométricos específicos para jogadores de futebol.

Recentemente o volume muscular (VM) tem sido considerado a melhor variável de normalização para os dados de VO_{2max} (Nevill et al., 2004b, Tolfrey et al., 2006), FM e TM em indivíduos de diferentes tamanhos corporais (Fukunaga et al., 2001, Tonson et al., 2008, Barrett and Harrison, 2002, Thom et al., 2007, Akagi et al., 2009). O VM tem demonstrado superioridade em relação a outras variáveis de normalização como a MC, a massa livre de gordura (MLG) e a área de seção transversa (AST) por representar melhor a massa muscular envolvida no exercício (Akagi et al., 2009, Tonson et al., 2008). Adicionalmente, essa

normalização (FM/VM ou TM/VM) tem sido considerada um índice de tensão específica do músculo esquelético (Lynch et al., 1999).

Diversas evidências têm demonstrado que a expressão padrão (VO_2/MC , FM/MC e TM/MC) falha ao ajustar os efeitos da MC, tornando-se inapropriada para comparar valores de VO_{2max} , LAn, FM e TM entre grupos heterogêneos em tamanho corporal (Nevill et al., 2004a, Welsman et al., 1996). Especificamente nos estudos com crianças e adolescentes torna-se de extrema importância a aplicação de metodologias que normalizem apropriadamente os dados, pois durante a maturação biológica a MC apresenta uma grande variação, interferindo nos resultados e nas conclusões a cerca do comportamento dessas variáveis.

Por todo o exposto, torna-se importante normalizar os efeitos da MC sobre o LAn, VO_{2max} e TM para podermos comparar jogadores de futebol de diferentes tamanhos corporais. A partir disso, poderemos verificar o comportamento dessas variáveis durante o crescimento e maturação biológica desses atletas, o que nos permitiria maximizar os efeitos positivos do treinamento, evitando assim, uma sobrecarga desnecessária que geralmente acarreta em lesões ou em problemas mais complexos como o sobre-treinamento (Cunha et al., 2008b, Cunha et al., 2006). Adicionalmente, identificamos uma carência de estudos sobre o VO_{2max} , LAn e TM relacionados à maturação biológica, normalização alométrica e treinamento esportivo.

A presente tese é composta de dois estudos transversais. O primeiro, visa investigar se a maturação biológica apresenta efeito sobre o VO_{2max} e LAn quando esses são devidamente normalizados. O segundo verifica o efeito da maturação biológica sobre o TM isométrico e dinâmico dos extensores do joelho normalizados por diferentes variáveis. Ambos os estudos foram conduzidos com jovens jogadores de futebol e a alometria foi utilizada como o principal método de normalização dos dados.

OBJETIVO GERAL

Verificar o efeito da maturação biológica sobre o VO_{2max} , os limiares ventilatórios e o TM em jovens jogadores de futebol.

Objetivos Específicos – Estudo I

Verificar o efeito da maturação biológica sobre o VO_{2max} e os limiares ventilatórios (LV_1 e LV_2) expressos nas formas absoluta ($ml.min^{-1}$), relativa a MC ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) e alométrica referente a MC ($ml.kg^{-b}.min^{-1}$) e ao volume muscular ($ml.ml^{-b}.min^{-1}$).

Identificar o melhor método de normalização para o VO_{2max} e os limiares ventilatórios.

Identificar o expoente alométrico que melhor representa a amostra.

Identificar as variáveis explicativas da variabilidade do VO_{2max} , LV_2 e LV_1 .

Estabelecer dados normativos para jovens jogadores de futebol.

Objetivos Específicos – Estudo II

Verificar o efeito da maturação biológica sobre o TM isocinético dos extensores do joelho expressos nas formas absoluta (Nm), relativa à MC (Nm.kg^{-1}), alométrica referente a MC (Nm.kg^{-b}) e ao volume muscular (Nm.ml^{-b}).

Verificar o efeito da maturação biológica e da arquitetura muscular sobre as relações torque-ângulo e torque-velocidade expressos nas formas acima.

Identificar o melhor método de normalização do TM isocinético.

Identificar o expoente alométrico que melhor representa a amostra.

Identificar as variáveis explicativas para a variabilidade do TM isocinético.

Estabelecer dados normativos para jovens jogadores de futebol.

HIPÓTESES

Estudo I

A maturação biológica apresentará efeito positivo sobre os valores de VO_{2max} e limiares ventilatórios quando esses forem devidamente normalizados e não apresentará efeito sobre a forma relativa à MC ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$).

O volume muscular alométrico será o método mais adequado para a normalização dos dados de VO_{2max} e limiares ventilatórios.

Estudo II

A maturação biológica apresentará efeito positivo sobre os valores de TM isométrico, concêntrico, excêntrico e nas relações torque-ângulo e torque-velocidade dos extensores do joelho quando devidamente normalizados e não apresentará efeito sobre a forma relativa à MC ($Nm.kg^{-1}$).

O volume muscular alométrico será considerado o método de normalização mais adequado para os dados de TM isocinético de extensores de joelho.

1.0 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura abordará de maneira crítica as demandas físicas e fisiológicas de jovens jogadores de futebol, bem como o comportamento de variáveis importantes para o seu desempenho, como o LAn, VO_{2max} , FM e TM. Adicionalmente, abordaremos as prováveis influências que a maturação biológica exerce sobre essas variáveis. Além do mais, esta revisão tem como objetivo apresentar críticas e sugestões aos métodos de normalização das variáveis acima, visto que os métodos tradicionais de normalização estão sendo considerados inapropriados e a alometria apontada como o método mais adequado de normalização dessas variáveis.

1.1 Demandas Físicas do Futebol

As demandas físicas do futebol são de características intermitentes, sendo a corrida a atividade predominante, mas exercícios de explosão como *sprints*, saltos, marcação e chute são fatores importantes para um excelente desempenho no futebol (Cometti et al., 2001).

A distância percorrida em uma partida de futebol de alto nível é de aproximadamente 9-12 km para jogadores de linha (Helgerud et al., 2001, Mohr et al., 2003, Rienzi et al., 2000, Thatcher and Batterham, 2004) e 4 km para os goleiros (Stolen et al., 2005). No 2º tempo a intensidade do jogo diminuiu cerca de 5-10% em relação ao 1º tempo (Mohr et al., 2003, Rienzi et al., 2000). A posição tática dos jogadores influencia na distância percorrida durante a partida, com zagueiros percorrendo aproximadamente 7,7-9,7 km, meio-campistas de 9-11 km e atacantes 7,7-11,0 km (Helgerud et al., 2001, Mohr et al., 2003, Rienzi et al., 2000, Thatcher and Batterham, 2004). A distância percorrida tem sido classificada como padrão de atividade física, como caminhar, trotar, correr, *sprint* e corrida de costas. Assim, durante o jogo os atletas caminham aproximadamente 1,0-3,5 km, trotam de 2-6 km, correm 1-2 km,

sprint de 0,3-0,5 km e corrida de costas 0,1-0,8 km (Castagna et al., 2003, Mohr et al., 2003, Rienzi et al., 2000, Thatcher and Batterham, 2004).

Durante o jogo, um *sprint* ocorre aproximadamente a cada 90 segundos (s), cada um dura em média 2-4s (Bangsbo et al., 1991). Os *sprints* constituem 1-10% da distância total percorrida durante o jogo (Mohr et al., 2003), que corresponde de 0,5% a 3,0% do tempo efetivo de jogo (Bangsbo et al., 1991). Com relação à resistência, cada jogador realiza aproximadamente cerca de 1000-1400 atividades de curta duração alternadas a cada 4-6 s (Mohr et al., 2003, Bangsbo et al., 1991). As atividades realizadas são de aproximadamente 10-20 *sprints*, corridas de alta intensidade a cada 70 s, cerca de 15 desarmes, 10 cabeçadas, 50 envoltimentos com a bola, 30 passes, além de mudanças de direção e grande esforço muscular para manter o equilíbrio e o controle da bola contra a pressão do marcador (Bangsbo et al., 1991).

No entanto, a maioria dos resultados é referente a jogadores profissionais. Por esse motivo, Castagna et al. (2003) verificaram o padrão de atividade física em jovens jogadores de futebol com idade média de 11,8 anos durante os jogos. A duração de cada jogo foi de 60 minutos e as medidas do campo eram de 100x65 m. Foi verificado que a distância percorrida total correspondia a 6175 m, sendo que 1112 m e 32 m foram percorridos caminhando e caminhando de costas, respectivamente. Em média os jogadores percorriam 3200 m em baixa intensidade, 986 m em intensidade moderada e 468 m em alta intensidade de corrida, respectivamente. Em média 34 *sprints* com duração de 2,3 s foram realizados durante a partida, com velocidades máximas de 18 km.h⁻¹, e o tempo entre cada *sprint* foi de 118,5 s. A distância percorrida diminuía aproximadamente 5,5% entre o 1º e o 2º tempo. Os autores concluíram que o padrão de atividade física destes jovens jogadores de futebol é intermitente e muitas vezes desempenhado em altas intensidades.

1.2 Demandas Fisiológicas do Futebol

Devido à duração do jogo, estima-se que o metabolismo aeróbio contribua com aproximadamente 90% do custo energético de uma partida de futebol (Bangsbo, 1994b). A intensidade de trabalho médio mensurada como percentual da frequência cardíaca máxima (FC_{max}) durante os 90 minutos de uma partida de futebol é semelhante a intensidade do LAn, que corresponde a 80-90% da FC_{max} em jogadores de futebol (Bunc and Psotta, 2001, Casajus, 2001, Chamari et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004). Fisiologicamente, poderia ser impossível manter esta altíssima média de intensidade por um longo período de tempo, principalmente devido à acidose metabólica.

Embora o metabolismo aeróbio seja predominante na ressíntese de energia durante uma partida de futebol, as ações mais importantes são desempenhadas por meio do metabolismo anaeróbio. A liberação de energia via metabolismo anaeróbio é exigida principalmente na execução de *sprints*, saltos e disputas pela bola. A execução destas atividades interfere nas concentrações de lactato, que durante uma partida de futebol tem apresentado maiores valores no 1º tempo (4,1-7,0 mmol.l⁻¹) do que no 2º tempo (2,7-4,4 mmol.l⁻¹) (Bangsbo, 1994a, Bangsbo et al., 1991, Capranica et al., 2001, Mohr et al., 2005). É importante salientar que a concentração de lactato é largamente dependente do padrão de atividade física do jogador e seus valores são positivamente correlacionados com o aumento do trabalho realizado previamente antes da coleta de sangue (Bangsbo, 1994b).

Uma maior taxa de remoção do lactato depende da sua concentração, da atividade em períodos de recuperação e da potência aeróbia. Quanto maior a concentração de lactato, maior sua taxa de remoção (Bangsbo, 1994b). É importante ressaltar que jogadores de futebol que possuem um elevado VO_{2max} podem apresentar menores concentrações de lactato, por apresentarem uma melhor recuperação após a realização de exercícios intermitentes de alta intensidade. Assim, um elevado VO_{2max} resulta em menores níveis de lactato sanguíneo e

muscular para uma mesma intensidade absoluta submáxima, e isto é devido a uma menor produção de lactato como resultado de um aumento da liberação de energia pelo sistema aeróbio e aumento da sua taxa de remoção (Tomlin and Wenger, 2001).

Por esse motivo, a potência aeróbia máxima tem aumentado entre as equipes de alto rendimento nos últimos anos (Wisloff et al., 1998). O VO_{2max} de jogadores de futebol em laboratório tem apresentado valores compreendidos entre 55-75 ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), enquanto que, goleiros possuem VO_{2max} de 50-55 ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) (Arnason et al., 2004, Chamari et al., 2004, Drust et al., 2000, Helgerud et al., 2001, Impellizzeri et al., 2004, McMillan et al., 2005, Stroyer et al., 2004, Wisloff et al., 1998, Wisloff et al., 2004, Casajus, 2001). O LAn tem sido reportado como sendo entre 76,6% e 90,3% da FC_{max} mensurada durante as partidas de futebol (Chamari et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004, Bunc and Psotta, 2001, Casajus, 2001).

Tradicionalmente, os jogadores de futebol de categoria de base apresentam valores de VO_{2max} inferiores a $60 ml.kg^{-1}.min^{-1}$ (Helgerud et al., 2001, Impellizzeri et al., 2004, Stroyer et al., 2004). Entretanto, Helgerud et al. (2001) estabeleceram valores de VO_{2max} de $64,3 ml.kg^{-1}.min^{-1}$ em juniores. Stroyer et al. (2004) observaram que jogadores de meio-campo e atacantes possuíam maiores valores de VO_{2max} do que jogadores de defesa no final da puberdade (65 e $58 ml.kg^{-1}.min^{-1}$, respectivamente). McMillan et al. (2005) encontraram valores de VO_{2max} $63,4 ml.kg^{-1}.min^{-1}$ em 11 jogadores com idade média de 16,9 anos, sendo que após 10 semanas de treinamento aeróbio específico (90-95% FC_{max}) o VO_{2max} aumentou para $69,8 ml.kg^{-1}.min^{-1}$.

Recentemente, tem sido apresentado que um aumento de 11% no VO_{2max} após 8 semanas de treinamento com jovens jogadores de futebol, reflete em um aumento de 20% na distância percorrida total, aumento de 23% nos envoltimentos com a bola e um incremento de 100% no número de *sprints* realizados por cada jogador (Helgerud et al., 2001). Essas são

algumas das vantagens que demonstram a relação entre uma elevada potência aeróbia e o desempenho no futebol moderno (Wisloff et al., 2004).

O LAn tem sido considerado fundamental para o desempenho do futebol, tendo em vista a sua estreita relação com a intensidade do jogo. Ele pode ser expresso em percentual tanto da FC_{max} como do VO_{2max} , ou ainda a valores correspondentes a FC (bpm) e VO_2 ($ml \cdot min^{-1}$, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ e $ml \cdot kg^{-0,75} \cdot min^{-1}$). O LAn também pode ser determinado pelo método ventilatório, sendo amplamente conhecido como limiar ventilatório 2 (LV_2) e tem apresentado valores de aproximadamente 80% a 90% da FC_{max} em jogadores de futebol (Bunc and Psotta, 2001, Casajus, 2001, Chamari et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004). Quando expresso em percentual do VO_{2max} , valores entre 75-90% tem sido reportados em jogadores de futebol com idades entre 12 e 21 anos (Hoff et al., 2002, Chamari et al., 2005, Chamari et al., 2004, Helgerud et al., 2001). Cunha et al. (2008) reportaram que este valor corresponde a aproximadamente 88% do VO_{2max} em jovens jogadores do futebol brasileiro com idades entre 12 e 16 anos. Poucos estudos têm verificado os limiares ventilatórios (LV_1 e LV_2) em jovens jogadores de futebol, visto que a intensidade média de trabalho mensurada como $\%FC_{max}$ durante os 90 minutos de uma partida de futebol é muito próxima da intensidade do LV_2 (Bunc and Psotta, 2001, Casajus, 2001, Chamari et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004). Cunha et al. (2008a) atribuíram um efeito da maturação biológica sobre os limiares ventilatórios em jogadores de futebol. Os autores verificaram que as principais diferenças entre os grupos estabelecidas para LV_1 e LV_2 ocorriam na transição da pré-puberdade para a puberdade. Outras possíveis explicações acerca das diferenças encontradas entre os limiares ventilatórios (LV_1 e LV_2) em crianças e jovens jogadores de futebol poderiam ser atribuídas a alterações no padrão de utilização do substrato, metabolismo enzimático, distribuição do tipo de fibra muscular, estoques de glicogênio muscular e a eficiência ventilatória relacionada ao equilíbrio ácido-básico (Klentrou et al., 2006, Ratel et al., 2002, Taylor et al., 1997, Stephens

et al., 2006, Rowland, 2005, Eriksson and Saltin, 1974, Boisseau and Delamarche, 2000, Van Praagh, 2000, Eriksson et al., 1973, Kaczor et al., 2005, Van Praagh and Dore, 2002, Eriksson et al., 1971).

1.3 Força no Futebol

Assim como o VO_{2max} e o LAn, a força e a potência são variáveis igualmente importantes no futebol. A FM máxima é uma qualidade básica que influencia no desempenho da potência, onde um aumento nos níveis de FM máxima é geralmente associado com um aumento na FM relativa, e desta forma, ocorre um aumento na potência. Relações estatisticamente significativas têm sido observadas entre uma repetição máxima (1RM), aceleração, *sprints* e saltos (Hoff and Helgerud, 2004, Stolen et al., 2005). Esta relação tem sido confirmada por resultados de testes de saltos e de *sprints* de 30 m (Wisloff et al., 2004). O aumento da disponibilidade de força de contração muscular em um determinado músculo ou grupo muscular pode aumentar a velocidade e a aceleração durante a execução de habilidades críticas para o futebol, como *sprints*, movimentos com mudança de direção, deslocamento de costas, saltos e chutes (Wisloff et al., 2004, Bangsbo, 1994b, Hoff and Helgerud, 2004).

Altos níveis de FM máxima de membros superiores e principalmente de membros inferiores são importantes, pois estabilizam as articulações em várias situações de jogo, principalmente durante as contrações musculares excêntricas, o que auxilia a prevenir lesões no futebol (Arnason et al., 2004, Cometti et al., 2001, Wisloff et al., 2004, Hoff and Helgerud, 2004). Esta prevenção é importante, pois cerca de 80% das lesões no futebol ocorrem em membros inferiores, principalmente em joelhos e tornozelos (Kakavelakis et al., 2003).

Tendo em vista que a maturação biológica é relacionada com o desempenho físico, os atletas mais avançados no processo maturacional geralmente possuem maiores níveis de FM, potência e potência aeróbia em relação aos indivíduos menos avançados. Este fato tem grande impacto na periodização do treinamento e principalmente no processo de detecção de talentos (Malina et al., 2000, Philippaerts et al., 2006).

1.4 Avaliação da Maturação Biológica e seus Efeitos sobre o Metabolismo

A maioria dos estudos com crianças e adolescentes examina as respostas agudas e crônicas ao exercício e ao treinamento físico, comparando respostas fisiológicas entre crianças e adultos. As funções fisiológicas e parâmetros morfológicos como o volume do coração, função pulmonar, potência aeróbia e a FM são influenciadas pela idade cronológica e pelo tamanho e composição corporal (Baxter-Jones et al., 2005, Rowland, 2005, Boisseau and Delamarche, 2000).

A questão que intriga os fisiologistas do exercício é como separar os efeitos independentes do crescimento e da maturação biológica dos efeitos de exposição ao exercício e ao treinamento físico. Essa distinção torna-se importante porque algumas vezes os efeitos do crescimento e da maturação biológica ocultam ou são mais significativos do que os efeitos associados ao exercício e treinamento físico. Em parte, os efeitos de confusão da maturação biológica e do crescimento têm sido controlados pela identificação de variáveis independentes do tamanho corporal, assim, permitindo a comparação entre grupos diferentes.

Os termos crescimento, desenvolvimento e maturação biológica algumas vezes são confundidos e utilizados como sinônimos. Embora interrelacionados esses conceitos apresentam fundamentos e semânticas diferentes. Crescimento refere-se a alterações de tamanho de maneira geral (estatura) ou de várias partes do corpo (coração, pulmão) (Baxter-Jones et al., 2005). Desenvolvimento pode ser definindo como a aquisição do comportamento

psicossocial esperado pela sociedade (Baxter-Jones et al., 2005). Maturação biológica implica no progresso em direção ao estado biologicamente adulto, que varia em início e duração (Baxter-Jones et al., 2005). É importante compreender que esses processos ocorrem simultaneamente e interagem entre si.

Durante a infância e adolescência, indivíduos com a mesma idade cronológica podem estar em diferentes estágios maturacionais. O processo de maturação biológica tem dois componentes principais, início e duração (Baxter-Jones et al., 2005, Malina and Bouchard, 1991). O primeiro refere-se à idade em que eventos específicos da maturação biológica ocorrem (idade da menarca, idade do crescimento das mamas, aparecimento de pelos pubianos, estirão do crescimento). A duração refere-se à taxa em que ocorre o progresso da maturação biológica (velocidade em que um indivíduo avança os estágios maturacionais em direção ao estado adulto) (Baxter-Jones et al., 2005, Malina and Bouchard, 1991).

A maturação biológica pode ser controlada pela organização dos indivíduos em estágios maturacionais semelhantes. Estudos longitudinais têm utilizado análises estatísticas sofisticadas, como modelos multiníveis para distinguir os efeitos independentes do exercício e do treinamento dos efeitos do crescimento e da maturação biológica (Armstrong et al., 1999, Armstrong and Welsman, 2000, Armstrong and Welsman, 2001, Beunen et al., 2002, Nevill et al., 1998, Eisenmann et al., 2001). Uma vantagem dos estudos longitudinais sobre os estudos transversais é a possibilidade de obtenção da variação intra-individual, e com isso o início e a duração da maturação biológica podem ser identificados (Baxter-Jones et al., 2005). Entretanto, estudos longitudinais são algumas vezes inviáveis com crianças e adolescente, pois são cansativos, dispendiosos e consomem muito tempo dos participantes e investigadores. Além do mais, muitas vezes a compreensão do processo maturacional não é possível, pois este processo varia em início e tempo de duração. Por essa razão, a maior parte do conhecimento em pediatria do exercício é baseada em estudos transversais, pois são mais

viáveis, de rápida execução e podem incluir um grande número de crianças (Baxter-Jones et al., 2005).

Os métodos mais comuns de determinação da maturação biológica envolvem a avaliação da idade esquelética, características somáticas e características sexuais secundárias. A idade esquelética pode ser determinada a partir de radiografias da mão, punho e joelho. A avaliação da idade esquelética é baseada na observação e comparação com radiografias de indivíduos mais avançados no processo maturacional, onde geralmente estes têm um maior desenvolvimento ósseo e uma menor quantidade de cartilagem do que indivíduos menos avançados no processo maturacional. Embora a avaliação da idade esquelética seja considerada o melhor indicador de maturação biológica, essa possui elevado custo financeiro, requer equipamento e interpretação especializada, além de exposição à radiação (Baxter-Jones et al., 2005, Malina and Bouchard, 1991).

O pico do estirão da estatura é a variável somática mais utilizada em estudos longitudinais. Para obtermos esta variável devemos mensurar a taxa em que a estatura aumenta anualmente (cm.ano^{-1}) e após, inserir estes valores em uma curva de crescimento para identificar a idade em que ocorre o maior aumento da estatura. A partir da análise desta curva, os indivíduos podem ser caracterizados como pré-púberes (PREP), púberes (PUB) e pós-púberes (POSP) dependendo da idade em que o pico do estirão da estatura é alcançado. Entretanto, este método requer uma série de dados e pode limitar os estudos longitudinais. Alternativamente, Mirwald et al. (2002) tem desenvolvido equações de regressão múltiplas baseadas em padrões de crescimento que predizem o pico do estirão da estatura. As equações necessitam de medidas de estatura, comprimento do tronco e pernas, MC e idade cronológica. Utilizando esses indicadores, o pico do estirão da estatura pode ser estimado em aproximadamente um ano em 95% dos casos. Esta técnica tem a vantagem de ser rápida, de baixo custo, não-invasiva e pode ser aplicado em estudos transversais.

A maturação sexual também pode ser acessada utilizando índices de características sexuais secundárias (Baxter-Jones et al., 2005, Malina and Bouchard, 1991). Estas características são avaliadas a partir do desenvolvimento dos seios nas meninas, desenvolvimento da genitália nos meninos e desenvolvimento dos pêlos pubianos em ambos os sexos. Após essa avaliação os indivíduos podem ser classificados em 5 estágios (Tanner, 1962, Baxter-Jones et al., 2005, Malina and Bouchard, 1991). Outras variáveis como o aparecimento da barba, pêlos axilares, alterações na voz, odor do corpo e menarca são indicativos do início do processo maturacional (Tanner, 1962, Baxter-Jones et al., 2005, Malina and Bouchard, 1991). Adicionalmente, a maturação genital em meninos pode ser acessada por meio da mensuração do volume testicular. O aumento deste volume é o primeiro sinal observável do início da maturação biológica nos meninos. Já para as meninas, o primeiro parâmetro observável é o desenvolvimento dos seios (Baxter-Jones et al., 2005). Tradicionalmente, a determinação da maturação biológica tem sido obtida por visualização direta ou por auto-avaliação em comparação a figuras ou desenhos (figura 1). Este método tem demonstrado que crianças e adolescentes podem determinar a sua maturação biológica de forma acurada e válida (Baxter-Jones et al., 2005, Matsudo and Matsudo, 1994, Williams et al., 1988).

Controlar a maturação biológica no contexto esportivo é importante, pois a maturação biológica apresenta diversos efeitos sobre o metabolismo de crianças e adolescentes. Além disso, tem sido relatado que jovens apresentam respostas ao exercício de curta e longa duração dependente da idade e da maturação biológica (Boisseau and Delamarche, 2000).

A imaturidade do metabolismo anaeróbio em crianças é uma questão relevante e parece existir uma redução na atividade glicolítica. Uma justificativa para essa menor atividade glicolítica pode ser atribuída a diferentes composições da fibra muscular em crianças e adultos (Van Praagh, 2000, Van Praagh and Dore, 2002, Rowland, 2005). Crianças

de seis anos já podem apresentar um padrão histoquímico similar a de um jovem adulto. Contudo, algumas diferenças na composição da fibra muscular podem ocorrer durante a transição da infância para a pré-adolescência. Entretanto, algumas evidências sugerem que crianças possuem um percentual de fibras tipo I maior do que os adultos. O percentual de distribuição das fibras tipo II parece ser menor durante a pré-adolescência do que na idade adulta, mas essas diferenças vêm sendo atenuadas ao longo do processo maturacional (Van Praagh, 2000, Van Praagh and Dore, 2002). Esse aumento no percentual de fibras do tipo II que ocorre durante a maturação biológica pode dar vantagens aos indivíduos POSP em relação aos indivíduos PUB e PREP no desempenho de exercícios de alta intensidade (Van Praagh, 2000). Uma possível explicação para esse fato está relacionada ao aumento da testosterona na puberdade, que pode diminuir o percentual das fibras tipos I e aumentar o percentual de fibras do tipo II (Van Praagh and Dore, 2002).

Os níveis de glicogênio muscular também são influenciados pela maturação biológica e tem sido demonstrado que crianças possuem níveis de glicogênio muscular aproximadamente 50% menor do que os adultos (Eriksson et al., 1971, Eriksson et al., 1973) e ao longo do processo maturacional alcançam os níveis semelhantes aos dos adultos (Boisseau and Delamarche, 2000). Uma menor atividade das enzimas fosfofrutoquinase-1 (Eriksson et al., 1973) e lactato desidrogenase em crianças PREP poderia explicar a menor capacidade glicolítica e a limitada produção de lactato muscular relativo em comparação aos adultos (Eriksson et al., 1973, Boisseau and Delamarche, 2000). Ao contrário, crianças e adolescentes são bem adaptadas ao exercício prolongado de intensidade moderada, pois o crescimento e a maturação biológica induzem incrementos na massa muscular, com proliferação de mitocôndrias e proteínas contráteis (Stephens et al., 2006).

Crianças e adolescentes não são adultos em miniatura, eles crescem e maturam em sua taxa específica, assim como suas respostas metabólicas ao exercício variam de acordo com

seus progressos ao longo da infância e da adolescência. Na puberdade, o desenvolvimento acelerado e a intensa atividade endócrina podem afetar a regulação do metabolismo de exercício.

1.5 Influência da Maturação Biológica sobre o Limiar Anaeróbio

Estudos que verificaram os efeitos da maturação biológica sobre o LAn são limitados e contraditórios. Estudos transversais têm sugerido que o LAn pode diminuir com o crescimento e com o avanço da maturação biológica (Cooper et al., 1984, Kanaley and Boileau, 1988, Reybrouck et al., 1985). O LAn pode ser verificado pelo método ventilatório (LV_2), que é determinado a partir de cargas de trabalho associadas com o segundo aumento não linear da ventilação (Beaver et al., 1986, Dekerle et al., 2003, Cunha et al., 2011).

Kanaley & Boileau (1988) examinaram o LV_2 em PREP, PUB, POSP e verificaram que seus valores foram semelhantes entre os grupos (32,6; 33,6 e 31,3 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente). Quando o LV_2 foi expresso em % $VO_{2\text{max}}$, esse diminuía significativamente de 68,8% no grupo PREP para 58,5% no grupo POSP.

Da mesma forma, Reybrouck et al. (1985) examinaram o LV_2 em 247 crianças com idades entre cinco e 18 anos. O VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) correspondente ao LV_2 em meninos permanecia relativamente constante dos 5-12 anos e apresentava uma tendência a diminuir até os 18 anos. Quando o LV_2 era expresso em relação ao percentual do $VO_{2\text{max}}$, meninos de 5-6 anos apresentavam valores de 74,4%, diminuindo para 62% em meninos de 7-12 anos e uma diminuição considerável para cerca de 50% em meninos de 13-18 anos de idade. Cooper et al. (1984) também demonstraram uma tendência de diminuição do LV_2 com a maturação biológica em crianças de 6-17 anos. Ao contrário desses estudos transversais, um estudo

longitudinal apresentou que o LV_2 expresso em percentual do VO_{2max} aumentava de 56% para 61% em meninos de 11 até 15 anos (Paterson et al., 1987).

No entanto, existem poucos estudos que verificaram o efeito da maturação biológica sobre o LAn em jogadores de futebol. Cunha et al. (2008a) observaram que a maturação biológica apresenta efeito sobre os limiares ventilatórios de jovens jogadores de futebol classificados de acordo com os estágios de Tanner. Os resultados demonstraram que indivíduos classificados como PREP, PUB e POSP possuíam valores de LV_2 expresso em percentual do VO_{2max} semelhantes (88,5%, 88,1% e 88,3%, respectivamente). Entretanto quando o LV_2 foi expresso na forma alométrica ($ml.kg^{-0,75}.min^{-1}$), jogadores POSP possuíam maiores valores de LV_2 do que os jogadores PREP. Ao contrário, Cunha et al. (2011) não estabeleceram efeitos da maturação biológica sobre LV_1 e LV_2 quando os dados foram normalizados por expoentes alométricos específicos referentes a MC.

Torna-se evidentemente difícil chegar a qualquer conclusão sobre os efeitos da maturação biológica sobre o LAn, visto que poucos estudos utilizaram uma metodologia para identificar um índice independente do tamanho corporal que permite ajustar os efeitos da MC sobre o LAn.

1.6 Influência da Maturação Biológica sobre o VO_{2max}

Geralmente o VO_{2max} absoluto apresenta um comportamento progressivo dos 8-16 anos em meninos e dos 8-13 anos nas meninas. O VO_{2max} absoluto tende a apresentar um platô após os 13 anos em meninas e continua aumentando lentamente após os 16 anos em meninos (Armstrong and Welsman, 1994, Krahenbuhl et al., 1985, Beunen et al., 2002). O VO_{2max} absoluto pode ser normalizado pela MC (kg), conhecida como normalização ou expressão padrão ($VO_{2max} ml.kg^{-1}.min^{-1}$). Assim, constatamos que o VO_{2max} ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) de meninos

permanece relativamente constante dos 8 aos 18 anos, com valores de aproximadamente 48-50 ml.kg⁻¹.min⁻¹ para escolares e de 55-60 ml.kg⁻¹.min⁻¹ para jogadores de futebol.

Tem sido reportado que a maturação biológica pode influenciar o comportamento do VO_{2max} e do LAn (Beunen et al., 2002, Armstrong and Welsman, 2000, Malina et al., 2004, Eisenmann et al., 2001, Armstrong et al., 1999, Armstrong and Welsman, 2001, Geithner et al., 2004, Cunha et al., 2008a). Entretanto, torna-se difícil identificar se esse aumento do VO_{2max} é devido ao crescimento, à maturação biológica, ao treinamento ou a interações entre esses fatores (Armstrong and Welsman, 2000, Geithner et al., 2004, Rowland, 2005, Hansen and Klausen, 2004).

Na tentativa de elucidar essas interações, Malina et al. (2004) estimaram a contribuição da experiência em treinamento, do tamanho corporal e da maturação biológica sobre as capacidades funcionais em jogadores de futebol. A amostra foi composta de 69 jogadores com idades entre 13,2–15,1 anos. Foram realizados testes de saltos verticais (força explosiva), corrida de 30m (velocidade) e o *yo-yo test* (potência aeróbia). A maturação biológica foi determinada a partir das características sexuais secundárias de acordo com os critérios de Tanner e influenciou significativamente as capacidades funcionais desses jogadores. O tempo de treinamento apresentou influência significativa sobre a potência aeróbia, enquanto que a MC e a estatura influenciaram a velocidade e a força explosiva, respectivamente.

Armstrong et al. (1999) verificaram a influência do sexo, do crescimento e da maturação biológica sobre o consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) em crianças de 11-13 anos utilizando o modelo de regressão linear múltipla. Este modelo revelou que a idade, o sexo e os efeitos da maturação biológica sobre o VO_{2pico} em crianças destreinadas são independentes do tamanho corporal. Aparentemente, as diferenças de sexo, idade e maturação biológica sobre o aumento da massa livre de gordura (MLG) são as influências predominantes no aumento diferenciado do VO_{2pico} em meninos e meninas de 11-13 anos. Posteriormente,

esses mesmos autores confirmaram as descobertas do estudo anterior, com a MLG sendo a principal influência sobre o aumento do $VO_{2\text{pico}}$. A idade cronológica e o estágio maturacional foram consideradas as variáveis explicativas do $VO_{2\text{pico}}$ independentemente do tamanho corporal e da massa adiposa. O aumento do $VO_{2\text{pico}}$ foi comum em meninos e meninas, mas existia uma progressiva divergência nos valores em favor dos meninos (Armstrong and Welsman, 2001).

Uma investigação longitudinal analisou o desenvolvimento da potência aeróbia alométrica intra-individual em meninos dos 8 aos 16 anos de idade, relacionando a potência aeróbia com a maturação biológica e seus níveis de atividade física. Os autores concluíram que o $VO_{2\text{pico}}$ era amplamente explicado pela MC, mas o nível de atividade física e suas interações com a maturação biológica contribuía independentemente para o $VO_{2\text{pico}}$ mesmo após a MC ter sido devidamente normalizada (Beunen et al., 2002).

Geithner et al. (2004) verificaram o aumento do $VO_{2\text{pico}}$ durante a adolescência analisando os parâmetros de estirão de crescimento entre meninos e meninas. A média da idade em que ocorria o estirão do $VO_{2\text{pico}}$ foi de 12,3 anos para as meninas e 14,1 anos para os meninos. O $VO_{2\text{pico}}$ aumentou em ambos os sexos durante a adolescência, com meninos apresentando maiores valores do que as meninas em todas as idades. A idade em que ocorre o estirão do $VO_{2\text{pico}}$ coincide com o estirão da estatura e antes do estirão da MC em ambos os sexos. Esses resultados sugerem um fator de maturação biológica comum para o tamanho corporal e potência aeróbia.

Por outro lado, a maturação biológica influencia positivamente a capacidade aeróbia por aumentar o tamanho corporal, particularmente as dimensões do coração, pulmões, músculos e sistema circulatório (Rowland, 2005). Entretanto, vários estudos citados anteriormente apontam que a maturação biológica tem efeito positivo sobre o $VO_{2\text{max}}$ independentemente do tamanho corporal. Este efeito poderia ser justificado pela equação de Fick, onde $VO_2 = \text{débito}$

cardíaco \times dif_{a-v} de oxigênio. Analisando essa fórmula, a frequência cardíaca (FC) poderia ser eliminada como um fator determinante do $\text{VO}_{2\text{max}}$, porque seus valores são semelhantes em crianças e adolescentes independentemente do nível de capacidade aeróbia, idade cronológica, sexo e maturação biológica (Rowland, 2005, Armstrong and Welsman, 2000). A maturação biológica poderia ter efeito sobre a diferença arteriovenosa (dif_{a-v}) de oxigênio por aumentar as concentrações de hemoglobina em resposta ao aumento dos níveis de testosterona. No entanto, alguns estudos demonstram que as concentrações de hemoglobina não representam um parâmetro significativo para as variações no $\text{VO}_{2\text{max}}$ em crianças (Armstrong et al., 1999, Armstrong and Welsman, 2001). Na perspectiva da equação de Fick, o principal fator que diferencia a potência aeróbia em crianças é o volume máximo de ejeção (Rowland, 2005). Seus valores são maiores em meninos atletas ($76 \pm 6 \text{ ml.m}^{-2}$) do que em meninos não-atletas ($60 \pm 11 \text{ ml.m}^{-2}$) (Rowland et al., 2000b).

Levando em consideração que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ obtido por meio de um teste máximo é reconhecido como o melhor indicador de potência aeróbia em crianças e adolescentes (Armstrong and Welsman, 2000, Armstrong et al., 1999, Rowland, 2005), sendo tradicionalmente expresso em valores absolutos (ml.min^{-1}) ou relativo à MC ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Com relação a essa última expressão, geralmente assume-se que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ está normalizado e a influência da MC foi devidamente ajustada. Entretanto, inúmeras limitações teóricas e estatísticas dessa forma de expressão têm sido reportadas (Armstrong et al., 1999, Armstrong and Welsman, 1994, Armstrong et al., 1997, Wisloff et al., 1998, Heil, 1997, Nevill et al., 1992, Nevill, 1994, Nevill and Holder, 1995, Welsman et al., 1996, Rowland, 2005, Armstrong and Welsman, 2000, Welsman and Armstrong, 2000). Estas limitações tornam obscuros os efeitos da maturação biológica sobre o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e LAn.

Nesse sentido, outros modelos estatísticos têm sido sugeridos para identificar uma medida independente do tamanho corporal para o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Eisenmann et al., 2001, Rowland,

2005, Welsman and Armstrong, 2000, Nevill, 1997, Nevill et al., 1998, Nevill et al., 2003, Nevill et al., 1992). Em recente revisão, Nevill et al. (2005) exploraram uma variedade de modelos utilizados para descrever variáveis fisiológicas e antropométricas que variam de acordo com o tamanho corporal e com outras variáveis de confusão, como por exemplo a idade cronológica. Os autores concluíram que os modelos alométricos são superiores aos modelos de normalização tradicionais, lineares e polinomiais porque possibilitam identificar índices independentes do tamanho corporal, permitem interpretar modelos biológicos, fornecem conclusões mais coerentes para estudos epidemiológicos e experimentais, além de apresentarem um poder estatístico superior aos demais modelos.

Um considerável debate instalou-se no meio científico acerca de qual o método mais apropriado para normalizar o VO_2 e ajustar devidamente os efeitos da MC em crianças e adultos (Nevill et al., 2005, Rowland, 2005). Tem sido demonstrado que para facilitar as comparações entre grupos de diferentes tamanhos corporais, o mais apropriado seria ajustar os efeitos da MC utilizando a equação alométrica $VO_{2max} = aM^b$ (maiores detalhes no tópico sobre alometria).

1.7 Influência da Idade Cronológica e da Maturação Biológica sobre a FM e o TM

Muitas atividades do futebol necessitam de grandes quantidades de FM: a marcação, o chute, a corrida e o cabeceio estão entre elas. Assim, um aumento nos níveis de FM provavelmente representa um efeito positivo na execução dessas atividades, além de diminuir o risco de lesões.

Testes de FM em crianças e adolescentes são realizados rotineiramente para monitorar as variáveis determinantes da força e seu desenvolvimento durante a infância e adolescência. É importante que técnicos e preparadores físicos conheçam o comportamento da FM e suas

variações relacionadas à idade cronológica, ao sexo e a maturação biológica, bem como de outras variáveis que possam influenciar o seu comportamento. Adicionalmente, muitos fatores interagem sobre a produção de FM. Entre eles, podemos destacar os fatores antropométricos, neurais, hormonais, idade cronológica, sexo, maturação biológica e treinamento, sendo difícil dissociar esses efeitos.

A utilização de dinamômetros isocinéticos para avaliação da FM nos fornece dados relevantes em condições dinâmicas. Existem diferentes estratégias de controle neural e mecânico das contrações musculares concêntricas e excêntricas. O dinamômetro isocinético mensura torque, que é uma função da FM multiplicado pelo braço de alavanca (momento articular). Esse equipamento é indicado para avaliação de FM em crianças porque apresenta um menor risco de lesão muscular e articular. Permite ainda a quantificação de diversos índices de FM como o pico e a média de TM, trabalho, potência, equilíbrio muscular, relação torque-ângulo e torque-velocidade, além das relações entre contrações isométricas, concêntricas e excêntricas.

A maioria dos estudos que examinaram o comportamento da FM ou TM em crianças e adolescentes durante o crescimento utilizou protocolos isométricos. Nesse caso, o principal fator determinante da FM é o tamanho muscular. Obviamente a FM aumenta conforme avança o crescimento ósseo dessas crianças. O que não está claro é o comportamento da FM durante o processo de maturação biológica, pois fatores independentes do tamanho corporal como a secreção hormonal e a atividade neuromuscular contribuem para o desenvolvimento da força.

Geralmente a FM apresenta um aumento progressivo dos 2 aos 18 anos em meninos e dos 2 aos 14 anos em meninas. Após essa idade, as meninas tendem a apresentar um platô nos valores de FM. Comportamento semelhante é observado na força isocinética (De Ste Croix et al., 1999, De Ste Croix et al., 2002, Ramos et al., 1998, Seger and Thorstensson, 2000, Neu et

al., 2002), mas outros mecanismos estão associados a este incremento e necessitam de maiores investigações. As variações associadas ao sexo, idade e maturação biológica na FM isocinética ainda não são totalmente compreendidas e os dados atuais são conflitantes em relação à idade em que as diferenças em relação ao sexo tornam-se aparentes.

Estudos transversais têm demonstrado um aumento significativo da FM isocinética com a idade cronológica em meninos e meninas (De Ste Croix et al., 1999, Kellis and Baltzopoulos, 1996, Kanehisa et al., 1995). Observa-se um aumento na FM absoluta de extensores (314% e 143% para os de homens e mulheres, respectivamente) e de flexores do joelho (285% e 131% para os de homens e mulheres, respectivamente) dos 9 aos 21 anos de idade (De Ste Croix et al., 1999). Kanehisa et al. (1995) também observaram aumentos significativos da força isocinética de extensores e flexores do joelho em meninos de 7-18 anos de idade, com um considerável aumento ocorrendo entre os 13-15 anos. Para as mulheres foi reportado um aumento da FM isocinética de extensores e flexores do joelho até os 14 anos e depois ocorre um platô (De Ste Croix et al., 1999). Estes ganhos de FM em idades específicas sugerem um efeito positivo da maturação biológica sobre a FM isocinética.

Os dados acerca dos efeitos da idade cronológica sobre a FM são controversos, mas tem sido identificado um efeito independente, com meninos e meninas apresentando menores valores de FM concêntrica normalizada por AST do que os adultos (Kanehisa et al., 1994). Entretanto, embora a idade cronológica apresente altas correlações com o aumento da FM, as taxas de crescimento corporal e de maturação biológica variam independentemente dos seus efeitos sobre a FM e não se correlacionam com a idade cronológica (De Ste Croix et al., 2003, Neu et al., 2002). Esta afirmação é suportada por um estudo longitudinal que utilizou um modelo de regressão linear múltipla e demonstrou que idade cronológica não era uma variável explicativa da FM quando a massa e a estatura foram devidamente controladas em crianças de 10-14 anos (De Ste Croix et al., 2002). Ao contrário, Davies (1985) relatou que as alterações

da FM com a idade e as diferenças entre os sexos desaparecem quando os dados são normalizados pela AST.

Porém, ainda não está elucidada a idade cronológica em que as diferenças de FM entre meninos e meninas tornam-se evidentes (De Ste Croix et al., 2002, De Ste Croix et al., 1999, Ramos et al., 1998, Sunnegardh et al., 1988) e tampouco se estas diferenças são devidas a idade cronológica ou a fatores relacionados ao método de normalização dos dados, que recentemente tem atraído a atenção de muitos pesquisadores. De Ste Croix et al. (1999) estudaram 141 indivíduos alocados em grupos por idade: 8-9 anos, 13-14 anos e 18-27 anos. Não foram observadas diferenças entre os sexos no TM no grupo de 8-9 anos quando os valores foram expressos nas formas absoluta, tradicional e alométrica, resultado que encontra suporte em outros estudos (De Ste Croix et al., 1999, Ramos et al., 1998, Seger and Thorstensson, 1994, Williams and Reilly, 2000).

A maturação biológica é considerada uma variável crítica quando analisamos a FM em crianças e adolescentes, pois tem sido sugerido que o desenvolvimento do sistema nervoso e a mielinização neuromuscular não estão totalmente completos até o final da puberdade. Conseqüentemente, este fato poderia influenciar os valores de FM e TM mais significativamente do que a MC e a MLG (De Ste Croix et al., 2003). Estudos examinando os efeitos da maturação biológica sobre a FM devem ser interpretados com muita cautela, pois diversos deles estimaram o estágio maturacional a partir da idade cronológica ou simplesmente classificam os indivíduos como sendo PREP ou POSP (De Ste Croix et al., 2003, Kanehisa et al., 1995).

Os efeitos da maturação biológica sobre a FM e TM são limitados, controversos e de difícil dissociação de outras variáveis de confusão como a idade cronológica, estatura e MC. Nedeljkovic et al. (2007) verificaram o efeito da maturação biológica sobre o tamanho corporal e sua relação com o desempenho em vários testes de força. Os resultados revelaram

que existe um aumento no desempenho da FM concomitantemente com o incremento do tamanho corporal durante a puberdade, sendo que este ganho foi maior do que na pré-puberdade e pós-puberdade. Neu et al. (2002) verificaram o comportamento da força de preensão manual em 185 mulheres e 181 homens com idades entre 6 e 23 anos. Os resultados demonstraram um aumento na AST e da FM. Como esperado, os incrementos no tamanho muscular e na FM foram acelerados na puberdade nos homens, mas não nas mulheres, indicando uma influência da maturação biológica. Contudo, quando os dados foram normalizados pelo comprimento do antebraço, a FM específica (FM/AST) não apresentou diferenças significativas entre os gêneros e independem dos efeitos dos hormônios sexuais.

Da mesma forma, De Ste Croix et al. (2002) observaram que a maturação biológica não influenciava independentemente o desenvolvimento da FM isocinética de extensores e flexores do joelho quando a estatura e a MC foram devidamente controladas em meninos e meninas classificadas de acordo com os estágios propostos por Tanner. Os autores ressaltaram a necessidade de cautela na interpretação dos dados porque não existia uma grande variação dos estágios maturacionais. Outra hipótese está relacionada ao aumento da testosterona que ocorre durante o processo maturacional, pois tem sido estabelecida uma correlação significativa ($r=0,64$) entre o aumento da FM isocinética com o aumento desse hormônio (Ramos et al., 1998). Adicionalmente, Tonson et al. (2008) verificaram o efeito do crescimento e da maturação biológica sobre a FM isométrica em 14 PREP, 16 adolescentes e 16 homens, normalizando os dados por AST, VM medido por ressonância magnética e VM estimado por antropometria. Os resultados apresentaram diferenças entre os grupos quando a FM foi normalizada por AST e VM estimado. No entanto, não apresentava diferença quando normalizado por VM. Os dados sugerem que a FM normalizada adequadamente por VM não apresenta diferenças de acordo com a idade e maturação biológica.

Outras formas importantes de manifestação da FM e TM em crianças e adolescentes são as relações força-velocidade descrita por Hill (1938) e a força-comprimento descritas por Gordon et al. (1966). Estudos com adultos demonstram um efeito do envelhecimento sobre estas relações, principalmente justificados por modificações na arquitetura muscular (Thom et al., 2007). No entanto, são raros os estudos que investigaram os efeitos da maturação biológica ou compararam as relações torque-velocidade ou torque-ângulo entre crianças e adultos (Asai and Aoki, 1996, Barrett and Harrison, 2002, Borges et al., 2003).

Estas relações são importantes em diversas atividades locomotoras. Especificamente no futebol, atividades como o chute, o passe, o *sprint* são dependentes dessas relações, lembrando que a potência é o produto da força multiplicado pela velocidade. Barret & Harrison (2002) examinaram as relações torque-velocidade e potência-velocidade em adultos e crianças. Os resultados demonstraram obvias diferenças nas curvas de torque-velocidade em favor dos adultos em comparação com as crianças, permanecendo diferentes mesmo com a normalização do TM por AST e da velocidade pelo comprimento do membro. Entretanto, quando os dados foram normalizados por VM não foram encontradas diferenças entre crianças e adultos. Os dados sugerem que as diferenças de FM entre crianças e adultos são devidas ao tamanho muscular e não se alteram da infância até a idade adulta. Os autores concluíram que o VM é a técnica de normalização mais adequada para comparar as relações de força-velocidade e potência-velocidade entre crianças e adultos.

Existem duas questões que devem ser primordialmente consideradas quando normalizamos as diferenças de tamanho corporal. A primeira questão compreende conhecer a relação da FM e do TM com o tamanho corporal, pois geralmente indivíduos maiores e mais pesados apresentam maiores valores do que indivíduos menores e mais leves. A segunda questão é referente ao método de normalização para o tamanho corporal, onde três modelos têm sido utilizados: normalização padrão, regressão linear e alometria. A técnica mais

tradicional de normalização é a divisão do valor de FM absoluta pela MC, conhecida como expressão padrão (FM/MC). Entretanto, muitos autores têm criticado esse método de normalização, por não ajustar devidamente os efeitos da MC. Desta forma, a alometria tem demonstrado ser efetiva para normalizar tanto dos dados de FM e TM como a potência aeróbia (maiores detalhes nos capítulos referentes à alometria).

Muitos estudos ainda são necessários para verificarmos a influência da maturação biológica sobre o desenvolvimento da FM em suas mais variadas formas de manifestação. Estudos têm apresentado uma significativa relação entre estatura, MC e FM isocinética durante o crescimento e maturação biológica. A importância dessas alterações na composição corporal durante o crescimento sobre a FM isocinética tem sido investigada através da utilização de diferentes variáveis de normalização, como a MC, MLG, AST, VM e modelos alométricos. Os resultados indicam que a MLG, AST e VM são variáveis explicativas da FM isocinética; entretanto, outros fatores também podem influenciar o desenvolvimento da FM isocinética.

Resumidamente, quando avaliamos a FM isocinética em crianças e adolescentes, a idade cronológica, o sexo, a maturação biológica e o tamanho corporal são variáveis de importantes. Em estudos sobre o desenvolvimento da FM durante o crescimento e maturação biológica, geralmente comparam-se indivíduos de diferentes tamanhos corporais. Desta forma, é relevante que a avaliação da FM ou do TM sejam independentes dos efeitos do tamanho corporal. Este efeito tem sido considerado um fator complicador na análise do desenvolvimento da FM e do TM em crianças e adolescentes, não permitindo concluir se existem efeitos da maturação biológica nem tampouco se existem diferenças no comportamento destas variáveis entre crianças e adultos.

Torna-se importante devido à carência de estudos investigarmos as possíveis alterações nas relações torque-velocidade e torque-ângulo entre crianças, adolescentes e

adultos. Da mesma forma, a avaliação da arquitetura muscular (AST, VM, espessura muscular, ângulo de penação e comprimento do fascículo) poderia fornecer informações relevantes sobre o desenvolvimento da FM e do TM em crianças, alterando as atuais interpretações sobre o comportamento da FM em crianças e adolescentes (Morse et al., 2008).

1.8 Utilização da Alometria para Normalização de Dados Biológicos

Alometria é uma palavra de origem grega (*Allois*) e significa diferente. Trata-se de um método que possibilita quantificar a relação entre estrutura e função e suas consequências em relação à variação do tamanho corporal ou ainda, dimensiona diferentes variáveis em organismos similares (Schmidt-Nielsen, 1984). A alometria é o método matemático que expressa à medida pela qual uma variável (seja anatômica, fisiológica, física ou temporal) é relacionada com uma unidade de tamanho corporal, geralmente MC (kg) (Rowland, 2005).

Ao que tudo indica, a primeira equação alométrica foi utilizada para expressar uma relação biológica, pois Snell em 1891 estava interessado no método de comparação das capacidades mentais de vários mamíferos em relação ao tamanho dos seus cérebros. No entanto, o cérebro representava apenas uma pequena fração da MC em grandes mamíferos. Assim, Snell necessitava levar em consideração esse fato. Para esta proposta ele desenvolveu uma equação para expressar a massa do cérebro em mamíferos, descrita como:

$$M_{\text{cérebro}} = a.MC^{0,68}.$$

Contudo, foi a partir do estudo de Huxley (1927) que a alometria tornou-se conhecida de maneira mais ampla. Huxley estava particularmente intrigado pelo fato de que pássaros pequenos geralmente colocavam ovos, relativos à sua MC, maiores do que grandes pássaros. Na comparação entre os ovos do beija-flor (0,6 g) e do avestruz (1,7 kg), porém levando em consideração a MC do beija-flor (3,6 g) e a do avestruz (113,3 kg), o ovo do beija-flor,

proporcionalmente à sua MC, era 11 vezes maior do que o ovo do avestruz (0,167 e 0,015 respectivamente).

A alometria pode ser descrita pela equação $Y=aX^b$, onde Y é a variável dependente e X a variável independente (geralmente MC). Essa equação tem ainda dois termos numéricos importantes, o coeficiente de proporcionalidade (a) e o expoente alométrico (b). Estes dois termos têm diferentes significados e podem responder a diferentes questionamentos, podendo ser estimados utilizando a análise de regressão linear após obtermos o logaritmo da equação $\log Y = \log a + b \log X$. A transformação logarítmica na análise alométrica torna-se necessária quando existe uma grande variabilidade dos dados em relação às variáveis Y e X. Tem sido argumentado que quando a variabilidade dos dados é pequena, uma regressão linear simples tem o mesmo valor da transformação logarítmica para a análise alométrica (Schmidt-Nielsen, 1984).

O coeficiente de proporcionalidade (a) pode ser utilizado para responder questões de comparação entre metabolismos de diferentes espécies. Quando comparamos a taxa metabólica entre marsupiais e mamíferos, com a equação alométrica para essa taxa metabólica apresentando o mesmo valor de expoente alométrico (b), nesse caso podemos comparar diretamente os coeficientes de proporcionalidade (a), que geralmente apresentam valores 30% menores para os marsupiais. Outro exemplo seria a comparação do VO_2 absoluto de repouso ($VO_{2\text{repouso}} = 0,19MC^{0,75}$) e de $VO_{2\text{max}}$ absoluto ($VO_{2\text{max}} = 1,94MC^{0,79}$) em mamíferos. O coeficiente de proporcionalidade (a) nos informa a magnitude dessa diferença, ou seja, o $VO_{2\text{max}}$ absoluto é 10 vezes maior que o VO_2 absoluto de repouso (Schmidt-Nielsen, 1984).

O expoente alométrico (b) é de primordial interesse, pois este fator de escala indica a extensão e a direção da relação entre as alterações da variável dependente Y e a variável independente X. O expoente alométrico (b) pode apresentar diferentes valores, tanto positivos como negativos, dependendo da relação a ser observada. Se Y incrementa em direta

proporção a X o expoente alométrico (b) é igual a 1 (observado na relação entre tamanho do coração e incrementos da MC). Quando o valor de $b=0$, verificamos que X não tem efeito sobre a variável Y, ou seja, Y é independente de X (relação observada entre hematócrito e MC). Se Y aumenta concomitantemente com X, mas em uma taxa mais lenta, o expoente alométrico (b) poderia ser maior do que zero e menor do que 1 (taxa metabólica aumenta com MC $0 < b < 1$). Quando $b > 1$, dizemos que a variável Y aumenta em maior proporção do que a variável X (esqueleto de mamíferos em relação a MC). Se Y diminui quando X aumenta, o valor do expoente alométrico (b) poderá ser negativo (FC diminui com o aumento da MC em mamíferos) (Schmidt-Nielsen, 1984).

É importante salientar que o expoente alométrico apenas caracteriza de forma descritiva a relação entre as alterações da variável Y e a variável independente X, sem tentar descrever qualquer mecanismo responsável por estas alterações.

Apesar de equações alométricas expressarem generalizações práticas e valiosas, existem princípios importantes que devem ser considerados para a sua utilização: (1) as equações alométricas são descritivas e não leis biológicas, (2) as equações alométricas são muito úteis para demonstrarem quantitativamente como uma variável se relaciona com o tamanho corporal, (3) as equações alométricas são valiosas ferramentas porque podem revelar princípios e conexões que de outra forma permaneceriam obscuras, (4) as equações alométricas são muito úteis como base para comparações e podem revelar desvios de um padrão geral (estes desvios podem ser devido ao ruído ou podem revelar um sinal secundário importante), (5) as equações alométricas são muito importantes para estimarem uma esperada magnitude de uma variável, órgão ou função para um determinado tamanho corporal, (6) as equações alométricas não podem ser usadas para extrapolações, pois os dados são específicos de uma determinada amostra (Schmidt-Nielsen, 1984).

Nos últimos anos, a alometria tem sido extensivamente utilizada para a normalização de dados biológicos de diversas variáveis. Podemos citar, de forma resumida, estudos que analisaram alometricamente o VO_{2max} (Batterham and Jackson, 2003), $VO_{2submax}$ (Batterham and Jackson, 2003), FC (Hoppeler and Weibel, 1998, Weibel et al., 2004, Weibel and Hoppeler, 2005), débito cardíaco (Rowland et al., 2000a, West et al., 1997), volume de ejeção, tempo de circulação (West et al., 1997), resistência vascular, FM (Batterham and George, 1997, Aasa et al., 2003, Nevill and Holder, 2000, Jaric, 2003, Challis, 1999), TM (Jaric et al., 2002a), efeitos da maturação biológica (Thomis et al., 2000, Cunha et al., 2008a, Welsman and Armstrong, 2000, Welsman et al., 1996, Eisenmann et al., 2001, Cunha et al., 2011), velocidade (Jaric, 2002), saltos (Markovic and Jaric, 2005), metabolismo (West et al., 1997, Hochachka et al., 2003, Hochachka and Beatty, 2003), utilização de ATP (Hochachka et al., 2003, Hochachka and Beatty, 2003), taxa metabólica basal (McCann and Adams, 2002, West et al., 1997), complacência do pulmão (West et al., 1997), elasticidade ventricular, densidade mineral óssea (Nevill et al., 2002), fluxo sanguíneo (West et al., 1997), pressão sanguínea (Nevill et al., 1997), temperatura corporal, concentração de glicose sanguínea (Hochachka and Beatty, 2003, Hochachka et al., 2003), eficiência, fração de ejeção, diferença arteriovenosa de oxigênio, ventilação (Hochachka and Beatty, 2003, Hochachka et al., 2003), volume pulmonar (West et al., 1997), utilização de vitaminas (Rucker and Storms, 2002), taxa de substituição de DNA (Burness et al., 1999) e atividade enzimática (Hochachka and Beatty, 2003, Hochachka et al., 2003).

A aplicação das equações alométricas em crianças é realizada de duas maneiras. A primeira é referente à análise alométrica ontogênica, onde algumas relações somente são verdadeiras se avaliadas a partir de dados obtidos de uma mesma criança longitudinalmente ao longo de vários anos. Este tipo de estudo necessariamente demanda um grande esforço por um longo período de tempo e somente permite avaliar um determinado número de dados, e a

validade biológica do expoente alométrico pode ser questionada. A segunda maneira refere-se à criação de equações alométricas baseadas em estudos transversais com crianças de diferentes idades. Este método é mais fácil e simula o método alométrico ontogênico. A abordagem não é totalmente ontogênica, uma vez que os sujeitos não são os mesmos (Rowland, 2005).

A alometria tem sido utilizada em crianças para analisar variáveis como o VO_{2max} , potência anaeróbia, economia de movimento, FM e TM. Entretanto, poucos estudos têm examinado diretamente os expoentes alométricos durante o crescimento e maturação biológica.

1.9 Utilização da Alometria para Normalização do VO_2 e do LAn

Estudos específicos com crianças demonstram que o valor médio do expoente alométrico (b) para o VO_{2max} é de aproximadamente $b = 0,83$, podendo variar de 0,37 a 1,18 (Rowland, 2005, Beunen et al., 2002). Embora produzam resultados que refletem melhor as alterações do VO_{2max} , a aplicação teórica desse expoente pode não oferecer uma representação precisa de certas mudanças em um determinado grupo de sujeitos (Armstrong et al., 1999).

Beunen et al. (2002) analisaram o comportamento intra-individual do expoente alométrico (b) referente a potência aeróbia em meninos dos 8 aos 16 anos de idade. O valor desse expoente intra-individual médio foi de $b = 0,85$, apresentando uma grande variação de 0,55-1,17. O nível de atividade física e sua interação com a maturação biológica foram consideradas variáveis explicativas do VO_{2pico} , mesmo após o efeito do MC ter sido ajustado. Eisenmann et al. (2001) estudaram a variação no VO_{2pico} associado à idade em meninos e meninas corredores numa perspectiva alométrica. Verificaram que o VO_{2pico} absoluto aumenta com a idade em ambos os sexos. O VO_{2pico} relativo a MC ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) permaneceu relativamente estável em ambos os sexos. Já o VO_{2pico} alométrico ($ml \cdot kg^{-0,75} \cdot min^{-1}$) aumentou

de acordo com a idade em meninos e aumentou em meninas somente até os 15 anos. Foi identificada uma progressiva divergência no $VO_{2\text{pico}}$ entre meninos e meninas. Os autores concluíram que a relação do crescimento com as variações no $VO_{2\text{pico}}$ em jovens corredores é dependente da maneira que o $VO_{2\text{pico}}$ é expresso ou pela técnica estatística adotada. Na mesma linha, Heil et al. (1997) afirmaram que para comparar o $VO_{2\text{max}}$ entre grupos heterogêneos, o expoente alométrico (b) deveria assumir o valor de $b= 0,75$, enquanto que, para comparar grupos homogêneos o expoente $b= 0,67$ seria o mais indicado.

Welsman et al. (1996) utilizaram tanto a expressão padrão ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) como a alométrica ($\text{ml.kg}^{-0,80}.\text{min}^{-1}$) para ajustarem os efeitos do tamanho corporal sobre o VO_2 dos grupos PREP, PUB e POSP. A expressão relativa estava de acordo com a literatura, demonstrando que não existia diferenças significativas no $VO_{2\text{max}}$ entre os grupos. Ao contrário, a análise alométrica demonstrou que existia um aumento progressivo do $VO_{2\text{max}}$ entre os grupos. Os autores concluíram que a expressão relativa a MC é inadequada para identificar diferenças no $VO_{2\text{max}}$ ao longo do crescimento.

Outro estudo comparou a potência aeróbia de jogadores de futebol jovens e adultos utilizando um procedimento alométrico. Quando o VO_2 foi expresso na forma padrão, os valores de jovens e adultos foram semelhantes ($66,6$ e $66,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente), mas quando expresso na forma alométrica foi 5% maior nos adultos do que nos jovens (216 e $206 \text{ ml.kg}^{-0,72}.\text{min}^{-1}$ respectivamente). Os autores concluíram que na comparação com jovens jogadores de futebol, o $VO_{2\text{max}}$ dos adultos foi subestimado e a economia de movimento estava superestimada quando expresso na forma padrão ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) (Chamari et al., 2005).

Rogers et al. (1995) examinaram a relação do $VO_{2\text{submax}}$ com a MC em 21 meninos e 21 meninas dos 7 aos 9 anos de idade. Os autores verificaram que os dados expressos com o expoente alométrico $b=0,67$ ($\text{ml.kg}^{-0,67}.\text{min}^{-1}$) foram estatisticamente e fisiologicamente mais apropriados do que quando expresso relativo à MC ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Da mesma forma, autores como Wisloff et al. (1998, 2004), Helgerud et al. (2001), Hoff et al. (2002), Chamari et al. (2004), McMillan et al. (2005) e Cunha et al. (2008a) expressaram o VO_{2max} em $ml.kg^{-0,75}.min^{-1}$ a fim de realizar comparações adequadas entre jogadores de futebol de diferentes MC, visto que, o VO_{2max} não aumenta em direta proporção à MC (Bergh et al., 1991, Wisloff et al., 1998, Rowland, 2005). Diversos autores corroboram com essa afirmação (Sjodin and Svedenhag, 1992, Heil, 1997, Rowland, 2005, Agutter and Wheatley, 2004).

São raros os estudos que normalizaram o LAn pelo método alométrico (Cunha et al., 2008a, Sanada et al., 2007, Davis et al., 2007, Cunha et al., 2011). Cunha et al. (2008a) verificaram o efeito da maturação biológica sobre o LV_2 em 37 jovens jogadores de futebol classificados de acordo com os estágios de Tanner. Quando o LV_2 foi expresso na forma alométrica ($ml.kg^{-0,75}.min^{-1}$), o efeito positivo da maturação biológica foi observado, ao contrário da expressão padrão. Os autores concluíram que a maturação biológica exercia efeito sobre o LAn e o método alométrico foi considerado o mais apropriado. Davis et al. (2007) utilizaram duas variáveis para normalizar o LAn em 103 homens e em 101 mulheres. A normalização LAn/VO_{2pico} não foi considerada uma variável válida de normalização. Ao contrário, quando o LAn foi normalizado por $MLG^{0,67}$, essa normalização foi considerada válida, pois forneceu um índice independente da MLG.

Sanada et al. (2007) examinaram os efeitos do envelhecimento sobre o LV_2 em 1463 homens e mulheres de 20-80 anos de idade. Os dados de LV_2 foram normalizados pela expressão padrão ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), alométrica ($ml.kg^{-0,67}.min^{-1}$), relativa à MLG ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), relativa à massa muscular total ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), relativa à massa muscular do tronco ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) e relativa à massa muscular da coxa ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$). Os resultados demonstraram que o LV_2 normalizado pela MC diminuía com a idade em ambos os sexos. Ao contrário, quando normalizados pela massa muscular, não existia diminuição com a idade e

nem diferenças entre os sexos. Os autores concluíram que tanto o $VO_{2\text{pico}}$ como o LV_2 estão estreitamente associados a massa muscular da coxa, resultado que justifica a utilização do VM como variáveis de normalização para essas variáveis.

Parece claro que a expressão padrão ($VO_2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) falha em ajustar apropriadamente os efeitos da MC, sendo a sua aplicação inadequada para estudos epidemiológicos que desejam comparar o $VO_{2\text{max}}$ entre grupos (ex. ativos *vs.* inativos ou crianças *vs.* adultos) que estão relacionados com diferenças de tamanho corporal (Nevill et al., 2004a, Welsman et al., 1996). Atualmente, muitos estudos corroboram que os modelos alométricos são os mais apropriados para ajustarem adequadamente os efeitos da MC sobre o $VO_{2\text{max}}$ (Sjodin and Svedenhag, 1992, Welsman et al., 1996, Heil, 1997, Batterham et al., 1997, Nevill et al., 1998, Armstrong et al., 1999, Batterham et al., 1999, Nevill et al., 2003, Nevill et al., 2004a, Buresh and Berg, 2002, Wisloff et al., 1998, Wisloff et al., 2004, Helgerud et al., 2001, Hoff et al., 2002, Chamari et al., 2005, Chamari et al., 2004, McMillan et al., 2005, Eisenmann et al., 2001).

Por todo o exposto, torna-se importante identificar o comportamento do $VO_{2\text{max}}$ e do LAn durante a maturação biológica em jovens jogadores de futebol, para podermos compreender, controlar e prescrever o treinamento apropriadamente. Desta forma, maximizando os benefícios e diminuindo os riscos impostos pelo treinamento físico. Além disso, identificamos uma carência de estudos sobre o $VO_{2\text{max}}$ e LAn relacionados a maturação biológica e ao treinamento esportivo.

1.10 Utilização da Alometria para a Normalização da FM e TM

Testes de FM têm sido extensivamente utilizados no esporte, na educação física, na ergonomia e na área clínica. A avaliação da FM tem sido popularmente utilizada para testar a função muscular em exercício e no esporte. O principal objetivo dos testes de força é fornecer valores normativos específicos (perfil atlético), detecção de talentos, distinção entre diferentes níveis de desempenho ou avaliar os efeitos do treinamento físico.

A FM tem sido definida como a força máxima (N) ou torque (Nm) desenvolvidos durante uma contração voluntária máxima (CVM) em dada condição (Jaric, 2002). Embora a relação entre a FM e o tamanho corporal tem atraído uma considerável atenção de muitos pesquisadores, esta relação às vezes tem sido negligenciada ou apresentada de forma incorreta em relação aos resultados de FM.

Diversos fatores afetam os resultados de FM e TM; alguns deles estão relacionados aos participantes (diferenças de sexo, idade, estágio maturacional, composição corporal e nível de condicionamento físico) (Nedeljkovic et al., 2007, De Ste Croix et al., 2003, De Ste Croix et al., 1999), à arquitetura muscular (Tonson et al., 2008, Barrett and Harrison, 2002), a aspectos metodológicos (tipo de contração muscular, estabilidade, correção da gravidade e seqüência do protocolo de teste) (Jaric, 2002, De Ste Croix et al., 2003), a fatores neuromusculares (ativação e coativação de agonistas e antagonistas) (Klein et al., 2001, Paasuke et al., 2001, De Ste Croix et al., 2003, Paasuke et al., 2000) e outros relacionados à inconsistência das variáveis utilizadas para a normalização dos dados de FM e TM (MC, IMC, MLG, AST e VM) (Klein et al., 2001, Tonson et al., 2008, Kanehisa et al., 1995, Davies, 1985, Neu et al., 2002, De Ste Croix et al., 2002, Barrett and Harrison, 2002).

Alguns problemas específicos têm sido identificados quanto à normalização dos dados de FM e TM, pois alguns estudos têm apresentado dados de FM não-normalizados pelo tamanho corporal (Pfeifer and Banzer, 1999, Cometti et al., 2001, Takala and Viikari-Juntura,

2000), normalizados por métodos inapropriados ou normalizados por muitos métodos diferentes para a mesma análise de dados (Klein et al., 2001, Abe et al., 1992, Akima et al., 2001, Cometti et al., 2001, De Ste Croix et al., 1999, Frontera et al., 1991, Hulens et al., 2001, Izquierdo et al., 2001, Sunnegardh et al., 1988). Diferenças na aplicação dos métodos de normalização não permitem comparações de dados obtidos em diferentes estudos. Além disso, o papel do tamanho corporal tem sido negligenciado em vários movimentos esportivos em relação a FM. Como consequência, a função muscular, o perfil atlético e o desempenho de movimentos funcionais avaliados por estes testes têm sido às vezes confundidos pelos efeitos do tamanho corporal.

O efeito do tamanho corporal sobre a FM geralmente sugere que indivíduos maiores e mais pesados são geralmente mais fortes do que os indivíduos menores e mais leves. Sugere-se que, quando existe um aumento da variação do tamanho corporal desses indivíduos, a correlação entre a FM e o tamanho corporal também aumente.

Em uma perspectiva teórica, o efeito das escalas do tamanho corporal sobre a FM tem sido investigado. De acordo com a teoria da similaridade geométrica, o corpo humano tem a mesma forma, variando somente em tamanho corporal. A FM deveria ser proporcional a estatura ao quadrado (E^2). Entretanto, qualquer área de um objeto geometricamente similar é a princípio proporcional ao volume corporal ou a MC elevada na potência de dois terços ($V^{2/3}$, $MC^{2/3}$). Esta descoberta realizada através de um músculo hipotético foi estendida para testes de FM de uma forma geral. Assim, é obtido um índice de FM independente do tamanho corporal, pois a FM poderia ser dividida por uma medida de comprimento corporal ao quadrado (E^2), por uma área específica como a ASTF e área de secção transversa fisiológica (ASTF) ou ainda por qualquer índice relacionado ao volume corporal elevado na potência de dois terços (MC , MLG , volume de qualquer segmento do corpo humano)^{2/3}.

Os efeitos do tamanho corporal sobre a FM têm sido estudados, mas a literatura tem apresentado uma inconsistência na aplicação dos métodos de normalização da FM. Uma minoria de estudos tem normalizado a FM por $MC^{2/3}$, mas também por E^2 ou por AST (Sunnegardh et al., 1988, Beenakker et al., 2001, Jaric et al., 2001, Akima et al., 2001, Izquierdo et al., 2001, Klein et al., 2001, Zoeller et al., 2007, Zoeller et al., 2008). Muitos estudos utilizam a conhecida normalização padrão, com os dados de FM normalizados por MC ou MLG (FM/MC ou FM/MLG) (Viljanen et al., 1991, Andersson et al., 1988, Taylor et al., 1991, Hakkinen et al., 1984, Hulens et al., 2001). Surpreendentemente, muitos estudos não aplicaram nenhum método de normalização para o tamanho corporal (Pfeifer and Banzer, 1999, Cometti et al., 2001, Takala and Viikari-Juntura, 2000), mesmo quando se comparava grupos de diferentes MC (Paasuke et al., 2001, Fry and Morton, 1991, Clarke et al., 1992). Além do mais, vários métodos diferentes de normalização da FM têm sido aplicados para a mesma série de dados (Klein et al., 2001, Abe et al., 1992, Akima et al., 2001, Cometti et al., 2001, De Ste Croix et al., 1999, Frontera et al., 1991, Hulens et al., 2001, Izquierdo et al., 2001, Sunnegardh et al., 1988). Embora alguns dados não normalizados de FM possam ser importantes para determinadas modalidades esportivas, esses não permitem comparações entre os resultados obtidos entre diferentes estudos.

A normalização da FM por AST (FM/AST) tem sido considerada um método padrão-ouro (Klein et al., 2001). Entretanto, recentemente tem sido reportado que AST não normaliza adequadamente os dados de FM isométrica (Zoeller et al., 2007, Zoeller et al., 2008). Zoeller et al. (2007) sugerem que o método mais apropriado para normalizar a FM isométrica do bíceps foi a aplicação de expoentes alométricos para a $MC^{0,64}$ e $AST^{0,71}$. No entanto, salientam que o expoente alométrico (b) para AST pode ser inapropriado para indivíduos que possuem AST maior do que 30cm^2 .

Alguns estudos têm aplicado modelos alométricos multivariados que incluem outras variáveis como índices de tamanho corporal (Weir et al., 1999, Nevill et al., 1998). Entretanto, muitos estudos têm sugerido que a FM aumenta em uma menor taxa do que o tamanho corporal (Wisloff et al., 1998, Vanderburgh and Dooman, 2000, Vanderburgh et al., 1995, Batterham and George, 1997, Challis, 1999, Anderson and Rhodes, 1991, Davies and Dalsky, 1997, Dooman and Vanderburgh, 2000, Jaric et al., 2002a, Jaric et al., 2002b, Neder et al., 1999, Nevill et al., 1998, Weir et al., 1999), onde modelos alométricos têm sido utilizados para identificar um índice de FM independente do tamanho corporal (Batterham and George, 1997, Vanderburgh and Dooman, 2000, Vanderburgh et al., 1995, Wisloff et al., 1998, Nevill et al., 1998, Neder et al., 1999, Challis, 1999, Davies and Dalsky, 1997, Dooman and Vanderburgh, 2000, Jaric et al., 2002a, Jaric et al., 2002b), assim normalizando os dados de FM de maneira adequada.

Este índice pode ser calculado assumindo a relação entre FM (mensurada como força ou torque) e MC ou AST através da equação alométrica $Y=aX^b$. Onde Y é a FM ou o TM, (a) é o coeficiente de proporcionalidade, (b) é o expoente alométrico e X pode assumir os valores de MC ou AST. Com a transformação logarítmica desta fórmula ($\log Y = \log a + b \log X$), podemos calcular o expoente alométrico (b) e o coeficiente de proporcionalidade (a) através da regressão linear. Assim, a FM poderá ser normalizada, apresentando valores independentes de tamanho corporal para uma determinada amostra (Aasa et al., 2003, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005).

O expoente alométrico (b) tem apresentado uma grande variação dependendo da forma de manifestação da força. Por exemplo, exercícios de FM que tenham que vencer uma resistência externa (preensão manual, agachamento, supino, rosca bíceps e tríceps) geralmente apresentam expoentes alométricos de aproximadamente $b=0,67$. Exercícios que suportem o peso corporal (abdominal, barra, apoio, *step* e elevação de pernas) apresentam valores

negativos de $b = -0,33$. Exercícios de FM com componente de potência (salto vertical, salto horizontal, contramovimento, chutes e arremessos) têm valores de $b=0$, ou seja, sem necessidade de normalização pela MC (Markovic and Jaric, 2004).

Outro importante problema que recentemente tem sido reportado é a distinção entre os métodos de normalização para a FM e o TM (Jaric et al., 2002a). Os dados presentes na literatura demonstram que os métodos para a normalização da FM e do TM permanecem semelhantes. Além do mais, os mesmos métodos de normalização têm sido aplicados igualmente para a FM e TM obtidos em um mesmo estudo (Aasa et al., 2003, Hulens et al., 2001, Paasuke et al., 2001).

Por outro lado, se todos os indivíduos testados forem geometricamente similares, o efeito da alavanca não dependerá do tamanho corporal, desde que o braço de alavanca varie proporcionalmente. Visto que a FM depende AST (anatômica ou fisiológica), esta é proporcional a $MC^{0,67}$. Como consequência, teoricamente indica-se o expoente alométrico $b=0,67$ para normalizar os dados de FM em relação a MC (Aasa et al., 2003, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005, Jaric et al., 2002a, Markovic and Jaric, 2004, Markovic and Jaric, 2005, Wisloff et al., 1998). Entretanto, Jaric et al. (2002a) propuseram que diferentes expoentes alométricos deveriam ser utilizados para normalizar a FM ($b=0,67$) e o TM ($b=1$). Estes autores teorizaram que o tamanho corporal pode alterar o braço de alavanca muscular e a resistência externa poderia variar na mesma proporção. Desta forma, a força gerada (F) poderia ser proporcional a FM, sendo que a FM depende da AST do músculo e essa é proporcional a $MC^{0,67}$. Ao contrário, o TM depende da FM multiplicada pelo braço de alavanca do músculo (BAM), que é proporcional a $MC^{0,33}$. Assim temos $TM = FM \times BAM$, ou seja, $MC^{0,67} \times MC^{0,33} = MC^1$. Desta forma, o expoente alométrico $b=1$ teoricamente deveria ser utilizado para normalizar o TM em relação a MC. Entretanto, alguns estudos demonstram uma grande variação no valor do expoente alométrico (b) para o TM,

apresentando em média um valor de $b=1$ e variação 0,77-1,87 em diferentes exercícios (Jaric et al., 2002a, Davies and Dalsky, 1997, Neder et al., 1999, Aasa et al., 2003, Hulens et al., 2001, Weir et al., 1999, Folland et al., 2008, Malaguti et al., 2006, Nevill et al., 1998, De Ste Croix et al., 1999, Wren and Engsborg, 2007).

Embora exista esta grande variação de dados na literatura, tem sido sugerido que o expoente alométrico deveria em geral apresentar maiores valores para os dados de TM do que para FM (Hulens et al., 2001). Vanderburgh et al. (1995) sugerem valores de expoente alométrico para a FM de $0,48 < b < 0,58$, enquanto que Jaric et al. (2002a) estabeleceram valores de $b=0,67$ para vários testes de força em braços e pernas. Estudos com levantamento de pesos têm apresentado expoentes alométricos $0,45 < b < 0,87$. Entretanto, quando o TM é analisado, Davis et al. (1997) sugerem o valor de $b=0,74$, enquanto que Jaric et al. (2002a) encontraram $b=1,02$. Neder et al. (1999) apresentam valores de expoente alométrico de $0,91 < b < 1,10$. Weir et al. (1999) sugerem $0,94 < b < 1,31$. Hulens et al. (2001) demonstraram que expoente alométrico poderia variar de $0,91 < b < 1,08$ para mulheres eutróficas e $0,77 < b < 1,15$ para mulheres obesas.

Entretanto, quando analisados exercícios de FM e TM, tem sido estabelecidos maiores valores de expoente alométrico (b) para TM do que para a FM (Jaric et al., 2002a, Malaguti et al., 2006, Folland et al., 2008, Hulens et al., 2001).

Folland et al. (2008) verificaram as diferenças entre FM isométrica e o TM dos extensores do joelho em 86 homens, onde os expoentes alométricos para o TM ($b=0,69$) foram consistentemente maiores do que para a FM ($b=0,33$). Quando a amostra foi dividida em dois grupos de acordo com o percentual de gordura ($20\% < \% \text{gordura} < 20\%$), os expoentes alométricos correspondiam a $b=0,45$ e $b=0,68$ para FM e $b=0,68$ e $b=0,98$ para TM, respectivamente. Quando foi utilizado a MLG como uma variável de tamanho corporal para

normalizar os dados, essa evidenciou igualmente maiores valores de expoente alométrico para o TM $b=1,12$ do que para a FM $b=0,76$.

No mesmo sentido, Malaguti et al. (2006) verificaram o comportamento da FM e o do TM em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) por meio de um modelo alométrico. A FM isométrica apresentou valores de $b=0,97$ para DPOC e $b=0,60$ para o grupo controle. Já o TM apresentou valores de $b=1,47$ e $b=0,82$ para DPOC e grupo controle, respectivamente.

Excepcionalmente, Nevill et al. (1998) apresentaram valores de expoente alométrico (b) bem abaixo dos reportados pela literatura para o TM de bíceps e quadríceps ($b=0,38$ e $b=0,36$, respectivamente). Entretanto, esses resultados podem ter sido influenciados pelo efeito da maturação biológica.

Neste sentido, poucos estudos têm verificado a relação da normalização da FM ou do TM em crianças e adolescentes de forma alométrica. De Ste Croix et al. (1999) examinaram os efeitos da idade e do sexo sobre a FM isocinética de pernas em meninos e meninas com idades de 8-9 anos, 13-14 anos e adultos. Foram identificados os expoentes alométricos para o TM de extensores do joelho ($b=0,82$ e $b=0,85$ para homens e mulheres, respectivamente) e para o TM de flexores do joelho ($b=1$ e $b=0,96$ para homens e mulheres, respectivamente). Os resultados demonstraram que não existiam diferenças no pico de TM absoluto, relativo à MC (TM/MC) e alométrico (TM/MC^b) para os extensores e flexores do joelho entre crianças e adolescentes, mas existiam diferenças significativas entre os sexos no grupo dos adultos dependendo da maneira como o TM era expresso. Os dados sugerem que quando a MC é devidamente ajustada pela alometria, a FM isocinética aumenta de acordo com a idade e as diferenças entre os sexos não são evidentes até os 14 anos de idade.

Wren & Engsborg (2007) verificaram a normalização do TM de membros inferiores em crianças. Foram utilizados os métodos de normalização TM/MC, TM/MCxE, TM/IMC e o

TM alométrico TM/MC^b . Os resultados demonstraram que normalização padrão (TM/MC) não ajustou efetivamente os valores de TM em crianças. O modelo alométrico demonstrou ser o método mais apropriado para a normalização do TM, com os valores dos expoentes alométricos variando de $b=1,32$ até $b=1,87$, com um valor médio de $b=1,60$ para os seis movimentos testados. Os autores justificaram esses altos valores de expoentes alométricos para o TM devido a um aumento na coordenação motora, efetividade neuromuscular e ao sistema músculo esquelético mais desenvolvido.

Nedeljkovic et al. (2007) verificaram o efeito da maturação biológica sobre o tamanho corporal e suas relações com o desempenho em vários testes de FM. Os resultados revelaram que existe um incremento no desempenho da FM concomitantemente com o aumento do tamanho corporal durante a puberdade, e esse ganho foi maior do que o observado durante a pré-puberdade e pós-puberdade, respectivamente. O estudo suporta a hipótese de que a maturação biológica está associada com maiores valores de expoentes alométricos do que o esperado teoricamente para descrever a relação entre desempenho físico e tamanho corporal, principalmente durante a puberdade.

Desta forma, baseado tanto na teoria como nos dados experimentais, o expoente alométrico $b=0,67$ e $b=1$ tendem a fornecerem índices independentes do tamanho corporal para a FM e TM, respectivamente. Contudo, recentemente o VM tem sido indicado como uma variável de normalização da FM e do TM (FM/VM e TM/VM) (Fukunaga et al., 2001, Tonson et al., 2008, Barrett and Harrison, 2002), pois a FM relaciona-se linearmente com AST que é obtida por meio da divisão do VM pelo comprimento do fascículo (CF) muscular (maiores detalhes no Anexo V).

1.11 Utilização do VM como variável de normalização da FM, TM e VO_{2max}

A determinação do VM é essencial quando analisamos o desempenho muscular e as consequências funcionais devido às alterações no tamanho corporal e na FM em função do treinamento, envelhecimento ou desuso (Aagaard et al., 2001, Kawakami et al., 2000, Reeves et al., 2004, Lieber and Friden, 2000). A capacidade máxima de geração de força do músculo é proporcional à ASTF, que pode ser estimada a partir do VM e CF. Assim, assumindo uma densidade homogênea do músculo, o VM é um determinante de massa muscular, tornando-se um parâmetro necessário para avaliar a tensão específica do músculo (Lynch et al., 1999).

Vários métodos podem ser utilizados para a determinação do VM in vivo. Dentre eles, podemos citar a tomografia computadorizada, raio-X de dupla absorbância (Dexa) e a ressonância magnética (MRI), esta última considerada o padrão ouro. Entretanto, esses métodos apresentam algumas desvantagens, como a exposição à radiação, alto custo financeiro, não aplicabilidade em coletas de campo e também não são indicados em estudos com elevado número de sujeitos, além de necessitarem de pessoal altamente especializado.

Um método alternativo para a determinação do VM é a ultrassonografia, que tem sido amplamente utilizada para a determinação de variáveis de arquitetura como VM, espessura muscular (EM), ângulo de penação (AP) e CF. A ultrasonografia tem apresentado altas correlações com a MRI para a determinação do VM de membros superiores e inferiores (Miyatani et al., 2000, Miyatani et al., 2004, Miyatani et al., 2002, Miyatani et al., 2001), apresentando as mesmas vantagens que a MRI para visualizar o tecido adiposo e muscular sem exposição à radiação, podendo ser portátil, analisar o tecido muscular em situação dinâmica, avaliar grandes populações, além de ser um método com menor custo financeiro (Abe et al., 1992, Miyatani et al., 2000, Miyatani et al., 2004, Miyatani et al., 2002, Miyatani et al., 2001, Fukunaga et al., 2001). Além do mais, a estimativa do VM in vivo através da ultrasonografia tem sido considerada uma técnica válida e acurada e tem sido amplamente

utilizada (Infantolino et al., 2007, Miyatani et al., 2002, Miyatani et al., 2004, Esformes et al., 2002, Aasa et al., 2003, Miyatani et al., 2000, Kubo et al., 2003b, Fukunaga et al., 2001).

O VM tem sido indicado como uma variável de normalização do VO_{2max} (Tolfrey et al., 2006), FM (Brorsson et al., 2008, Tonson et al., 2008) e TM (Fukunaga et al., 2001, Tonson et al., 2008, Barrett and Harrison, 2002, Thom et al., 2007). Salientando que o TM tem uma dimensão (FM x Comprimento) e que o VM pode ser determinado por (ASTF x CF), o TM poderia teoricamente ser relacionado com o VM, visto que, a normalização TM/VM tem sido considerada um índice de tensão específica do músculo esquelético (Lynch et al., 1999). Neste sentido, Fukunaga et al. (2001) investigaram a relação do TM e VM para flexores e extensores do cotovelo em 26 homens. Foi verificada uma alta correlação entre TM e VM tanto para flexores como para extensores do cotovelo ($r=0,95$ e $r=0,96$, respectivamente), inclusive estas correlações foram maiores do que as encontradas para TM e AST ($r=0,70$ e $r=0,88$, respectivamente), sugerindo que TM é dependente do VM. Os resultados revelam que o VM de flexores e extensores do cotovelo está relacionado com o TM. Assim a normalização TM/VM pode ser utilizada como um índice de tensão específica ou de qualidade muscular.

Da mesma forma, Tonson et al. (2008) verificaram o efeito do crescimento e da maturação biológica sobre a FM isométrica de meninos e homens, normalizando os dados por AST e VM determinados por MRI e VM estimado por antropometria. Os resultados apresentaram diferenças entre os grupos quando a FM isométrica foi normalizada por AST e VM estimado, no entanto, não apresentava diferença quando normalizados por VM. Os dados sugerem que quando a FM isométrica foi devidamente normalizada por VM, esta não apresentava diferenças de acordo com a idade e maturação biológica.

Tolfrey et al. (2006) analisaram a influência do tamanho corporal sobre o VO_{2max} em homens e meninos utilizando a MC, MLG e VM de membro inferior como diferentes formas

de normalização do VO_{2max} . Para os meninos um substancial resíduo da correlação era observado para $VO_{2max}/MC^{0,79}$ e $VO_{2max}/MLG^{1,00}$, indicando que estas variáveis não ajustavam corretamente o efeito do tamanho corporal sobre o VO_{2max} . Ao contrário, normalizando o $VO_{2max}/VM^{0,64}$ não foram verificados resíduos nas correlações em meninos e homens. Os autores concluíram que VM é o denominador mais apropriado para normalizar o VO_{2max} em meninos e homens heterogêneos em composição e tamanho corporal.

Por todo o exposto, o VM muscular torna-se uma variável importante para a normalização do VO_{2max} , FM e TM, sendo considerado superior a MC, MLG, AST como variáveis de normalização. No entanto, mais estudos são necessários sobre a relação do VM com a FM, TM, VO_2 e LAn, principalmente devido a ausência de estudos com essas variáveis em crianças e jovens atletas.

2.0 CAPÍTULO II - NORMALIZAÇÃO POR VOLUME MUSCULAR EVIDENCIA O EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA SOBRE O CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO E LIMIARES VENTILATÓRIOS EM JOGADORES DE FUTEBOL

2.1 Introdução

O futebol é um dos esportes mais populares do mundo e praticado por crianças, adolescentes e adultos. As demandas físicas são caracterizadas como intermitentes e estima-se que a distância percorrida durante uma partida é de aproximadamente 9-12 km, com o metabolismo aeróbio contribuindo com aproximadamente 90% desse custo energético (Stolen et al., 2005). Dessa forma, variáveis como o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) e o limiar anaeróbio (LAn) tornam-se importantes para a prescrição e controle do treinamento.

O VO_{2max} é considerado o melhor indicador de potência aeróbia em crianças e jogadores de futebol (Hoff and Helgerud, 2004, Armstrong and Welsman, 2000) e tem apresentado uma relação positiva com o número de *sprints*, envolvimento com a bola e com a distância percorrida total (km) durante uma partida de futebol (Helgerud et al., 2001). Jovens jogadores de futebol apresentam valores de VO_{2max} com média de $60 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (Cunha et al., 2011, Cunha et al., 2008a, Stolen et al., 2005, Hoff and Helgerud, 2004) e esse valor pode aumentar de 5-10% com o treinamento (Baquet et al., 2003, Helgerud et al., 2001).

O LAn tem sido considerado extremamente importante no futebol, pois a sua intensidade coincide com a intensidade do jogo (Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004, Chamari et al., 2005). Além disso, é reconhecido como o indicador mais sensível às alterações da capacidade aeróbia em resposta ao treinamento (Hoff and Helgerud, 2004), podendo aumentar de 10-30% (Baquet et al., 2003).

A potência aeróbia, potência anaeróbia e a força aumentam progressivamente dos 8-18 anos de idade (De Ste Croix et al., 2003, Nedeljkovic et al., 2007, Van Praagh and Dore, 2002) e, por essa razão, jovens jogadores de futebol geralmente são categorizados de acordo

com a sua idade cronológica. Essa categorização tem como objetivo fornecer aos atletas uma situação de paridade na prática do esporte e no processo de detecção de talentos (Nedeljkovic et al., 2007, Vaeyens et al., 2006, Ford et al., 2011).

Entretanto, a maturação biológica interfere neste processo, pois apresenta efeitos positivos sobre VO_{2max} (Armstrong and Welsman, 2000, Armstrong and Welsman, 2001, Eisenmann et al., 2001, Malina et al., 2004, Cunha et al., 2008a, Cunha et al., 2011), LAn (Cunha et al., 2008a, Cunha et al., 2011), desenvolvimento da técnica esportiva (Malina et al., 2007, Malina et al., 2005), potência anaeróbia (Malina et al., 2004, Armstrong and Welsman, 2001), aumento de massa muscular, força, fibras do tipo II, glicogênio muscular, mielinização e desenvolvimento do sistema nervoso (Boisseau and Delamarche, 2000, Van Praagh and Dore, 2002, Nedeljkovic et al., 2007, De Ste Croix et al., 2003). Logo, jogadores de futebol mais avançados no processo maturacional possuem uma grande vantagem em relação aos menos avançados, pois geralmente apresentam maiores níveis de VO_{2max} , força e potência anaeróbia. Além disso, tem sido postulado que existe um período ótimo (janela de oportunidade) para o treinamento dessas variáveis, compreendido entre os 12 e 16 anos, mais precisamente durante o processo maturacional (Ford et al., 2011).

Por outro lado, três recentes estudos demonstraram que a maturação biológica não exerce efeito sobre variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas em crianças e adolescentes (Cunha et al., 2011, McNarry et al., 2011b, McNarry et al., 2011a). Além disso, um estudo em nosso laboratório demonstrou que a maturação biológica não apresenta efeito sobre o VO_{2max} e LAn em jovens jogadores de futebol quando os dados foram devidamente normalizados por alometria. Entretanto, este estudo utilizou somente a massa corporal (MC) como variável de normalização (Cunha et al., 2011).

Dissociar os efeitos independentes do crescimento e da maturação biológica dos efeitos da exposição ao exercício e ao treinamento físico é uma questão complexa. Em parte,

os efeitos de confusão da maturação biológica e do crescimento têm sido controlados pela identificação de variáveis independentes do tamanho corporal, tornando a normalização dos dados um fator chave para essa dissociação.

Historicamente, o VO_{2max} tem sido normalizado por uma simples divisão do VO_{2max} absoluto ($ml \cdot min^{-1}$) pela MC (kg), criando a expressão padrão VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Essa expressão assume que o VO_{2max} está normalizado e o efeito da MC foi devidamente ajustado. No entanto, a capacidade de desempenho dos sujeitos mais leves é superestimada e a de sujeitos mais pesados subestimada com essa forma de normalização (Chamari et al., 2005). Tem sido reportado por diversos estudos que a expressão padrão de normalização não representa um índice independente do tamanho corporal (Armstrong et al., 1999, Batterham and Jackson, 2003, Chamari et al., 2005, Cunha et al., 2008a, Eisenmann et al., 2001, Nevill et al., 2005, Tolfrey et al., 2006, Welsman et al., 1996, Cunha et al., 2011). Como resultado, inviabiliza a comparação entre grupos de diferentes tamanhos e composições corporais (Armstrong and Welsman, 2000, Welsman et al., 1996, Nevill et al., 2005).

No intuito de realizar comparações adequadas entre jogadores de futebol de diferentes tamanhos corporais, a equação alométrica ($Y=aX^b$) apresentada por Huxley (1927) tem sido utilizada para normalizar os valores de VO_{2max} e LAn (Helgerud et al., 2001, Cunha et al., 2008a, Cunha et al., 2011). No entanto, ainda não existe consenso na literatura sobre qual o valor que o expoente alométrico deveria assumir, devido à sua grande variação e por ser dependente da composição corporal, sexo, idade cronológica, modalidade esportiva e variável de normalização (Armstrong et al., 1999, Nevill et al., 2005, Batterham and Jackson, 2003). Com relação à variável de normalização do VO_{2max} , recentes estudos têm demonstrado que o volume muscular (VM) é mais eficiente do que a MC (Nevill et al., 2004b, Tolfrey et al., 2006, Welsman et al., 1997).

O presente estudo tem como objetivo: (1) verificar o método de normalização mais adequado para os dados de VO_{2max} e LAn; (2) verificar se a maturação biológica apresenta efeito sobre o VO_{2max} e LAn quando esses são devidamente normalizados; (3) estabelecer dados normativos para o VO_{2max} e LAn para jovens jogadores de futebol.

2.2 Métodos e Materiais

Participantes

O cálculo amostral indicou serem necessários no mínimo 14 sujeitos por grupo maturacional para realizar a regressão linear das variáveis VO_{2max} e LAn com coeficiente de correlação de 0,70 para o nível de significância de 5% e poder do teste de 90%. O cálculo amostral foi realizado por meio do software NQuery 3.0 e foi baseado nos estudos de Cunha et al. (2008a), Tolfrey et al. (2006) e Chamari et al. (2005).

A amostra foi composta por 79 atletas do sexo masculino pertencentes às categorias de base do Sport Club Internacional. Todos os atletas realizaram de 5 a 8 sessões de treinamento por semana e tinham pelo menos um ano de experiência como jogadores de futebol. O termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) foi assinado pelos atletas e ou responsáveis legais. Esse projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEP – 2008082).

Procedimentos

Setenta e nove atletas foram avaliados e classificados por estágios de maturação biológica e alocados em três grupos, pré-púberes (PREP, n=14), púberes (PUB, n=38) e pós-púberes (POSP, n=27) de acordo com a tabela de cinco estágios (figura 1) proposta por Tanner (1962).

A rotina da coleta de dados foi dividida em três etapas. Na 1ª etapa os indivíduos receberam informações sobre a pesquisa e os testes, TCLE e avaliação da estatura e MC (balança eletrônica da marca Urano - modelo OS 180A), idade cronológica, tempo de treinamento e posição tática. A 2ª etapa consistiu na obtenção de imagens de ultrasonografia para a determinação do volume muscular (VM). Na 3ª etapa os atletas realizaram um teste de esforço progressivo máximo para a determinação do VO_{2max} e do LAn.

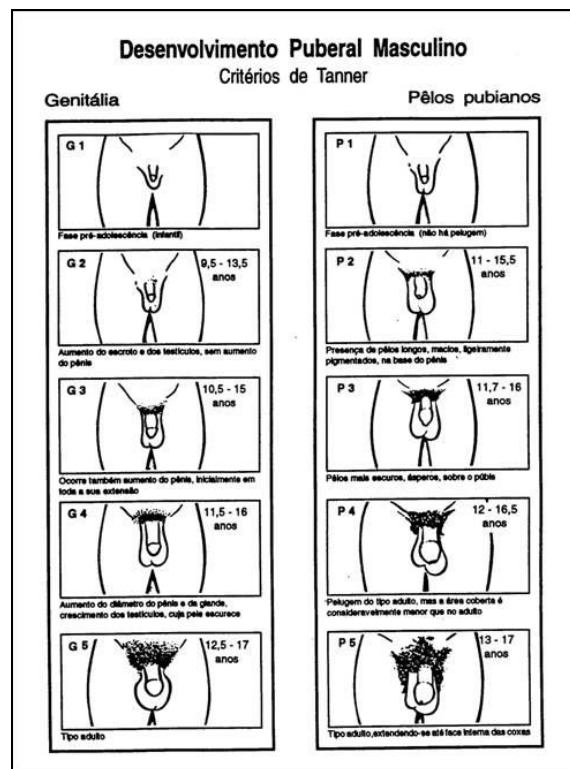


Figura 1. Tabela de 5 estágios de Tanner

Volume Muscular Estimado

Para este procedimento utilizamos um ultrassom com sonda de arranjo linear de 6 cm, com frequência de amostragem de 7,5 MHz (SSD 4000, 51 Hz, ALOKA Inc., Tokyo, Japan – figura 2). A estimativa do VM realizada através da ultrasonografia tem sido considerada uma técnica válida, acurada e amplamente utilizada (Infantolino et al., 2007, Miyatani et al., 2004, Esformes et al., 2002).



Figura 2. Ultrassom Aloka

A determinação do VM dos extensores do joelho e dos flexores plantares do tornozelo seguiu a metodologia proposta por Miyatani et al. (2004). Os pontos de medição foram precisamente medidos, localizados e marcados, primeiramente na superfície anterior da coxa a 50% do comprimento desse segmento (distância entre o trocânter maior do fêmur e a fenda articular que compreende o fêmur e os côndilos tibiais). Posteriormente, os pontos foram localizados e marcados na superfície posterior da perna a 30% do comprimento desse segmento (distância entre a fenda articular do fêmur e côndilos tibiais e o maléolo lateral do tornozelo). Após a identificação dos pontos, a sonda embebida em gel foi posicionada perpendicularmente ao tecido muscular e ósseo, promovendo contato acústico sem depressão da superfície da pele. A interface entre o tecido adiposo subcutâneo e o tecido muscular, assim como, a interface entre o tecido muscular e ósseo foram identificadas pela imagem do ultrassom. A partir disto, mensuramos a espessura muscular (EM), conceituada como a distância entre a aponeurose superficial e profunda de um músculo (Kubo et al., 2003b). Os músculos envolvidos nas medições de EM para determinação do VM dos extensores do joelho foram o vasto intermédio e o reto femoral. Para os flexores plantares do tornozelo foram utilizados os músculos gastrocnêmio, sóleo e tibial posterior (figura 3). Na tentativa de mensurarmos o maior VM envolvido na corrida, somamos os valores de ambos os membros

de VM extensores do joelho (ΣEJ) com os valores de VM dos flexores plantares do tornozelo (ΣFPT), criando a variável volume muscular estimado total ($VMT = \Sigma EJ + \Sigma FPT$). O software ImageJ (versão 1.44x, NIH, USA) foi utilizado para determinarmos os dados de VMT e EM.

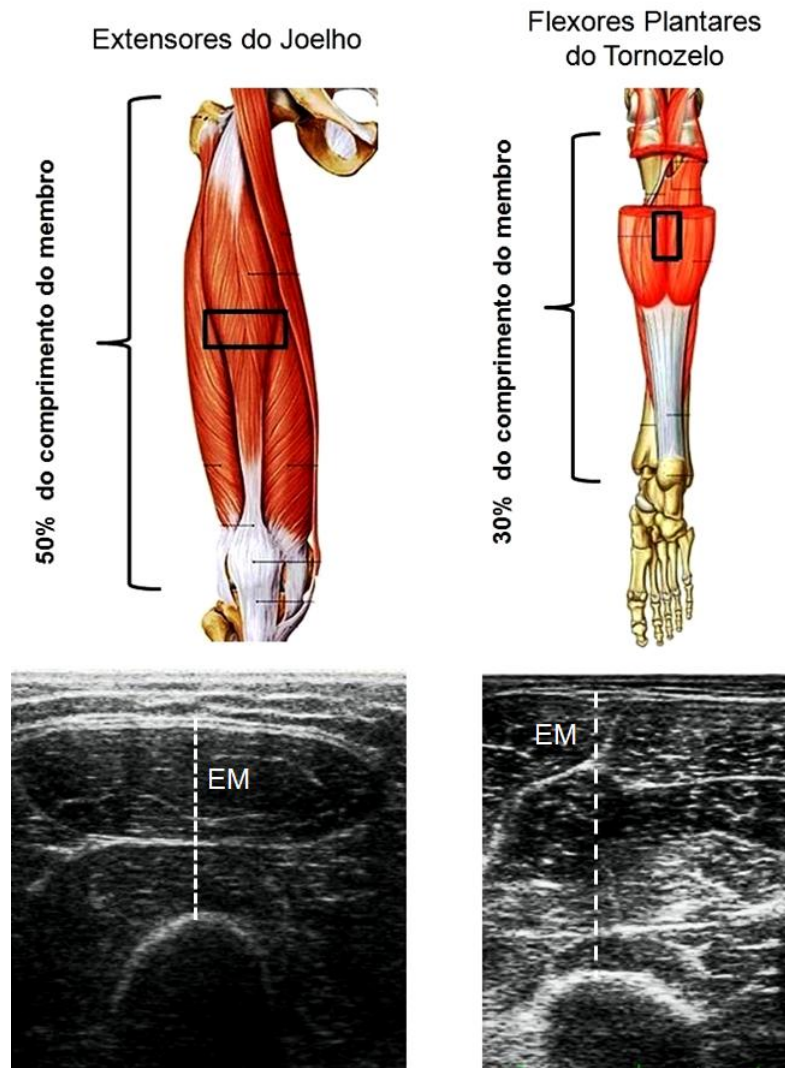


Figura 3. Volume Muscular Estimado

Utilizamos as fórmulas propostas por Miyatani et al. (2004) para o cálculo do VM estimado dos extensores do joelho e flexores plantares do tornozelo, respectivamente:

$$Y = (X_1 \cdot 320,6) + (X_2 \cdot 110,9) - 4437,9$$

$$Y = (X_1 \cdot 219,9) + (X_2 \cdot 31,3) - 1758,0$$

Onde:

Y = Volume muscular (ml)

X₁ = Espessura muscular (cm)

X₂ = Comprimento do membro (cm)

Área de Secção Transversa

A mesma imagem obtida para a determinação do VM dos extensores do joelho foi utilizada para a mensuração da AST do reto femoral do membro dominante e o mesmo software foi utilizado para a análise (de Bruin et al., 1997, Seymour et al., 2009).

Potência Aeróbia

A potência aeróbia foi determinada a partir de um teste máximo em esteira concomitantemente a uma ergoespirometria. Primeiramente, o ergoespirômetro (MedGraphics Cardiorespiratory Diagnostic Systems, modelo CPX-D, figura 4) foi calibrado manualmente com concentrações de gases conhecidas de acordo com as instruções do fabricante (concentração de referência 21% O₂ e concentrações de calibração 12% O₂ e 5,09% CO₂). Após a calibração, os atletas foram adaptados a esteira e aos equipamentos da ergoespirometria, e, quando estavam aptos, iniciaram o teste de esforço progressivo máximo em esteira (Quinton Instruments – Seattle-USA). O protocolo do teste máximo consistiu em 3 minutos de corrida a 8 km.hr⁻¹ e após aumentos de 0,5 km.hr⁻¹ a cada 30 segundos até a exaustão. Todos os atletas foram motivados verbalmente para alcançarem máximo de desempenho durante o teste. O teste foi considerado máximo quando dois dos três critérios a seguir foram estabelecidos: valor da taxa de troca respiratória (RER) >1,15, frequência cardíaca ≥95% da predita para a idade (220-idade) ou presença de platô nos valores de VO_{2max} (Cunha et al., 2011, Dekerle et al., 2003, Lear et al., 1999).



Figura 4. Ergoespirômetro MGC-CPX-D

O LAn foi determinado pelo método ventilatório (LV_1 e LV_2) (Wasserman and McIlroy, 1964). A análise para a determinação dos limiares ventilatórios e o VO_{2max} foi realizada de acordo com o estudo de Cunha et al. (2011). Para essa análise, foram produzidos os gráficos da ventilação (VE), dos equivalentes ventilatórios (VE/VO_2 e VE/VCO_2) e da RER em função do consumo de oxigênio e do tempo ao longo do teste (Cunha et al., 2008a, Cunha et al., 2011). Os critérios empregados para determinação dos limiares ventilatórios (LV_1 e LV_2) e do VO_{2max} foram:

- 1- LV_1 e LV_2 são cargas de trabalho associadas com o 1° e 2° aumentos não lineares da VE (Dekerle et al., 2003, Cunha et al., 2011).
- 2- LV_1 foi considerado como a mínima carga em que VE/VO_2 apresentou um aumento sistemático sem um aumento concomitante de VE/VCO_2 (Wasserman and McIlroy, 1964, Dekerle et al., 2003).
- 3- LV_2 foi considerado como a mínima carga em que VE/VO_2 apresentou um aumento concomitante com VE/VCO_2 (Dekerle et al., 2003, Wasserman and McIlroy, 1964).

- 4- Quando nenhum dos critérios acima foi suficiente para identificar o LV_2 , um aumento não linear da RER foi utilizado (Wasserman and McIlroy, 1964)
- 5- O VO_{2max} foi considerado como a intensidade mínima em que os valores de VO_2 atingissem um platô. Um platô foi considerado como uma variação inferior a $1,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{mim}^{-1}$ mesmo após incrementos subsequentes da intensidade do exercício. Quando um platô não foi alcançado, utilizamos o valor de VO_{2pico} (Dekerle et al., 2003, Cunha et al., 2011).

Os limiares ventilatórios foram determinados por inspeção visual dos gráficos por dois avaliadores experientes. A frequência cardíaca foi mensurada por um monitor cardíaco (Polar, S610 USA).

Determinação dos expoentes alométricos

Os expoentes alométricos foram calculados através da função potência ($Y = aX^b$), onde (a) é uma constante de escala e (b) é a valor do expoente referente à medida corporal. Este expoente foi determinado através da análise de regressão linear após obtermos o logaritmo da equação da função potência $\log Y = \log a + b \log X$. Onde Y assumiu os valores das variáveis dependentes LV_1 , LV_2 e VO_{2max} e X assumiu os valores das duas variáveis independentes, a MC (kg) e o VM (ml) dos extensores do joelho e flexores plantares do tornozelo. Os pressupostos estatísticos para a determinação dos expoentes foram verificados de acordo com os métodos previamente descritos na literatura (Vanderburgh, 1998, Cunha et al., 2011, Welsman and Armstrong, 2000, Batterham and George, 1997, Zoeller et al., 2008).

Tratamento Estatístico

Inicialmente realizamos um estudo exploratório para verificarmos os pressupostos essenciais da análise paramétrica. A normalidade das distribuições foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov, a homogeneidade das variâncias foi verificada com o teste de Levene. Para a análise descritiva utilizamos média e desvio padrão. Utilizamos a análise de correlação de Pearson no sentido de identificarmos as relações existentes entre as variáveis.

Para determinarmos os expoentes alométricos, utilizamos à análise de regressão linear usando os dados devidamente transformados em logaritmo natural. As análises foram realizadas separadamente para cada grupo maturacional e conjuntamente para identificarmos um expoente alométrico comum. Para testarmos a homogeneidade dos expoentes realizamos uma Análise de Covariância (Ancova), inserindo uma variável de interação (grupo x logMC e grupo x logVMT). Para verificarmos as possíveis diferenças entre os grupos alocados por maturação biológica e por idade cronológica, utilizamos o teste de análise de variância One-Way (ANOVA) para amostras independentes e teste *post hoc* de Bonferroni.

Após verificarmos os pressupostos essenciais, utilizamos à análise de regressão linear múltipla com o objetivo de identificarmos a contribuição relativa da estatura, tempo de treinamento, maturação biológica e idade cronológica sobre as variáveis cardiorrespiratórias (LV_1 , LV_2 e VO_{2max}) expressas na forma relativa a MC e ao VMT. Para a expressão absoluta ($ml \cdot min^{-1}$) foram utilizadas as mesmas variáveis com adição da MC no modelo de regressão. Utilizamos para a inserção das variáveis no modelo de regressão o método *backward*. O nível de significância adotado para todas as análises foi de $p < 0,05$. Todo o tratamento estatístico foi realizado no programa estatístico SPSS para *Windows* versão 18.0.

2.3 Resultados

Os resultados referentes às características antropométricas e ao tempo de treinamento em relação os grupos maturacionais são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Características antropométricas e anos de treinamento de jogadores de futebol de acordo com a maturação biológica.

	PREP (n=14)	PUB (n=38)	POSP (n=27)
Idade (anos)	13,3±0,5	15,3±1,0*	16,4±1,3*#
Massa corporal (Kg)	55,0±6,9	68,0±8,5*	74,7±6,0*#
Estatura (m)	1,66±8,3	1,73±6,6*	1,80±6,6*#
Tempos de treinamento	3,3±1,7	4,7±2,5	4,4±2,5
AST do reto femoral	8,2±1,9	9,8±1,9*	10,3±2,0*
VM estimado EJ-D (ml)	1200,5±464,9	1592,6±326,8*	1768,5±356,0*
VM estimado EJ-E (ml)	1127,9±429,5	1563,4±325,0*	1729,8±366,0*
VM estimado FPT-D (ml)	718,3±146,0	865,2±107,6*	946,4±130,3*#
VM estimado FPT-E (ml)	708,9±156,3	889,9±110,1*	949,8±141,5*
VM estimado ΣEJ (ml)	2328,5±889,4	3156,1±645,7*	3498,3±718,5*
VM estimado ΣFPT (ml)	1427,3±297,9	1755,1±206,8*	1896,2±262,0*
VMT ΣEJ+ΣFPT (ml)	3755,8±1143,3	4911,2±785,9*	5394,6±906,5*

*Dados expressos em média e desvio padrão, onde *= estatisticamente diferente do grupo PREP; #= estatisticamente diferente do grupo PUB; PREP= grupo pré-púbere; PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere; VM= volume muscular; EJ= extensores do joelho; FPT= flexores plantares do tornozelo; VMT= volume muscular estimado total; AST= área de secção transversa; D= direito; E= esquerdo; Σ= somatório. Significância (p<0,05).*

As principais correlações entre o VO_{2max} , LV_2 e LV_1 e as potenciais variáveis de normalização são apresentadas na tabela 2. A partir desses resultados, assumimos a MC e o

VMT como variáveis de normalização. Não utilizamos a estatura por não representar a massa muscular envolvida no exercício e a AST por apresentar correlação moderada-baixa.

Tabela 2: Principais correlações entre VO_{2max} , LV_2 e LV_1 com as variáveis antropométricas.

Variável	VO_{2max} (ml.min ⁻¹)	LV_2 (ml.min ⁻¹)	LV_1 (ml.min ⁻¹)
Estatura (m)	0,760*	0,781*	0,701*
Massa Corporal (kg)	0,842*	0,830*	0,793*
VM estimado EJ-D (ml)	0,669*	0,687*	0,639*
VM estimado EJ-E (ml)	0,674*	0,693*	0,643*
VM estimado FPT-D (ml)	0,656*	0,656*	0,638*
VM estimado FPT-E (ml)	0,638*	0,643*	0,653*
VM estimado Σ EJ (ml)	0,675*	0,694*	0,645*
VM estimado Σ FPT (ml)	0,664*	0,667*	0,663*
VMT Σ EJ+ Σ FPT (ml)	0,707*	0,722*	0,683*
AST (cm ²)	0,381*	0,418*	0,365*

*Dados expressos em média e desvio padrão. PREP= grupo pré-púbere; PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere; VM= volume muscular; EJ= extensores do joelho; FPT= flexores plantares do tornozelo; VMT= volume muscular estimado total; AST= área de secção transversa; D= direito; E= esquerdo; Σ = somatório. *= correlação significativa ($p<0,05$).*

Após a normalização do VO_{2max} , LV_2 e LV_1 pela MC, verificamos que a expressão padrão VO_{2max} ml.kg⁻¹.min⁻¹, LV_2 ml.kg⁻¹.min⁻¹, LV_1 ml.kg⁻¹.min⁻¹ ainda mantém correlação significativa com a MC ($p<0,05$). Após aplicarmos os expoentes alométricos teóricos referentes à MC ($b=0,67$ e $b=0,75$) para normalizarmos as mesmas variáveis, verificamos que permanece a correlação significativa com a MC ($p<0,05$). Esses resultados em conjunto demonstraram a necessidade de calcularmos um expoente alométrico específico para VO_{2max} , LV_2 e LV_1 .

Os expoentes alométricos comuns e específicos para cada um dos grupos maturacionais são apresentadas na tabela 3. Verificamos que a MC não pode estabelecer um expoente alométrico comum para LV_2 e LV_1 , pois o pressuposto da homogeneidade dos expoentes não foi atendido, demonstrando diferenças significativas entre os grupos para LV_2 ($p=0,036$) e LV_1 ($p=0,046$). A partir disto, assumimos o VMT como a principal variável de normalização, pois atendeu a todos os pressupostos teóricos (Batterham and George, 1997, Zoeller et al., 2008, Vanderburgh, 1998). A comparação do VO_{2max} , LV_2 e LV_1 entre os grupos maturacionais devidamente ajustados por VMT são apresentados nas figuras 1, 2 e 3.

Tabela 3: Determinação dos expoentes alométricos para VO_{2max} , LV_2 e LV_1 em relação à massa corporal e ao volume muscular estimado em jogadores de futebol.

Variável	Grupo	b	IC 95%	R ²	Ancova
VO_{2max} x MC (kg)	PREP	0,94	0,650-1,239	0,786	p=0,113
	PUB	0,55	0,337-0,772	0,410	
	POSP	0,72	0,453-0,988	0,534	
	Comum	0,79	0,684-0,897	0,737	
VO_{2max} x VMT (ml)	PREP	0,34	0,178-0,518	0,592	p=0,592
	PUB	0,34	0,158-0,529	0,262	
	POSP	0,21	0,014-0,417	0,135	
	Comum	0,43	0,340-0,527	0,519	
LV_2 x MC (kg)	PREP	1,09	0,780-1,406	0,814	p=0,038*
	PUB	0,51	0,288-0,751	0,348	
	POSP	1,05	0,724-1,381	0,620	
	Comum	0,82	0,707-0,944	0,709	
LV_2 x VMT (ml)	PREP	0,35	0,133-0,579	0,460	p=0,967
	PUB	0,34	0,166-0,524	0,291	
	POSP	0,31	0,056-0,577	0,175	
	Comum	0,48	0,386-0,581	0,562	
LV_1 x MC (kg)	PREP	0,79	0,279-1,311	0,441	p=0,048*
	PUB	0,59	0,382-0,813	0,460	
	POSP	1,37	0,768-1,976	0,467	
	Comum	0,71	0,578-0,842	0,603	
LV_1 x VMT (ml)	PREP	0,34	0,130-0,551	0,468	p=0,970
	PUB	0,31	0,134-0,497	0,236	
	POSP	0,31	0,065-0,549	0,184	
	Comum	0,40	0,303-0,500	0,463	

*Cálculo do expoente alométrico específico: $\log Y = \log a + b \log X$. Y assumiu os valores de log de VO_{2max} , LV_2 e LV_1 ($ml \cdot min^{-1}$), X assumiu os valores de log de MC (kg) e log de VMT (ml). Homogeneidade dos expoentes foi verificada por Ancova. Quando os expoentes foram homogêneos ($p > 0,05$), um expoente comum aos três grupos foi calculado. b= expoente alométrico; IC 95%= intervalo de confiança de 95% para b; R²= coeficiente de determinação ajustado; MC= massa corporal; VMT= volume muscular estimado total; PREP= grupo pré-púbere; PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere; VO_{2max} = consumo máximo de oxigênio; LV_1 = limiar ventilatório 1; LV_2 = limiar ventilatório 2; *= diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p < 0,05$).*

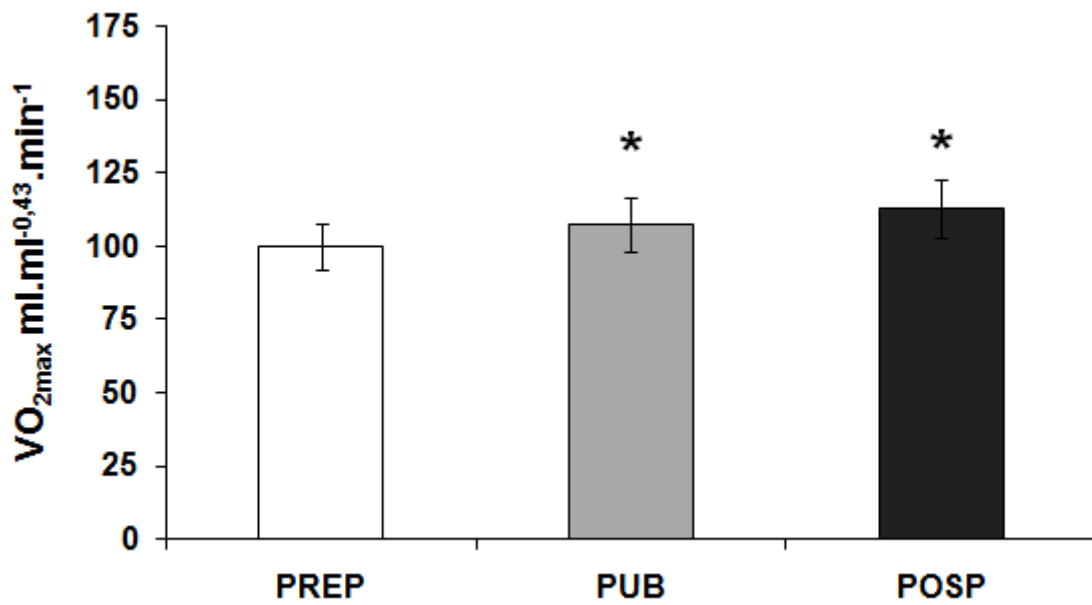


Figura 5: Valores de consumo máximo de oxigênio em jogadores de futebol normalizados por volume muscular estimado total. Dados expressos em média e desvio padrão, onde *= estatisticamente diferente do grupo PREP ($p < 0,05$). PREP= grupo pré-púbere; PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere.

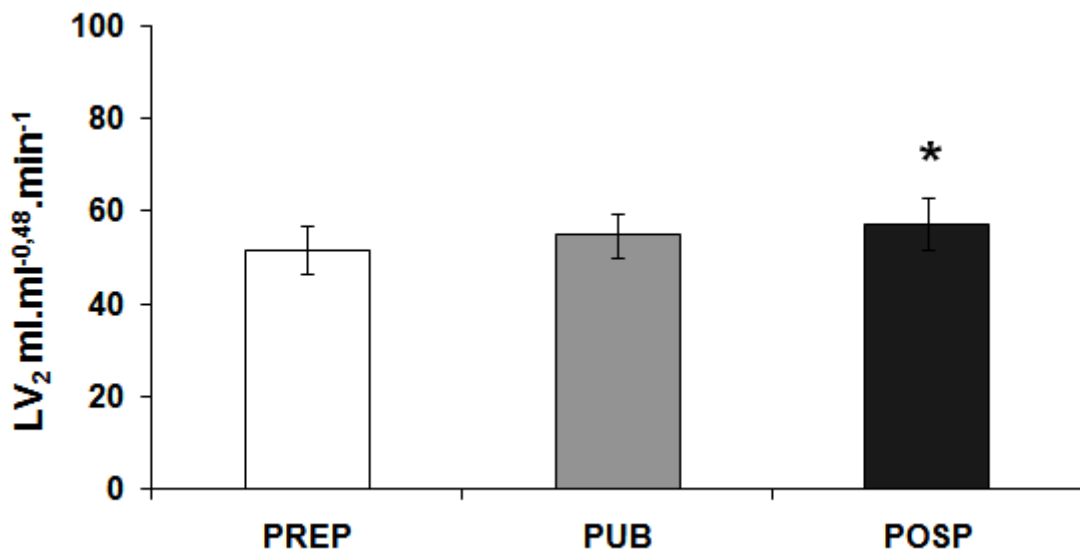


Figura 6: Valores de limiar ventilatório 2 em jogadores de futebol normalizados por volume muscular estimado total. Dados expressos em média e desvio padrão, onde *= estatisticamente diferente do grupo PREP ($p < 0,05$). PREP= grupo pré-púbere; PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere.

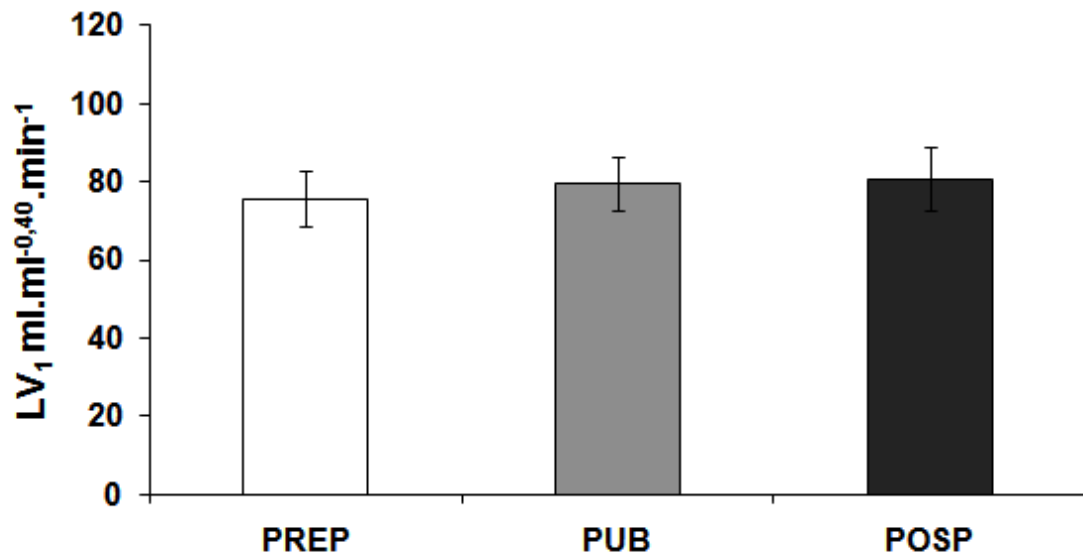


Figura 7: Valores de limiar ventilatório 1 em jogadores de futebol normalizados por volume muscular estimado total. Dados expressos em média e desvio padrão. PREP= grupo pré-púbere; PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere.

Os dados de VO_{2max} , LV_2 e LV_1 expressos em diferentes formas de acordo com o grupo maturacional são apresentados na tabela 4.

As variáveis predictoras do VO_{2max} , LV_2 e LV_1 na forma absoluta, relativa a MC e alométrica são apresentadas na tabela 5. A maturação biológica apresentou efeito positivo sobre o VO_{2max} (18%) e LV_1 (5,7%), mas não apresentou efeito sobre LV_2 quando os dados foram devidamente normalizados por VMT alométrico.

Tabela 4: Consumo máximo de oxigênio e limiares ventilatórios em jovens jogadores de futebol expressos em diferentes escalas em relação à massa corporal e ao volume muscular.

Variável	PREP (n=14)	PUB (n=38)	POSP (n=27)
VO _{2max} ml.min ⁻¹	3407±425	4138±434*	4513±348*#
VO _{2max} ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	61,9±3,3	61,1±5,7	60,4±3,3
VO _{2max} ml.kg ^{-0.67} .min ⁻¹	232,0±14,6	245,3±19,4*	250,7±12,8*
VO _{2max} ml.kg ^{-0.75} .min ⁻¹	168,4±9,9	175,1±14,2	177,5±9,0
VO _{2max} ml.kg ^{-0.79} .min ⁻¹	143,4±8,2	148,0±12,2	149,4±7,6
LV ₂ ml.min ⁻¹	2656±398	3229±349*	3522±360*#
LV ₂ ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	48,9±3,1	47,7±4,8	47,0±2,8
LV ₂ ml.kg ^{-0.67} .min ⁻¹	180,5±13,9	191,5±16,4	195,4±13,2*
LV ₂ ml.kg ^{-0.75} .min ⁻¹	131,0±9,3	136,7±12,0	138,4±9,0
LV ₁ ml.min ⁻¹	2015±269	2369±241*	2503±295*
LV ₁ ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	36,7±3,3	35,0±3,1	33,4±2,5*
LV ₁ ml.kg ^{-0.67} .min ⁻¹	137,4±12,3	140,5±10,3	138,8±11,6
LV ₁ ml.kg ^{-0.75} .min ⁻¹	99,7±8,8	100,3±7,5	98,3±7,0
VO _{2max} ml.ml ⁻¹ .min ⁻¹	0,95±0,17	0,85±0,11	0,85±0,15
LV ₂ ml.ml ⁻¹ .min ⁻¹	0,74±0,14	0,66±0,08	0,66±0,11
LV ₁ ml.ml ⁻¹ .min ⁻¹	0,56±0,11	0,49±0,06*	0,47±0,08*
FC _{max} (bmp)	195±7	191±6	192±6
FC de LV ₂ (bmp)	183±10	179±8	179±7
FC de LV ₁ (bmp)	159±12	150±11*	150±9*
VEL _{max} (km.h ⁻¹)	16,0±0,7	17,1±1,5*	17,8±1,2*
VEL de LV ₂ (km.h ⁻¹)	13,4±0,7	14,3±1,1*	14,6±1,0*
VEL de LV ₁ (km.h ⁻¹)	9,9±0,5	10,2±0,8	10,4±0,7

*Data expressos em media e desvio padrão, onde *= estatisticamente diferente do grupo PREP; #= estatisticamente diferente do grupo PUB; PREP= grupo pré-púbere; PUB=grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere; VO_{2max}= consumo máximo de oxigênio; LV₁= limiar ventilatório 1; LV₂= limiar ventilatório; FC= frequência cardíaca; VEL= velocidade de corrida. Significância (p<0,05).*

Tabela 5: Variáveis explicativas do VO_{2max} , LV_2 e LV_1 em jovens jogadores de futebol de acordo com a análise de regressão linear múltipla

Variáveis	Variáveis Explicativas	β Coeficiente Padronizado	R^2	R^2 ajustado	P
VO_{2max} ml.min ⁻¹	Idade	0,332	0,775	0,769	0,000*
	MC	0,630			
VO_{2max} ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	AST	-0,237	0,189	0,145	0,003*
	Idade	0,483			
	Estatura	-0,239			
	Maturação Biológica	-0,306			
VO_{2max} ml.ml ^{-0,43} .min ⁻¹	Maturação Biológica	0,436	0,290	0,180	0,000*
LV_2 ml.min ⁻¹	Idade	0,311	0,775	0,763	0,000*
	Estatura	0,204			
	Tempo Treino	-0,104			
	MC	0,482			
LV_2 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	Idade	0,430	0,162	0,140	0,001*
	Maturação Biológica	-0,558			
LV_2 ml.ml ^{-0,48} .min ⁻¹	Idade	0,393	0,155	0,144	0,000*
LV_1 ml.min ⁻¹	Idade	0,171	0,666	0,652	0,000*
	Tempo Treino	-0,169			
	MC	0,708			
LV_1 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	Maturação Biológica	-0,393	0,154	0,143	0,000*
LV_1 ml.ml ^{-0,40} .min ⁻¹	Maturação Biológica	0,263	0,069	0,057	0,019*

R^2 = coeficiente de determinação, R^2 ajustado= coeficiente de determinação ajustado; MC= massa corporal; AST= área de secção transversa; VO_{2max} = consumo máximo de oxigênio; LV_2 = limiar ventilatório 2; LV_1 = Limiar Ventilatório; *= Regressão linear múltipla significativa ($p < 0,05$).

A partir dos dados apresentados na tabela 5, identificamos que a idade cronológica é uma variável explicativa do LV_2 . Assim, para melhor compreendermos essa relação, alocamos os atletas em quatro grupos de acordo com suas idades cronológicas (tabela 6).

Tabela 6: Consumo máximo de oxigênio e limiares ventilatórios ajustados por volume muscular de acordo com a idade cronológica

Variável	Idade cronológica (anos)			
	12-13 (n=15)	14-15 (n=37)	16-17 (n=19)	18-19 (n=8)
VO _{2max} ml.ml ^{-0,43} .min ⁻¹	99,9±7,7	108,4±10,8*	110,2±8,6*	115,8±7,0*
LV ₂ ml.ml ^{-0,48} .min ⁻¹	51,5±4,8	55,2±5,1	55,6±5,2	60,1±4,7*
LV ₁ ml.ml ^{-0,40} .min ⁻¹	75,8±6,7	80,7±7,4	76,6±7,6	85,0±4,5*#

*Dados expressos em média e desvio padrão. *= Significativamente diferente do grupo 12-13 anos e #= significativamente diferente do grupo 16-17 anos. VO_{2max}= consumo máximo de oxigênio; LV₁= limiar ventilatório 1; LV₂= limiar ventilatório 2. Significância (p<0,05).*

Verificamos também que a posição tática dos atletas (goleiro, zagueiro, lateral, meio-campo e atacante) não apresentou diferenças significativas para os dados de VO_{2max}, LV₂ e LV₁ expresso nas formas absoluta (ml.min⁻¹), alométrica referente à MC (ml.kg^{-0,67}.min⁻¹ e ml.kg^{-0,75}.min⁻¹) e alométrica referente ao VMT (ml.ml^{-0,43}.min⁻¹), mas existiam diferenças significativas (p<0,05) em favor dos laterais em relação aos zagueiros para o VO_{2max} e LV₂ (ml.kg⁻¹.min⁻¹).

2.4 Discussão

De acordo com o nosso conhecimento, esse é o primeiro estudo que quantifica o efeito da maturação biológica sobre o LV_1 e VO_{2max} devidamente normalizados por volume muscular alométrico em jogadores de futebol altamente treinados. Com relação aos métodos de normalização, o VMT alométrico foi considerado a melhor variável de normalização para os dados de VO_{2max} ($ml \cdot ml^{-0,43} \cdot min^{-1}$), LV_2 ($ml \cdot ml^{-0,48} \cdot min^{-1}$) e LV_1 ($ml \cdot ml^{-0,40} \cdot min^{-1}$) em relação as outras formas de expressão relativas a MC, permitindo ajustar adequadamente os efeitos do tamanho corporal sobre essas variáveis.

Os resultados do presente estudo para VO_{2max} , LV_2 e LV_1 expressos nas formas absoluta ($ml \cdot min^{-1}$), relativa à MC ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) e alométrica ($ml \cdot kg^{-0,75} \cdot min^{-1}$) estão de acordo com os dados previamente publicados para jovens jogadores de futebol de acordo com a idade cronológica e nível maturacional (Cunha et al., 2011, Cunha et al., 2008a, Chamari et al., 2005, Stolen et al., 2005).

A maturação biológica tem apresentado efeitos positivos sobre a potência aeróbia e anaeróbia (Armstrong and Welsman, 2000, Armstrong and Welsman, 2001, Eisenmann et al., 2001, Malina et al., 2004, Cunha et al., 2008a), técnica esportiva (Malina et al., 2007, Malina et al., 2005), aumentos na força, massa muscular, fibras do tipo II, glicogênio muscular, atividade das enzimas lactato desidrogenase (LDH) e fosfofrutoquinase (PFK), mielinização e desenvolvimento do sistema nervoso (Boisseau and Delamarche, 2000, Nedeljkovic et al., 2007, De Ste Croix et al., 2003, Van Praagh and Dore, 2002). Nossos resultados suportam o efeito positivo da maturação biológica sobre a potência aeróbia, pois indivíduos PUB e POSP obtiveram maiores valores de VO_{2max} ($ml \cdot ml^{-0,43} \cdot min^{-1}$) do que PREP.

Recentes estudos identificaram que a maturação biológica possui um grande impacto sobre o processo de seleção de talentos, pois jogadores de futebol mais avançados no processo maturacional possuem vantagens físicas, técnicas e fisiológicas em relação aos menos

maturados (Malina et al., 2004, Malina et al., 2000, Philippaerts et al., 2006, Vaeyens et al., 2006). Consequentemente, esses indivíduos são geralmente selecionados, enquanto que, indivíduos menos maturados são sistematicamente excluídos (Malina et al., 2000, Philippaerts et al., 2006, Vaeyens et al., 2006).

Por esse motivo, a maturação biológica deve ser uma variável de controle do treinamento esportivo e no processo de detecção de talentos. No presente estudo, identificamos que a maturação biológica foi uma variável explicativa da variabilidade do VO_{2max} ($ml \cdot ml^{-0,43} \cdot min^{-1}$) em 18%. Malina et al. (2004) estabeleceram que a maturação biológica conjuntamente com o tempo de treinamento foram variáveis preditoras da variância da potência aeróbia (18%) de jogadores de futebol. Ao contrário, Figueiredo et al. (2011) estabeleceram que a maturação biológica não foi uma variável preditora da potência aeróbia. Cunha et al. (2011) demonstraram que o VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-0,90} \cdot min^{-1}$) de jogadores de futebol mostrou-se independente da maturação biológica, idade cronológica, MC, estatura e tempo de treino após a normalização alométrica.

Contudo, devemos ter muita cautela ao interpretarmos os efeitos da maturação biológica sobre o desempenho esportivo, pois muitos estudos estimaram a maturação biológica baseados somente na idade cronológica sem determinar o estágio maturacional ou não utilizaram um método apropriado para ajustar ou controlar os efeitos do tamanho corporal (De Ste Croix et al., 2003, Nevill et al., 2005). Quando esses critérios são obedecidos, geralmente a maturação biológica apresenta efeito positivo sobre o VO_{2max} (Armstrong and Welsman, 2000, Armstrong and Welsman, 2001, Armstrong et al., 1999, Eisenmann et al., 2001, Malina et al., 2004, Cunha et al., 2008a), apesar de que, outros estudos não confirmaram esse efeito (Cunha et al., 2011, McNarry et al., 2011b).

Com relação aos limiares ventilatórios, são raros e contraditórios os estudos que investigaram os efeitos da maturação biológica sobre os limiares ventilatórios. Tem sido

reportado que a maturação biológica pode exercer efeito negativo sobre o LV_1 (Cunha et al., 2008a) e LV_2 (Kanaley and Boileau, 1988, Reybrouck et al., 1985, Cooper et al., 1984), exercer efeito positivo sobre LV_2 (Cunha et al., 2008a) ou ainda não exercer efeito sobre LV_2 (Cunha et al., 2011, Mendez-Villanueva et al., 2010) e LV_1 (Cunha et al., 2011).

A inconsistência desses resultados pode ser atribuída parcialmente aos diferentes métodos e variáveis de normalização dos limiares ventilatórios. O somatório das evidências demonstram claramente que a normalização padrão ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) raramente ajusta adequadamente os efeitos do tamanho corporal sobre os dados de $VO_{2\text{max}}$, principalmente porque a MC não aumenta na mesma proporção que o VO_2 (Armstrong et al., 1999, Nevill et al., 1992, Welsman et al., 1996, Cunha et al., 2011). Por esse motivo, durante muitos anos acreditou-se que o $VO_{2\text{max}}$ apresentava um comportamento relativamente constante ao longo da infância e da adolescência (Armstrong et al., 1999, Welsman et al., 1996, Cunha et al., 2008a, Armstrong and Welsman, 2001, Armstrong and Welsman, 2000, Baquet et al., 2003).

Na tentativa de elucidar o real comportamento do $VO_{2\text{max}}$ durante a infância e adolescência, Welsman et al. (1996) utilizaram a expressão padrão e alométrica para ajustar os efeitos da MC sobre o $VO_{2\text{max}}$ nos grupos PREP, PUB e POSP. A expressão padrão estava de acordo com a literatura, demonstrando não existir diferenças no $VO_{2\text{max}}$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) entre os grupos. Ao contrário, a análise alométrica ($\text{ml.kg}^{-0,80}.\text{min}^{-1}$) identificou um aumento progressivo do $VO_{2\text{max}}$ entre os grupos. Essa descoberta alterou a interpretação convencional do comportamento do $VO_{2\text{max}}$ durante a infância e adolescência. Outro estudo, estabeleceu resultados semelhantes para $VO_{2\text{max}}$ e LV_2 em jovens jogadores de futebol. A expressão padrão ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) apresentava um comportamento constante ao longo do processo maturacional. Ao contrário, quando os dados foram normalizados por um expoente alométrico teórico ($\text{ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$), a maturação biológica apresentava efeito negativo sobre LV_1 e positivo sobre LV_2 e $VO_{2\text{max}}$ (Cunha et al., 2008a).

Atualmente, um considerável debate instalou-se no meio científico acerca de qual a metodologia mais adequada para normalizar os dados de VO_{2max} e ajustar adequadamente os efeitos do tamanho corporal em crianças, adolescentes e adultos (Nevill et al., 2005). Diversos estudos têm indicado a alometria ($Y=aX^b$) como o método mais eficiente para tais comparações (Armstrong and Welsman, 2001, Chamari et al., 2005, Cunha et al., 2008a, Eisenmann et al., 2001, Nevill et al., 2005, Nevill et al., 2004b, Nevill et al., 1992, Tolfrey et al., 2006, Cunha et al., 2011). Contudo, o valor que o expoente alométrico (b) referente à MC poderá assumir ainda é controverso. Estudos com crianças e adolescentes têm demonstrado que o valor desse expoente pode variar de $b=0,29$ até $b=1,74$ (Cunha et al., 2011, Beunen et al., 2002, Eisenmann et al., 2001, Armstrong and Welsman, 2001, Nevill et al., 2004b), pois depende da composição corporal, sexo, somatotipo, idade cronológica, tamanho amostral, experiência prévia em treinamento e esporte (Nevill et al., 2005).

A aplicação de expoentes alométricos teóricos ($b=0,67$ e $b=0,75$) tem sido amplamente utilizada para comparar o VO_{2max} entre indivíduos heterogêneos em tamanho corporal (Cunha et al., 2011, Armstrong et al., 1999, Helgerud et al., 2001, Cunha et al., 2008a, Hoff et al., 2002). Entretanto, essa aplicação tem sido questionada, principalmente por não ajustar adequadamente os efeitos do tamanho corporal e por assumir previamente a homogeneidade dos expoentes (Cunha et al., 2011). Cunha et al. (2011) demonstraram que os expoentes alométricos teóricos $b=0,67$ e $b=0,75$ não ajustaram efetivamente os efeitos da MC sobre o VO_{2max} , LV_2 e LV_1 em jovens jogadores de futebol, pois mesmo após a normalização permaneciam correlações significativas com a MC ($p<0,05$). Adicionalmente, os expoentes teóricos causavam uma distorção nas variáveis explicativas da variância para essas variáveis, estabelecendo efeitos da maturação biológica e da MC. Essa afirmação é suportada pelo presente estudo, pois os valores de VO_{2max} e LV_2 normalizados em função dos expoentes

alométricos teóricos referente à MC ($b=0,67$ e $b=0,75$) permanecem significativamente correlacionados com a MC.

Nevill et al. (2004b) argumentam que a aplicação de expoentes alométricos teóricos pode não ser eficiente para normalizar os dados de VO_{2max} de jogadores de futebol. Os autores justificam essa afirmação baseados no fato desses atletas possuírem um VM de membro inferior superior ao previsto pela teoria da similaridade geométrica. Outra justificativa é apresentada por Batterham & Jackson (2003), que demonstraram a necessidade de calcular um expoente alométrico específico para os dados de VO_{2max} e VO_2 submáximo (LV_1 e LV_2), pois a magnitude do efeito do tamanho corporal sobre as intensidades de exercício são diferentes. Nossos resultados suportam essa afirmação, pois identificamos diferentes expoentes alométricos referente ao VMT para LV_1 ($b=0,40$), LV_2 ($b=0,48$) e VO_{2max} ($b=0,43$).

Na tentativa de encontrar uma variável que ajuste adequadamente os efeitos do tamanho corporal sobre os dados de VO_{2max} , tem sido utilizado o VM como variável de normalização (Tolfrey et al., 2006, Welsman et al., 1997, Eliakim et al., 2001, Nevill et al., 2004b, Sanada et al., 2005). A aplicação do VM baseia-se no fato de que em situações de exercício de intensidade máxima, 90% fluxo sanguíneo e do VO_2 são direcionados para ressíntese de ATP durante o processo de contração muscular (Weibel et al., 2004, Hochachka et al., 2003, Weibel and Hoppeler, 2005, Hochachka and Beatty, 2003). Por esse motivo, tem sido sugerido a quantificação da massa muscular ativa durante o exercício para normalizar os dados de VO_{2max} (Baker and Davies, 2006, Sanada et al., 2005).

Welsman et al. (1997) foram um dos primeiros grupos a aplicar essa metodologia em crianças através da avaliação das relações entre VM da coxa e o desempenho aeróbio e anaeróbio em meninos e meninas. Os valores de VO_{2max} , pico e média de potência foram maiores em meninos do que nas meninas quando expressos nas formas absoluta, relativa a MC e alométrica em função da MC. Não existiram diferenças significativas entre meninos e

meninas quando os dados foram devidamente normalizados por VM ou VM alométrico. Os autores concluíram que quando os dados são devidamente normalizados por VM alométrico ($l.l^{-0,55} \cdot \text{min}^{-1}$ e $W.l^{-1,2}$), meninas e meninos apresentam desempenho aeróbio e anaeróbio semelhantes. Tolfey et al. (2006) também analisaram a influência do tamanho corporal sobre o $VO_{2\text{max}}$ em meninos e homens utilizando a MC, massa livre de gordura (MLG) e o VM de membro inferior como variáveis de normalização do $VO_{2\text{max}}$. Em meninos as expressões $VO_{2\text{max}}/MC^{0,79}$ e $VO_{2\text{max}}/MLG^{1,00}$ não ajustavam corretamente o efeito do tamanho corporal sobre o $VO_{2\text{max}}$. Ao contrário, normalizando o $VO_{2\text{max}}/VM^{0,64}$ não foram verificados resíduos nas correlações em meninos e homens. Os autores concluíram que VM é o denominador mais apropriado para normalizar o $VO_{2\text{max}}$ em meninos e homens heterogêneos em composição e tamanho corporal. Nossos resultados estão de acordo com os dois estudos citados acima, demonstrando a superioridade do VM alométrico como variável de normalização em relação a MC (tabela 3).

O LV_2 é uma variável especialmente importante para o futebol, pois a intensidade em que o jogo é disputado coincide com sua intensidade (Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004, Stolen et al., 2005). Jogadores de futebol têm apresentado valores de LV_2 compreendidos entre 80-90% da frequência cardíaca máxima (Helgerud et al., 2001, Stroyer et al., 2004, Cunha et al., 2008a) ou entre 75-90% quando expresso em percentual do $VO_{2\text{max}}$ (Chamari et al., 2005, Helgerud et al., 2001, Hoff et al., 2002, Cunha et al., 2008a, Stolen et al., 2005). Estudos transversais sugerem que LV_2 pode diminuir com o avanço do processo maturacional (Kanaley and Boileau, 1988, Reybrouck et al., 1985, Cooper et al., 1984). No entanto, um estudo longitudinal reporta que o LV_2 pode aumentar em meninos de 11 a 15 anos (Paterson et al., 1987). Cunha et al. (2008a) observaram que jovens jogadores de futebol apresentavam valores semelhantes de LV_2 durante o processo maturacional quando expressos em percentual do $VO_{2\text{max}}$, mas quando os valores foram expressos em função do expoente

alométrico referente à MC ($\text{ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$), atletas POSP apresentaram maiores valores do que os PREP.

Curiosamente, o comportamento do LV_1 e LV_2 em relação ao processo maturacional foi reportado em apenas dois estudos de nosso conhecimento (Cunha et al., 2008a, Cunha et al., 2011). O primeiro estudo de nosso laboratório demonstrou que a maturação biológica teve efeito negativo sobre LV_1 e positivo sobre LV_2 quando os dados foram normalizados por um expoente alométrico teórico ($\text{ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$) (Cunha et al., 2008a). Esse estudo apresenta duas limitações importantes, pois foi aplicado um expoente alométrico teórico sem calcular um expoente alométrico específico para o grupo de atletas e não foi utilizado um procedimento estatístico para quantificar o efeito da maturação biológica. O segundo estudo reportou que a maturação biológica não apresentou efeito sobre LV_1 e LV_2 em jogadores de futebol quando os dados foram normalizados por expoentes alométricos especificamente calculados para LV_1 e LV_2 ($b=0,94$ e $b=0,95$, respectivamente) (Cunha et al., 2011). No entanto, embora tenha sido demonstrada a efetividade na normalização dos dados, apenas a MC foi utilizada como variável de normalização.

Neste sentido, o presente estudo objetivou corrigir as limitações das publicações anteriores, calculando um expoente alométrico específico para LV_1 , LV_2 e $\text{VO}_{2\text{max}}$ para cada grupo maturacional utilizando a MC e o VM como variáveis de normalização. Não foi possível estabelecer um expoente alométrico comum referente à MC para LV_1 e LV_2 , pois o pressuposto da homogeneidade dos expoentes não foi atendido. Desta forma, o VMT foi considerado a melhor variável de normalização, atendendo a todos os pressupostos teóricos (Vanderburgh, 1998, Zoeller et al., 2008, Batterham and George, 1997). Quando os dados são normalizados por VMT, a maturação biológica apresenta efeito positivo sobre o LV_1 (5,7%) e $\text{VO}_{2\text{max}}$ (18%). Interessantemente, a maturação biológica não demonstrou efeito sobre o LV_2 , e a principal variável explicativa da variância do LV_2 foi a idade cronológica (14,4%). Para

compreendemos melhor esse efeito, alocamos os atletas em quatro grupos de acordo com a idade cronológica e verificamos que indivíduos de 18-19 anos apresentavam maiores valores de LV_2 do que indivíduos com idade entre 12-13 anos. Essa diferença não pode ser atribuída a diferenças no tempo de treinamento e nem a frequência cardíaca, mas podem ser explicadas por diferenças significativas na velocidade de corrida referente ao LV_2 e ao VMT entre os grupos. Outras justificativas poderiam ser atribuídas a fatores neurais, hormonais e enzimáticos, os quais não foram mensurados no presente estudo.

Assim, chegar a qualquer conclusão acerca dos efeitos da maturação biológica sobre os limiares ventilatórios é difícil, principalmente devido à carência de estudos que aplicaram uma metodologia eficaz para normalizar os efeitos do tamanho corporal.

Resumidamente, a maturação biológica apresentou efeito positivo sobre LV_1 e VO_{2max} de jogadores de futebol. Torna-se necessário calcular os expoentes alométricos específicos para LV_1 , LV_2 e VO_{2max} , pois mínimas variações nesses valores podem gerar interpretações equivocadas acerca dos efeitos da MC, idade cronológica e maturação biológica sobre essas variáveis. O VMT demonstrou ser superior a MC como variável de normalização. Reconhecemos que o cálculo dos expoentes alométricos específicos para cada intensidade de exercício conjuntamente com a determinação da massa muscular envolvida no exercício dificultam a comparação dos resultados de diferentes estudos e aumentam a complexidade da rotina de coleta de dados. Entretanto, este procedimento é essencial para compreendermos os reais efeitos da maturação biológica sobre as variáveis de desempenho esportivo.

Do ponto de vista prático, recomendamos o controle da maturação biológica durante o treinamento e processo de detecção de talento, pois indivíduos com a mesma idade cronológica podem apresentar grandes variações na idade biológica. Essa variação pode fornecer aos indivíduos mais avançados no processo maturacional vantagens na potência

aeróbia e anaeróbia, técnica esportiva, força, massa muscular e atividade enzimática do que indivíduos menos avançados.

2.5 Conclusão

A maturação biológica apresentou efeito positivo sobre o VO_{2max} e LV_1 quando devidamente normalizados por volume muscular alométrico em jogadores de futebol, mas não apresentou efeito sobre LV_2 . O VMT alométrico demonstrou ser superior a MC e aos expoentes alométricos teóricos como variável de normalização, sendo necessário calcular expoentes alométricos específicos para LV_1 , LV_2 e VO_{2max} . Tendo em vista que a maturação biológica tem demonstrado efeitos positivos sobre diversas variáveis de desempenho físico, recomenda-se utilizá-la como variável de controle e prescrição do treinamento, além de ser importante para o processo de detecção de talentos.

3.0 CAPÍTULO III - EFEITO DA MATURAÇÃO BIOLÓGICA E DA ARQUITETURA MUSCULAR SOBRE O TORQUE ISOMÉTRICO E DINÂMICO EM JOGADORES DE FUTEBOL

3.1 Introdução

A força muscular (FM) é definida como a força máxima (N) ou torque (Nm) desenvolvido durante uma contração voluntária máxima (CVM) em dada condição (Jaric, 2002). No futebol a FM tem um papel importante, pois o seu aumento está relacionado a uma melhora na execução de habilidades específicas como chutes, saltos, *sprints*, marcação, deslocamento com mudanças de direção, na estabilização das articulações durante contrações musculares excêntricas, o que auxilia na prevenção de lesões (Arnason et al., 2004, Wisloff et al., 2004, Hoff and Helgerud, 2004).

A FM absoluta de meninos apresenta um comportamento progressivo dos 8-18 anos de idade (De Ste Croix et al., 2003, Nedeljkovic et al., 2007, Van Praagh, 2000, Van Praagh and Dore, 2002). A maturação biológica influencia drasticamente esse comportamento, pois têm efeitos positivos sobre o tamanho, massa e composição corporal (De Ste Croix et al., 2003, Nedeljkovic et al., 2007, Neu et al., 2002, Tonson et al., 2008, De Ste Croix et al., 2002). Além disto, o desenvolvimento do sistema nervoso e a mielinização neuromuscular não estão totalmente completos até o final da puberdade (De Ste Croix et al., 2003).

Por esses motivos, tem sido postulado que o melhor período para o treinamento e desenvolvimento da FM seria durante o processo maturacional, mais especificamente no período compreendido entre 12 e 18 meses após o pico de velocidade da estatura (Ford et al., 2011). A maturação biológica está relacionada com o desempenho físico e atletas mais avançados no processo maturacional geralmente possuem maiores níveis de FM, potência e potência aeróbia em relação aos indivíduos menos avançados. Consequentemente, indivíduos que apresentam um processo maturacional mais lento geralmente são excluídos, enquanto que

os indivíduos mais avançados são favorecidos no processo de detecção e seleção de talentos (Malina et al., 2000, Philippaerts et al., 2006, Nedeljkovic et al., 2007).

Entretanto, devemos ter muita cautela ao interpretar os efeitos da maturação biológica sobre a FM ou torque muscular (TM), pois diversos estudos apenas estimaram o estágio maturacional a partir da idade cronológica ou simplesmente classificaram os indivíduos como sendo pré-púberes (PREP), púberes (PUB) ou pós-púberes (POSP), sem realmente avaliarem os estágios maturacionais (De Ste Croix et al., 2003, Kanehisa et al., 1995). Outros fatores influenciam a FM e o TM, entre eles podemos citar fatores relacionados aos participantes (sexo, idade cronológica, estágio maturacional, composição corporal e nível de condicionamento físico) (Nedeljkovic et al., 2007, De Ste Croix et al., 2003), às variáveis de arquitetura muscular como o ângulo de penação (AP), comprimento do fascículo (CF), espessura muscular (EM) e ao volume muscular (VM) (Tonson et al., 2008, Barrett and Harrison, 2002), a aspectos metodológicos (tipo de contração muscular, estabilidade, correção da gravidade e sequência do protocolo de teste) (Jaric, 2002, De Ste Croix et al., 2003), a fatores neuromusculares (ativação e coativação de agonistas e antagonistas) (Klein et al., 2001, De Ste Croix et al., 2003), e outros relacionados à inconsistência das variáveis utilizadas para a normalização dos dados como a massa corporal (MC), índice de massa corporal (IMC), massa livre de gordura (MLG), área de secção transversa (AST), área de secção transversa fisiológica (ASTF) e VM (Klein et al., 2001, Tonson et al., 2008, De Ste Croix et al., 2002, Barrett and Harrison, 2002).

O aumento da FM observado durante o processo maturacional poderia ser um efeito de escala, resultado de uma incorreta normalização dos dados. Por esse motivo, é primordial que o efeito do tamanho corporal sobre os dados de FM e TM sejam devidamente normalizados. Caso contrário, não será possível definir se as alterações na FM e TM são devidas ao

crescimento, à maturação biológica, ao treinamento, à composição corporal ou a uma interação entre esses fatores.

Historicamente o efeito do tamanho corporal sobre a FM tem sido controlado por uma simples divisão do valor da FM absoluta pela MC em quilogramas (kg), conhecida como expressão padrão (FM/MC). A MC é extensivamente utilizada como variável de normalização porque geralmente apresenta altos valores de correlação com a FM e TM. Entretanto, recentemente esse método de normalização vem sendo criticado, pois a relação entre a MC e FM ou entre MC e TM não tem demonstrado ser linear, com os valores de FM aumentando em uma menor proporção do que a MC, (Wisloff et al., 1998, Jaric et al., 2002a, Nevill et al., 1998, Weir et al., 1999) enquanto que, os valores de TM aumentam em maior proporção em relação à MC (Challis, 1999, Jaric et al., 2002a, Jaric et al., 2002b, Weir et al., 1999, De Ste Croix et al., 2003, Hulens et al., 2001, Davies and Dalsky, 1997). Caso esse comportamento seja observado, a expressão padrão torna-se inapropriada para ajustar os efeitos da MC sobre a FM e o TM.

Na tentativa de comparar os valores de FM e TM entre indivíduos heterogêneos em tamanho e composição corporal, tem sido proposta a utilização de outras variáveis de normalização como o IMC, MLG, AST, ASTF e VM (Klein et al., 2001, Tonson et al., 2008, De Ste Croix et al., 2002, Barrett and Harrison, 2002). A normalização da FM ou TM pela ASTF (FM/ASTF) é considerada um método padrão-ouro (Klein et al., 2001). No entanto, recentes estudos reportam que ASTF não normaliza corretamente os dados de FM isométrica (Zoeller et al., 2007, Zoeller et al., 2008).

A alometria é considerada o método mais apropriado para ajustar os efeitos da MC sobre a FM ou TM (Wisloff et al., 1998, Zoeller et al., 2007, Wren and Engsborg, 2007, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005, Jaric et al., 2002a, Markovic and Jaric, 2004, Markovic and Jaric, 2005, Folland et al., 2008, Vanderburgh et al., 1995, Nevill et al., 1998, Weir et al.,

1999). Essa metodologia é baseada na aplicação da equação alométrica ($Y=aX^b$), que estabelece um índice que permite comparar indivíduos heterogêneos em tamanho e composição corporal, conhecido como expoente alométrico (b), Y pode assumir os valores de FM ou o TM, (a) é o coeficiente de proporcionalidade e X pode assumir os valores das variáveis de normalização (MC, IMC, MLG, AST e VM). Com a transformação logarítmica dessa fórmula ($\log Y = \log a + b \log X$), podemos calcular o expoente alométrico (b) e o coeficiente de proporcionalidade (a) por regressão linear. Assim, a FM e o TM poderão ser normalizados, apresentando valores independentes do tamanho corporal para uma determinada série de dados (Aasa et al., 2003, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005).

Com relação ao valor que este expoente alométrico poderá assumir para a FM e TM ainda é motivo de muita controvérsia, pois é dependente de vários aspectos como a composição corporal, idade cronológica e maturação biológica, modalidade esportiva, tipo de contração e grupo muscular analisado (Armstrong et al., 1999, Heil, 1997, Nevill et al., 2005, Rowland, 2005, Agutter and Wheatley, 2004, Suarez et al., 2004, Batterham and Jackson, 2003, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2002a). Estudos específicos com crianças têm estabelecido maiores valores de expoente alométrico para TM (b=1) do que para a FM (b=0,67), com variação de 0,77-1,87 para TM e de 0,33-0,87 para a FM (Aasa et al., 2003, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005, Jaric et al., 2002a, Markovic and Jaric, 2004, Markovic and Jaric, 2005, Wisloff et al., 1998, Malaguti et al., 2006, Folland et al., 2008, Hulens et al., 2001).

O valor que o expoente alométrico pode assumir também é dependente da variável de normalização, e diversos estudos têm utilizado o VM para normalizar os dados de FM e TM em indivíduos de diferentes tamanhos corporais (Fukunaga et al., 2001, Tonson et al., 2008, Barrett and Harrison, 2002, Thom et al., 2007, Akagi et al., 2009). O VM tem demonstrado ser superior a outras variáveis de normalização como a MC, MLG e AST (Akagi et al., 2009,

Tonson et al., 2008, Fukunaga et al., 2001). Adicionalmente, essa normalização (FM/VM e TM/VM) é considerada um índice de tensão específica do músculo esquelético, conhecida como qualidade muscular (Lynch et al., 1999, O'Brien et al., 2010a, O'Brien et al., 2009).

Poucos estudos verificaram os efeitos da maturação biológica sobre as relações torque-ângulo, torque-velocidade e arquitetura muscular em crianças (Barrett and Harrison, 2002) e jogadores de futebol (Borges et al., 2003). A avaliação das variáveis de arquitetura muscular (AST, VM, EM, AP e CF) poderiam fornecer informações relevantes sobre o comportamento da FM e do TM em crianças e adolescentes, inclusive alterando as atuais interpretações (Morse et al., 2008).

Por todo o exposto, torna-se necessário identificar uma metodologia de normalização que permita identificar um índice independente do tamanho corporal para podermos comparar os dados de FM e TM entre jogadores de futebol heterogêneos em tamanho corporal, permitindo a otimização dos efeitos positivos do treinamento e a redução dos efeitos deletérios do treinamento excessivo (Cunha et al., 2008b, Cunha et al., 2006).

O presente estudo tem três objetivos principais: (1) verificar se a maturação biológica apresenta efeito sobre TM isométrico, concêntrico e excêntrico quando esses são devidamente normalizados; (2) identificar quais as variáveis explicativas do TM; (3) identificar o melhor método de normalização para os dados de TM.

3.2 Métodos e Materiais

Participantes

O cálculo amostral indicou serem necessários no mínimo 14 indivíduos por grupo maturacional para podermos identificar as variáveis explicativas e os expoentes alométricos (b) referentes ao TM e suas variáveis de normalização com coeficiente de correlação de 0,70 para o nível de significância de 5% e poder do teste de 90%. O cálculo amostral foi baseado em estudos previamente publicados (Thom et al., 2007, Tonson et al., 2008) e realizado por meio do software NQuery 3.0. A amostra foi composta por 34 atletas do sexo masculino pertencentes às categorias de base do Sport Club Internacional. Todos os atletas realizavam de 5 a 8 sessões de treinamento por semana e tinham pelo menos um ano de experiência como jogadores de futebol. O termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) foi assinado pelos atletas e ou responsáveis legais. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEP – 2008082).

Procedimentos

Trinta e quatro atletas participaram do estudo e foram classificados de acordo com o seu estágio maturacional em dois grupos, púberes (PUB, n=15) e pós-púberes (POSP, n=19). A maturação biológica foi determinada de acordo com a tabela de 5 estágios (figura 1) proposta por Tanner (1962). Esse procedimento foi realizado pelo fisiologista do clube, pois a maturação biológica é uma variável de controle do treinamento destes atletas.

A rotina de coleta de dados foi dividida em quatro etapas principais realizadas no mesmo dia. Na 1ª etapa os indivíduos receberam informações sobre o estudo e os testes, TCLE e avaliação da estatura e MC (balança eletrônica da marca Urano - modelo OS 180A), idade cronológica, tempo de treinamento, posição tática e dominância. A 2ª etapa consistiu na

obtenção de imagens de ultrasonografia para a determinação do VM, AST, AP e CF. Na 3ª etapa os atletas realizaram aquecimento em bicicleta ergométrica durante 10 minutos com carga constante de 75 watts. A 4ª etapa consistiu na realização do protocolo de dinamometria isocinética.

Arquitetura Muscular

Para a determinação das variáveis de arquitetura muscular (VM, AST, CF, AP) utilizamos imagens obtidas por um ultrassom com sonda de arranjo linear de 6 cm, com frequência de amostragem de 7,5 MHz (SSD 4000, 51 Hz, ALOKA Inc., Tokyo, Japan – figura 2) e subsequente análise no software ImageJ (versão 1.44x, NIH, USA).

Volume Muscular

A estimativa do VM dos extensores do joelho do membro dominante seguiu a metodologia proposta por Miyatani et al. (2004). Os pontos de medição foram precisamente medidos, localizados e marcados na superfície anterior da coxa a 50% do comprimento desse segmento (distância entre o trocânter maior do fêmur e a fenda articular que compreende o fêmur e os côndilos tibiais). Após a identificação dos pontos, a sonda embebida em gel foi posicionada perpendicularmente ao tecido muscular e ósseo, promovendo contato acústico sem depressão da superfície da pele. A interface entre o tecido adiposo subcutâneo e o tecido muscular, assim como, a interface entre o tecido muscular e ósseo foram identificadas pela imagem do ultrassom. A partir disso, mensuramos a EM que é conceituada como a distância entre a aponeurose superficial e profunda de um músculo (Kubo et al., 2003b, Kubo et al., 2003a). Os músculos envolvidos nas medições de EM para determinação do VM estimado dos extensores do joelho foram o vasto intermédio e o reto femoral. A EM foi considerada a média de três mensurações para a mesma imagem.

Utilizamos a fórmula abaixo para o cálculo do VM dos extensores do joelho.

$$Y = (X_1 \cdot 320,6) + (X_2 \cdot 110,9) - 4437,9$$

Onde:

Y = Volume muscular (cm^3)

X₁ = Espessura muscular (cm)

X₂ = Comprimento do membro (cm)

AST do reto femoral

A mesma imagem obtida para a determinação do VM dos extensores do joelho foi utilizada para a mensuração da AST do reto femoral (de Bruin et al., 1997, Seymour et al., 2009). O software ImageJ foi utilizado para determinar os dados de EM e da AST do reto femoral. A figura 8 ilustra em resumo esses procedimentos.

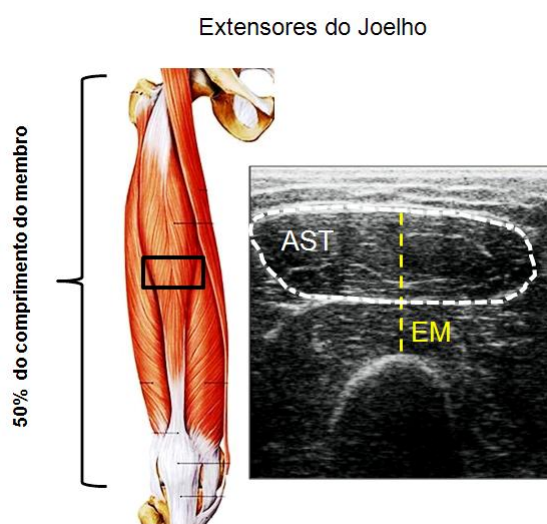


Figura 8: Determinação do volume muscular estimado, área de secção transversa (AST) e espessura muscular (EM).

Comprimento do Fascículo e Ângulo de Penação

Uma imagem em sentido longitudinal do músculo vasto lateral em repouso a 50% do comprimento da coxa, obtida em decúbito dorsal com extensão completa do membro foi obtida para determinação do CF e AP (Erskine et al., 2009, Maganaris et al., 2001). Quando o CF extrapolava a imagem, utilizamos a metodologia sugerida por Blazeovich et al. (2006) para a mensuração. O CF é definido como a distância fascicular entre a aponeurose superficial e profunda. O AP foi considerado como o ângulo formado entre o fascículo e sua inserção na aponeurose profunda (Maganaris et al., 2001). O CF e o AP foram considerados a média da mensuração de três fascículos da mesma imagem. A figura 9 ilustra este procedimento. Os dados de CF (cm) também foram normalizados pelo comprimento da coxa (cm), criando a variável comprimento do fascículo normalizado (CFn) para permitir a comparação entre indivíduos de diferentes tamanhos corporais.

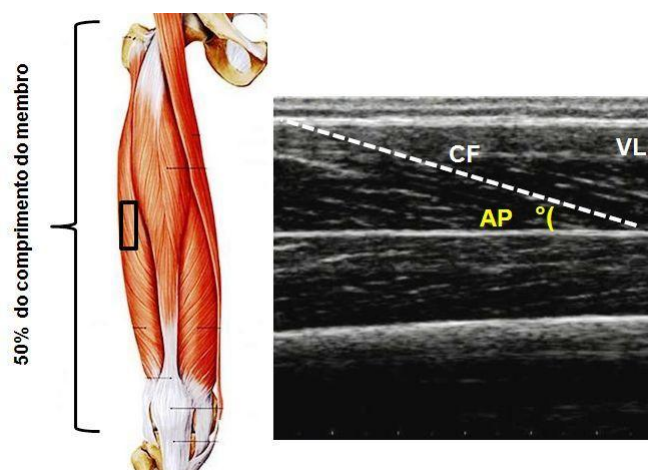


Figura 9: Comprimento do fascículo (CF) e ângulo de penação (AP) do vasto lateral (VL).

Dinamometria Isocinética

Para a mensuração das relações torque-ângulo e torque-velocidade foi utilizado um dinamômetro Isocinético (Biodex Medical System, Shirley – NY, USA, figura 10).



Figura 10: Dinamômetro Isocinético Biodex

Após a realização do aquecimento em cicloergômetro, os atletas foram posicionados no dinamômetro isocinético em uma posição sentada, com o epicôndilo lateral do fêmur alinhado com o eixo de rotação do dinamômetro. Os ângulos da articulação coxofemoral e da articulação tibiofemoral foram mantidos em aproximadamente 80° de flexão a partir da extensão completa do segmento (0° = extensão completa) de acordo com as instruções do fabricante para a avaliação do movimento de extensão do joelho. Para o isolamento do grupo muscular avaliado, o tronco e o quadril foram estabilizados por meio de um cinto e a coxa estabilizada por uma faixa de nylon presa ao dinamômetro por um velcro. Após os ajustes individuais da amplitude de movimento da articulação tibiofemoral, foi realizado o procedimento de correção da gravidade. Todos os atletas foram familiarizados aos procedimentos no dinamômetro com a execução de uma contração isométrica em três diferentes ângulos e três contrações concêntricas e excêntricas em três diferentes velocidades.

Para a avaliação da relação torque-ângulo, os indivíduos realizaram uma CVM isométrica dos extensores do joelho nos seguintes ângulos articulares de forma randomizada: 30°, 45°, 60°, 75°, 90° e 105°, sendo 0° considerado a extensão completa do segmento. O pico de torque foi considerado o maior valor alcançado em aproximadamente 0,5 segundos e sustentado ao menos por um segundo para assegurar que o comprimento das fibras da musculatura avaliada permaneceria constante durante o período de medição. Para cada contração isométrica existia um intervalo de 1:30 minutos.

Para a mensuração da relação torque-velocidade, os atletas realizaram seis CVMs em ordem randomizada, três contrações concêntricas e três contrações excêntricas dos extensores do joelho nas seguintes velocidades articulares: 30°/s, 60°/s, 90°/s, 120°/s, 180°/s e 240°/s. Entre cada velocidade existia um intervalo de dois minutos. O pico de torque foi considerado como o maior valor alcançado durante cada velocidade para as contrações concêntricas e excêntricas. Todos os atletas receberam motivação verbal para alcançarem o máximo desempenho durante os testes, bem como *feedback* visual.

Para a aquisição dos dados de TM foi utilizado o programa *Windaq* (Data Instruments, Akron, OH, USA – 16 bits com frequência 10000 Hz) e para posterior análise foi utilizado um programa de análise na plataforma MATLAB (MATLAB version 7.3.0.267, MathWorks, Inc., Natick, MA).

Determinação do TM Alométrico

Os expoentes alométricos referentes ao TM dos extensores do joelho levando em consideração os grupos maturacionais foram calculados a partir da função potência ($Y = aX^b$), onde (a) é uma constante de escala e (b) é o valor do expoente alométrico referente à variável de normalização. Este expoente foi determinado por análise de regressão linear após obtermos o logaritmo natural da equação da função potência ($\log Y = \log a + b \log X$). A variável Y

assumiu os valores das variáveis dependentes (torque isométrico, torque concêntrico e excêntrico) e X assumiu os valores de duas variáveis independentes, a MC (kg) e o VM (ml) de extensores do joelho dominante.

Tratamento Estatístico

Inicialmente realizamos um estudo exploratório para verificarmos os pressupostos essenciais da análise paramétrica. A normalidade das distribuições foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias verificada com o teste de Levene. Para a análise descritiva utilizamos média e desvio padrão. Aplicamos a análise de correlação de Pearson no sentido de identificarmos as relações existentes entre as variáveis.

Para determinamos os expoentes alométricos, utilizamos à análise de regressão linear com os dados previamente transformados em logaritmo natural. As análises foram realizadas separadamente para cada grupo maturacional e após verificarmos os pressupostos da homogeneidade dos expoentes, identificamos os expoentes alométricos comuns para cada contração muscular. A homogeneidade dos expoentes foi verificada através de uma Análise de Covariância (Ancova), inserindo uma variável de interação (grupo *vs.* logMC e grupo *vs.* logVM). Os pressupostos estatísticos para a determinação dos expoentes foram verificados de acordo com métodos previamente descritos na literatura (Vanderburgh, 1998, Welsman and Armstrong, 2000, Batterham and George, 1997).

Para verificarmos as possíveis diferenças intra e intergrupos utilizamos a análise de variância *Two-Way* (ANOVA) para mediadas repetidas, *post hoc* de Bonferroni e teste *t-student* para medidas independentes. Os resultados das comparações intragrupos não são apresentados.

Após verificarmos os pressupostos essenciais da regressão linear múltipla, empregamos esse procedimento com o objetivo de identificar as variáveis explicativas da

variabilidade do TM (isométrico, concêntrico e excêntrico) expresso na forma absoluta, relativa e alométrica. As variáveis inseridas no modelo de regressão foram a idade cronológica, tempo de treinamento, estatura, maturação biológica, MC, VM, AST, CF e AP. Para o TM normalizado pela MC por expoentes alométricos específicos referentes à MC, utilizamos as mesmas variáveis com exceção da MC. Para a inserção das variáveis no modelo de regressão utilizamos o método *backward*. O nível de significância adotado para todas as análises foi de $p < 0,05$. Todo o tratamento estatístico foi realizado no programa estatístico SPSS para *Windows* versão 18.0.

3.3 Resultados

As variáveis de caracterização, antropométricas e de arquitetura muscular dos sujeitos são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7: Características antropométricas e arquitetura muscular de jogadores de futebol de acordo com os grupos maturacionais.

Variável	PUB (n=15)	POSP (n=19)
Idade (anos)	14,5±0,8	16,6±1,2*
Massa corporal (kg)	64,2±7,8	76,6±7,0*
Estatura (m)	1,73±5,3	1,82±6,3*
Tempo de treinamento (anos)	4,6±2,3	4,2±2,2
Comprimento da coxa (cm)	43,4±1,5	45,4±2,0*
Espessura muscular (cm)	3,6±0,6	3,8±0,6
Volume muscular (ml)	1526,5±307,3	1814,2±410,3*
AST do reto femoral (cm ²)	9,8±1,9	10,3±2,0
CF do vasto lateral (cm)	8,3±1,4	8,9±1,6
CFn do vasto lateral (cm)	0,19±0,03	0,20±0,03
AP do vasto lateral (graus)	15,0±2,3	14,3±3,2

*Data expressos em media e desvio padrão, onde *= estatisticamente diferente do grupo PUB; CF= comprimento do fascículo; CFn= comprimento do fascículo normalizado; AP= ângulo de penação; AST= área de secção transversa; PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere. Significância (p<0,05).*

Para identificarmos a variável de normalização mais adequada para os dados de TM, primeiramente verificamos as correlações existentes entre as contrações musculares isométricas e dinâmicas com a MC, VM e AST. Estabelecemos correlações significativas entre TM isométrico (r=0,638-0,792), concêntrico (r=0,600-0,828) e excêntrico (r=0,592-0,792) com a MC, respectivamente. Estabelecemos correlações significativas entre TM isométrico (r=0,397-0,521) e concêntrico (r=0,362-0,454) com o VM; para o TM excêntrico foram estabelecidas correlações significativas somente para as velocidades de 30°/s, 90°/s,

120°/s e 180°/s ($r=0,398-0,610$). Não foram identificadas correlações significativas entre AST e TM isométrico, concêntrico e excêntrico.

Não foi possível estabelecer os expoentes alométricos referentes ao VM, pois os expoentes alométricos específicos para os grupos PUB e POSP referentes às contrações isométricas e dinâmicas não suportaram o pressuposto da homogeneidade ($p<0,05$). Por outro lado, a normalização por VM tem sido considerada padrão-ouro e índice de tensão específica do músculo esquelético. Por esse motivo, apresentamos os dados de TM normalizados por VM absoluto (TM/VM). Após esse procedimento, verificamos que permaneciam correlações significativas entre VM e TM para todas as contrações ($r=-0,424$ a $-0,593$). Este fato demonstra que mesmo uma variável considerada padrão-ouro pode gerar normalizações inadequadas. Da mesma forma, utilizamos a expressão padrão (TM/MC) para normalizar os dados e verificamos que permaneciam correlações significativas ($p<0,05$) para a contração isométrica a 90° ($r=0,455$) e para contração concêntrica a 30°/s ($r=0,410$).

A MC foi considerada superior ao VM e a AST como variável de normalização por atender aos pressupostos teóricos. Assumimos a normalização alométrica utilizando os expoentes alométricos específicos referentes à MC como o método mais adequado para a normalização dos dados de TM. Os valores dos expoentes alométricos específicos referente à MC para cada contração muscular são apresentadas na tabela 8. Após aplicarmos a normalização alométrica utilizando esses expoentes específicos, não estabelecemos correlações significativas entre o TM e a MC para nenhuma das contrações musculares ($p>0,05$). Adicionalmente, realizamos o teste de independência para os dados de TM normalizado por MC (kg) e TM normalizado por MC^b (kg) com a MC (kg) de acordo com estudos previamente publicados (Cunha et al., 2011, Zoeller et al., 2007, Zoeller et al., 2008) e confirmamos a superioridade da normalização alométrica por expoentes específicos em relação a normalização padrão (dados não apresentados).

As relações torque-ângulo de jogadores de futebol expressa na forma absoluta, relativa à MC e ao VM são apresentadas na figura 11. As relações torque-velocidade concêntrica e excêntrica expressa na forma absoluta, relativa à MC e ao VM são apresentadas na figura 12.

Tabela 8: Determinação dos expoentes alométricos referente à massa corporal para o TM isométrico, concêntrico e excêntrico dos extensores do joelho.

Variável	b	IC 95%	R ²	Ancova
<i>Torque Isométrico</i>				
30°	1,08	0,616-1,535	0,397	p=0,756
45°	1,30	0,860-1,735	0,521	p=0,065
60°	1,25	0,844-1,660	0,536	p=0,486
75°	1,40	1,002-1,794	0,605	p=0,473
90°	1,57	1,140-2,011	0,618	p=0,278
105°	1,27	0,870-1,669	0,553	p=0,352
<i>Torque Concêntrico</i>				
30°/s	1,28	0,956-1,608	0,664	p=0,619
60°/s	1,20	0,842-1,555	0,607	p=0,527
90°/s	1,37	0,949-1,801	0,561	p=0,539
120°/s	1,19	0,724-1,648	0,444	p=0,582
180°/s	1,04	0,574-1,502	0,374	p=0,860
240°/s	1,39	0,933-1,832	0,537	p=0,850
<i>Torque Excêntrico</i>				
30°/s	1,38	0,897-1,866	0,498	p=0,886
60°/s	0,99	0,549-1,422	0,379	p=0,705
90°/s	1,16	0,806-1,521	0,574	p=0,311
120°/s	1,21	0,749-1,671	0,455	p=0,889
180°/s	1,04	0,574-1,502	0,374	p=0,860
240°/s	0,97	0,515-1,433	0,349	p=0,890

Cálculo do expoente alométrico comum para os grupos púbere e pós-púbere: $\log Y = \log a + b \log X$. Y assumiu os valores de log de torque isométrico, concêntrico e excêntrico (Nm), X assumiu os valores de log de massa corporal (kg). A homogeneidade dos expoentes foi verificada por Ancova. Quando os expoentes não foram estatisticamente diferentes de zero ($p > 0,05$), calculamos expoentes alométricos comuns aos 2 grupos. b= expoente alométrico; IC 95%= intervalo de confiança de 95% para b; R²= coeficiente de determinação ajustado. Nível de significância ($p < 0,05$).

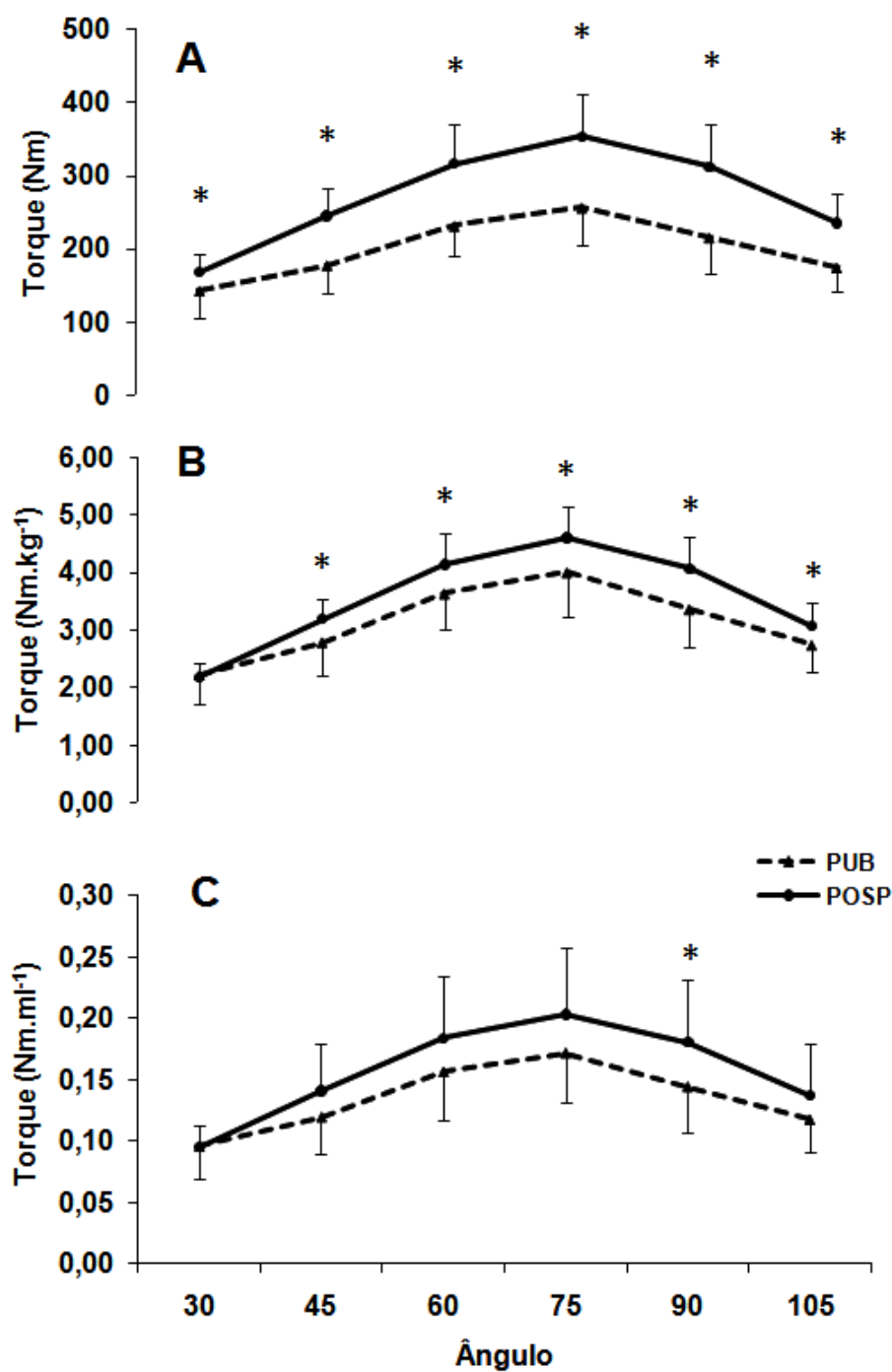


Figura 11: Relações torque-ângulo expressas nas formas absoluta (A), relativa à MC (B) e ao VM (C) em jogadores de futebol. PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere. *= diferença estatisticamente significativa entre os grupos maturacionais verificada por teste t-student para medidas independentes. Significância ($p < 0,05$).

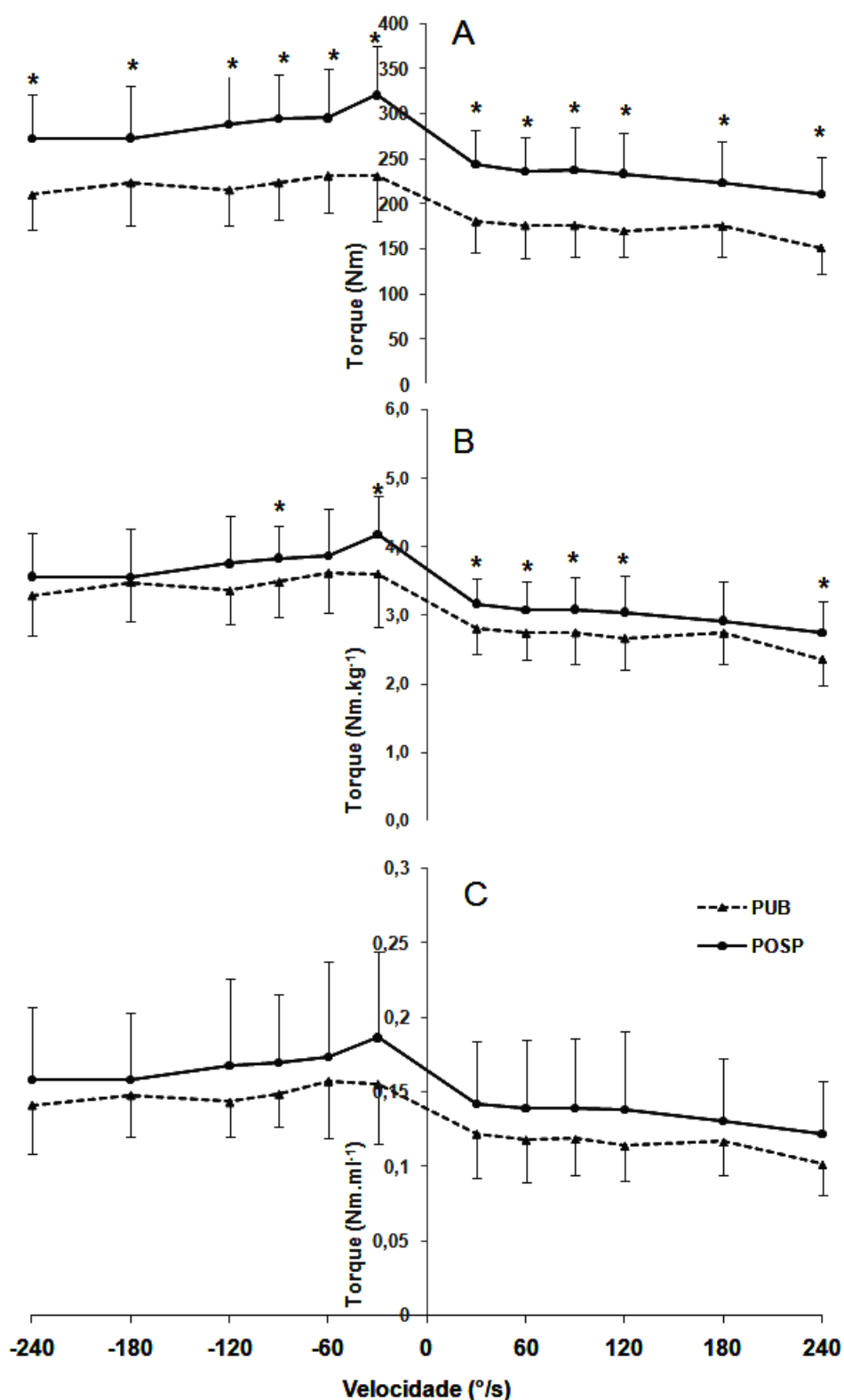


Figura 12: Relações torque-velocidade expressas nas formas absoluta (A), relativa à MC (B) e ao VM (C) em jogadores de futebol. PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere. *= diferença estatisticamente significativa entre os grupos maturacionais verificada por teste t-student para medidas independentes. Significância ($p < 0,05$).

A tabela 9 apresenta as relações torque-ângulo e torque-velocidade normalizadas por expoentes alométricos específicos referentes à MC para cada contração muscular, não sendo estabelecidas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos PUB e POSP ($p>0,05$).

Tabela 9: Relações torque-ângulo e torque-velocidade normalizadas por expoentes alométricos específicos referentes à massa corporal.

VARIÁVEL	PUB (n=15)	POSP (n=19)
<i>Torque Isométrico</i>		
30° (Nm.kg ^{-1,08})	1,59±0,37	1,55±0,18
45° (Nm.kg ^{-1,30})	0,81±0,17	0,87±0,10
60° (Nm.kg ^{-1,25})	1,29±0,23	1,40±0,18
75° (Nm.kg ^{-1,40})	0,76±0,16	0,81±0,09
90° (Nm.kg ^{-1,57})	0,32±0,06	0,34±0,04
105° (Nm.kg ^{-1,27})	0,89±0,16	0,96±0,12
<i>Torque Concêntrico</i>		
30°/s (Nm.kg ^{-1,28})	0,88±0,12	0,94±0,11
60°/s (Nm.kg ^{-1,20})	1,19±0,17	1,29±0,17
90°/s (Nm.kg ^{-1,37})	0,59±0,10	0,62±0,09
120°/s (Nm.kg ^{-1,19})	1,21±0,22	1,33±0,24
180°/s (Nm.kg ^{-1,04})	2,32±0,39	2,46±0,49
240°/s (Nm.kg ^{-1,39})	0,47±0,08	0,51±0,09
<i>Torque Excêntrico</i>		
30°/s (Nm.kg ^{-1,38})	0,74±0,18	0,80±0,11
60°/s (Nm.kg ^{-0,99})	3,77±0,61	4,04±0,72
90°/s (Nm.kg ^{-1,16})	1,79±0,26	1,92±0,23
120°/s (Nm.kg ^{-1,21})	1,41±0,21	1,51±0,28
180°/s (Nm.kg ^{-1,04})	2,95±0,49	3,00±0,59
240°/s (Nm.kg ^{-0,97})	3,73±0,65	4,07±0,73

Dados expressos em média e desvio padrão. PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere. *= diferença estatisticamente significativa entre os grupos maturacionais verificada por teste t-student para medidas independentes. Significância ($p<0,05$).

Verificamos que a normalização dos dados de TM isométrico, concêntrico e excêntrico por variáveis tradicionais como MC e variáveis padrão-ouro como a AST e o VM tornam a análise e a interpretação dos dados bastante complexa, gerando uma demanda adicional para estabelecer um expoente alométrico comum que possa ser assumido para diferentes grupos. Por esse motivo identificamos um expoente alométrico médio referente à MC que representa todas as contrações musculares do presente estudo. Este valor corresponde a $b=1,2$ e não é estatisticamente diferente dos expoentes alométricos específicos apresentados na tabela 9 ($p>0,05$). A figura 13 apresenta os dados de TM isométrico e a figura 14 apresenta os dados de TM dinâmico, ambos normalizados por esse expoente alométrico médio, respectivamente.

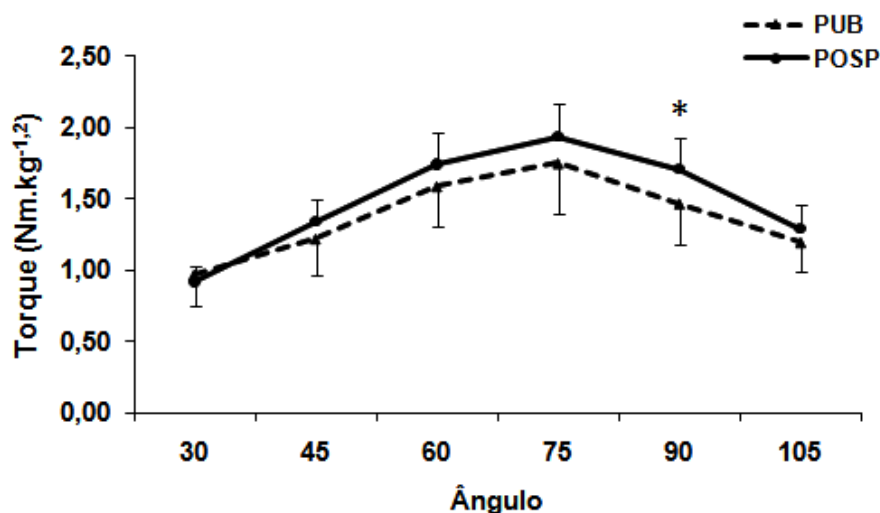


Figura 13: Relação torque-ângulo normalizada por expoente alométrico médio em jogadores de futebol. PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere. *= diferença estatisticamente significativa entre os grupos maturacionais verificada por teste t-student para medidas independentes. Significância ($p<0,05$).

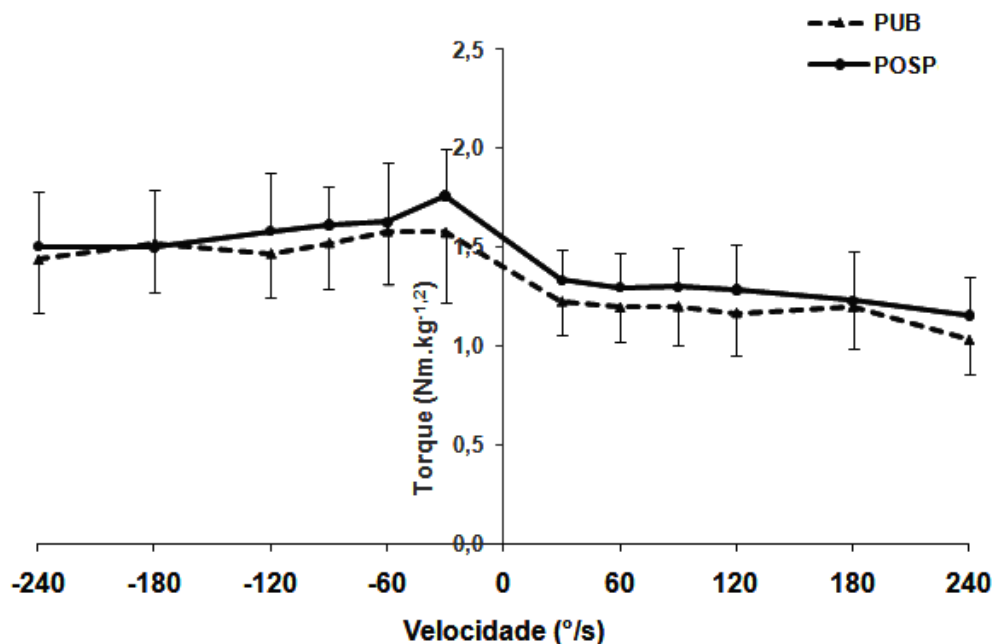


Figura 14: Relação torque-velocidade normalizada por expoente alométrico médio em jogadores de futebol. PUB= grupo púbere; POSP= grupo pós-púbere. *= diferença estatisticamente significativa entre os grupos maturacionais verificada por teste t-student para medidas independentes. Significância ($p < 0,05$).

A tabela 10 apresenta a contribuição relativa das variáveis explicativas para a variância do TM isométrico, concêntrico e excêntrico dos extensores do joelho expressos nas formas absoluta (Nm) e relativa à MC (Nm.kg^{-1}). Na tentativa compilar os resultados, selecionamos três ângulos representando o TM isométrico e três velocidades representando o TM dinâmico.

A tabela 11 apresenta a contribuição relativa das variáveis explicativas para a variabilidade do TM isométrico, concêntrico e excêntrico dos extensores do joelho normalizados por expoentes alométricos específicos referentes à MC para todas as contrações musculares testadas.

Tabela 10: Variáveis explicativas do torque muscular isométrico e dinâmico de extensores do joelho expressos nas formas absoluta (Nm) e relativa à MC (Nm.kg⁻¹).

Torque	Variáveis Explicativas	B Coeficiente Padronizado	R ²	R ² ajustado	P
<i>ISOMÉTRICO</i>					
45° (Nm)	Estatura	0,367	0,737	0,698	0,000*
	MB	0,646			
	VM	-0,345			
	AST	0,617			
45° (Nm.kg ⁻¹)	MB	0,632	0,394	0,329	0,003*
	VM	-0,449			
	AST	0,691			
75° (Nm)	Estatura	0,404	0,698	0,666	0,000*
	MB	0,468			
	AST	0,267			
75° (Nm.kg ⁻¹)	MB	0,447	0,200	0,173	0,01*
105° (Nm)	MB	0,368	0,634	0,608	0,000*
	MC	0,487			
105° (Nm.kg ⁻¹)	MB	0,442	0,195	0,168	0,011*
<i>CONCÊNTRICO</i>					
60°/s (Nm)	Estatura	0,661	0,729	0,689	0,000*
	MB	0,449			
	VM	-0,389			
	AST	0,299			
60°/s (Nm.kg ⁻¹)	Estatura	0,518	0,284	0,234	0,008*
	Tempo de Treino	0,344			
180°/s (Nm)	Idade	0,453	0,500	0,446	0,000*
	AP	0,299			
	MC	0,395			
180°/s (Nm.kg ⁻¹)	Idade	0,409	0,164	0,106	0,075
	AP	0,334			
240°/s (Nm)	CF	-0,319	0,600	0,572	0,000*
	MC	0,850			
240°/s (Nm.kg ⁻¹)	MB	0,477	0,279	0,230	0,009*
	CF	-0,387			
<i>EXCÊNTRICO</i>					
60°/s (Nm)	Estatura	0,860	0,560	0,512	0,000*
	Tempo de Treino	0,417			
	AP	0,333			
60°/s (Nm.kg ⁻¹)	Nenhuma Variável	-	-	-	-
180°/s (Nm)	Estatura	0,843	0,581	0,536	0,012*
	Tempo de Treino	0,320			
	AP	0,542			
180°/s (Nm.kg ⁻¹)	Estatura	0,620	0,451	0,369	0,002*
	Tempo de Treino	0,491			
	CF	-0,421			
	AP	0,603			
	MC	0,361			
240°/s (Nm)	Idade	0,553	0,575	0,530	0,009*
	AP	0,281			
	MC	0,361			
240°/s (Nm.kg ⁻¹)	Idade	0,461	0,273	0,223	0,010*
	CF	-0,372			

R² = coeficiente de determinação, R² ajustado= coeficiente de determinação ajustado; MB= maturação biológica; MC= massa corporal; AST= área de secção transversa; AP= ângulo de penação; CF= comprimento do fascículo. *Regressão linear múltipla significativa (p<0,05).

Tabela 11: Variáveis explicativas do torque muscular isométrico e dinâmico de extensores do joelho normalizados por expoentes alométricos específicos referentes à massa corporal.

Torque	Variáveis Explicativas	B Coeficiente Padronizado	R²	R² ajustado	P
<i>ISOMÉTRICO</i>					
30° (Nm.kg ^{-1,08})	AST	0,482	0,232	0,207	0,005*
45°(Nm.kg ^{-1,30})	MB	0,454	0,274	0,196	0,028*
	AST	-0,504			
	VM	0,655			
60° (Nm.kg ^{-1,25})	Nenhuma variável	-	-	-	-
75° (Nm.kg ^{-1,40})	Nenhuma variável	-	-	-	-
90° (Nm.kg ^{-1,57})	Nenhuma variável	-	-	-	-
105° (Nm.kg ^{-1,27})	MB	0,356	0,164	0,106	0,075
	CF	-0,309			
<i>CONCÊNTRICO</i>					
30°/s (Nm.kg ^{-1,28})	MB	0,562	0,251	0,170	0,042*
	AST	0,499			
	VM	-0,610			
60°/s (Nm.kg ^{-1,20})	Estatura	0,373	0,184	0,128	0,052
	Tempo de Treino	0,376			
90°/s (Nm.kg ^{-1,37})	Nenhuma Variável	-	-	-	-
120 °/s (Nm.kg ^{-1,19})	MB	0,407	0,172	0,115	0,65
	VM	-0,378			
180°/s (Nm.kg ^{-1,04})	Idade	0,392	0,153	0,095	0,90
	AP	0,337			
240°/s (Nm.kg ^{-1,39})	CF	-0,385	0,148	0,120	0,030*
<i>EXCÊNTRICO</i>					
30°/s (Nm.kg ^{-1,38})	Nenhuma Variável	-	-	-	-
60°/s (Nm.kg ^{-0,99})	Nenhuma Variável	-	-	-	-
90°/s (Nm.kg ^{-1,16})	Estatura	0,415	0,225	0,172	0,025*
	AP	0,356			
120°/s (Nm.kg ^{-1,21})	Estatura	0,577	0,367	0,273	0,013*
	Tempo de Treino	0,649			
	CF	-0,403			
	AP	0,401			
180°/s (Nm.kg ^{-1,04})	Estatura	0,598	0,445	0,363	0,002*
	Tempo de Treino	0,492			
	CF	-0,429			
	AP	0,599			
240°/s (Nm.kg ^{-0,97})	Idade	0,474	0,279	0,229	0,009*
	CF	-0,365			

R^2 = coeficiente de determinação, R^2 ajustado = coeficiente de determinação ajustado; MB = maturação biológica; AST = área de secção transversa; AP = ângulo de penação; CF = comprimento do fascículo. *Regressão linear múltipla significativa ($p < 0,05$).

3.4 Discussão

Para o nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que verifica o efeito da maturação biológica e da arquitetura muscular sobre o TM isométrico (relação torque-ângulo), concêntrico e excêntrico (relações torque-velocidade) em jogadores de futebol altamente treinados com diferentes métodos de normalização.

As principais descobertas do presente estudo foram (1) a maturação biológica não apresentou efeito consistente e independente sobre o TM isométrico, concêntrico e excêntrico quando devidamente normalizado por alometria; (2) a normalização do TM por expoentes alométricos específicos referente à MC para cada contração muscular demonstrou superioridade em relação à normalização padrão (TM/MC) e sobre as normalizações consideradas padrão-ouro (TM/AST e TM/VM) que foram consideradas inadequadas; (3) as variáveis de arquitetura muscular são variáveis explicativas do TM (10-36%); (4) identificamos um expoente alométrico médio referente à MC ($b=1,2$) que pode ser utilizado para normalizar os dados de TM isométrico e dinâmico em jovens jogadores de futebol.

O TM isocinético expresso em valores absolutos (Nm) apresenta um aumento progressivo de aproximadamente 300% para os extensores do joelho em meninos de 8-18 anos de idade (De Ste Croix et al., 1999, De Ste Croix et al., 2003, Nedeljkovic et al., 2007, Van Praagh, 2000, Van Praagh and Dore, 2002), com um aumento exponencial entre as idades de 13-15 anos (Kanehisa et al., 1995, Beunen and Thomis, 2000, De Ste Croix et al., 2003). Jogadores de futebol também apresentam um incremento progressivo do TM absoluto de extensores do joelho dos 9-21 anos (Forbes et al., 2009a, Forbes et al., 2009b, Holm et al., 2005). Comportamento semelhante é observado quando o TM é normalizado pela MC, com valores variando de 1,5 a 3,1 (Nm.kg^{-1}). Nossos resultados de TM estão de acordo com os dados previamente publicados levando em consideração o esporte, a idade cronológica, o

estágio maturacional e o tipo de contração muscular (Forbes et al., 2009a, Forbes et al., 2009b, Iga et al., 2009, Kellis et al., 2001, Holm et al., 2005).

Embora seja evidente que crianças produzem menos FM absoluta do que adultos, ainda não está devidamente esclarecido se estas diferenças permanecem quando a FM é devidamente normalizada por variáveis dimensionais que acompanham o crescimento (Bouchant et al., 2011, De Ste Croix et al., 2003, Herzog et al., 2011, Tonson et al., 2008). Além disso, é difícil dissociar os efeitos da idade cronológica sobre a FM dos efeitos de outras variáveis relacionadas ao crescimento, ao treinamento e a maturação biológica. Apesar de existir correlação positiva entre o TM e a idade cronológica, essa não tem demonstrado efeito independente sobre os dados de FM e TM (De Ste Croix et al., 2003, Neu et al., 2002). Essa afirmação é reforçada pelo estudo longitudinal de De Ste Croix et al. (2002), que demonstraram que a idade cronológica não foi uma variável explicativa do TM isocinético de extensores do joelho quando a MC e a estatura foram devidamente controladas em crianças de 10-14 anos. Por essa razão, ainda não está totalmente elucidado se as alterações da FM absoluta relacionadas à idade cronológica são simplesmente devido ao aumento do tamanho muscular ou se podem ser atribuídas a fatores qualitativos. Nossos resultados suportam essas afirmações, pois quando os dados de TM foram normalizados por expoentes alométricos, a idade cronológica não demonstrou ser uma variável explicativa do TM em jovens jogadores de futebol de 13-18 anos (tabela 11).

Esses resultados demonstram que outros fatores além da idade cronológica podem explicar e influenciar o comportamento do TM em crianças e adolescentes. Resumidamente podemos destacar os fatores metodológicos (tipo de contração muscular, estabilidade e correção da gravidade), neuromusculares (ativação voluntária de agonistas, coativação de antagonistas e coordenação), biomecânicos (braço de alavanca e momento articular), intrínsecos do músculo (rigidez do tendão, tipo de fibra, atividade enzimática, glicogênio

muscular, história da contração, tecido conectivo, densidade miofibrilar e infiltração de material não contrátil), relacionados às variáveis de normalização (MC, IMC, MLG, AST, ASTF, CF e VM), variáveis de arquitetura muscular (AP, CF, EM, AST, ASTF e VM) e o processo de maturação biológica (Klein et al., 2001, Tonson et al., 2008, De Ste Croix et al., 2002, Barrett and Harrison, 2002, Jaric, 2002, De Ste Croix et al., 2003, Bouchant et al., 2011, Herzog et al., 2011, Erskine et al., 2009, O'Brien et al., 2010a, O'Brien et al., 2009, Boisseau and Delamarche, 2000, Van Praagh, 2000, Van Praagh and Dore, 2002, Eriksson and Saltin, 1974, Kaczor et al., 2005).

A maturação biológica é considerada uma variável crítica para compreendermos o comportamento da FM em crianças, adolescentes e jovens atletas, pois durante esse processo existe um aumento exponencial na estatura, MC, MLG, AST e VM (Tonson et al., 2010, Tolfrey et al., 2006, Beunen and Thomis, 2000, Baxter-Jones et al., 2005, De Ste Croix et al., 2003, Van Praagh and Dore, 2002, Loomba-Albrecht and Styne, 2009), aumentos na secreção de testosterona e IGF-I (Beunen and Thomis, 2000, De Ste Croix et al., 2003, Boisseau and Delamarche, 2000, Round et al., 1999), aumento da mielinização e desenvolvimento do sistema nervoso (De Ste Croix et al., 2003, Housh et al., 1996) e alterações na arquitetura muscular (Kubo et al., 2001, Binzoni et al., 2001, Morse et al., 2008, O'Brien et al., 2010a, O'Brien et al., 2009, Neu et al., 2002, Debernard et al., 2011, O'Brien et al., 2010b), fatores que em conjunto ou isoladamente influenciam os resultados de FM e TM (tabelas 10 e 11). Além disso, o período que compreende o processo maturacional tem sido considerado o melhor momento para o treinamento e desenvolvimento da FM (Ford et al., 2011).

Em virtude dos motivos citados anteriormente, a maturação biológica tem sido considerada uma variável importante no controle e prescrição do treinamento, no processo de detecção e seleção de talentos no futebol. Obviamente atletas mais avançados no processo maturacional possuem uma série de vantagens em relação aos indivíduos menos avançados.

Por outro lado, os efeitos da maturação biológica sobre a FM e TM são limitados, controversos e de difícil dissociação de outras variáveis de confusão como a idade cronológica, estatura e composição corporal (Nevill et al., 2005, De Ste Croix et al., 2003, De Ste Croix et al., 2002).

Na tentativa de dissociar os efeitos da maturação biológica dos efeitos das variáveis de confusão, o presente estudo identificou a melhor metodologia para normalização dos dados de TM, ajustamos os efeitos do tamanho corporal por expoentes alométricos referentes à MC, mensuramos e inserimos variáveis de arquitetura muscular na análise de regressão linear múltipla e identificamos as variáveis explicativas do TM. Contudo, a maturação biológica não apresentou efeito consistente e independente sobre o TM. Essa afirmação é suportada por outros estudos (Morse et al., 2008, O'Brien et al., 2010a, O'Brien et al., 2009, De Ste Croix et al., 2002, Tonson et al., 2008, Holm et al., 2005, Pääsuke et al., 2001). Morse et al. (2008) não encontraram diferenças entre adultos e crianças no início da puberdade quando o TM do gastrocnêmio lateral foi normalizado por AST. O'Brien et al. (2009) estabeleceram diferenças significativas no TM absoluto entre homens, mulheres, meninos e meninas PREP, mas quando os dados foram normalizados por VM não foram observadas diferenças entre os grupos. Resultados semelhantes foram estabelecidos por O'Brien et al. (2010a), que não observaram diferenças significativas no TM do quadríceps entre crianças PREP e adultos quando normalizado por ASTF. Os autores concluíram que o aumento do TM estabelecido durante a maturação biológica não foi devido à qualidade muscular.

Especificamente em jogadores de futebol, são raros os estudos que verificaram o efeito da maturação biológica sobre o TM. Holm et al. (2005) conduziram um estudo longitudinal de 11 anos com o objetivo de avaliar o desenvolvimento do TM isocinético antes, durante e após o processo maturacional. Os resultados estavam de acordo com a literatura e demonstraram que indivíduos PUB apresentavam maiores valores do que indivíduos PREP, mas menores do

que os indivíduos POSP para o TM absoluto (Nm) e TM relativo à MC (Nm.kg^{-1}) de extensores e flexores do joelho. Os autores concluíram que existia um efeito da maturação biológica sobre o TM, com um aumento exponencial sendo observado entre os 12 e 17 anos, porém, consideraram a normalização padrão TM/MC inconsistente.

Acreditamos que esse aumento exponencial da FM ou do TM observado durante o processo maturacional pode ser resultado de uma incorreta normalização dos dados, efeito conhecido como *scaling denominator* (De Ste Croix et al., 2003, Bouchant et al., 2011, Herzog et al., 2011, Nevill et al., 2005, De Ste Croix et al., 1999). A normalização padrão (FM/MC ou TM/MC) tem apresentado diversas limitações e tem sido amplamente criticada por não demonstrar relação linear direta entre FM e MC ou entre TM e MC, geralmente a FM aumenta em menor proporção e o TM em maior proporção do que a MC, respectivamente (Wisloff et al., 1998, Vanderburgh et al., 1995, Batterham and George, 1997, Challis, 1999, Davies and Dalsky, 1997, Dooman and Vanderburgh, 2000, Jaric et al., 2002a, Jaric et al., 2002b, Nevill et al., 1998, Weir et al., 1999). Quando esse comportamento é observado, a normalização padrão torna-se inadequada para ajustar os efeitos da MC sobre a FM e o TM. No presente estudo, consideramos a normalização padrão inadequada por manter correlações significativas com a MC ($p < 0,05$) e por identificarmos que o TM de jovens jogadores de futebol aumenta em maior proporção do que a MC, com valores médios de $b = 1,2$ e variação $0,97 < b < 1,57$ (tabela 8) para contrações isométricas e dinâmicas.

São raras as investigações que se propuseram a identificar as variáveis anatômicas mais adequadas para normalizar os dados de FM e TM (Blazevich et al., 2009, Akagi et al., 2009, Tonson et al., 2008). A produção de FM ou TM é diretamente dependente da AST ou ASTF, e por esse motivo, a normalização por AST (TM/AST ou TM/ASTF) vem sendo considerada um método padrão-ouro (Klein et al., 2001, Fukunaga et al., 2001, Jones et al., 2008, O'Brien et al., 2010a). Entretanto, essa normalização também tem demonstrado ser

inconsistente (Zoeller et al., 2007, Jones et al., 2008, De Ste Croix et al., 2003, Holm et al., 2005) e encontra suporte em nossos resultados, pois não estabelecemos correlações significativas entre a AST do reto femoral e o TM. Algumas justificativas para essa inconsistência podem ser atribuídas aos diferentes métodos de determinação da AST, à idade cronológica, à maturação biológica e ao nível de condicionamento físico, mas principalmente porque na maioria das vezes a direta relação entre FM e AST ($b=1$) não é observada (Zoeller et al., 2007, Jones et al., 2008, Zoeller et al., 2008, De Ste Croix et al., 2002, Masuda et al., 2003).

Atualmente o VM vem sendo considerado a melhor variável para normalização da FM e TM em indivíduos de diferentes tamanhos corporais (Fukunaga et al., 2001, Tonson et al., 2008, Barrett and Harrison, 2002, Thom et al., 2007, Akagi et al., 2009, Blazeovich et al., 2009). O VM tem demonstrado ser superior a outras variáveis de normalização como a MC, MLG e AST (Akagi et al., 2009, Tonson et al., 2008, Blazeovich et al., 2009). Adicionalmente, o aumento da FM isométrica dos flexores dos dedos, flexores plantares e flexores dorsais do tornozelo durante o crescimento apresentam altas correlações com o aumento do VM (Kanehisa et al., 1995, Neu et al., 2002, Tonson et al., 2008). Embora tenhamos estabelecido correlações moderadas e altas ($r = 0,362 - 0,610$) entre TM isométrico e dinâmico com o VM, esta forma de normalização (TM/VM) foi considerada inadequada por dois motivos: após a normalização ainda existia correlações significativas com o VM; e os expoentes alométricos referentes ao VM demonstraram ser estatisticamente diferentes de zero ($p < 0,05$). Uma justificativa para esse resultado poderia ser atribuída aos métodos de determinação do VM, pois os métodos de estimativa do VM são incapazes de explicar as alterações da FM e da potência muscular que ocorrem durante a maturação biológica (Kanehisa et al., 2003a, Kanehisa et al., 1994, Kanehisa et al., 2006, Temfemo et al., 2009).

Na tentativa de encontrar um método que permita comparar adequadamente indivíduos de diferentes idades, composição corporal, estágios maturacionais e nível de treinamento, diversos autores têm indicando a alometria como método de normalização mais adequado para os dados de FM e TM (Jaric, 2002, Wisloff et al., 1998, Zoeller et al., 2007, Hulens et al., 2001, Weir et al., 1999, Markovic and Jaric, 2004, Folland et al., 2008, Vanderburgh et al., 1995, Nevill et al., 1998, Pincivero et al., 2004). Consideramos os expoentes alométricos referente à MC como o método mais apropriado para ajustar os efeitos do tamanho corporal sobre o TM em jogadores de futebol e esse resultado é suportado por estudos previamente publicados (Wisloff et al., 1998, Zoeller et al., 2007, Wren and Engsborg, 2007, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005, Jaric et al., 2002a, Markovic and Jaric, 2004, Markovic and Jaric, 2005, Folland et al., 2008, Vanderburgh et al., 1995, Nevill et al., 1998, Weir et al., 1999, Pincivero et al., 2004). Quando os dados foram normalizados alometricamente, não foram estabelecidas diferenças significativas para nenhuma das 18 contrações musculares testadas (tabela 9) e a maturação biológica não demonstrou efeito consistente e independente das variáveis de arquitetura muscular. Ao contrário, quando os dados foram expressos absolutamente e normalizados pela MC (figura 11 e 12), existiam diferenças significativas entre os grupos PUB e POSP, além disso, estabelecemos efeitos positivos independentes da maturação biológica sobre o TM isométrico e concêntrico (16,8-17,3%) e conjuntamente com as variáveis de arquitetura muscular (23-69,8%). Esses resultados demonstram os riscos impostos por uma incorreta normalização dos dados. Resultados semelhantes foram estabelecidos por Tonson et al. (2008), que verificaram o efeito do crescimento e da maturação biológica sobre a FM isométrica de meninos, adolescentes e homens, normalizando os dados por AST e VM determinados por MRI e estimado por antropometria. Os resultados apresentaram diferenças significativas entre os grupos quando a FM isométrica foi normalizada por AST e VM estimado, no entanto, não apresentaram diferenças quando

normalizada por VM determinado por MRI. Os dados sugerem que quando a FM isométrica foi devidamente normalizada por VM, não foram observadas diferenças de acordo com a idade cronológica e maturação biológica, encontrando suporte em estudos anteriores (Morse et al., 2008, O'Brien et al., 2010a, O'Brien et al., 2009). Da mesma forma, Croix et al. (2002) determinaram em 20 meninos e 21 meninas classificadas através dos estágios de Tanner que a maturação biológica não influenciava independentemente o desenvolvimento da FM isocinética de extensores e flexores do joelho quando a estatura e a MC foram devidamente controladas por alometria.

Outra questão relevante a ser discutida é o valor que o expoente alométrico pode assumir para o TM. Tem sido sugerido utilizar um expoente alométrico referente à MC com valor fixo ($b=1$) para normalizar o TM (Folland et al., 2008, Jaric, 2002, Jaric, 2003, Jaric et al., 2005, Jaric et al., 2002a). Entretanto, o valor do expoente alométrico estabelecido entre MC e TM tem apresentado uma grande variabilidade ($b=0,69$ a $b=1,87$) (Jaric et al., 2002a, Davies and Dalsky, 1997, Neder et al., 1999, Weir et al., 1999, Hulens et al., 2001, Folland et al., 2008, Wren and Engsborg, 2007, Pincivero et al., 2004), pois é dependente do tamanho amostral, da variável de normalização e do tipo de contração muscular (isométrica, concêntrica e excêntrica). Nossos resultados não suportam a aplicação do expoente alométrico de $b=1$ para normalizar o TM, pois identificamos um valor médio de $b=1,2$ referente a todas as contrações musculares e estabelecemos valores médios para o TM isométrico ($b=1,31$), concêntrico ($b=1,25$) e excêntrico ($b=1,13$) para atletas de futebol PUB e POSP com idades entre 13 e 18 anos. Por outro lado, ainda não foram estabelecidos protocolos de avaliação padronizados para a FM e TM para jogadores de futebol (Stolen et al., 2005). Dessa forma, são raros os estudos que utilizaram a normalização alométrica para os dados de FM e TM em jogadores de futebol (Wisloff et al., 2004), dificultando maiores inferências sobre esse assunto.

A arquitetura muscular é considerada um fator determinante da função muscular, pois a produção de força máxima é altamente dependente da ASTF e a velocidade máxima de encurtamento é dependente do CF (Lieber and Friden, 2000, Blazevich and Sharp, 2005, Blazevich, 2006, Reeves et al., 2006, Blazevich et al., 2007, Erskine et al., 2010, Aagaard et al., 2001). Especificamente, músculos que possuem maiores ASTF, VM e AP produzem maiores níveis de força por apresentarem maior número de sarcômeros em paralelo, enquanto que músculos com maiores comprimentos de fibra e CF são capazes de contrair com maiores velocidades de encurtamento e de produzirem mais força em maiores comprimentos devido ao seu maior número de sarcômeros em série (Lieber and Friden, 2000, Blazevich, 2006, Blazevich et al., 2006, Blazevich and Sharp, 2005). Além disso, as variáveis de arquitetura muscular podem apresentar adaptações em resposta ao treinamento, destreinamento, desuso, imobilização, lesão, crescimento, maturação biológica e envelhecimento (Lieber and Friden, 2000, Blazevich and Sharp, 2005, Blazevich, 2006). Tem sido reportado que a arquitetura muscular pode ser influenciada pelo processo de maturação biológica (Kubo et al., 2001, Binzoni et al., 2001, Morse et al., 2008, O'Brien et al., 2010a, O'Brien et al., 2009, Neu et al., 2002, Debernard et al., 2011, O'Brien et al., 2010b), principalmente porque durante esse processo existe primeiramente um aumento do tecido ósseo que é acompanhado por um aumento do tecido muscular, resultando em aumentos do CF (adição de sarcômeros em série) e do VM (adição de sarcômeros em paralelo). A tabela 7 apresenta a comparação das variáveis de arquitetura muscular entre os jogadores de futebol classificados com o PUB e POSP com diferenças significativas sendo estabelecidas somente para o comprimento da coxa e VM dos extensores do joelho ($p < 0,05$). No presente estudo, as variáveis de arquitetura muscular foram consideradas variáveis explicativas do TM isométrico e dinâmico (10-36%) quando os dados foram devidamente normalizados por alometria (Tabela 11). Nossos resultados estão de acordo com estudos previamente publicados levando em consideração a

idade cronológica, maturação biológica, grupo muscular, sexo e esporte (Kearns et al., 2001, Kanehisa et al., 2003b, Kubo et al., 2001, O'Brien et al., 2010a, O'Brien et al., 2010b). Crianças têm apresentado menores valores de CF (6,2-7,6 cm) do que adolescentes (8,0 cm) e adultos (6,9-9,4 cm), semelhantes valores de AP (15,8-16,2°) em comparação com adolescentes (16,6°) e adultos (13,2-21,0°), mas apresentam menores valores do que atletas (18-23°), ambos os valores são referentes ao músculo vasto lateral (Kearns et al., 2001, Kanehisa et al., 2003b, Kubo et al., 2001, O'Brien et al., 2010a, Abe et al., 1999, Abe et al., 2000, Kumagai et al., 2000, O'Brien et al., 2010b). Com relação ao CFn, os resultados são dependentes da variável de normalização, pois indivíduos PREP tem apresentado menores valores (0,18) do que indivíduos PUB (0,21) e POSP (0,22) quando normalizados pelo comprimento do membro (Kubo et al., 2001). Outro estudo estabeleceu valores semelhantes entre indivíduos PREP (0,24 cm) e adultos (0,25 cm) quando normalizados pelo comprimento do músculo (O'Brien et al., 2010b). Nossos resultados não identificaram diferenças significativas para o CF, CFn e AP entre atletas PUB e POSP. Uma justificativa para esses resultados pode ser atribuída ao fato de que o aumento do CF devido à adição de sarcômeros em série ocorreria durante a pré-puberdade, enquanto que, a adição de sarcômeros em paralelo aconteceria principalmente durante a puberdade. Isso poderia justificar a igualdade nos valores de CF e as diferenças estabelecidas para o VM dos extensores do joelho entre os grupos, mas não poderia ser aplicado ao AP (Morse et al., 2008). O AP do vasto lateral não parece ser influenciado pelo processo maturacional, mas tem apresentado um aumento significativo de 5%, 17,9% e 35% em resposta ao treinamento de força com duração de 9, 10 e 14 semanas, respectivamente (Blazevich et al., 2007, Aagaard et al., 2001, Erskine et al., 2010).

As variáveis de arquitetura muscular influenciam o comportamento das relações força-velocidade (torque-velocidade) previamente descrita por Hill (1938) e a força-comprimento

(torque-ângulo) descritas por Gordon et al. (1966). Essas relações são importantes para compreendermos a função muscular em diversas atividades locomotoras. Especificamente no futebol, são importantes para o chute, passe, corrida e podem ser utilizadas para identificarem desequilíbrios musculares, auxiliando na prevenção de lesões (Gioftsidou et al., 2008). Estudos com adultos demonstram um efeito do envelhecimento sobre essas relações devido a modificações nas variáveis de arquitetura muscular, mas a magnitude das diferenças entre idosos e jovens adultos diminui de 80% para 10% quando normalizados por VM (Thom et al., 2007). São raros os estudos que compararam as relações torque-velocidade ou torque-ângulo entre crianças, adolescentes, adultos e jogadores de futebol (Asai and Aoki, 1996, Barrett and Harrison, 2002, Borges et al., 2003) ou investigaram os efeitos da maturação biológica sobre essas relações.

Barret & Harrison (2002) compararam as relações torque-velocidade em adultos e crianças e os resultados demonstraram diferenças nas curvas de torque-velocidade em favor dos adultos, que permaneceram após a normalização do TM por AST e da velocidade pelo comprimento do membro. Ao contrário, quando os dados foram normalizados por VM essas diferenças não se mantiveram, sugerindo que as discrepâncias nos valores de TM observados entre crianças e adultos são devidas ao tamanho muscular e não se alteram da infância até a idade adulta. Nossos resultados suportam parcialmente essas afirmações, pois estabelecemos diferença significativas entre os grupos PUB e POSP nas relações torque-velocidade e torque-ângulo para o TM absoluto (Nm) e relativo à MC (Nm.kg^{-1}), mas não estabelecemos diferença consistentes quando normalizadas por VM. Ao contrário do estudo citado anteriormente, consideramos a normalização por VM inadequada para os nossos dados. Quando normalizamos essas relações por expoentes alométricos específicos referentes à MC, não estabelecemos diferenças significativas entre os grupos e a maturação biológica não demonstrou efeito consistente e independente das variáveis de arquitetura muscular sobre

essas relações. As evidências sugerem que a magnitude das diferenças observadas nas relações torque-ângulo e torque-velocidade são dependentes das variáveis de normalização (*scaling denominator*) e de arquitetura muscular (Barrett and Harrison, 2002, Thom et al., 2007).

Finalmente, a constituição de um grupo com indivíduos pré-púberes, maior número de sujeitos por estágio maturacional, mensuração do VM e ASTF por MRI, mensuração do momento articular e da ativação dos antagonistas e co-ativação dos antagonistas poderiam fornecer informações relevantes para o estudo.

3.5 Conclusão

A maturação biológica não demonstrou efeito consistente e independente das variáveis de arquitetura muscular quando os dados de TM foram normalizados por expoentes alométricos específicos referentes à MC para cada contração muscular. As variáveis de arquitetura muscular foram consideradas variáveis explicativas do TM, no entanto, não foram eficientes para normalizar o TM em jogadores de futebol. A normalização do TM (*scaling denominator*) demonstrou ser um fator crucial para podermos compreender as variações do TM durante o processo maturacional.

4.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos dois estudos elaborados com a pretensão de compreender os efeitos da maturação biológica sobre VO_{2max} , LV_2 , LV_1 , TM, relações torque-ângulo e torque-velocidade em jogadores de futebol aliados a revisão de literatura nos permitiu concluir que: (1) a maturação biológica apresentou efeito positivo sobre VO_{2max} (18%) e LV_1 (5,7%), mas não apresentou efeito consistente e independente das variáveis de arquitetura muscular para o TM isométrico e dinâmico quando essas variáveis foram devidamente normalizadas; (2) os expoentes derivados do VMT demonstraram superioridade para normalizar o VO_{2max} , LV_2 e LV_1 , mas não apresentaram a mesma superioridade para normalizar o TM isométrico e dinâmico; (3) os expoentes alométricos específicos referentes à MC demonstram superioridade em relação ao VM e AST para normalizar os dados de TM isométrico, concêntrico e excêntrico; (4) as variáveis de arquitetura muscular demonstraram ser explicativas do TM (10-36%) quando o TM foi normalizado por alometria. (5) os principais efeitos da maturação biológica ocorrem no período de transição da pré-puberdade para puberdade para VO_{2max} , limiares ventilatórios e TM; (6) a normalização é um fator fundamental para a compreensão dos efeitos da maturação biológica; (7) determinar o VM e ASTF por MRI, mensurar o momento articular conjuntamente com a ativação dos antagonistas e co-ativação dos antagonistas são sugestões para futuros estudos; (8) para diminuir as discrepâncias nos resultados de VO_{2max} , limiares ventilatórios e TM em crianças e adolescentes, recomendamos avaliar a maturação biológica de forma direta e alocar os indivíduos de acordo com o estágio maturacional, investigar as variáveis de normalização mais efetivas, aplicar procedimentos estatísticos que permitam identificar índices independentes do tamanho corporal e que possibilitem quantificar o efeito das variáveis preditoras do desempenho.

5.0 REFERÊNCIAS

- Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, Leffers AM, Wagner A, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Simonsen EB. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 2001; 534(2):613-23.
- Aasa U, Jaric S, Barnekow-Bergkvist M, Johansson H. Muscle strength assessment from functional performance tests: role of body size. *J Strength Cond Res* 2003; 17(4):664-70.
- Abe T, Brown JB, Brechue WF. Architectural characteristics of muscle in black and white college football players. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31(10):1448-52.
- Abe T, Kawakami Y, Ikegawa S, Kanehisa H, Fukunaga T. Isometric and isokinetic knee joint performance in Japanese alpine ski racers. *J Sports Med Phys Fitness* 1992; 32(4):353-7.
- Abe T, Kumagai K, Brechue WF. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(6):1125-9.
- Agutter PS, Wheatley DN. Metabolic scaling: consensus or controversy? *Theor Biol Med Model* 2004; 16:1-13.
- Akagi R, Takai Y, Ohta M, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Muscle volume compared to cross-sectional area is more appropriate for evaluating muscle strength in young and elderly individuals. *Age Ageing* 2009; 38(5):564-9.
- Akima H, Kano Y, Enomoto Y, Ishizu M, Okada M, Oishi Y, Katsuta S, Kuno S. Muscle function in 164 men and women aged 20-84 yr. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(2):220-6.
- Anderson GS, Rhodes EC. Relationship between blood lactate and excess CO₂ in elite cyclists. *J Sports Sci* 1991; 9(2):173-81.
- Andersson E, Sward L, Thorstensson A. Trunk muscle strength in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1988; 20(6):587-93.
- Armstrong N, Kirby BJ, Mcmanus AM, Welsman JR. Prepubescents' ventilatory responses to exercise with reference to sex and body size. *Chest* 1997; 112(6):1554-60.

Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev* 1994; 22:435-76.

Armstrong N, Welsman JR. Development of aerobic fitness during childhood and adolescence. *Pediatr Exerc Sci* 2000; 12(2):128-49.

Armstrong N, Welsman JR. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol* 2001; 85(6):546-51.

Armstrong N, Welsman JR, Nevill AM, Kirby BJ. Modeling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11-13 yr olds. *J Appl Physiol* 1999; 87(6):2230-6.

Armstrong N, Welsman JR, Williams CA, Kirby BJ. Longitudinal changes in young people's short-term power output. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(6):1140-5.

Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(2):278-85.

Asai H, Aoki J. Force development of dynamic and static contractions in children and adults. *Int J Sports Med* 1996; 17(3):170-4.

Baker JS, Davies B. Quantification of active muscle mass during experimental exercise. *J Appl Physiol* 2006; 101(5):1534; author reply 1535.

Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci* 1994a; 12:S5-12.

Bangsbo J. The physiology of soccer-with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 1994b; 619:1-155.

Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 1991; 16(2):110-6.

Baquet G, Van Praagh E, Berthoin S. Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med* 2003; 33(15):1127-43.

Barrett U, Harrison D. Comparing muscle function of children and adults: Effects of scaling for muscle size. *Pediatr Exerc Sci* 2002; 14(4):369-76.

Batterham AM, George KP. Allometric modeling does not determine a dimensionless power function ratio for maximal muscular function. *J Appl Physiol* 1997; 83(6):2158-66.

Batterham AM, Jackson AS. Validity of the allometric cascade model at submaximal and maximal metabolic rates in exercising men. *Respir Physiol Neurobiol* 2003; 135(1):103-6.

Batterham AM, Tolfrey K, George KP. Nevill's explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent: an artifact of collinearity problems in least squares models? *J Appl Physiol* 1997; 82(2):693-7.

Batterham AM, Vanderburgh PM, Mahar MT, Jackson AS. Modeling the influence of body size on V(O₂) peak: effects of model choice and body composition. *J Appl Physiol* 1999; 87(4):1317-25.

Baxter-Jones A, Eisenmann J, Sherar B. Controlling for maturation in Pediatric Exercise Science. *Pediatr Exerc Sci* 2005; 17(1):18-30.

Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986; 60(6):2020-7.

Beenakker EA, Van Der Hoeven JH, Fock JM, Maurits NM. Reference values of maximum isometric muscle force obtained in 270 children aged 4-16 years by hand-held dynamometry. *Neuromuscul Disord* 2001; 11(5):441-6.

Bergh U, Sjodin B, Forsberg A, Svedenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23(2):205-11.

Beunen G, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Thomis M, Lefevre J, Malina RM, Bailey DA. Intraindividual allometric development of aerobic power in 8- to 16-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(3):503-10.

Beunen G, Thomis M. Muscular strength development in children and adolescent. *Pediatr Exerc Sci* 2000; 12(2):174-97.

Binzoni T, Bianchi S, Hanquinet S, Kaelin A, Sayegh Y, Dumont M, Jéquier S. Human gastrocnemius medialis pennation angle as a function of age: From newborn to the elderly. *J Physiol Anthropol* 2001; 20(5):293-298.

Blazevich AJ. Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sports Med* 2006; 36(12):1003-17.

Blazevich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol* 2007; 103(5):1565-75.

Blazevich AJ, Coleman DR, Horne S, Cannavan D. Anatomical predictors of maximum isometric and concentric knee extensor moment. *Eur J Appl Physiol* 2009; 105(6):869-78.

Blazevich AJ, Gill ND, Zhou S. Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *J Anat* 2006; 209(3):289-310.

Blazevich AJ, Sharp NC. Understanding muscle architectural adaptation: macro- and micro-level research. *Cells Tissues Organs* 2005; 181(1):1-10.

Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med* 2000; 30(6):405-22.

Borges GM, Vaz MA, De La Rocha Freitas C, Rassier DE. The torque-velocity relation of elite soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2003; 43(3):261-6.

Bouchant A, Martin V, Maffiuletti NA, Ratel S. Can muscle size fully account for strength differences between children and adults? *J Appl Physiol* 2011; 110(6):1748-9.

Brorsson S, Nilsson A, Hilliges M, Sollerman C, Aurell Y. Ultrasound evaluation in combination with finger extension force measurements of the forearm musculus extensor digitorum communis in healthy subjects. *BMC Med Imaging* 2008;8:6.

Bunc V, Psotta R. Physiological profile of very young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2001; 41(3):337-41.

Buresh R, Berg K. Scaling oxygen uptake to body size and several practical applications. *J Strength Cond Res* 2002; 16(3):461-5.

Burness GP, Leary SC, Hochachka PW, Moyes CD. Allometric scaling of RNA, DNA, and enzyme levels: an intraspecific study. *Am J Physiol* 1999; 277(4):1164-70.

Capranica L, Tessitore A, Guidetti L, Figura F. Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *J Sports Sci* 2001; 19(6):379-84.

Casajus JA. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2001; 41(4):463-9.

Castagna C, D'ottavio S, Abt G. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res* 2003; 17(4):775-80.

Challis JH. Methodological Report: The appropriate scaling of weightlifting performance. *J Strength Cond Res* 1999; 13(4): 367-71.

Chamari K, Hachana Y, Ahmed YB, Galy O, Sghaier F, Chatard JC, Hue O, Wisloff U. Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med* 2004; 38(2):191-6.

Chamari K, Moussa-Chamari I, Boussaidi L, Hachana Y, Kaouech F, Wisloff U. Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med* 2005; 39(1):97-101.

Clarke DH, Hunt MQ, Dotson CO. Muscular strength and endurance as a function of age and activity level. *Res Q Exerc Sport* 1992; 63(3):302-10.

Coelho ESMJ, Figueiredo AJ, Simoes 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):790-6.

Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 2001; 22(1):45-51.

Cooper DM, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth in children. *J Appl Physiol* 1984; 56(3):628-34.

Cunha G, Lorenzi T, Sapata K, Lopes AL, Gaya AC, Oliveira A. Effect of biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory thresholds in soccer players: An allometric approach. *J Sports Sci* 2011; 29(10):1029-39.

Cunha GS, Célia FG, Ribeiro JL, Oliveira AR. Effects of the biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory breakpoint of Brazilian soccer players Gazz Med Ital - Arch Sci Med 2008a; 167(2):43-49.

Cunha GS, Oliveira AR. Aspectos físicos e fisiológicos do jovem jogador de futebol. Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício 2008; 7(1):29-36.

Cunha GS, Ribeiro JL, Oliveira AR. Sobretreinamento: teorias, diagnóstico e marcadores. Rev Bras Med Esporte 2006; 12(5):297-302.

Cunha GS, Ribeiro JL, Oliveira AR. Levels of beta-endorphin in response to exercise and overtraining. Arq Bras Endocrinol Metab 2008b; 52(4):589-98.

Davies CTM. Strength and mechanical properties of the muscle in children and young adults. Scand J Med Sci Sports 1985; 7(1):11-5.

Davies MJ, Dalsky GP. Normalizing strength for body size differences in older adults. Med Sci Sports Exerc 1997; 29(5):713-7.

Davis JA, Storer TW, Caiozzo VJ, Pham PH. Scaling of lactate threshold by peak oxygen uptake and by fat-free mass $0.077 \times V_{O_{2max}} + 67$. Clin Physiol Funct Imaging 2007; 27(3):138-43.

De Bruin PF, Ueki J, Watson A, Pride NB. Size and strength of the respiratory and quadriceps muscles in patients with chronic asthma. Eur Respir J 1997; 10(1):59-64.

De Ste Croix M, Deighan M, Armstrong N. Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. Sports Med 2003; 33(10):727-43.

De Ste Croix MB, Armstrong N, Welsman JR, Sharpe P. Longitudinal changes in isokinetic leg strength in 10-14-year-olds. Ann Hum Biol 2002; 29(1):50-62.

De Ste Croix MBA, Armstrong N, Welsman JR. Concentric isokinetic leg strength in pre-teen, teenage and adult males and females. Biol Sport 1999; 16(2):75-86.

Debernard L, Robert L, Charleux F, Bensamoun SF. Characterization of muscle architecture in children and adults using magnetic resonance elastography and ultrasound techniques. J Biomech 2011; 44(3):397-401.

Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89(3-4):281-8.

Dooman C, Vanderburgh PM. Allometric modeling of the bench press and squat: who is the strongest regardless of body mass? *J Strength Cond Res* 2000; 14(1):32-6.

Drust B, Reilly T, Cable NT. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci* 2000; 18(11):885-92.

Eisenmann JC, Pivarnik JM, Malina RM. Scaling peak VO₂ to body mass in young male and female distance runners. *J Appl Physiol* 2001; 90(6):2172-80.

Eliakim A, Scheett T, Allmendinger N, Brasel JA, Cooper DM. Training, muscle volume, and energy expenditure in nonobese American girls. *J Appl Physiol* 2001; 90(1):35-44.

Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand* 1973; 87(4):485-97.

Eriksson BO, Karlsson J, Saltin B. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatr Scand* 1971; Suppl 217:154-7.

Eriksson BO, Saltin B. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatr Belg* 1974; 28 suppl:257-65.

Erskine RM, Jones DA, Maganaris CN, Degens H. In vivo specific tension of the human quadriceps femoris muscle. *Eur J Appl Physiol* 2009; 106(6):827-38.

Erskine RM, Jones DA, Williams AG, Stewart CE, Degens H. Resistance training increases in vivo quadriceps femoris muscle specific tension in young men. *Acta Physiol* 2010; 199(1):83-9.

Esformes JI, Narici MV, Maganaris CN. Measurement of human muscle volume using ultrasonography. *Eur J Appl Physiol* 2002; 87(1):90-2.

Figueiredo AJ, Coelho ESMJ, Malina RM. Predictors of functional capacity and skill in youth soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 2011; 21(3): 446-54.

Figueiredo AJ, Goncalves CE, Coelho ESMJ, Malina RM. Youth soccer players, 11-14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. *Ann Hum Biol* 2009; 36(1):60-73.

Folland JP, Mc Cauley TM, Williams AG. Allometric scaling of strength measurements to body size. *Eur J Appl Physiol* 2008; 102(6):739-45.

Forbes H, Bullers A, Lovell A, Mcnaughton LR, Polman RC, Siegler JC. Relative torque profiles of elite male youth footballers: effects of age and pubertal development. *Int J Sports Med* 2009a; 30(8):592-7.

Forbes H, Sutcliffe S, Lovell A, Mcnaughton LR, Siegler JC. Isokinetic thigh muscle ratios in youth football: effect of age and dominance. *Int J Sports Med* 2009b; 30(8):602-6.

Ford P, De Ste Croix M, Lloyd R, Meyers R, Moosavi M, Oliver J, Till K, Williams C. The long-term athlete development model: physiological evidence and application. *J Sports Sci* 2011; 29(4):389-402.

Frontera W R, Hughes VA, Lutz K J, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 1991; 71(2):644-50.

Fry RW, Morton AR. Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakers. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23(11):1297-301.

Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H. Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand* 2001; 172(4):249-55.

Geithner CA, Thomis MA, Vanden Eynde B, Maes HH, Loos RJ, Peeters M, Claessens AL, Vlietinck R, Malina RM, Beunen GP. Growth in peak aerobic power during adolescence. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(9):1616-24.

Gioftsidou A, Ispirlidis I, Pafis G, Malliou P, Bikos C, Godolias G. Isokinetic strength training program for muscular imbalances in professional soccer players. *Sport Sciences for Health* 2008; 2(3):101-5.

Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol* 1966; 184(1):170-92.

Hakkinen K, Alen M, Komi PV. Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984; 53(2):97-105.

Hansen L, Klausen K. Development of aerobic power in pubescent male soccer players related to hematocrit, hemoglobin and maturation. A longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness* 2004; 44(3):219-23.

Hebestreit H, Staschen B, Hebestreit A. Ventilatory threshold: a useful method to determine aerobic fitness in children? *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(11):1964-9.

Heil DP. Body mass scaling of peak oxygen uptake in 20- to 79-yr-old adults. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29(12):1602-8.

Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(11):1925-31.

Herzog W, Sartorio A, Lafortuna CL, Kanehisa H, Fukunaga T, Dotan R, Falk B, Wood LE, Tonson A, Le Fur Y, Cozzone PJ, Bendahan D, Tolfrey K, Morse CI, O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN, Lambertz D, Grosset JF, Perot C. Commentaries on Viewpoint: Can muscle size fully account for strength differences between children and adults? *J Appl Physiol* 2011; 110(6):1750-3.

Hill AV. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc B* 1938; 126(843):136-95.

Hirose N. Relationships among birth-month distribution, skeletal age and anthropometric characteristics in adolescent elite soccer players. *J Sports Sci* 2009; 27(11):1159-66.

Hochachka PW, Beatty CL. Patterns of control of maximum metabolic rate in humans. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2003; 136(1):215-25.

Hochachka PW, Darveau CA, Andrews RD, Suarez RK. Allometric cascade: a model for resolving body mass effects on metabolism. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2003; 134(4):675-91.

Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 2004; 34(3):165-80.

Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 2002; 36(3):218-21.

Hollmann W. 42 years ago--development of the concepts of ventilatory and lactate threshold. *Sports Med* 2001; 31(5):315-20.

Holm I, Steen H, Olstad M. Isokinetic muscle performance in growing boys from pre-teen to maturity. An eleven-year longitudinal study. *Isokinetics and Exercise Science* 2005; 13(2):153-158.

Hoppeler, H, Weibel ER. Limits for oxygen and substrate transport in mammals. *J Exp Biol* 1998; 201(8):1051-64.

Housh TJ, Johnson GO, Housh DJ, Stout JR, Weir JP, Weir LL, Eckerson JM. Isokinetic peak torque in young wrestlers. *Pediatr Exerc Sci* 1996; 8(2):143-55.

Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E, Brumagne S. Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: an allometric approach. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001; 25(5):676-81.

Huxley JS. On the relation between egg weight and body weight in birds. *J.Linn. Soc. Zool* 1927; 36:457-66.

Iga J, George K, Lees A, Reilly T. Cross-sectional investigation of indices of isokinetic leg strength in youth soccer players and untrained individuals. *Scand J Med Sci Sports* 2009; 19(5):714-9.

Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(6):1042-7.

Infantolino BW, Gales DJ, Winter SL, Challis JH. The validity of ultrasound estimation of muscle volumes. *J Appl Biomech* 2007; 23(3):213-7.

Izquierdo M, Hakkinen K, Anton A, Garrues M, Ibanez J, Ruesta M, Gorostiaga EM. Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(9):1577-87.

Jaric S. Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports Med* 2002; 32(10):615-31.

Jaric S. Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2003; 31(1):8-12.

Jaric S, Mirkov D, Markovic G. Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. *J Strength Cond Res* 2005; 19(2):467-74.

Jaric S, Radosavljevic-Jaric S, Johansson H. Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size. *Eur J Appl Physiol* 2002a; 87(3):304-7.

Jaric S, Ugarkovic D, Kukolj M. Anthropometric, strength, power and flexibility variables in elite male athletes: Basketball, handball, soccer and Volleyball players. *J Hum Mov Stud* 2001; 40(6):453-464.

Jaric S, Ugarkovic D, Kukolj M. Evaluation of methods for normalizing muscle strength in elite and young athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2002b; 42(2):141-51.

Jones EJ, Bishop PA, Woods AK, Green JM. Cross-sectional area and muscular strength: a brief review. *Sports Med* 2008; 38(12):987-94.

Kaczor JJ, Ziolkowski W, Popinigis J, Tarnopolsky MA. Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. *Pediatr Res* 2005; 57(3):331-5.

Kakavelakis KN, Vlazakis S, Vlahakis I, Charissis G. Soccer injuries in childhood. *Scand J Med Sci Sports* 2003; 13(3):175-8.

Kanaley JA, Boileau RA. The onset of the anaerobic threshold at three stages of physical maturity. *J Sports Med Phys Fitness* 1988; 28(4):367-74.

Kanehisa H, Abe T, Fukunaga T. Growth trends of dynamic strength in adolescent boys. A 2-year follow-up survey. *J Sports Med Phys Fitness* 2003a; 43(4):459-64.

Kanehisa H, Ikegawa S, Tsunoda N, Fukunaga T. Strength and cross-sectional area of knee extensor muscles in children. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994; 68(5):402-5.

Kanehisa H, Kuno S, Katsuta S, Fukunaga T. A 2-year follow-up study on muscle size and dynamic strength in teenage tennis players. *Scand J Med Sci Sports* 2006; 16(2):93-101.

Kanehisa H, Muraoka Y, Kawakami Y, Fukunaga T. Fascicle arrangements of vastus lateralis and gastrocnemius muscles in highly trained soccer players and swimmers of both genders. *Int J Sports Med* 2003b; 24(2):90-5.

Kanehisa H, Yata H, Ikegawa S, Fukunaga T. A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995; 72(1-2):150-6.

Kawakami Y, Muraoka Y, Kubo K, Suzuki Y, Fukunaga T. Changes in muscle size and architecture following 20 days of bed rest. *J Gravit Physiol* 2000; 7(7):53-9.

Kearns CF, Isokawa M, Abe T. Architectural characteristics of dominant leg muscles in junior soccer players. *Eur J Appl Physiol* 2001; 85(3-4):240-3.

Kellis E, Baltzopoulos V. Gravitational moment correction in isokinetic dynamometry using anthropometric data. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28(7):900-7.

Kellis S, Gerodimos V, Kellis E, Manou V. Bilateral isokinetic concentric and eccentric strength profiles of the knee extensors and flexors in young soccer players. *Isokinetics and Exercise Science* 2001; 9(1):31-9.

Klein CS, Rice CL, Marsh GD. Normalized force, activation, and coactivation in the arm muscles of young and old men. *J Appl Physiol* 2001; 91(3):1341-9.

Klentrou P, Nishio ML, Plyley M. Ventilatory breackpoints in boys and men. *Pediatr Exerc Sci* 2006; 18(2):216-25.

Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev* 1985; 13:503-38.

Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno SY, Okada M, Fukunaga T. Muscle architectural characteristics in women aged 20-79 years. *Med Sci Sports Exerc* 2003a; 35(1):39-44.

Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno SY, Okada M, Fukunaga T. Muscle architectural characteristics in young and elderly men and women. *Int J Sports Med* 2003b; 24(2):125-30.

Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *Int J Sports Med* 2001; 22(2):138-43.

Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol* 2000; 88(3):811-6.

Lear SA, Brozic A, Myers JN, Ignaszewski A. Exercise stress testing. An overview of current guidelines. *Sports Med* 1999; 27(5):285-312.

Lieber RL, Friden J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve* 2000; 23(11):1647-66.

Loomba-Albrecht LA, Styne DM. Effect of puberty on body composition. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 2009; 16(1):10-5.

Lynch NA, Metter EJ, Lindle RS, Fozard JL, Tobin JD, Roy TA, Fleg JL, Hurley BF. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* 1999; 86(1):188-94.

Maganaris CN, Baltzopoulos V, Ball D, Sargeant AJ. In vivo specific tension of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2001; 90(3):865-72.

Malaguti C, Nery LE, Dal Corso S, Napolis L, De Fuccio MB, Castro M, Neder JA. Scaling skeletal muscle function to mass in patients with moderate-to-severe COPD. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98(5):482-8.

Malina RM, Bouchard C. Growth, Maturation, and Physical Activity. Champaign, IL: Human Kinetics 1991.

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 Sports Sci* 2005; 23(5):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(5-6):555-62.

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 Sports Sci* 2000; 18(9):685-93.

Malina RM, Ribeiro B, Aroso J, Cumming SP. Characteristics of youth soccer players aged 13-15 years classified by skill level. *Br J Sports Med* 2007; 41(5):290-5.

Markovic G, Jaric S. Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. *Eur J Appl Physiol* 2004; 92(1-2):139-49.

Markovic G, Jaric S. Scaling of muscle power to body size: the effect of stretch-shortening cycle. *Eur J Appl Physiol* 2005; 95(1):11-9.

Masuda K, Kikuhara N, Takahashi H, Yamanaka K. The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *J Sports Sci* 2003; 21(10):851-8.

Matsudo SMM, Matsudo VKR. Self-Assessment and physician assessment of sexual-maturation in Brazilian boys and girls - concordance and reproducibility. *American Journal of Human Biology* 1994; 6(4):451-55.

McCann DJ, Adams WC. A theory for normalizing resting $\dot{V}O_2$ for differences in body size. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(8):1382-90.

McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med* 2005; 39(5):273-7.

McNarry MA, Welsman JR, Jones AM. The influence of training and maturity status on girls' responses to short-term, high-intensity upper- and lower-body exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* 2011a; 36(3):344-52.

McNarry MA, Welsman JR, Jones AM. Influence of training and maturity status on the cardiopulmonary responses to ramp incremental cycle and upper body exercise in girls. *J Appl Physiol* 2011b; 110(2):375-81.

Mendez-Villanueva A, Buchheit M, Kuitunen S, Poon TK, Simpson B, Peltola E. Is the relationship between sprinting and maximal aerobic speeds in young soccer players affected by maturation? *Pediatr Exerc Sci* 2010; 22(4):497-510.

Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(4):689-94.

Miyatani M, Kanehisa H, Fukunaga T. Validity of bioelectrical impedance and ultrasonographic methods for estimating the muscle volume of the upper arm. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82(5-6):391-6.

Miyatani M, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T. The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91(2-3):264-72.

Miyatani M, Kanehisa H, Kuno S, Nishijima T, Fukunaga T. Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. *Eur J Appl Physiol* 2002; 86(3):203-8.

Miyatani M, Kanehisa H, Masuo Y, Ito M, Fukunaga T. Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. *J Appl Physiol* 2001; 91(1):386-94.

Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003; 21(7):519-28.

Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci* 2005; 23(6):593-9.

Morse CI, Tolfrey K, Thom JM, Vassilopoulos V, Maganaris CN, Narici MV. Gastrocnemius muscle specific force in boys and men. *J Appl Physiol* 2008; 104(2):469-74.

Nedeljkovic A, Mirkov DM, Kukolj M, Ugarkovic D, Jaric S. Effect of maturation on the relationship between physical performance and body size. *J Strength Cond Res* 2007; 21(1):245-50.

Neder JA, Nery LE, Silva AC, Andreoni S, Whipp BJ. Maximal aerobic power and leg muscle mass and strength related to age in non-athletic males and females. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 79(6):522-30.

Neu CM, Rauch F, Rittweger J, Manz F, Schoenau E. Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002; 283(1):103-7.

Nevill A, Rowland T, Goff D, Martel L, Ferrone L. Scaling or normalising maximum oxygen uptake to predict 1-mile run time in boys. *Eur J Appl Physiol* 2004a; 92(3):285-8.

Nevill AM. The need to scale for differences in body size and mass: an explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent. *J Appl Physiol* 1994; 77(6):2870-3.

Nevill AM. The appropriate use of scaling techniques in exercise physiology. *Pediatr Exerc Sci* 1997; 9(4):295-8.

Nevill AM, Bate S, Holder RL. Modeling physiological and anthropometric variables known to vary with body size and other confounding variables. *Am J Phys Anthropol* 2005; 41:141-53.

Nevill AM, Brown D, Godfrey R, Johnson P, Romer L, Stewart AD, Winter EM. Modeling maximum oxygen uptake of elite endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(3):488-94.

Nevill AM, Holder RL. Scaling, normalizing, and per ratio standards: an allometric modeling approach. *J Appl Physiol* 1995; 79(3):1027-31.

Nevill AM, Holder RL. Modelling handgrip strength in the presence of confounding variables: results from the Allied Dunbar National Fitness Survey. *Ergonomics* 2000; 43(10):1547-58.

Nevill AM, Holder RL, Baxter-Jones A, Round JM, Jones DA. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J Appl Physiol* 1998; 84(3):963-70.

Nevill AM, Holder RL, Fentem PH, Rayson M, Marshall T, Cooke C, Tuxworth W. Modelling the associations of BMI physical activity and diet with arterial blood pressure: some results from the Allied Dunbar National Fitness Survey. *Ann Hum Biol* 1997; 24(3):229-47.

Nevill AM, Holder RL, Maffulli N, Cheng JC, Leung SS, Lee WT, Lau JT. Adjusting bone mass for differences in projected bone area and other confounding variables: an allometric perspective. *J Bone Miner Res* 2002; 17(4):703-8.

Nevill AM, Markovic G, Vucetic V, Holder R. Can greater muscularity in larger individuals resolve the 3/4 power-law controversy when modelling maximum oxygen uptake? *Ann Hum Biol* 2004b; 31(4):436-45.

Nevill AM, Ramsbottom R, Williams C. Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992; 65(2):110-7.

O'brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Exp Physiol* 2009; 94(6):731-8.

O'brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. *Exp Physiol* 2010a; 95(1):202-10.

O'brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Muscle-tendon structure and dimensions in adults and children. *Journal of Anatomy* 2010b; 216(5):631-42.

Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H. Twitch contraction properties of plantar flexor muscles in pre- and post-pubertal boys and men. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82(5-6):459-64.

Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H. Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2001; 41(3):354-61.

Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H. Knee extensor muscle strength and vertical jumping performance characteristics in pre- and post-pubertal boys. *Pediatr Exerc Sci* 2001; 13(1):60-9.

Paterson DH, McLellan TM, Stella RS, Cunningham DA. Longitudinal study of ventilation threshold and maximal O₂ uptake in athletic boys. *J Appl Physiol* 1987; 62(5):2051-7.

Pfeifer K, Banzer W. Motor performance in different dynamic tests in knee rehabilitation. *Scand J Med Sci Sports* 1999; 9(1):19-27.

Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, Bourgois J, Vrijens J, Beunen G, Malina RM. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci* 2006; 24(3):221-30.

Pincivero DM, Salfetnikov Y, Campy RM, Coelho AJ. Angle- and gender-specific quadriceps femoris muscle recruitment and knee extensor torque. *J Biomech* 2004; 37(11):1689-97.

Ramos E, Frontera WR, Llopart A, Feliciano D. Muscle strength and hormonal levels in adolescents: gender related differences. *Int J Sports Med* 1998; 19(8):526-31.

Ratel S, Duche P, Hennegrave A, Van Praagh E, Bedu M. Acid-base balance during repeated cycling sprints in boys and men. *J Appl Physiol* 2002; 92(2):479-85.

Reeves ND, Maganaris CN, Narici MV. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91(1):116-8.

Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. Myotendinous plasticity to ageing and resistance exercise in humans. *Exp Physiol* 2006; 91(3):483-98.

Reybrouck T, Weymans M, Stijns H, Knops J, Van Der Hauwaert L. Ventilatory anaerobic threshold in healthy children. Age and sex differences. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1985; 54(3):278-84.

Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JE, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2000; 40(2):162-9.

Rogers DM, Turley KR, Kujawa KI, Harper KM, Wilmore JH. Allometric scaling factors for oxygen uptake during exercise in children. *Pediatr Exerc Sci* 1995; 7:12-25.

Round JM, Jones DA, Honour JW, Nevill AM. Hormonal factors in the development of differences in strength between boys and girls during adolescence: a longitudinal study. *Ann Hum Biol* 1999; 26(1):49-62.

Rowland T, Miller K, Vanderburgh P, Goff D, Martel L, Ferrone L. Cardiovascular fitness in premenarcheal girls and young women. *Int J Sports Med* 2000a; 21(2):117-21.

Rowland T, Wehnert M, Miller K. Cardiac responses to exercise in competitive child cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2000b; 32(4):747-52.

Rowland TW. *Children's Exercise Physiology*. Human Kinetics 2005.

Rucker R, Storms D. Interspecies comparisons of micronutrient requirements: metabolic vs. absolute body size. *J Nutr* 2002; 132(10):2999-3000.

Sanada K, Kearns CF, Kojima K, Abe T. Peak oxygen uptake during running and arm cranking normalized to total and regional skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging. *Eur J Appl Physiol* 2005; 93(5-6):687-93.

Sanada K, Kuchiki T, Miyachi M, Mcgrath K, Higuchi M, Ebashi H. Effects of age on ventilatory threshold and peak oxygen uptake normalised for regional skeletal muscle mass in Japanese men and women aged 20-80 years. *Eur J Appl Physiol* 2007; 99(5):475-83.

Schmidt-Nielsen K.. *Scaling: Why is animal size so important*. Cambridge:Cambridge Press 1984.

Seger JY, Thorstensson A. Muscle strength and myoelectric activity in prepubertal and adult males and females. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994; 69(1):81-7.

Seger JY, Thorstensson A. Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty. *Eur J Appl Physiol* 2000; 81(1-2):54-61.

Seymour JM, Ward K, Sidhu PS, Puthuchearry Z, Steier J, Jolley CJ, Rafferty G, Polkey MI, Moxham J. Ultrasound measurement of rectus femoris cross-sectional area and the relationship with quadriceps strength in COPD. *Thorax* 2009; 64(5):418-23.

Sjodin B, Svedenhag J. Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992; 65(2):150-7.

Stephens BR, Cole AS, Mahon AD. The influence of biological maturation on fat and carbohydrate metabolism during exercise in males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006; 16(2):166-79.

Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 2005; 35(6):501-36.

Stroyer J, Hansen L, Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(1):168-74.

Suarez RK, Darveau CA, Childress JJ. Metabolic scaling: a many-splendoured thing. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 2004; 139(3):531-41.

Sunnegardh J, Bratteby LE, Nordesjo LO, Nordgren B. Isometric and isokinetic muscle strength, anthropometry and physical activity in 8 and 13 year old Swedish children. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988; 58(3):291-7.

Svedahl K, Macintosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol* 2003; 28(2):299-323.

Takala EP, Viikari-Juntura E. Do functional tests predict low back pain? *Spine* 2000; 25(16):2126-32.

Tanner J. *Growth at Adolescence*. 1962.

Taylor DJ, Kemp GJ, Thompson CH, Radda GK. Ageing: effects on oxidative function of skeletal muscle in vivo. *Mol Cell Biochem* 1997; 174(1-2):321-4.

Taylor NA, Cotter JD, Stanley SN, Marshall RN. Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991; 62(2):116-21.

Temfemo A, Hugues J, Chardon K, Mandengue SH, Ahmaidi S. Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *Eur J Pediatr* 2009; 168(4):457-64.

Thatcher R, Batterham AM. Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2004; 44(1):15-22.

Thom JM, Morse CI, Birch KM, Narici MV. Influence of muscle architecture on the torque and power-velocity characteristics of young and elderly men. *Eur J Appl Physiol* 2007; 100(5):613-9.

Thomis M, Rogers DM, Beunen GP, Woynarowska B, Malina RM. Allometric relationship between body size and peak VO₂ relative to age at menarche. *Ann Hum Biol* 2000; 27(6):623-33.

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* 2006; 100(6):1851-6.

Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001; 31(1):1-11.

Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Cozzone P, Bendahan D. Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(5):918-25.

Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Vilmen C, Cozzone PJ, Bendahan D. Muscle energetics changes throughout maturation: a quantitative ³¹P-MRS analysis. *J Appl Physiol* 2010; 109(6):1769-78.

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(11):928-34.

Van Praagh E. Development of anaerobic function during childhood and adolescence. *Pediatr Exerc Sci* 2000; 12:150-73.

Van Praagh E, Dore E. Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Med* 2002; 32(11):701-28.

Vanderburgh PM. Two important cautions in the use of allometric scaling: The common exponent and group difference principles. *Meas Phys Ed Exerc Science* 1998; 2(3):153-163.

Vanderburgh PM, Dooman C. Considering body mass differences, who are the world's strongest women? *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(1):197-201.

Vanderburgh PM, Mahar MT, Chou CH. Allometric scaling of grip strength by body mass in college-age men and women. *Res Q Exerc Sport* 1995; 66(1):80-4.

Viljanen T, Viitasalo JT, Kujala UM. Strength characteristics of a healthy urban adult population. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991; 63(1):43-7.

Wasserman K, Mcilroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964; 14(6):844-52.

Weibel ER, Bacigalupe LD, Schmitt B, Hoppeler H. Allometric scaling of maximal metabolic rate in mammals: muscle aerobic capacity as determinant factor. *Respir Physiol Neurobiol* 2004; 140(2):115-32.

Weibel ER, Hoppeler H. Exercise-induced maximal metabolic rate scales with muscle aerobic capacity. *J Exp Biol* 2005; 208(9):1635-44.

Weir JP, Housh TJ, Johnson GO, Housh DJ, Ebersole KT. Allometric scaling of isokinetic peak torque: the Nebraska Wrestling Study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 80(3):240-8.

Welsman JR, Armstrong N. Statistical techniques for interpreting body size-related exercise performance during growth. *Pediatr Exerc Sci* 2000; 12(2):112-27.

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.

Welsman JR, Armstrong N, Nevill AM, Winter EM, Kirby BJ. Scaling peak VO_2 for differences in body size. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28(2):259-65.

West GB, Brown JH, Enquist BJ. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* 1997; 276(5309):122-6.

Williams AM, Reilly T. Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci* 2000; 18(9):657-67.

Williams RL, Cheyne KL, Houtkooper LK, Lohman TG. Adolescent self-assessment of sexual maturation. Effects of fatness classification and actual sexual maturation stage. *J Adolesc Health Care* 1988; 9(6):480-2.

Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 2004; 38(3):285-8.

Wisloff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(3):462-7.

Wren TA, Engsberg JR. Normalizing lower-extremity strength data for children without disability using allometric scaling. *Arch Phys Med Rehabil* 2007; 88(11):1446-51.

Zoeller RF, Ryan ED, Gordish-Dressman H, Price TB, Seip RL, Angelopoulos TJ, Moyna NM, Gordon PM, Thompson PD, Hoffman EP. Allometric scaling of biceps strength before and after resistance training in men. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39(6):1013-9.

Zoeller RF, Ryan ED, Gordish-Dressman H, Price TB, Seip RL, Angelopoulos TJ, Moyna NM, Gordon PM, Thompson PD, Hoffman EP. Allometric scaling of isometric biceps strength in adult females and the effect of body mass index. *Eur J Appl Physiol* 2008; 104(4):701-10.

6.0 ANEXOS

Anexo I - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado a participar de um estudo que visa verificar o efeito do crescimento sobre as variáveis cardiorrespiratórias e de força muscular em jogadores de futebol. Sua presença será necessária pelo menos duas vezes no Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da UFRGS, onde serão realizados os testes. Serão realizados testes de corrida em esteira, composição corporal e testes de força muscular, que em média devem durar 15 minutos cada. Durante o teste de corrida, será realizada a coleta do ar que o indivíduo respira em equipamento de avaliação cardiorrespiratória para a determinação da capacidade máxima do indivíduo de utilizar o oxigênio para produzir energia. Este teste é muito utilizado para verificar o nível de desempenho físico do atleta e para a prescrição do treinamento, visto que o consumo máximo de oxigênio é considerado um indicador de capacidade aeróbia. Você no primeiro momento receberá as instruções referentes aos testes, após passará por um processo de adaptação a esteira e depois no equipamento de musculação computadorizado. Em outro dia você realizará o teste de força muscular no equipamento de força computadorizado, que visa identificar os níveis de força e desequilíbrios musculares, além de determinarmos o volume dos músculos da perna com equipamento de imagem.

Você será acompanhado por uma equipe de pesquisadores experientes e por um representante do clube, desta forma, o risco de complicações é mínimo. No entanto, dores musculares, fadiga e desconfortos relacionados aos equipamentos podem ocorrer tanto no teste de esteira como no teste de força. Em caso de emergência o Laboratório de Pesquisa do Exercício acionará a Assistência Médica de Emergência (3331-0212).

Você não deverá ser portador de qualquer tipo de doença ou lesão, nem estar fazendo uso de qualquer tipo de medicação. A participação neste estudo é absolutamente voluntária, sem qualquer tipo de gratificação. Entretanto, você terá direito a um laudo individual com seus resultados, bem como a todo e qualquer esclarecimento sobre o estudo. Todas as informações são confidenciais, tendo acesso somente os profissionais envolvidos no estudo, o clube e o atleta. Você é livre para realizar qualquer pergunta antes, durante e após o estudo, estando livre para desistir do mesmo em qualquer momento sem prejuízo algum. Caso você seja menor de 18 anos de idade, os pais ou responsáveis legais (familiares, clube) devem assinar o item assinatura do responsável.

Assinatura do Atleta

Assinatura dos Pais ou Responsáveis Legais

Assinatura do Responsável

Pesquisadores Responsáveis: Alvaro Oliveira e Giovani dos Santos Cunha
Email: aroliveira@esef.ufrgs.br – giovani.cunha@ufrgs.br Fone:(51) 3308-5861 – 84523475
Fone Comitê de Ética e Pesquisa da UFRGS: 51.3308-3738

ANEXO II - Carta de Aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
CARTA DE APROVAÇÃO**

proXpesq

O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul analisou o projeto:

Número : 2008082

Título : Efeito da Maturação Biológica Sobre o Consumo Máximo de Oxigênio, Limiar Anaeróbio e Torque Muscular em Jovens Jogadores de Futebol

Pesquisador (es) :

<u>NOME</u>	<u>PARTICIPAÇÃO</u>	<u>EMAIL</u>	<u>FONE</u>
ALVARO REISCHAK DE OLIVEIRA	PESQ RESPONSÁVEL	aroliveira@esef.ufrgs.br	33083320
GIOVANI DOS SANTOS CUNHA	PESQUISADOR	giovanicunha@yahoo.com.br	

O mesmo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS, reunião nº 52 , ata nº 132 , de 16/7/2009 , por estar adequado ética e metodologicamente e de acordo com a Resolução 196/96 e complementares do Conselho Nacional de Saúde.

Porto Alegre, quinta-feira, 16 de julho de 2009


ILMA SIMONI BRUM DA SILVA
 Coordenador do CEP-UFRGS

Anexo III – Carta de Aceite de Participação do Estudo



Sport Club Internacional

O Sport Club Internacional, manifesta o interesse em participar do projeto de pesquisa intitulado "Efeitos da Maturação Biológica sobre o Consumo Máximo de Oxigênio, Limiar Anaeróbico e Torque Muscular em Jovens Jogadores de Futebol" de autoria do Prof. Dr. Álvaro Reischak de Oliveira e Prof. Ms. Giovani dos Santos Cunha, ambos da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Esta participação prevê a liberação de seus atletas da categoria de base para avaliação, em horários determinados pelo clube, no Laboratório de Pesquisa do Exercício da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O Sport Club Internacional declara a concordância com a realização de avaliações ergoespirométricas e de dinamometria isocinética em seus atletas das categorias de base. As informações referentes ao consumo máximo de oxigênio, limiar anaeróbico, torque e potência muscular e suas relações com o crescimento e desenvolvimento destes atletas, serão repassadas ao Sport Club Internacional sob a forma de contrapartida do estudo, fornecendo bases para a prescrição e acompanhamento do treinamento destes atletas, além de serem utilizados para o desenvolvimento do referido projeto de pesquisa.

Porto Alegre, 15 julho de 2009.

Att.,

Sport Club Internacional

Jorge B. Andrade
Gerente Administrativo
Categorias de Base

Anexo IV

Revisão

Aspectos físicos e fisiológicos do jovem jogador de futebol

Physical and physiological aspects of young soccer player

Giovani dos Santos Cunha*, Alvaro Reischak de Oliveira*

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Educação Física - LAPEX - Porto Alegre/RS

Resumo

O futebol é um dos esportes mais populares do mundo e seu desempenho depende de vários aspectos, como os fatores técnicos, táticos, físicos, fisiológicos e psicológicos. Durante uma partida de futebol, os jogadores percorrem em média 10 km, sendo a corrida a atividade predominante, mas exercícios de explosão como *sprints*, saltos, marcação e chute são importantes para o desempenho no futebol. A intensidade de trabalho durante uma partida de futebol é muito próxima do limiar anaeróbio (LAn). Os valores de LAn em jovens jogadores de futebol são compreendidos entre 80-90% da FC_{máx} ou entre 75-90% do VO_{2máx}. Tradicionalmente, jovens jogadores de futebol possuem valores de VO_{2máx} inferiores a 60 ml.kg⁻¹.min⁻¹, estes valores podem ser influenciados pela posição tática, tempo de treinamento e pelo processo de maturação biológica. A maturação biológica tem um impacto relevante no processo de detecção de talentos, pois é relacionada com o desempenho técnico e físico, no qual atletas mais avançados no processo maturacional possuem maiores níveis de força, potência e capacidade aeróbia em relação aos indivíduos menos avançados.

Palavras-chave: futebol, limiar anaeróbio, consumo máximo de oxigênio.

Abstract

Soccer is one of the most popular sports in the world, and its performance depends on many aspects, such as technical, tactical, physical, physiological and psychological factors. During a soccer match, players cover distances around 10 km, with running as the predominant activity. But sprints, jumps, marking and kicking are other important aspects to soccer performance. Physical work intensity during a soccer match is very close to the anaerobic threshold (LAn). LAn values of young soccer players are between 80-90% of maximum heart rate or between 75-90% of VO_{2max}. Traditionally, young soccer players have VO_{2max} values less than 60 ml.kg⁻¹.min⁻¹, and these values may be influenced by tactic position, years of training and biological maturation process. Biological maturation has a relevant impact upon the process of talent detection because it is related to technical and physical performance. More advanced athletes in regard to biological maturation process have higher levels of strength, power and aerobic capacity in relation to less advanced individuals.

Key-words: soccer, anaerobic threshold, maximal oxygen uptake.

Recebido em 12 de outubro de 2007; aceito em 15 de março de 2008.

Endereço para correspondência: Giovani dos Santos Cunha, UFRGS/ESEF – LAPEX, Rua Felizardo, 750, 90690 -200 Porto Alegre RS, E-mail: giovanicunha@yahoo.com.br

Introdução

Atualmente existe uma limitação de estudos sobre os efeitos do exercício físico e do treinamento desportivo sobre o metabolismo das crianças e adolescentes [1-12]. Mais especificamente no futebol, que é um dos esportes mais populares do mundo [13], praticado por homens, mulheres e crianças com diferentes níveis de desempenho [14], a maioria dos estudos com crianças são referentes à força e velocidade [15-17], padrão de atividade física durante o jogo [18, 19] e consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) [18, 20-24].

O VO_{2max} de jogadores de futebol internacional varia de 50-75 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ [16,18,21-27], sendo que esta capacidade fisiológica está relacionada com a posição tática. Os valores de limiar anaeróbio (LAn) em jogadores de futebol são compreendidos entre aproximadamente 80% e 90% da frequência cardíaca máxima (FC_{max}). Estima-se que a intensidade de trabalho médio, mensurado como $\%FC_{max}$ durante uma partida de futebol coincida com os valores de LAn [18,22,23,28,29].

Embora estes valores de VO_{2max} e LAn sejam evidentes em jogadores adultos, em jovens jogadores de futebol ainda não existe um consenso sobre o comportamento do VO_{2max} e do LAn principalmente durante o processo maturacional [30,31]. A maturação biológica é referida como o progresso em direção ao estado biologicamente adulto, que varia em *timing* e tempo [32] é um fator relevante na detecção de talentos e no treinamento [33,34]. Poucos estudos investigaram a relação entre o VO_{2max} e a maturação biológica [35], entretanto, algumas evidências sugerem que ela possa influenciar o VO_{2max} e o LAn [8,9,11,12,17,35-38].

Torna-se importante identificar o comportamento do VO_{2max} e do LAn durante o processo de maturação biológica em jovens jogadores de futebol, para podermos prescrever e controlar o treinamento de forma adequada a cada etapa do crescimento destes atletas, visto que, o VO_{2max} é considerado o melhor indicador de potência aeróbia [13,35,39] e o LAn é considerado o indicador mais sensível às alterações aeróbias em resposta ao treinamento [13, 40-42].

Neste sentido, devido a limitações de estudos sobre os aspectos físicos e fisiológicos do jovem jogador de futebol, esta revisão abordará aspectos referentes às demandas físicas do futebol e a influência da maturação biológica sobre o VO_{2max} e LAn em jovens jogadores de futebol.

Demandas físicas do futebol

O desempenho no futebol é multifatorial, onde podemos citar de forma resumida os fatores técnicos, táticos, físicos, fisiológicos e psicológicos [43]. Especificamente, o futebol necessita de atividades físicas intermitentes, em que a sequência de ações requer uma variedade de habilidades em diversas intensidades. A corrida é a atividade predominante, mas exercícios de explosão como *sprints*, saltos, marcação e

chute são fatores importantes para o desempenho no futebol [15]. Outro fator importante para o futebol é a distância percorrida, que em uma partida de futebol de alto nível são da ordem de 9-12 km [23, 44-46] e 4 km para goleiros [43]. Muitos estudos têm apresentado que jogadores de meio-campo percorrem grandes distâncias durante o jogo e que jogadores profissionais percorrem maiores distâncias do que jogadores amadores [44]. No 2º tempo, a intensidade do jogo diminui em relação ao 1º tempo, onde a distância percorrida diminui de 5-10% [44, 45].

A posição tática dos jogadores influencia a distância percorrida durante uma partida, na qual os zagueiros percorrem aproximadamente 7700-9700 metros (m), meio-campistas de 9000-11000 m e atacantes 7700-11000 m [23,44-46]. A distância percorrida tem sido classificada como padrão de atividade física, como caminhar, trotar, correr, *sprint* e corrida de costas. Durante a partida, os jogadores percorrem caminhando aproximadamente 1000-3500 m, trotam 2000-6000 m, correm 1000-2000 m, *sprint* 300-500 m e corrida de costas 100-800 m [19, 44-46].

Durante o jogo, um *sprint* ocorre aproximadamente a cada 90 segundos (s), cada um dura em média de 2-4 s [47]. Os *sprints* constituem de 1-10% da distância percorrida total durante o jogo [44], que corresponde a 0,5-3,0% do tempo efetivo de jogo [47]. No contexto de *endurance* do jogo, cada jogador realiza entre 1000-1400 atividades de curta duração alternadas a cada 4-6 s [44,47]. As atividades realizadas no jogo são aproximadamente de 10-20 *sprints*, corridas de alta intensidade a cada 70 s, 15 desarmes, 10 cabeçadas, 50 envoltimentos com bola, 30 passes, além de mudanças de direção e grande esforço muscular para manter o equilíbrio e o controle da bola contra a pressão da defesa [47]. Mohr *et al.* [44] reportaram que laterais e atacantes realizam *sprints* em maiores distâncias do que zagueiros e meio-campistas. Da mesma forma que a distância percorrida, a capacidade de realizar *sprint* também diminui ao final da partida [44, 48].

A maioria dos resultados são referentes a jogadores profissionais, por isso, Castagna *et al.* [19] verificaram o padrão de atividade física de jovens jogadores de futebol durante os jogos (idade 11,8 anos), onde a duração de cada jogo era de 60 minutos e as medidas do campo eram de 100 x 65 m. Foi verificado que a distância percorrida total era de 6175 m, sendo que 1112 m e 32 m foram percorridos caminhando e caminhando de costas respectivamente. Em média os jogadores percorriam 3200 m em baixa intensidade, 986 m em intensidade moderada e 468 m em alta intensidade de corrida. Em média 34 *sprints* com duração de 2,3 s eram realizados durante a partida, com velocidades máximas de 18 $km.h^{-1}$, o tempo entre cada *sprint* foi de 118,5 segundos. A distancia percorrida diminuía 5,53% entre o 1º e o 2º tempo. Os autores concluíram que o padrão de atividade de jovens jogadores de futebol é intermitente e às vezes desempenhado em alta intensidade (9% do tempo total da partida).

Intensidade do jogo

Por causa da duração do jogo, estima-se que o metabolismo aeróbio contribui com aproximadamente 90% do custo energético de uma partida de futebol [14]. A intensidade de trabalho médio, mensurada como $\%FC_{\text{máx}}$ durante os 90 minutos de uma partida de futebol é próximo do LAn, compreendido entre 80-90% da $FC_{\text{máx}}$ dos jogadores [18,22,23,28,29]. Fisiologicamente, poderia ser impossível manter esta altíssima intensidade média por um longo período de tempo, principalmente devido ao acúmulo de lactato sanguíneo.

Assim, a fadiga é um componente importante para o desempenho no futebol. Em recente revisão, Mohr *et al.* [49] relatam que a fadiga pode ocorrer em 3 diferentes momentos durante o jogo: após períodos de alta intensidade de exercício tanto no 1º como no 2º tempo de partida, no início do 2º tempo de partida e no final da partida. A fadiga temporária após exercícios de alta intensidade durante o jogo não parece estar relacionada diretamente com as concentrações de glicogênio muscular, acúmulo de lactato, acidose ou a quebra da creatina fosfato. No entanto, isto pode estar relacionado a distúrbios na homeostase iônica do músculo ou ainda a um desequilíbrio na excitação do sarcolema. O desempenho máximo dos jogadores de futebol é inibido no início do 2º tempo, provavelmente devido a uma diminuição da temperatura muscular quando comparado com o final do 1º tempo [49].

Realmente, as partidas de futebol apresentam períodos e situações de alta intensidade de exercício, nas quais ocorre um acúmulo de lactato sanguíneo localizado. Desta forma, os jogadores de futebol necessitam de períodos de baixa intensidade de exercício para poderem remover este lactato muscular acumulado. Em termos relativos, existe pouca ou nenhuma diferença entre a intensidade de exercício de jogadores profissionais e amadores, mas a intensidade absoluta é maior em jogadores profissionais [43].

Stroyer *et al.* [18] estudaram as demandas fisiológicas do futebol em jovens futebolistas (idade 12-14 anos) verificaram que o VO_2 durante a partida era em média maior no 1º tempo (50-58 $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) do que no 2º tempo (48-54 $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Estes valores correspondem a 80-85% e 78-80% do $VO_{2\text{máx}}$ respectivamente. A FC média também era em média maior no 1º tempo (180 bpm) do que no 2º tempo (175 bpm).

Estabelecendo a relação entre $FC-VO_2$ em teste de esforço máximo, esta relação fornece uma mensuração indireta válida do VO_2 durante uma partida de futebol. Estabelecendo a relação da $FC-VO_2$ de cada atleta, esta pode refletir exatamente o gasto energético do exercício em estado de equilíbrio. Bangsbo [14] apresentou que a relação $FC-VO_2$ é válida para exercícios intermitentes, verificada pela comparação de exercícios contínuos e intermitentes em testes de esteira em laboratório. A mesma relação $FC-VO_2$ era estabelecida após um grande aumento de intensidade [14], estes dados são suportados por

estudos recentes [50,51]. A relação entre $FC-VO_2$ pode ser uma boa estimativa de gasto energético para o futebol [50].

Assumindo que a relação $FC-VO_2$ é uma estimativa válida para o futebol, uma intensidade média de exercício de 85% da $FC_{\text{máx}}$ poderia corresponder a aproximadamente 75% do $VO_{2\text{máx}}$. Isto corresponde em média a 45, 48,8 e 52,5 de VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) para jogadores com 60, 65 e 70 de $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) respectivamente, refletindo o gasto energético do futebol moderno [39].

$VO_{2\text{máx}}$ durante a maturação biológica em jovens jogadores de futebol

Tradicionalmente, jovens jogadores de futebol apresentam valores de $VO_{2\text{máx}}$ inferiores a 60 $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ [18,23,24]. Stroyer *et al.* [18] verificaram o $VO_{2\text{máx}}$ em 3 grupos de jovens jogadores de futebol, classificados como elite (12 anos), não-elite (12 anos) e elite (14 anos). O $VO_{2\text{máx}}$ correspondia a 58,7, 58,6 e 63,7 $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre os grupos. Ao contrário, outros autores encontraram diferenças significativas no $VO_{2\text{máx}}$, os valores correspondiam a 58,2 e 55,3 $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ entre os grupos elite (12,3 anos) e não-elite (11,7 anos) de jogadores de futebol respectivamente [38]. Por outro lado, Chamari *et al.* [20] estabeleceram valores superiores (66,5 $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, jogadores com 14 anos de idade) em comparação aos estudos citados anteriormente.

Estudos transversais têm indicado que o $VO_{2\text{máx}}$ absoluto (ml.min^{-1}) aumenta gradualmente e continuamente em meninos dos 8 aos 16 anos de idade. Após esta idade, o $VO_{2\text{máx}}$ continua a aumentar lentamente [12,36,52]. Resultados semelhantes foram encontrados em jovens jogadores de futebol, onde o $VO_{2\text{máx}}$ absoluto aumentava significativamente tanto no grupo elite (2,46 para 3,99 l.min^{-1} , n=21) como no grupo não elite (2,10 para 2,99 l.min^{-1} , n=28) ao longo de três anos e meio de acompanhamento [38].

Entretanto, durante o crescimento e a maturação biológica o $VO_{2\text{máx}}$ absoluto é altamente correlacionado com tamanho corporal, ocorrendo um aumento significativo dos componentes que determinam o $VO_{2\text{máx}}$, como pulmões, coração e músculo esquelético [53]. Assim, os valores de $VO_{2\text{máx}}$ absoluto aumentam com o desenvolvimento das crianças, podendo aumentar de 1,2 l.min^{-1} para 2,7 l.min^{-1} dos 6 aos 12 anos de idade, este aumento acelerado é devido aos hormônios anabólicos secretados durante a puberdade [53]. Desta forma, para efeitos independentes da idade cronológica, maturação biológica e sexo sobre o VO_2 , é importante examinar a confusa influência do tamanho corporal, ajustando-o devidamente [9,53].

Uma forma amplamente utilizada na literatura para tentar ajustar o $VO_{2\text{máx}}$ ao tamanho corporal, é expressá-lo na forma relativa à massa corporal ($\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Ao contrário da forma absoluta, quando o $VO_{2\text{máx}}$ é expresso na forma relativa, não existem incrementos com a idade cronológica nem

com o estágio maturacional, ou seja, o $VO_{2\text{máx}}$ apresenta um comportamento relativamente constante durante o processo maturacional [11,36,53,54].

Recentemente, este método tradicional de expressar o $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) tem sido contestado por não ajustar adequadamente os efeitos da massa corporal [6,9-12,20,27,36,53-58]. Durante os últimos anos, existe um importante debate sobre o melhor método para normalizar o $VO_{2\text{máx}}$ e ajustar os efeitos da massa corporal em adultos e crianças. Em recente revisão, Nevill *et al.* [55] exploram uma variedade de modelos utilizados para descrever variáveis fisiológicas e antropológicas que variam com o tamanho corporal e com outras variáveis de confusão, como por exemplo, a idade cronológica. Os autores concluíram que os modelos alométricos são superiores aos demais modelos. Sendo a alometria o método matemático que expressa a medida à qual uma variável (seja fisiológica, anatômica ou temporal) é relacionada com uma unidade de tamanho corporal, geralmente massa corporal em kg [53].

Entretanto, Welsman & Armstrong [59] enfatizam que não existe um método universalmente correto de normalizar o $VO_{2\text{máx}}$ e remover os efeitos da massa corporal. Todos os métodos apresentam suas limitações, sendo que a técnica de normalização depende da natureza da pesquisa e que sua validade seja observada dentro de um determinado contexto. Apesar disto, vários autores têm sugerido que para facilitar as comparações entre grupos heterogêneos em tamanho corporal, a maneira mais apropriada de remover os efeitos da massa corporal é utilizar a função potência ($VO_{2\text{máx}} = aM^b$), onde (a) é uma constante de escala e (b) é a valor do expoente referente à massa corporal. O expoente pode ser estimado através da análise de regressão linear após obtermos o logaritmo da equação da função potência $\log e$ ($VO_{2\text{máx}} = \log a + b \cdot \log m$).

Atualmente existe um considerável debate sobre qual o valor que este expoente pode assumir (ex. $b = 0,66$; $b = 0,75$ ou $b > 0,75$) [11,53,55,56,60-62], sendo este expoente altamente específico de uma determinada amostra. Estudos com crianças demonstram que este expoente pode variar de $b = 0,37$ a $b = 1,17$ [37,53], com valor médio de $b = 0,83$ [53]. Tem sido sugerido que o tamanho da amostra, a composição corporal, o somatotipo, treinamento e o sexo podem ser responsáveis pela grande variação nos valores dos expoentes alométricos em crianças [53].

Vários autores têm utilizado o expoente alométrico $b = 0,75$ ($VO_{2\text{máx}} \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-0,75}\cdot\text{min}^{-1}$) a fim de realizar comparações adequadas do $VO_{2\text{máx}}$ entre jogadores de futebol de diferentes massas corporais [16,21-23,27,50,53,63]. Diversos autores concordam com esta afirmação [53,56,60,64]. Neste sentido, Chamari *et al.* [20] compararam a capacidade aeróbia de jogadores de futebol jovens e adultos utilizando um procedimento alométrico. Quando o VO_2 foi expresso de forma relativa (66,6 e 66,5 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente), os valores de adultos e jovens foram semelhantes, mas quando expresso na forma alométrica (216 e 206 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-0,72}\cdot\text{min}^{-1}$ respectivamente), foi 5% maior nos adultos do que nos jovens. Os autores concluíram

que na comparação com jovens jogadores de futebol, o $VO_{2\text{máx}}$ de adultos era subestimado e a economia de movimento era superestimada quando expresso na forma relativa.

Diferentemente da expressão relativa, quando o $VO_{2\text{máx}}$ é expresso na forma alométrica, este apresenta um aumento progressivo conforme avançam os estágios maturacionais. Welsman *et al.* [54] utilizaram tanto a expressão relativa como a alométrica para remover os efeitos do tamanho corporal sobre o $VO_{2\text{máx}}$ dos grupos pré-púberes ($n=24$), púberes ($n=26$) e adultos ($n=16$). A expressão relativa estava de acordo com a literatura, demonstrando que não existia diferenças significativas no $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) entre os grupos. Ao contrário, a análise alométrica ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-0,80}\cdot\text{min}^{-1}$) demonstrou um aumento progressivo do $VO_{2\text{máx}}$ entre os grupos. Estas descobertas alteram a interpretação convencional do comportamento do $VO_{2\text{máx}}$ durante o crescimento e a maturação biológica de crianças [35].

Embora a relação entre o $VO_{2\text{máx}}$ e o tamanho corporal seja bem documentada e algumas vezes mal interpretada, relativamente poucos estudos têm investigado a relação entre o $VO_{2\text{máx}}$ e a maturação biológica [11,35], principalmente em jogadores de futebol.

Malina *et al.* [17] estimaram a contribuição da experiência, do tamanho corporal e do estágio maturacional nas variações das capacidades funcionais de jogadores de futebol com idades de 13,2-15,1 anos. Os autores verificaram que a maturação biológica e o tempo de treinamento eram variáveis explicativas da resistência aeróbia em 21%.

Armstrong *et al.* [65] argumentam que os estudos que não controlaram adequadamente a massa corporal pela alometria, esta relação entre o $VO_{2\text{máx}}$ e a maturação biológica pode ser obscurecida pelo uso inapropriado da normalização dos valores pela expressão relativa a massa corporal ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Os autores verificaram o $VO_{2\text{máx}}$ de 93 meninos e 83 meninas de 12 anos de idade e constataram que o $VO_{2\text{máx}}$ expresso na forma relativa permanecia constante com a maturação. Quando os dados eram expressos na forma alométrica, o $VO_{2\text{máx}}$ apresentava um aumento com a maturação em ambos os sexos e uma significativa influência da maturação biológica foi observada.

Claramente, a expressão tradicional (VO_2/massa) falha em remover totalmente os efeitos da massa corporal, sendo inapropriado para estudos epidemiológicos que desejam comparar o $VO_{2\text{máx}}$ entre grupos (ex. ativos e inativos ou crianças e adultos) que são associados ao tamanho corporal [10,54]. Atualmente, muitos autores concordam que os modelos alométricos são os mais indicados para ajustar corretamente o $VO_{2\text{máx}}$ à massa corporal [10-12,16,20-23,27,50,54,56,64,66-70].

Limiar anaeróbio em jovens jogadores de futebol

Embora o metabolismo aeróbio seja predominante na ressíntese de energia durante uma partida de futebol, as ações

mais importantes são desempenhadas por meio do metabolismo anaeróbio. A liberação de energia via metabolismo anaeróbio é exigida principalmente na execução de *sprints*, saltos e disputas pela bola. Estas ações são cruciais para o resultado da partida [71].

O padrão de lactato durante uma partida de futebol tem apresentado maiores valores no 1º tempo (4,1-7,0 mmol/L) do que no 2º tempo (2,7- 4,4 mmol/L) [47,49,72,73]. É importante notar que, a concentração de lactato em jogadores de futebol é largamente dependente do padrão de atividade do jogador. Realmente, tem sido apresentado que os valores de lactato são positivamente correlacionados com o aumento do trabalho realizado previamente antes da coleta de sangue [14]. McMillan *et al.* [42] têm indicado que a avaliação do lactato submáximo em jogadores de futebol pode ser utilizado com um indicador de alterações no desempenho de *endurance* em períodos específicos do treinamento. Estes autores indicam que as concentrações de lactato fixadas entre 2 e 4 mmol.L⁻¹ podem ser utilizadas para avaliar as respostas aeróbias de jogadores de futebol.

Os valores de LAn também podem ser expressos de várias maneiras, como por exemplo o método ventilatório (LV₂), %FC_{máx}, %VO_{2máx} ou ainda a valores correspondentes a FC (bpm) e VO₂ (ml.min⁻¹, ml.kg⁻¹.min⁻¹, ml.kg^{-0,75}.min⁻¹). Os valores de LV₂ em jogadores de futebol são compreendidos entre aproximadamente 80% e 90% da FC_{máx} [18,22,23,28,29]. Quando o LV₂ é expresso em %VO_{2máx}, Hoff *et al.* [50] verificaram que este correspondia a 75% em jogadores com 22 anos de idade. Chamari *et al.* [20] identificaram que o LV₂ correspondia a 88,8% e 90,1% para jogadores com 14 e 17 anos de idade respectivamente [22]. Helgerud *et al.* [23] demonstraram que este valor correspondia a 82,4 ± 3,1% em jogadores com 18 anos de idade.

Identificamos uma limitação de estudos que verificaram os limiares ventilatórios (LV₁ e LV₂) em jovens jogadores de futebol, visto que, a intensidade de trabalho médio, mensurada como %FC_{máx} durante os 90 minutos de uma partida de futebol é muito próxima do LV₂. Curiosamente, não encontramos nenhum estudo verificando o comportamento do LV₁ e LV₂ durante a maturação biológica em jogadores de futebol e nem se esta exerce algum efeito sobre o mesmo. Assim, a discussão sobre este tópico torna-se limitada.

Klentrou *et al.* [74] compararam os limiares ventilatórios entre adultos e crianças praticantes de futebol. Quando os limiares ventilatórios eram expressos em %VO_{2máx}, os valores correspondiam 64,9 ± 7,1% e 57,7 ± 8,0 para LV₁ e 80,0 ± 3,8 e 77,3 ± 5,1 para LV₂ em crianças e adultos respectivamente. Foi verificado que as crianças apresentavam um LV₁ significativamente superior e LV₂ semelhante ao dos adultos. Os autores atribuíram estas diferenças ao menor potencial enzimático da via glicolítica e ao padrão ventilatório em resposta ao exercício.

Outras possíveis explicações acerca das diferenças nos limiares ventilatórios (LV₁ e LV₂) e VO_{2máx} dos jovens jo-

gadores de futebol poderiam ser atribuídas a alterações no padrão de utilização de substrato, metabolismo enzimático, distribuição do tipo de fibras musculares e aos estoques de glicogênio muscular.

Maturação biológica, VO_{2máx} e LAn - perspectivas para o treinamento do futebol

O desempenho no futebol é multifatorial e suas atividades físicas são de características intermitentes. A corrida é a atividade predominante, mas exercícios de explosão como *sprints*, saltos, marcação e chute são fatores importantes para o desempenho no futebol de alto nível [15]. Jogadores de futebol percorrem em uma partida cerca de 9-12 km [23,44-46]. As atividades realizadas no jogo são aproximadamente de 10-20 *sprints*, que ocorrem aproximadamente a cada 90s e tem duração média de 2-4 s [47], corridas de alta intensidade a cada 70 s, cerca de 15 desarmes e 50 envoltimentos com bola, além de mudanças de direção e grande esforço muscular para manter o equilíbrio e o controle de bola contra a pressão do adversário [47].

Entretanto, os atletas necessitam recuperar suas reservas energéticas em pequenos intervalos de tempo ou ainda durante exercício de baixa intensidade. Durante este período, os níveis de ATP e PCr são restaurados em 70% em aproximadamente 30 s e totalmente restaurados dentro de aproximadamente 3 a 5 minutos [75]. Como no futebol uma atividade de alta intensidade ocorre aproximadamente a cada 70 s, o metabolismo anaeróbio poderia ser necessário para suprir estas demandas energéticas. A consequência metabólica é um aumento das concentrações H⁺, diminuição do pH, aumento das concentrações de lactato, que podem afetar o desempenho dos jogadores [75].

Tem sido sugerido que uma elevada capacidade aeróbia melhora a recuperação entre os exercícios intermitentes de alta intensidade, provavelmente por remover mais rapidamente o lactato sanguíneo e restaurar os níveis de ATP-PCr. Este fato demonstra a importância de um atleta possuir um elevado VO_{2máx} e LAn. Provavelmente, estes atletas conseguiriam suportar exercícios de alta intensidade com uma menor parcela de energia proveniente da via anaeróbia, assim diminuindo as contrações de lactato e H⁺, resultando em uma melhor manutenção do desempenho físico.

As adaptações induzidas pelo treinamento aeróbio têm sido extensivamente estudadas em adultos, entretanto, existem muitas controvérsias em relação às respostas do treinamento aeróbio em crianças e adolescentes. Tem sido sugerido que crianças não são aptas a aumentarem seu VO_{2máx} com o treinamento aeróbio, principalmente antes da puberdade, ao contrário, tem sido verificado efeitos positivos do treinamento em crianças pré-púberes [76,77].

Baquet *et al.* [76] analisaram os procedimentos aplicados à prescrição e aos métodos de treinamento para verificarem o real impacto que o treinamento aeróbio exerce sobre o VO_{2máx}

de crianças e adolescentes. Os autores excluíram os estudos que não atendiam a certos critérios como, ausência de grupo controle, procedimentos estatísticos inadequados, tamanho amostral insuficiente, protocolo de treinamento inapropriado, populações especiais e estudos que não apresentavam os dados sobre $VO_{2\text{máx}}$. Foi levado em consideração o controle da maturação biológica, constituição dos grupos, consistência entre o treinamento e os procedimentos, sendo que dos 51 estudos analisados, 21 apenas foram selecionados. Os resultados de maneira geral sugerem que o treinamento aeróbio aumenta o $VO_{2\text{máx}}$ de 5-6% em crianças e adolescentes independentemente de sexo ou estágio maturacional. Quando somente os estudos que apresentavam um significativo efeito do treinamento aeróbio eram considerados, o $VO_{2\text{máx}}$ aumentava de 8-10%. Os autores sugerem que as intensidades de treinamento sejam superiores a 80% da $FC_{\text{máx}}$ para esperar um aumento significativo do $VO_{2\text{máx}}$ em crianças e adolescentes.

Mais especificamente no futebol, McMillan *et al.* [21] verificaram que após 10 semanas de treinamento aeróbio específico para o futebol (90-95% $FC_{\text{máx}}$), o $VO_{2\text{máx}}$ aumentava de 63,4 para 69,8 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ em 11 jogadores (16,9 anos), sem que ocorresse prejuízos no desempenho de força, saltos ou *sprints*.

Assumindo o pressuposto que crianças e adolescentes respondem positivamente ao treinamento aeróbio, onde aumentos no $VO_{2\text{máx}}$ de 5-10% têm sido verificados, este fato demonstra que o treinamento aeróbio é um componente importante para o desempenho do futebol moderno. Recentemente, tem sido apresentado que um aumento de 11% no $VO_{2\text{máx}}$ após 8 semanas de treinamento com jovens jogadores de futebol, reflete um incremento de 20% na distância percorrida total de uma partida, aumento de 23% nos envoltimentos com bola e um aumento de 100% no número de *sprints* realizados por cada jogador [23]. Estas são algumas das vantagens que demonstram a relação entre uma alta capacidade aeróbia e desempenho no futebol moderno [16].

A maturação biológica exerce um claro efeito sobre o $VO_{2\text{máx}}$ de jovens jogadores de futebol, sendo importante o seu controle, pois a maturação biológica é relacionada com o desempenho físico e atletas mais avançados no processo maturacional possuem níveis maiores de força, potência e capacidade aeróbia em relação aos indivíduos menos avançados.

Recentemente, um efeito da maturação biológica sobre as habilidades específicas do futebol tem sido constatado em jovens jogadores de futebol [78,79]. Malina *et al.* [79] verificaram que a maturação biológica tem efeito positivo sobre as habilidades específicas do futebol, como o controle da bola, controle da bola com a cabeça, drible em velocidade com passe e chute. Os autores concluíram que indivíduos mais avançados no processo maturacional apresentam um melhor desempenho nestas 4 habilidades específicas. Este fato tem grande impacto na detecção de talentos, pois se a maturação biológica não for controlada, indivíduos com processo maturacional mais lento geralmente serão excluídos

e indivíduos mais adiantados no processo maturacional serão favorecidos [33,34].

Visto que, o limiar anaeróbio é o indicador mais sensível às repostas do treinamento aeróbio e que a intensidade de trabalho médio, mensurada como % $FC_{\text{máx}}$ durante os 90 minutos de uma partida de futebol é muito próxima deste limiar. Torna-se importante desenvolver esta variável com o treinamento, pois quanto mais elevado for o LV_2 , maior será a intensidade que o atleta poderá manter durante jogo sem a contribuição do metabolismo anaeróbio, conseqüentemente, diminuindo as contrações de lactato e H^+ , resultando em uma melhor manutenção do desempenho físico.

Conclusão

O futebol é um esporte de desempenho multifatorial, sendo necessário conhecer o comportamento do $VO_{2\text{máx}}$ e do LAn durante o processo maturacional de jovens jogadores de futebol, visto que o $VO_{2\text{máx}}$ é considerado o melhor indicador de capacidade aeróbia e o LAn é considerado o indicador mais sensível às alterações do condicionamento aeróbio em resposta ao treinamento. A expressão tradicional ($VO_{2\text{máx}}$ $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) falha em remover totalmente os efeitos da massa corporal, ocultando os efeitos da maturação biológica sobre o $VO_{2\text{máx}}$, dificultando assim a comparação entre jovens jogadores de diferentes tamanhos corporais.

A maturação biológica deve ser controlada durante o treinamento de futebol, principalmente no processo de detecção de talentos, pois influencia o $VO_{2\text{máx}}$, LAn e as capacidades técnicas dos jovens jogadores.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro a este trabalho.

Referências

1. Armstrong N, Welsman JR, Williams CA, Kirby BJ. Longitudinal changes in young people's short-term power output. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(6):1140-5.
2. Obert P, Mandigout M, Vinet A, Courteix D. Effect of a 13-week aerobic training programme on the maximal power developed during a force-velocity test in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med* 2001;22(6):442-6.
3. Ratel S, Duche P, Hennegrave A, Van Praagh E, Bedu M. Acid-base balance during repeated cycling sprints in boys and men. *J Appl Physiol* 2002;92(2):479-85.
4. Keefer DJ, Tseh W, Caputo JL, Craig IS, Martin PE, Morgan DW. Stability of running economy in young children. *Int J Sports Med* 2000;21(8):583-5.
5. Kaczor JJ, Ziolkowski W, Popinigis J, Tarnopolsky MA. Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. *Pediatr Res* 2005;57(3):331-5.
6. Armstrong N, Kirby BJ, McManus AM, Welsman JR. Prepubescent's ventilatory responses to exercise with reference to sex and body size. *Chest* 1997;112(6):1554-60.

7. Danis A, Kyriazis Y, Klissouras V. The effect of training in male prepubertal and pubertal monozygotic twins. *Eur J Appl Physiol* 2003;89(3-4):309-18.
8. Geithner CA, Thomis MA, Vanden Eynde B, Maes HH, Loos RJ, Peeters M, et al. Growth in peak aerobic power during adolescence. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(9):1616-24.
9. Armstrong N, Welsman JR. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol* 2001;85(6):546-51.
10. Nevill A, Rowland T, Goff D, Martel L, Ferrone L. Scaling or normalising maximum oxygen uptake to predict 1-mile run time in boys. *Eur J Appl Physiol* 2004;92(3):285-8.
11. Armstrong N, Welsman JR, Nevill AM, Kirby BJ. Modeling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11-13 yr olds. *J Appl Physiol* 1999;87(6):2230-6.
12. Eisenmann JC, Pivarnik JM, Malina RM. Scaling peak VO₂ to body mass in young male and female distance runners. *J Appl Physiol* 2001;90(6):2172-80.
13. Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 2004;34(3):165-80.
14. Bangsbo J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 1994;619:1-155.
15. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 2001; 22(1):45-51.
16. Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 2004;38(3):285-8.
17. 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(5-6):555-62.
18. Stroyer J, Hansen L, Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(1):168-74.
19. Castagna C, D'Ottavio S, Abt G. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res* 2003;17(4):775-80.
20. Chamari K, Moussa-Chamari I, Boussaidi L, Hachana Y, Kaouech F, Wisloff U. Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med* 2005;39(2):97-101.
21. McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med* 2005;39(5):273-7.
22. Chamari K, Hachana Y, Ahmed YB, Galy O, Sghaier F, Chatard JC, et al. Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med* 2004;38(2):91-6.
23. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(11):1925-31.
24. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(6):1042-7.
25. Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engerbretsen L, Bahr R. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(2):278-85.
26. Drust B, Reilly T, Cable NT. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci* 2000;18(11):885-92.
27. Wisloff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(3):462-7.
28. Bunc V, Psotta R. Physiological profile of very young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2001;41(3):337-41.
29. Casajus JA. Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2001;41(4):463-9.
30. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci* 2000;18(9):669-83.
31. Williams AM, Reilly T. Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci* 2000; 18(9):657-67.
32. Baxter-Jones A, Eisenmann J, Sherar B. Controlling for maturation in Pediatric Exercise Science. *Pediatric Exerc Sci* 2005;17:18-30.
33. Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, et al. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci* 2006;24(3):221-30.
34. 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 Sports Sci* 2000; 18(9):685-93.
35. Armstrong N, Welsman JR. Development of aerobic fitness during childhood and adolescence. *Pediatric Exerc Sci* 2000;12:128-49.
36. Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev* 1994;22: 435-76.
37. Beunen G, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Thomis M, Lefevre J, Malina RM, et al. Intraindividual allometric development of aerobic power in 8- to 16-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(3):503-10.
38. Hansen L, Klausen K. Development of aerobic power in pubescent male soccer players related to hematocrit, hemoglobin and maturation. A longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness* 2004;44(3):219-23.
39. Åstrand PORK, Dahl HA, Sigmund B. Textbook of work physiology: physiological bases of exercise. Champaign: Human Kinetics; 2003.
40. Edwards AMCN, Macfadyen AM. Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *J Sports Sci Med* 2003;2:23-9.
41. Hebestreit H, Staschen B, Hebestreit A. Ventilatory threshold: a useful method to determine aerobic fitness in children? *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(11):1964-9.
42. McMillan K, Helgerud J, Grant SJ, Newell J, Wilson J, Macdonald R, et al. Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *Br J Sports Med* 2005;39(7):432-6.
43. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 2005;35(6):501-36.
44. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003;21(7):519-28.
45. Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JE, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40(2):162-9.

46. Thatcher R, Batterham AM. Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2004;44(1):15-22.
47. Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 1991;16(2):110-6.
48. Mohr M, Krstrup P, Nybo L, Nielsen JJ, Bangsbo J. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports* 2004;14(3):156-62.
49. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci* 2005;23(6): 593-9.
50. Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 2002;36(3):218-21.
51. Esposito F, Impellizzeri FM, Margonato V, Vanni R, Pizzini G, Veicsteinas A. Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *Eur J Appl Physiol* 2004;93(1-2):167-72.
52. Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev* 1985;13:503-38.
53. Rowland TW. Children's exercise physiology. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 2005.
54. Welsman JR, Armstrong N, Nevill AM, Winter EM, Kirby BJ. Scaling peak VO₂ for differences in body size. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28(2):259-65.
55. Nevill AM, Bate S, Holder RL. Modeling physiological and anthropometric variables known to vary with body size and other confounding variables. *Am J Phys Anthropol* 2005; Suppl 41: 141-53.
56. Heil DP. Body mass scaling of peak oxygen uptake in 20- to 79-yr-old adults. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(12):1602-8.
57. Nevill AM, Holder RL. Scaling, normalizing, and per ratio standards: an allometric modeling approach. *J Appl Physiol* 1995;79(3):1027-31.
58. Nevill AM, Ramsbottom R, Williams C. Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;65(2):110-7.
59. Welsman JR, Armstrong N. Statistical techniques for interpreting body size-related exercise performance during growth. *Pediatr Exerc Sci* 2000;12:112-27.
60. Agutter PS, Wheatley DN. Metabolic scaling: consensus or controversy? *Theor Biol Med Model* 2004;1:13.
61. Suarez RK, Darveau CA, Childress JJ. Metabolic scaling: a many-splendoured thing. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 2004;139(3):531-41.
62. Batterham AM, Jackson AS. Validity of the allometric cascade model at submaximal and maximal metabolic rates in exercising men. *Respir Physiol Neurobiol* 2003;135(1):103-6.
63. Bergh U, Sjodin B, Forsberg A, Svedenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23(2):205-11.
64. Sjodin B, Svedenhag J. Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;65(2): 150-7.
65. Armstrong N, Welsman JR, Kirby BJ. Peak oxygen uptake and maturation in 12-yr olds. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(1):165-9.
66. Batterham AM, Tolfrey K, George KP. Nevill's explanation of Kleiber's 0.75 mass exponent: an artifact of collinearity problems in least squares models? *J Appl Physiol* 1997;82(2):693-7.
67. Nevill AM, Holder RL, Baxter-Jones A, Round JM, Jones DA. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J Appl Physiol* 1998;84(3):963-70.
68. Batterham AM, Vanderburgh PM, Mahar MT, Jackson AS. Modeling the influence of body size on V(O₂) peak: effects of model choice and body composition. *J Appl Physiol* 1999; 87(4):1317-25.
69. Nevill AM, Brown D, Godfrey R, Johnson P, Romer L, Stewart AD, et al. Modeling maximum oxygen uptake of elite endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(3):488-94.
70. Buresh R, Berg K. Scaling oxygen uptake to body size and several practical applications. *J Strength Cond Res* 2002;16(3):461-5.
71. Wragg CB, Maxwell NS, Doust JH. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol* 2000;83(1):77-83.
72. Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci* 1994;12:S5-12.
73. Capranica L, Tessitore A, Guidetti L, Figura F. Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *J Sports Sc.* 2001;19(6):379-84.
74. Klentrou P, Nishio ML, Plyley M. Ventilatory breakpoints in boys and men. *Pediatric Exerc Sci* 2006;18:216-25.
75. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001;31(1):1-11.
76. Baquet G, van Praagh E, Berthoin S. Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med* 2003;33(15):1127-43.
77. Rowland TW. Aerobic response to endurance training in pre-pubescent children: a critical analysis. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17(5):493-7.
78. Malina RM, Ribeiro B, Aroso J, Cumming SP. Characteristics of youth soccer players 13-15 years classified by skill level. *Br J Sports Med* 2007;41(5):290-5.
79. 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 Sports Sci* 2005;23(5):515-22.

Anexo V

ARTIGO DE REVISÃO

DOI: 10.5007/1980-0037.2011v13n6p468

Normalização da força e torque muscular em crianças e adolescentes

Normalization of muscle strength and torque in children and adolescents

Giovani dos Santos Cunha ^{1,2}
Marco Aurélio Vaz ¹
Álvaro Reischak de Oliveira ¹

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Educação Física. Laboratório de Pesquisa do Exercício. Porto Alegre, RS. Brasil

2 Faculdade Sogipa de Educação Física. Porto Alegre, RS. Brasil

Recebido em 15/02/11
Revisado em 13/05/11
Aprovado em 15/06/11



Licença: Creative Commons

Resumo - Os métodos tradicionais de normalização dos dados de força muscular (FM) e torque muscular (TM) têm sido considerados inadequados para ajustar apropriadamente os efeitos da massa corporal em crianças e adultos. A alometria tem demonstrado ser o método mais eficiente para comparar indivíduos de diferentes dimensões corporais. Entretanto, os valores que o expoente alométrico pode assumir para FM e TM ainda são controversos e dependem de diversos fatores relacionados à composição corporal, sexo, idade, tipo de contração e modalidade esportiva. O volume muscular (VM), atualmente, tem demonstrado ser a variável emergente para a normalização dos dados de FM e TM.

Palavras-chave: Crianças; Força muscular; Torque.

Abstract - Traditional methods of normalization of muscle strength (MS) and muscle torque (MT) have been considered inadequate to properly adjust the effects of body mass in children and adults. Allometry has proved to be the most efficient method to compare individuals of different body dimensions. However, the values that the allometric exponent may show for MS and MT are still controversial and depend on many factors related to body composition, sex, age, type of contraction, and type of sport. Muscle volume (MV) has been suggested as the emerging variable for normalization of MS and MT.

Key words: Muscle strength; School children; Torque.

INTRODUÇÃO

O treinamento de força tem sido considerado efetivo e seguro para o desenvolvimento da força muscular (FM) em crianças e adolescentes¹. Testes de FM têm sido extensivamente utilizados no esporte e na educação física com o objetivo de fornecer valores normativos (perfil atlético), detecção de talentos, distinção entre diferentes níveis de desempenho ou avaliar adaptações ao treinamento². A FM tem um papel importante para o desempenho esportivo, pois melhora a velocidade de execução de habilidades técnicas específicas e também é importante para estabilizar as articulações em diversas situações esportivas, auxiliando na prevenção de lesões².

Durante a infância e a adolescência, a FM absoluta apresenta um aumento progressivo^{3,4}. Esse aumento é atribuído, principalmente, a mecanismos neurais, como o aumento no recrutamento e na frequência de ativação de unidades motoras¹. Contudo, durante o processo de maturação biológica, modificações no tamanho, massa e composição corporal influenciam esse comportamento da FM^{4,6}. Por esse motivo, tem sido postulado que o melhor período para o treinamento e desenvolvimento da FM seria durante o processo maturacional. Especificamente, o melhor período para o desenvolvimento da FM seria de 12-18 meses após o pico de velocidade da estatura para meninos e, imediatamente após a menarca, para meninas⁷.

Entretanto, essa teoria deve ser interpretada com cautela, pois quando mensuramos a FM na população pediátrica, a idade, o sexo, a maturação biológica e o tamanho corporal são variáveis intervenientes. Assim, esse aumento da FM observado durante o processo maturacional poderia ser um efeito de escala, resultado de uma incorreta normalização dos dados. Desta forma, é extremamente importante que o efeito do tamanho corporal sobre os dados de FM e torque muscular (TM) seja devidamente normalizado. Caso contrário, não será possível definir se as alterações na FM e TM são devidas ao crescimento, à maturação biológica, ao treinamento, à composição corporal ou a uma interação entre esses fatores.

Historicamente, esse efeito do tamanho corporal sobre a FM e TM tem sido controlado por uma simples divisão do valor da FM absoluta pela massa corporal (MC) em quilogramas (kg), conhecida como expressão padrão (FM/MC). A MC foi escolhida como variável de normalização porque geralmente apresenta altos valores de correlação

com a FM e TM. Entretanto, nos últimos anos, esse método de normalização tem sido extensivamente criticado, pois a relação entre MC e FM não tem demonstrado ser linear, com os valores de FM aumentando em uma menor proporção do que a MC⁸⁻¹¹. Caso esse comportamento seja observado, a expressão padrão torna-se inapropriada para ajustar adequadamente os efeitos da MC sobre a FM e TM.

Na tentativa de realizar comparações adequadas entre indivíduos heterogêneos em tamanho corporal, outras variáveis de normalização da FM e TM têm sido propostas, como a utilização do índice de massa corporal (IMC), massa livre de gordura (MLG), área de secção transversa (AST) e volume muscular (VM)^{3,12-14}. Adicionalmente, muitos estudos têm indicado a alometria como método mais apropriado para ajustar os efeitos da MC sobre a FM¹⁵⁻¹⁸ ou TM¹⁹⁻²⁴. Essa metodologia é baseada na aplicação da equação alométrica ($Y=aX^b$), que estabelece um índice que permite comparar indivíduos heterogêneos em tamanho e composição corporal.

Por todo o exposto, a presente revisão tem como objetivo apresentar uma revisão crítica em relação aos métodos de normalização dos dados de FM e TM em crianças e adolescentes, bem como sugerir recomendações para a normalização dessas variáveis.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os artigos dessa revisão foram selecionados a partir das bases de dados PubMed e Scopus. Foram incluídos artigos publicados na íntegra, no período entre 1980 e 2011, que apresentavam as palavras chave *allometric*, *strength*, *torque*, *children*, *normalizing*, *biological maturation* e suas possíveis combinações. Fontes adicionais foram obtidas através das referências encontradas nos artigos primários.

VARIÁVEIS TRADICIONAIS DE NORMALIZAÇÃO DA FM E TM

A FM tem sido definida como a força máxima (N) ou o torque máximo (Nm) desenvolvido durante uma contração voluntária máxima (CVM) em dada condição¹⁸.

Diversos fatores afetam os resultados de FM e TM. Entre eles, podemos citar fatores relacionados aos participantes (sexo, idade, estágio maturacional, composição corporal e nível de condicionamento físico)^{5,6}, à arquitetura muscular (ângulo de penação,

comprimento do fascículo, espessura muscular e VM)^{13,14}, a aspectos metodológicos (tipo de contração muscular, estabilidade, correção da gravidade e sequência do protocolo de teste)^{5,18}, a fatores neuromusculares (ativação e coativação de agonistas e antagonistas)^{5,12}, e outros relacionados à inconsistência das variáveis utilizadas para a normalização dos dados (MC, IMC, MLG, AST e VM)^{3,12,14}.

Embora os efeitos do tamanho e da composição corporal sobre os valores de FM e TM sejam conhecidos, a normalização dos dados tem sido inconsistente. Por exemplo, alguns estudos têm apresentado dados de FM não normalizados pelo tamanho corporal^{125,26}, normalizados por expressões padrões (FM/estatura, FM/IMC, FM/MLG) ou normalizados por vários métodos diferentes para a mesma série de dados (MC, MLG, AST e VM)^{12,27}.

Outras maneiras de normalizar os dados de FM e TM têm sido baseadas na teoria da similaridade geométrica, em que se afirma que o corpo humano tem a mesma forma, variando somente em tamanho corporal. Dessa forma, a FM deveria ser proporcional à estatura ao quadrado (E²). Assim, qualquer área de um objeto geometricamente similar é, em princípio, proporcional ao volume corporal ou a MC elevados na potência de dois terços ($V/2/3$, $MC/2/3$)¹⁹. Entretanto, as descobertas dessa teoria, que foram baseadas a partir de um músculo hipotético, têm sido estendidas diretamente para a normalização dos dados de FM e TM, o que dificulta ainda mais a comparação dos resultados de diferentes estudos.

Por muitos anos tem sido postulado que a produção de FM é diretamente dependente da AST e, por esse motivo, a normalização da FM pela AST (FM/AST) tem sido considerada o método padrão ouro^{12,28,29}. Entretanto, a normalização FM/AST também tem demonstrado ser inconsistente. Algumas justificativas poderiam ser atribuídas aos diferentes métodos de determinação da AST, ao sexo, à idade e ao nível de condicionamento físico, mas, principalmente, porque essa relação direta entre FM e AST muitas vezes não tem sido observada^{16,29}. Para exemplificar essa inconsistência, Maughan et al.³⁰ compararam a FM/AST nos extensores do joelho em dois grupos de atletas de elite (velocistas e maratonistas) e um grupo controle. Os resultados revelaram que os velocistas ($9,9 \pm 0,9$ N/cm²) eram significativamente ($p < 0,01$) mais fortes do que os maratonistas ($8,8 \pm 0,5$ N/cm²) e semelhantes ao grupo controle ($9,5 \pm 1,4$ N/cm²), não existindo diferenças na AST entre os grupos. O resultado mais curioso foi que os sujeitos do grupo

controle apresentaram maiores valores individuais de FM/AST do que o grupo de atletas ($13,6$ N/cm² vs $11,4$ N/cm²). Especificamente em crianças, a AST não tem demonstrado ser uma variável explicativa da FM³, além de não aumentar na mesma proporção que a FM⁵.

Na tentativa de encontrar um método que permita comparar adequadamente indivíduos de diferentes idades, sexo e composição corporal, diversos estudos têm indicado a alometria como método de normalização mais adequado para os dados de FM e TM^{10,18,21,23}. A tabela 1 apresenta, em resumo, os principais estudos que utilizaram a alometria para normalização os dados de FM e TM.

UTILIZAÇÃO DA ALOMETRIA PARA NORMALIZAÇÃO DE DADOS BIOLÓGICOS

A alometria é o método matemático que expressa a medida à qual uma variável (seja anatômica, fisiológica, física ou temporal) é relacionada com uma unidade de tamanho corporal⁴.

A análise alométrica pode ser descrita pela equação $Y = aX^b$, em que Y é a variável dependente e X a variável independente (geralmente MC em kg). Essa equação possui dois termos importantes, o coeficiente de proporcionalidade "a" e o expoente alométrico "b". Esses dois termos podem ser identificados por meio de uma análise de regressão linear após convertermos os valores de X e Y para logaritmo. Assim, temos a equação $\log Y = \log a + b \log X$. O coeficiente de proporcionalidade "a" pode ser utilizado para comparar a magnitude das forças. O expoente alométrico "b" indica a extensão e a direção da relação entre a variável dependente Y e a variável independente X. O expoente alométrico "b" pode apresentar diferentes valores, tanto positivos como negativos, dependendo da relação a ser observada. Além disso, caracteriza de forma descritiva a relação entre as alterações da variável dependente Y e a variável independente X³¹.

Do ponto de vista esportivo, muitos estudos têm utilizado a alometria para normalizar diversas variáveis, como o VO₂max e limiar anaeróbio^{32,33}, FM e TM^{8,16,18,27} e efeitos da maturação biológica^{13,14,32,33}. Entretanto, poucos estudos têm examinado diretamente a aplicação dos expoentes alométricos durante o crescimento e maturação biológica de crianças, adolescentes e jovens atletas. O quadro 1 mostra os principais estudos que utilizaram a alometria para normalização dos dados de força e torque muscular.

Quadro 1. Resumo dos estudos que utilizaram a alometria para normalização dos dados de força e torque muscular.

Estudo	Participantes	Teste	Comentários
Davies et al. ³⁴	Idosos (n=148)	TM de EJ	Recomenda MLG para a normalização.
De Ste Croix et al. ³	♂ e ♀ 10-14 anos (n=41)	TM de EJ e FJ	Sem diferença (p<0,05) entre ♂ e ♀ quando a MC é ajustada por alometria.
De Ste Croix et al. ³⁵	♂ e ♀ 8-9, 13-14 e 18-27 anos	TM de EJ e FJ	"b" varia com a idade, e, após a normalização, verificou-se diferenças entre os grupos.
Folland et al. ²³	♂ 18-30 anos (n=86)	TM e FM de EJ	Valores de "b" são menores para a FM e para indivíduos não-atletas.
Hullens et al. ²⁷	♀ obesas e não-obesas (n=253)	TM de EJ, FJ, tronco e FPM	A alometria verificou que ♀ não-obesas têm maiores valores de FM e TM.
Jaric et al. ⁹	♂ 22-47 anos (n=16)	FM, TM de EJ, FJ, EC, FC, EQ, FQ	Recomenda a alometria para normalizar FM (b=0,67) e TM (b=1).
Markovic et al. ²¹	♂ 18-26 anos (n=77)	FM e potência	Aplicação de diferentes "b" para normalizar FM (carga externa e interna); a potência não necessita de normalização pela MC.
Nevill et al. ¹⁰	♂ e ♀ 11-16 anos (n=453)	TM de EJ e FC	A alometria identificou efeito positivo adicional da idade cronológica sobre o TM em ♂.
Vanderburg et al. ²⁴	♂ e ♀ (n=205)	FPM	Recomenda normalizar FPM por "b"=0,54 para ♂ e "b"=0,48 para ♀.
Weir et al. ¹¹	Lutadores de 8-13 e 14-18 anos (n=258)	TM EJ e FJ	TM aumenta com a idade e não pode ser explicado somente pelo aumento da MLG.
Wisloff et al. ⁸	Futebolistas (n=29)	Levantamento de peso	Recomenda normalizar a FM por "b"=0,67.
Wren et al. ¹⁷	♂ e ♀ 4-16 anos (n=39)	TM de EJ, FJ, ADC, ABC, FPT e FDT	Normalização padrão falhou em ajustar o TM; recomenda o uso da alometria.
Zoeller et al. ¹⁶	♂ 23-26 anos (n=136)	FM isométrica de FC	Normalização alométrica removeu os efeitos da MC sobre os dados de FM isométrica ("b"=0,64).

FM= força muscular; TM= torque muscular; EJ= extensores do joelho; FJ= flexores do joelho; FC= flexores do cotovelo; EC= extensores do cotovelo; ADC= adutores da coxa; ABC= abdutores da coxa; FPT= flexores plantares do tornozelo; FDT= Flexores dorsais do tornozelo; "b"= expoente alométrico; MC= massa corporal; FPM= força de prensão manual; AST= área de secção transversa; ♂ = homens, ♀= mulheres; MLG= massa livre de gordura.

UTILIZAÇÃO DA ALOMETRIA PARA A NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DE FM E TM

Algumas investigações têm indicado que a FM aumenta em uma menor proporção do que o tamanho corpora¹⁸⁻¹¹. Por esse motivo, os modelos alométricos têm sido utilizados para ajustar adequadamente os efeitos do tamanho corporal sobre os dados de FM e TM^{10,11,18,23}. A identificação do expoente alométrico nos permite identificar a direta relação entre a FM ou TM com a sua variável de normalização e estabelece um índice independente do tamanho corporal.

No entanto, o valor que esse expoente alométrico (b) pode assumir tem apresentado uma grande variação, pois é dependente do tamanho amostral, da variável de normalização (MC, MLG, AST, ASTF e VM) e da forma de manifestação da força (isométrica, concêntrica e excêntrica). Nesse sentido, exercícios de FM que necessitam vencer uma resistência externa (ex.: prensão ma-

nual, agachamento, supino, rosca bíceps e tríceps) geralmente apresentam expoentes alométricos de aproximadamente b=0,67. Exercícios que suportem o peso corporal (ex.: abdominal, barra, apoio e elevação de pernas) apresentam valores negativos para b=-0,33; e exercícios de FM com componente de potência (ex.: salto vertical, salto horizontal, chute e arremessos) têm valores de b=0, ou seja, sem necessidade de normalização pela MC²¹.

Outro problema reportado é a distinção entre as formas de normalização para a FM e o TM⁹. Essa distinção é necessária, pois o torque é uma função da FM, com a vantagem biomecânica do sistema de alavanca⁵. As evidências demonstram que os métodos de normalização permanecem semelhantes para FM e TM^{27,36}, causando problemas para a normalização dos efeitos do tamanho corporal. Por outro lado, se os indivíduos testados forem geometricamente similares, o efeito da alavanca não dependerá do tamanho corporal, desde que o braço de alavanca varie proporcionalmente.

Jaric et al.⁹ propuseram a utilização de diferentes expoentes alométricos para normalizar a FM ($b=0,67$) e o TM ($b=1$). Esses autores teorizaram que o tamanho corporal pode alterar o braço de alavanca muscular e a resistência externa poderia variar na mesma proporção. Dessa forma, a força gerada poderia ser proporcional a FM, visto que esta é dependente da AST do músculo, que, por sua vez, é proporcional à MC0,67. Ao contrário, o TM depende da FM multiplicada pelo braço de alavanca do músculo (BAM), que é proporcional à MC0,33. Em vista disso, podemos expressar essas relações como $TM = FM \times BAM$, ou seja, $MC0,67 \times MC0,33 = MC1$. Assim, o expoente alométrico $b=1$ deveria ser utilizado para normalizar os dados de TM, o que teoricamente torna a normalização padrão (TM/MC) adequada. Entretanto, alguns estudos têm demonstrado que esse expoente alométrico pode variar de $b=0,77$ até $b=1,87$ em resposta a diferentes protocolos isocinéticos^{10,17,35,36}.

O valor que o expoente alométrico pode assumir para a FM e TM é outro fator que reforça a necessidade de distinção na normalização dessas variáveis. Geralmente, a FM tem apresentado menores valores de expoente alométrico do que o TM²⁷. Vanderburgh et al.²⁴ sugerem valores de expoente alométrico para a FM que variam de $0,48 < b < 0,58$, enquanto que Jaric et al.⁹ recomendam valores de $b=0,67$. Estudos com levantamento de pesos têm apresentado uma maior variação dos expoentes alométricos para FM ($0,45 < b < 0,87$). Quando analisamos o TM, esse tem apresentado consistentemente maiores valores de expoente alométrico ($0,74 < b < 1,31$)^{9,11,27,34}.

Na tentativa de elucidar esses questionamentos, Folland et al.²³ verificaram as diferenças entre FM isométrica e o TM dos extensores do joelho em 86 homens. Os resultados demonstraram que o expoente alométrico para o TM ($b=0,69$) foi consistentemente maior do que para a FM ($b=0,33$). Quando a amostra foi separada em dois grupos de acordo com o percentual de gordura (menor e maior do que 20%), os expoentes alométricos correspondiam a $b=0,45$ e $b=0,68$ para FM, e $b=0,68$ e $b=0,98$ para TM, respectivamente. Quando a MLG foi utilizada como uma variável de normalização dos dados, essa igualmente evidenciou maiores valores de expoente alométrico para o TM ($b=1,12$) do que para a FM ($b=0,76$).

Excepcionalmente, Nevill et al.¹⁰ apresentaram valores de expoente alométrico bem abaixo aos reportados pela literatura para o TM de bíceps e quadríceps ($b=0,38$ e $b=0,36$, respectivamente). Entretanto, a amostra desse estudo foi composta

de crianças, e os resultados podem ter sido afetados pelo efeito da maturação biológica.

UTILIZAÇÃO DA ALOMETRIA PARA NORMALIZAÇÃO DA FM E TM EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES

A alometria tem sido utilizada para normalizar os dados de FM e TM em crianças e adolescentes, principalmente, porque permite identificar um índice estatisticamente independente do tamanho corporal. A identificação desse índice é extremamente importante, pois os dados de FM e TM também são influenciados pela idade cronológica, sexo, treinamento e composição corporal.

Do ponto de vista do treinamento desportivo, tem sido postulado que o melhor período para desenvolver a FM seria durante o processo maturacional⁷. Essa indicação é baseada principalmente em estudos que identificaram um aumento progressivo da FM absoluta (sem normalização) de acordo com a idade cronológica e maturação biológica. A partir disso, diversos estudos utilizaram a alometria para normalizar adequadamente os dados de FM e TM, na tentativa de elucidar o real comportamento da FM em crianças e adolescentes^{3,10,24,35}.

Um dos primeiros estudos a utilizar a alometria para normalizar os dados de FM em crianças foi o de Vanderburgh et al.²⁴. Esse estudo tinha como objetivo identificar um índice que permitisse comparar a força de prensão manual entre meninos ($n=100$) e meninas ($n=105$) independentemente dos efeitos de confusão da MC. Os autores concluíram que o expoente alométrico $b=0,51$ normalizava adequadamente os dados e permitia uma comparação entre meninos e meninas independente da MC (FM/MC0,51).

De Ste Croix et al.³⁵ examinaram os efeitos da idade e do sexo sobre a FM isocinética de membros inferiores em meninos, meninas e adultos. Foram identificados os expoentes alométricos para o TM de extensores do joelho ($b=0,82$ e $b=0,85$ para homens e mulheres, respectivamente) e para o TM de flexores do joelho ($b=1$ e $b=0,96$ para homens e mulheres, respectivamente). Os resultados demonstraram que não existiam diferenças no TM absoluto (TM), relativo (TM/MC) e alométrico (TM/MCb) entre crianças e adolescentes, mas existiam diferenças entre os sexos no grupo dos adultos. Os dados sugerem que quando a MC é devidamente ajustada por alometria, a FM isocinética aumenta de acordo com a idade, e as diferenças entre os sexos não são evidentes até os 14 anos.

Wren et al.¹⁷ verificaram a aplicação de diversos métodos de normalização do TM de membro inferior em crianças. Foram utilizadas as normalizações TM/MC, TM/MCxE, TM/IMC e o modelo alométrico TM/MCb. Os resultados demonstraram que a simples normalização (TM/MC) não ajusta adequadamente os valores de TM em crianças. O modelo alométrico demonstrou ser o método mais apropriado para a normalização do TM, em que os valores dos expoentes alométricos variaram de $b=1,32$ até $b=1,87$, com um valor médio de $b=1,60$ para os seis movimentos testados. Outro estudo utilizou a alometria para examinar a influência da MLG sobre o TM em dois grupos de levantadores de peso, classificados por idade cronológica (8-13 anos vs 14-18 anos). Os resultados indicaram que a TM aumentava de acordo com a idade cronológica e não poderia ser explicado pelo aumento da MLG. O efeito da idade cronológica foi maior no grupo 8-13 anos e poderia ser devido ao desenvolvimento do sistema neuromuscular, alterações na massa muscular ou a combinação desses fatores¹¹.

Assim como a idade cronológica, a maturação biológica é considerada uma variável crítica quando analisamos a FM e o TM em crianças e adolescentes, pois o desenvolvimento do sistema nervoso e a mielinização neuromuscular só estarão totalmente completos ao final desse processo. Estudos examinando os efeitos da maturação biológica sobre a FM devem ser interpretados com muita cautela, pois esses estimam o estágio maturacional a partir da idade cronológica ou simplesmente classificam os indivíduos como sendo pré-púberes ou pós-púberes⁵. Adicionalmente, existe uma dificuldade de dissociar os efeitos da maturação biológica de outras variáveis intervenientes que causam confusão na interpretação dos dados, como a idade cronológica, a estatura e a composição corporal.

Nedeljkovic et al.⁶ verificaram o efeito da maturação biológica sobre o tamanho corporal e sua relação com o desempenho em vários testes de FM. Os resultados revelaram que existe um incremento no desempenho da FM concomitante com o aumento do tamanho corporal durante a puberdade. Esse incremento é superior aos encontrados durante a pré-puberdade e pós-puberdade. Neu et al.³⁷ analisaram o efeito da força de preensão manual em 185 mulheres e 181 homens com idades entre 6 e 23 anos. Os resultados demonstraram um aumento da AST e da FM com a idade. Como esperado, incrementos no tamanho muscular e na FM eram acelerados durante a puberdade nos homens, mas não nas mulheres, o que indica uma influência da

maturação biológica e do gênero. Contudo, quando os dados de FM específica (FM/AST) foram ajustados pelo comprimento do antebraço, a FM específica não apresentou diferenças significativas entre os gêneros e demonstrou ser independente dos efeitos dos hormônios sexuais.

Da mesma forma, De Ste Croix et al.³ determinaram que a maturação biológica não influencia independentemente o desenvolvimento da FM isocinética de extensores e flexores do joelho quando a estatura e a MC eram devidamente controladas. Os autores ressaltam a necessidade de cautela na interpretação dos dados, porque não existia uma grande variação dos estágios maturacionais. Adicionalmente, Tonson et al.¹³ verificaram o efeito do crescimento e da maturação biológica sobre a FM isométrica em 14 pré-púberes, 16 adolescentes e 16 homens. Os dados foram normalizados por AST, VM e VM estimado por antropometria. Os resultados apresentaram diferenças entre os grupos quando a FM era normalizada por AST e VM estimado; no entanto, não apresentavam diferenças quando normalizados por VM. Os autores concluíram que o VM é a melhor variável de normalização dos dados de FM durante o crescimento e maturação biológica.

O VM tem demonstrado ser essencial para analisarmos o desempenho muscular e suas adaptações em resposta ao treinamento, desuso ou envelhecimento³⁸. A máxima capacidade de geração de força do músculo é proporcional a ASTF, podendo ser estimada a partir do VM e do comprimento do fascículo (FL). Assim, o VM é um determinante de massa muscular, tornando-se um parâmetro importante para avaliar a FM do músculo³⁹. Atualmente, tem sido utilizado como uma variável de normalização da FM¹³ e do TM^{13,14,40}. Adicionalmente, essa normalização (FM/VM e TM/VM) tem sido considerada um índice de tensão específica do músculo esquelético³⁹.

RECOMENDAÇÕES PARA NORMALIZAÇÃO DA FM E TM

Existem três questões básicas que devem ser primordialmente consideradas quando comparamos os valores de FM e TM entre crianças, adolescentes e adultos.

- ^{1º} Identificar a relação dos valores absolutos de FM (geralmente kg) e TM (Nm) com a MC (kg). Para realizarmos essas análises, podemos utilizar a correlação de Pearson (figura 1). Para

utilizarmos a MC como variável de normalização, é necessário que exista uma correlação significativa com a FM e TM ($p < 0,05$). Caso contrário, a FM e TM serão consideradas independentes da MC. Geralmente esse pressuposto é atendido na maioria dos estudos.

2^a O próximo passo é verificar se a normalização padrão da FM (FM/MC) e do TM (TM/MC) é independente da MC (kg). Para isso, devemos novamente realizar uma correlação de Pearson, mas agora com os dados normalizados de FM (kg.kg^{-1}) e TM (Nm.kg^{-1}) com a MC (kg). Não havendo correlação significativa, a FM e o TM foram devidamente normalizados. Entretanto, essa expressão raramente tem demonstrado ser independente da MC, geralmente apresentando uma correlação significativa com a MC (figura 2).

3^a Para solucionar essa questão, podemos utilizar a equação alométrica $Y = aX^b$. Essa equação pode ser expressa como $\text{Log (FM ou TM)} = \text{Log } a + b \text{ Log MC}$, para dados que apresentarem grande variabilidade. Ela nos permite identificar o expoente alométrico b , que quantifica a relação entre FM ou TM e MC. Resolvemos

essa equação utilizando uma regressão linear com a FM absoluta (kg) ou TM absoluto (Nm), representando a variável dependente, e a MC (kg), a variável independente. Conhecido o valor do expoente b , utilizaremos esse valor para expressar a MC (kg) em uma função potência (ex.: MC^b). Suponhamos que o valor do expoente para a FM seja $b = 0,67$ e para o TM seja $b = 0,75$. O próximo passo é dividir o valor da FM absoluta pela $MC^{0,67}$; e, da mesma forma, dividir o valor TM absoluto pela $MC^{0,75}$, criando as expressões alométricas FM ($\text{kg.kg}^{-0,67}$) e TM ($\text{Nm.kg}^{-0,75}$). Teoricamente, agora os dados foram devidamente normalizados e identificamos um índice de normalização estatisticamente independente da MC ($p > 0,05$). A figura 3 ilustra esse procedimento.

Nesse sentido, o efeito do tamanho corporal foi devidamente ajustado e a comparação entre indivíduos heterogêneos em sexo, idade, maturação biológica, nível de condicionamento físico e composição corporal (% gordura, % massa muscular e % ósseo) podem ser comparados adequadamente.

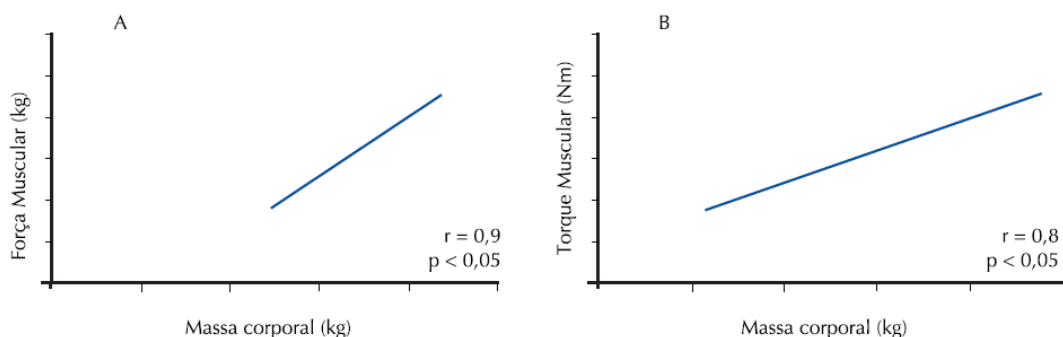


Figura 1. Regressão linear entre força muscular absoluta e massa corporal (A) e regressão linear entre torque muscular absoluto e massa corporal (B).

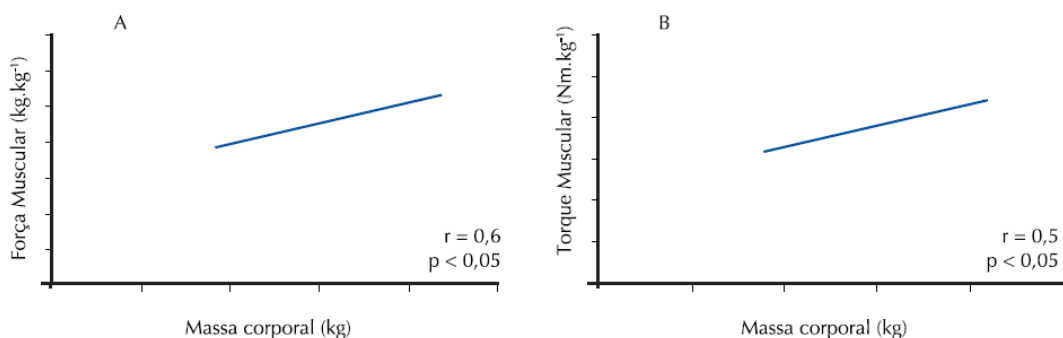


Figura 2. Regressão linear entre força muscular relativa e massa corporal (A) e regressão linear entre torque muscular relativo e massa corporal (B).

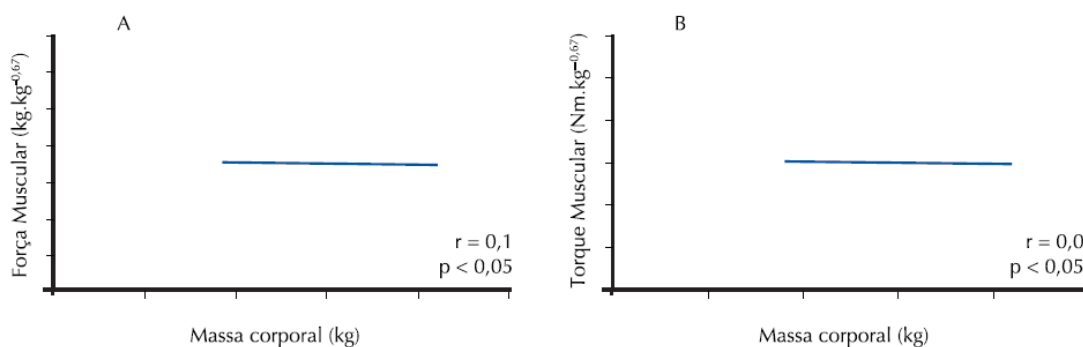


Figura 3. Regressão linear entre força muscular alométrica e massa corporal (A) e regressão linear entre torque muscular alométrica e massa corporal (B).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alometria tem demonstrado ser a metodologia mais adequada para normalizar os dados de FM e TM. Em crianças e adolescentes, essa metodologia também tem demonstrado ser a mais eficiente para a normalização dos dados, além de ser sensível para verificar os efeitos do crescimento e da maturação biológica.

Recomendamos o cálculo dos expoentes alométricos específicos para a FM e TM, verificando se esses estabelecem um índice independente do tamanho corporal.

O VM poderá assumir um papel importante na normalização da FM e TM, pois tem sido considerado superior à MC, MLG e AST como variável de normalização.

Agradecimentos

Ao CNPq, FINEP e CAPES pelo apoio financeiro a este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Malina RM. Weight training in youth-growth, maturation, and safety: an evidence-based review. *Clin J Sport Med* 2006;16(6):478-87.
- Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 2004;34(3):165-80.
- De Ste Croix MB, Armstrong N, Welsman JR, Sharpe P. Longitudinal changes in isokinetic leg strength in 10-14-year-olds. *Ann Hum Biol* 2002;29(1):50-62.
- Rowland TW. *Children's Exercise Physiology*. 2^a edition ed: Human Kinetics; 2005.
- De Ste Croix M, Deighan M, Armstrong N. Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports Med* 2003;33(10):727-43.
- Nedeljkovic A, Mirkov DM, Kukolj M, Ugarkovic D, Jaric S. Effect of maturation on the relationship between physical performance and body size. *J Strength Cond Res* 2007;21(1):245-50.
- Ford P, De Ste Croix M, Lloyd R, Meyers R, Moosavi M, Oliver J, et al. The long-term athlete development model: physiological evidence and application. *J Sports Sci* 2011;29(4):389-402.
- Wisloff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(3):462-7.
- Jaric S, Radosavljevic-Jaric S, Johansson H. Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size. *Eur J Appl Physiol* 2002;87(3):304-7.
- Nevill AM, Holder RL, Baxter-Jones A, Round JM, Jones DA. Modeling developmental changes in strength and aerobic power in children. *J Appl Physiol* 1998;84(3):963-70.
- Weir JP, Housh TJ, Johnson GO, Housh DJ, Ebersole KT. Allometric scaling of isokinetic peak torque: the Nebraska Wrestling Study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80(3):240-8.
- Klein CS, Rice CL, Marsh GD. Normalized force, activation, and coactivation in the arm muscles of young and old men. *J Appl Physiol* 2001;91(3):1341-9.
- Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Cozzone P, Bendahan D. Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(5):918-25.
- Barrett U, Harrison D. Comparing muscle function of children and adults: Effects of scaling for muscle size. *Pediatric Exercise Science* 2002;14(4):369-76.
- Huxley JS. On the relation between egg weight and body weight in birds. *J Linn Soc Zool*. 1927;36:457-66.
- Zoeller RF, Ryan ED, Gordish-Dressman H, Price TB, Seip RL, Angelopoulos TJ, et al. Allometric scaling of biceps strength before and after resistance training in men. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(6):1013-9.
- Wren TA, Engsborg JR. Normalizing lower-extremity strength data for children without disability using allometric scaling. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88(11):1446-51.

21. Jaric S. Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports Med* 2002;32(10):615-31.
22. Jaric S. Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2003;31(1):8-12.
23. Jaric S, Mirkov D, Markovic G. Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. *J Strength Cond Res* 2005;19(2):467-74.
24. Markovic G, Jaric S. Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. *Eur J Appl Physiol* 2004;92(1-2):139-49.
25. Markovic G, Jaric S. Scaling of muscle power to body size: the effect of stretch-shortening cycle. *Eur J Appl Physiol* 2005;95(1):11-9.
26. Folland JP, Mc Cauley TM, Williams AG. Allometric scaling of strength measurements to body size. *Eur J Appl Physiol* 2008;102(6):739-45.
27. Vanderburgh PM, Mahar MT, Chou CH. Allometric scaling of grip strength by body mass in college-age men and women. *Res Q Exerc Sport* 1995;66(1):80-4.
28. Baroni BM, Leal Junior EC, De Marchi T, Lopes AL, Salvador M, Vaz MA. Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. *Eur J Appl Physiol* 2010;110(4):789-96.
29. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 2001;22(1):45-51.
30. Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E, Brumagne S. Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: an allometric approach. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001;25(5):676-81.
31. Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H. Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand* 2001;172(4):249-55.
32. Jones EJ, Bishop PA, Woods AK, Green JM. Cross-sectional area and muscular strength: a brief review. *Sports Med* 2008;38(12):987-94.
33. Maughan RJ, Watson JS, Weir J. Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;50(3):309-18.
34. Schmide-Nielsen k. *Scaling: Why is animal size so important*. Cambridge :Cambridge Press; 1984.
35. Cunha GS, Célia FG, Ribeiro JL, Oliveira AR. Effects of the biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory breakpoint of Brazilian soccer players. *Gazz Med Ital - Arch Sci Med* 2008;167(2):43-9.
36. Cunha GD, Lorenzi TD, Sapata KB, Lopes AL, Gaya ACA, Oliveira AR. Effect of biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory thresholds in soccer players: An allometric approach. *J Sports Sci* iFirst published on: 16 May 2011.
37. Davies MJ, Dalsky GP. Normalizing strength for body size differences in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(5):713-7.
38. De Ste Croix MBA, Armstrong N, Welsman JR. Concentric isokinetic leg strength in pre-teen, teenage and adult males and females. *Biol Sport* 1999;16:75-86.
39. Aasa U, Jaric S, Barnekow-Bergkvist M, Johansson H. Muscle strength assessment from functional performance tests: role of body size. *J Strength Cond Res* 2003;17(4):664-70.
40. Neu CM, Rauch F, Rittweger J, Manz F, Schoenau E. Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002;283(1):E103-7.
41. Reeves ND, Maganaris CN, Narici MV. Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol* 2004;91(1):116-8.
42. Lynch NA, Metter EJ, Lindle RS, Fozard JL, Tobin JD, Roy TA, et al. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* 1999;86(1):188-94.
43. Thom JM, Morse CI, Birch KM, Narici MV. Influence of muscle architecture on the torque and power-velocity characteristics of young and elderly men. *Eur J Appl Physiol* 2007;100(5):613-9.

Endereço para correspondência

Giovani dos Santos Cunha
 Endereço: Rua Felizardo, nº 750,
 ESEF/UFRGS–LAPEX
 Porto Alegre - RS - Brasil
 Cep: 90690-200
 Email: giovanicunha@yahoo.com.br