



Avaliação muscular isocinética da articulação do joelho em atletas das seleções brasileiras infante e juvenil de voleibol masculino

Natalia Franco N. Bittencourt¹, Giovanna Mendes Amaral¹, Marco Túlio Saldanha dos Anjos², Rogério D'Alessandro³, Anderson Aurélio Silva⁴ e Sérgio Teixeira Fonseca⁵

RESUMO

O salto vertical é inerente à prática do voleibol e demanda grande capacidade de geração de força e trabalho da musculatura envolvida, principalmente do músculo quadríceps. Devido a esta demanda, desequilíbrios entre os músculos extensores e flexores podem estar presentes, levando à sobrecarga das estruturas musculotendíneas da articulação do joelho. Sendo assim, torna-se necessário o estabelecimento de parâmetros de função muscular relacionados a esta articulação em atletas de voleibol. Portanto o objetivo do presente estudo foi avaliar, através de dinamometria isocinética, torque máximo, trabalho máximo, razão agonista/antagonista e índice de fadiga de flexores e extensores de joelho em duas categorias do voleibol. Os testes isocinéticos de flexão e extensão do joelho foram realizados no modo concêntrico-concêntrico, na posição sentada, nas velocidades de 60 e 300°/s em 36 atletas (20 da categoria Infante-Juvenil e 16 da Juvenil). Os dados possibilitaram estabelecer parâmetros de função muscular da articulação do joelho em atletas das Seleções Brasileiras Infante-Juvenil e Juvenil de Voleibol Masculino do ano de 2003. Estes atletas apresentaram valores de torque máximo e trabalho máximo normalizados pela massa corporal para quadríceps superiores às médias da população de atletas e não-atletas. Quando comparadas as categorias, os atletas juvenis apresentaram significativamente valores maiores de razão agonista/antagonista e trabalho máximo de flexores de joelhos na velocidade de 60°/s. Além disso, a razão agonista/antagonista foi inferior ao valor de referência esperado em ambas as categorias, caracterizando a predominância da musculatura extensora sobre a flexora. O índice de fadiga encontra-se próximo ao esperado para a maior parte dos atletas. O presente estudo pode servir de base para comparações em futuros estudos que avaliem a função muscular isocinética de atletas de voleibol.

1. Fisioterapeuta do Laboratório de Prevenção e Reabilitação de Lesões Esportivas (LAPREV – Centro de Excelência Esportiva – CENESP da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG).
2. Fisioterapeuta do LAPREV – CENESP/UFMG, Especialista em Ortopedia e Esportes pela UFMG, Professor do Centro Universitário Newton Paiva, Mestrando em Ciências da Reabilitação pela UFMG.
3. Fisioterapeuta do LAPREV – CENESP/UFMG, Especialista em Ortopedia e Esportes pela UFMG.
4. Professor do Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, Especialista em Ortopedia e Esportes pela UFMG, Coordenador do LAPREV.
5. Professor Doutor do Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, Coordenador do LAPREV.

Recebido em 26/11/04. Versão final recebida em 24/5/05. Aceito em 17/7/05.

Endereço para correspondência: Natalia Franco Netto Bittencourt, Rua Américo Macedo, 625, apto. 101, Bairro: Gutierrez – 30430-190 – Belo Horizonte, MG. E-mail: nataliabittencourt@yahoo.com.br

Palavras-chave: Torque. Lesões no joelho. Lesões esportivas. Articulação do joelho.

Keywords: Knee injuries. Torque. Athletic injuries. Knee joint.

Palabras-clave: Esguince. Lesiones de rodilla. Lesiones deportivas. Articulación de la rodilla.

ABSTRACT

Isokinetic muscle evaluation of the knee joint in athletes of the Under-19 and Under-21 Male Brazilian National Volleyball Team

The vertical jump is a basic volleyball practice that demands a high ability to generate strength and work in the muscles involved, mainly in the quadriceps muscle. Due to such demand, muscle imbalances between extensor and flexor muscles may be present, causing an overloading on the muscle-tendinous structures of the knee joint. Thus, the establishment of normal parameters for the muscle function related to that joint in volleyball athletes is necessary. Therefore, the purpose of this study was to assess through isokinetic dynamometry the peak torque, work peak, agonist/antagonist ratio, and fatigue index of the flexor and extensor of the knee among both volleyball athlete population. The isokinetic flexion and extension tests of the knees were performed in the concentric-concentric seat mode at 60 and 300°/sec. velocity in thirty-six athletes (20 under 19-under 21, and 16 under 21). The data allowed to set the parameters for the muscle function of the knee joint among athletes of the 2003 Under 19-Under 21 and Under 21 Brazilian National Team Selection of Male Volleyball. Athletes presented peak torque and work peak values normalized by the body mass to the upper quadriceps to the mean normal values for the athletes and non-athletes populations. Compared to other categories, the under 21 athletes presented significantly higher values for the agonist/antagonist ratio, and peak work ratio of the knee flexors at 60°/sec. velocity. Furthermore, the agonist/antagonist ratio was lower than the reference value expected for both categories, thus characterizing predominance in the extensor musculature over the flexor musculature. The fatigue index was close to what would be expected for the majority of athletes. The present study may be useful as comparison basis for future studies aiming evaluate the isokinetic muscle function in volleyball players.

RESUMEN

Evaluación muscular isocinética de la articulación de la rodilla en atletas de las selecciones brasileñas infante y juveniles de voleibol masculino

El salto vertical es inherente a la práctica del voleibol y demanda la gran capacidad de generación de fuerza y trabajo de la musculatura comprendida, principalmente del músculo cuadríceps. Debido a esta demanda, los desequilibrios entre los músculos extensores y flexores pueden estar presentes, sumando a ello, la carga excesiva de las estructuras músculo-tendíneas de la articu-

lación de la rodilla. Por estos motivos resulta necesario, el establecimiento de parámetros de función muscular relacionados con esta articulación en atletas del voleibol. Por consiguiente el objetivo del estudio presente fue evaluar, a través de la dinamometría isocinética, el patrón del torque máximo, trabajo máximo, razón agonista/antagonista y el índice de fatiga de los flexores y extensores de la rodilla en dos categorías del voleibol. Los tests isocinéticos de flexión y extensión de las rodillas fueron cumplidos de la manera concéntrico-concéntrica, en la posición asiento, en las velocidades de 60 y 300°/s en 36 atletas (20 de la categoría Infanto-juvenil y 16 del juvenil). Los datos hicieron posible establecer parámetros de función muscular de la articulación de la rodilla en atletas de las Selecciones brasileñas Infanto-Juvenil y Juvenil de Voleibol Masculino del año 2003. Estos atletas presentaron los valores de torque máximo y el trabajo máximo normalizados por la masa corpórea para el cuádriceps superior a los promedios de la población de los atletas y no-atletas. Cuando se compararon las categorías, los atletas juveniles presentaron valores más grandes de relación agonista/antagonista y de trabajo del máximo de flexores de rodillas significativamente en la velocidad de 60°/s. Además de esto, la relación agonista/antagonista era inferior al valor de la referencia esperado en ambas categorías, caracterizando el predominio de la musculatura extensora sobre la flexora. El índice de fatiga está cerca de lo esperado para la mayoría de los atletas. El estudio presente puede servir así, como base para las comparaciones de estudios futuros que evalúen la función muscular isocinética en atletas del voleibol.

INTRODUÇÃO

O salto vertical tem sido apontado como um dos principais aspectos inerentes à prática do voleibol⁽¹⁻³⁾. Thissen-Milder *et al.*⁽³⁾ consideram a habilidade de salto como fator diferenciador para a *performance* dos jogadores de voleibol, uma vez que o salto é componente dos movimentos de ataque e defesa do esporte, como a cortada, o saque e o bloqueio. Dessa forma, um dos principais objetivos do treinamento é o desenvolvimento de saltos verticais cada vez mais altos pelos jogadores. A implementação de musculação e exercícios pliométricos têm sido uma das formas comuns de alcançar esses objetivos^(1,4).

O salto vertical, caracterizado por um movimento balístico de rápida ação muscular excêntrica seguida por contração concêntrica máxima, demanda grande capacidade de geração de força e trabalho da musculatura envolvida, principalmente do músculo quadríceps⁽⁵⁾. Este fundamento do esporte exige do mecanismo extensor duas funções principais: a função aceleradora, com contração concêntrica, como na fase de impulsão de um salto; e a função desaceleradora, com contração excêntrica, observada durante a fase de aterrissagem⁽⁶⁾. Devido a esta demanda sobre o mecanismo extensor, desequilíbrios entre os músculos extensores e flexores podem se fazer presentes, levando à sobrecarga das estruturas musculotendíneas em torno da articulação do joelho^(6,7).

Esta demanda específica do voleibol sobre a articulação do joelho pode estar relacionada com a grande incidência de lesões nesta articulação^(4,5). Alguns autores citam as lesões da articulação do joelho como uma das principais causas de ausência no esporte^(1,8-10). Ferretti *et al.*⁽¹⁰⁾ reportam uma incidência superior a 40% da tendinopatia patelar em jogadores de elite, sendo essa lesão a principal causa de dor anterior na articulação do joelho^(2,4). O aumento da probabilidade de lesões musculares e/ou articulares tem sido clinicamente apontado como consequência de diferenças anormais de torque entre agonistas/antagonistas e/ou grupos musculares contralaterais⁽¹¹⁾. Outro fator relacionado ao aumento da sobrecarga nas estruturas musculotendíneas da articulação do joelho pode ser o aumento da intensidade e do volume de treinamento

em jogadores de diferentes categorias. Como consequência, os atletas de categorias mais avançadas, podem apresentar maior capacidade de geração de força dos músculos flexores e extensores do joelho em relação aos jogadores mais jovens^(11,12). Este fato reforça a necessidade de identificar diferenças existentes entre atletas que estejam em diferentes níveis de prática esportiva.

A demanda imposta à articulação do joelho pela prática esportiva resulta em adaptações musculares específicas, podendo gerar desequilíbrios das forças que agem estática e dinamicamente em torno desta articulação⁽¹³⁾. Esses desequilíbrios musculares podem predispor os atletas às lesões por produzirem elevados níveis de stress nos tecidos^(11,13). Sendo assim, torna-se necessário o estabelecimento de parâmetros de função muscular relacionados a esta articulação em atletas. Para tanto, a dinamometria isocinética possibilita a quantificação rápida e confiável de variáveis relacionadas à *performance* muscular em várias velocidades, incluindo torque, trabalho, relação agonista/antagonista e índice de fadiga^(11,14). A avaliação isocinética permite ainda a identificação dos déficits na força muscular tanto entre pernas quanto entre grupos musculares agonistas e antagonistas da articulação avaliada⁽¹¹⁻¹³⁾.

Existem diversos estudos relacionados ao uso do dinamômetro isocinético em diferentes populações⁽¹¹⁻¹⁵⁾. Entretanto, existe pouca informação disponível a respeito dessas medidas em atletas de voleibol, especialmente com relação aos membros inferiores^(16,17). Portanto, os objetivos deste estudo foram estabelecer parâmetros de função muscular da articulação do joelho em atletas do sexo masculino de alto nível do voleibol, através de dinamometria isocinética, e avaliar as diferenças no desempenho muscular desta articulação e no volume de treinamento entre as categorias Infanto-Juvenil e Juvenil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sujeitos

Foram avaliados 36 atletas da elite do voleibol brasileiro, sendo 20 da Seleção Brasileira Masculina Infanto-Juvenil, com idade média de 17 (\pm 0,46), massa de 86,3 (\pm 9,1) e altura de 1,97 (\pm 0,05) e 16 da Seleção Brasileira Masculina Juvenil, com idade média de 19,5 (\pm 0,63), massa de 91,6 (\pm 6,6) e altura de 1,97 (\pm 0,06). Todos os atletas assinaram um Termo de Consentimento para a participação nos testes, os quais fizeram parte de um programa de avaliações promovido pelo Centro de Excelência Esportiva (CE-NESP-UFMG).

Instrumentação

O Dinamômetro Isocinético *Biodex 3 System Pro*[®] foi utilizado para avaliação das variáveis trabalho máximo, torque máximo de flexores e extensores de joelho normalizados pela massa corporal, razão agonista/antagonista nas velocidades de 60°/s e 300°/s e índice de fadiga muscular a 300°/s. A avaliação isocinética é caracterizada pela realização de contrações musculares, mantendo o membro em movimento sob uma velocidade constante e predefinida⁽¹⁸⁾. O dinamômetro isocinético aplica uma resistência acomodativa durante toda a amplitude de movimento⁽¹⁸⁾. Assim, um aumento da força muscular pelo indivíduo avaliado produz aumento da resistência, e não aumento da velocidade, como acontece nos exercícios isotônicos.

Procedimentos

Os atletas realizaram um aquecimento de cinco minutos em uma bicicleta ergométrica, antes de iniciar os testes isocinéticos. Em seguida os atletas foram posicionados sentados no dinamômetro com a cadeira posicionada com 85° de flexão de quadril e o eixo de movimento do equipamento foi alinhado com o epicôndilo lateral do fêmur. Os atletas foram estabilizados com cintos no tron-

co e na coxa para evitar movimentos compensatórios. A amplitude de movimento foi limitada entre 110° de flexão e 0° de extensão, em que 0° foi definido como extensão completa. Antes de iniciar o teste os atletas executaram três repetições submáximas prévias para familiarização com os procedimentos.

Durante o teste os atletas realizaram cinco repetições máximas de flexão e extensão do joelho no modo concêntrico-concêntrico na velocidade de 60°/s e 30 repetições na velocidade de 300°/s⁽¹⁸⁾. Este procedimento foi realizado bilateralmente, sendo que a escolha do primeiro membro a ser testado foi realizada de forma aleatória. A velocidade angular de 60°/s foi escolhida, pois a força muscular avaliada em baixas velocidades permite um recrutamento de um maior número de unidades motoras⁽¹³⁾, possibilitando uma melhor representação do trabalho máximo realizado pela musculatura avaliada. A velocidade de 300°/s foi selecionada para avaliar todas as variáveis na velocidade mais funcional disponível, o número de repetições realizado nesta velocidade permitiu a avaliação do índice de fadiga dos atletas⁽¹⁸⁾. Todos os atletas receberam estimulação verbal durante os testes.

Variáveis analisadas

As variáveis isocinéticas analisadas foram trabalho máximo (J) e torque máximo (Nm) de flexores e extensores de joelho normalizados pela massa corporal (J/kg e Nm/kg, respectivamente), razão agonista/antagonista nas velocidades de 60°/s e 300°/s e índice de fadiga muscular à 300°/s. A variável trabalho foi calculada como a área total sob a curva de torque durante a repetição máxima do teste. Dessa forma, o trabalho máximo é uma variável mais representativa da função muscular quando comparada à variável torque máximo, pois o trabalho máximo informa a produção de torque durante toda a amplitude da contração, enquanto o torque máximo informa o pico em apenas um ponto da amplitude total. Os valores de torque máximo e trabalho máximo foram divididos pela massa corporal e multiplicados por 100, possibilitando a normalização dos dados para comparações e agrupamentos dos indivíduos. A variável razão agonista/antagonista foi calculada através da divisão do torque máximo dos músculos flexores do joelho (isquiotibiais) pelo torque máximo dos músculos extensores de joelho (quadríceps) multiplicados por 100. A variável índice de fadiga foi calculada como a diferença em porcentagem da produção de trabalho entre as 10 primeiras e as 10 últimas repetições na velocidade de 300°/s⁽¹⁸⁾.

Análise estatística

O teste-t de Student não pareado foi utilizado para comparar os grupos nas variáveis horas de treinamento por semana e tempo de prática de voleibol. Análises de variância (ANOVA) mista com dois níveis fatoriais, sendo um entre sujeitos (categorias: infanto-juvenil e juvenil) e outro intra-sujeitos (membros dominante e não-dominante) foram utilizadas para avaliar as variáveis dependentes: trabalho máximo e torque máximo normalizados pela massa corporal dos músculos flexores e extensores de joelho, razão agonista/antagonista nas duas velocidades e índice de fadiga muscular.

Análises de contrastes foram utilizadas para localizar os pares específicos entre os quais a diferença foi significativa. O nível de significância foi estabelecido em $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS

Os resultados deste estudo demonstraram diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) entre as categorias Infanto-Juvenil e Juvenil para a variável horas de treinamento por semana. Já a variável tempo de prática no voleibol, não apresentou esta diferença ($p > 0,05$). Os valores estão descritos na tabela 1.

	Infanto-Juvenil	Juvenil	Valor p
Tempo de prática (anos)	5,95 ± 2,85	5,62 ± 1,67	> 0,05
Horas de treinamento/semana	18,4 ± 8,75	30,3 ± 5,63	< 0,0001

As análises de variância demonstraram não haver diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) entre grupos, pernas ou interação perna x grupo para as variáveis torque máximo e trabalho máximo normalizados pela massa corporal dos extensores de joelho a 60°/s e 300°/s, e índice de fadiga de extensores de joelho (tabela 2).

Já para a variável razão agonista/antagonista a 60°/s foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os membros dominante e não-dominante na categoria juvenil ($p = 0,0426$) e entre as duas categorias apenas no membro dominante ($p = 0,0247$) (tabela 3).

TABELA 2
Média e desvio-padrão de torque máximo e trabalho máximo normalizados pela massa corporal de extensores de joelho, e índice de fadiga extensores de joelho a 60°/s e 300°/s dos membros dominante e não-dominante em cada categoria

Extensão	Infanto-Juvenil				Juvenil			
	60°/s		300°/s		60°/s		300°/s	
	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND
Torque máximo (Nm/kg)	340,4 ± 42	342,8 ± 37,3	192,9 ± 21,8	190,1 ± 18,1	356,8 ± 47,7	356,1 ± 30,7	309 ± 29,3	200 ± 19,6
Trabalho máximo (J/kg)	422,1 ± 46,4	427,5 ± 42,1	205,3 ± 29,5	206,1 ± 20,6	429,1 ± 70,1	434,3 ± 41,2	205 ± 31,6	205,4 ± 19
Índice de fadiga (%)	-	-	48,5 ± 7,6	48,5 ± 5,4	-	-	47,1 ± 11,7	50,3 ± 6,0

TABELA 3
Média e desvio-padrão de razão agonista/antagonista (flexores/extensores) a 60°/s e 300°/s dos membros dominante e não-dominante em cada categoria

	Infanto-Juvenil				Juvenil			
	60°/s		300°/s		60°/s		300°/s	
	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND
Razão AG/ANT (%)	49,0 ± 5,2 ^b	47,2 ± 6,2	67,7 ± 12,0	66,8 ± 11,8	53,7 ± 9,5 ^{a,b}	49,3 ± 6,1 ^a	66,4 ± 13,2	66,6 ± 8,6

a = $p < 0,05$ entre membros dominante e não-dominante da categoria juvenil; b = $p < 0,05$ entre as duas categorias no membro dominante.

TABELA 4
Média e desvio-padrão de torque máximo e trabalho máximo normalizados pela massa corporal de flexores de joelho, índice de fadiga de flexores de joelho a 60°/s e 300°/s dos membros dominante e não-dominante em cada categoria

Flexão	Infanto-Juvenil				Juvenil			
	60°/s		300°/s		60°/s		300°/s	
	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND
Torque máximo (Nm/kg)	165,2 ± 12,8	160,8 ± 20,0	128,8 ± 16,4	125,8 ± 17,2	188,2 ± 19,3	176,7 ± 26,0	140 ± 25,0	134,7 ± 22
Trabalho máximo (J/kg)	214,6 ± 17,5 ^b	214,8 ± 32,2 ^c	109,3 ± 19,9	108,7 ± 20,7	250,3 ± 27,1 ^{a,b}	229,0 ± 31,1 ^{a,c}	122 ± 21,6	116,8 ± 21,2
Índice de fadiga (%)	-	-	60,2 ± 7,9	63,7 ± 9,4	-	-	60,1 ± 10,9	62,4 ± 10,9

a = p < 0,05 entre membros dominante e não-dominante da categoria Juvenil; b = p < 0,05 entre as duas categorias no membro dominante; c = p < 0,05 entre as duas categorias no membro não-dominante.

Além disso, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as categorias Infanto-Juvenil e Juvenil (fator grupo) para as variáveis torque máximo (p = 0,0031) e trabalho máximo (p = 0,0040) dos músculos flexores do joelho a 60°/s e diferenças estatisticamente significativas entre os membros dominante e não-dominante (fator pernas) para as variáveis torque máximo (p = 0,0077) e trabalho máximo (p = 0,0221) dos músculos flexores do joelho a 60°/s. Para o efeito interação (perna x grupo) foi encontrada diferença estatisticamente significativa apenas para a variável trabalho máximo (p = 0,0200) dos músculos flexores do joelho a 60°/s. A análise de contraste para o efeito interação (perna x grupo) revelou diferença estatisticamente significativa para trabalho máximo dos músculos flexores de joelho entre estas duas categorias (p = 0,0001 para membros dominantes; p = 0,0291 para membros não-dominantes) e entre o membro dominante e o não-dominante da categoria Juvenil a 60°/s (p = 0,0026) (tabela 4).

DISCUSSÃO

Estudos de caracterização da *performance* isocinética são frequentes na literatura esportiva^(11,13-15). Entretanto, apesar da alta incidência de lesões em membros inferiores em atletas de voleibol e da importância dada aos saltos para a aquisição de um alto nível de *performance* no esporte, foram encontrados poucos estudos sobre variáveis isocinéticas em membros inferiores para essa população^(16,17).

Dessa forma, os dados deste estudo possibilitaram estabelecer parâmetros de função muscular da articulação do joelho através da dinamometria isocinética em atletas das Seleções Brasileiras Infanto-Juvenil e Juvenil de Voleibol Masculino e podem servir como referência para futuras comparações. Em ambos os grupo, a variável torque máximo dos músculos extensores de joelho normalizado pela massa corporal apresentou valores superiores aos dados normativos para população não atleta fornecidos pelo fabricante do dinamômetro isocinético utilizado neste estudo⁽¹⁸⁾. Estes resultados estão de acordo com os achados na literatura sobre comparação de variáveis isocinéticas entre atletas e não-atletas⁽¹¹⁻¹³⁾. No caso específico do voleibol, estes resultados podem ser explicados pela grande quantidade de saltos inerente à prática do esporte. Alguns autores citam uma média de 60 saltos máximos por hora de jogo^(5,12). Além disso, Lian *et al.*⁽⁵⁾ propuseram que mais de 50% do trabalho produzido em um salto é atribuído aos extensores de joelho, o que poderia causar uma demanda muscular capaz de provocar adaptações, diferenciando os atletas dos não-atletas. Concomitantemente, atletas de alto nível são submetidos a programas de preparação física que, além dos saltos, envolvem trabalhos para ganho de força muscular, como a musculação.

Este estudo analisou diferenças nas variáveis isocinéticas entre duas categorias diferentes do voleibol (Infanto-Juvenil e Juvenil). Os resultados desta análise apontaram diferenças significativas de trabalho máximo normalizado pela massa corporal dos músculos flexores de joelho entre as categorias Infanto-Juvenil e

Juvenil de voleibol, não sendo acompanhadas por diferenças significativas de trabalho máximo normalizado pela massa corporal dos músculos extensores do joelho. Da mesma forma, Hewet *et al.*⁽¹⁶⁾ encontraram, após seis semanas de treinamento pliométrico em atletas jovens de voleibol do sexo feminino, um aumento do pico de torque apenas dos flexores de joelho. Além disso, Herzog *et al.*⁽¹⁹⁾ demonstraram que o torque máximo sobre a articulação do joelho permaneceu aproximadamente constante após aumentos sucessivos a partir de 40% da carga máxima durante exercícios de agachamento, enquanto que nas articulações do quadril e tornozelo foi detectado um aumento do torque gerado. Estes resultados parecem indicar que apesar da musculatura extensora ser considerada a principal geradora de força no salto^(5,6), variações de carga ou volume de treinamento podem levar também a um aumento da capacidade de geração de força dos músculos flexores. De acordo com estes dados, as diferenças encontradas pelo presente estudo podem estar relacionadas ao maior volume de treinamento da categoria Juvenil (média = 30,3h/semana), quando comparada a Infanto-Juvenil (média = 18,4h/semana; p < 0,0001).

Outro fator que pode estar relacionado com a diferença significativa entre a categoria Infanto-Juvenil e Juvenil encontrada para a variável trabalho máximo normalizado pela massa corporal dos músculos flexores de joelho pode ser uma modificação nos métodos de treinamento, de modo que apenas os atletas da categoria juvenil tenham sido submetidos a algum trabalho específico que priorizasse os flexores de joelho. Além disso, muitos dos atletas avaliados neste estudo já haviam sofrido lesões relacionadas à articulação do joelho (Juvenil = 31,3% e Infanto-juvenil = 17,3% – dados a serem publicados), o que condiz com dados da literatura^(1,4,5,8,9). Assim, é possível que, na presença de lesões, esses atletas tenham desenvolvido estratégias compensatórias para manter o nível de performance, de modo a priorizar a musculatura flexora como geradora de momento para os saltos. Para responder adequadamente a essas relações de causa e efeito são necessários estudos de caráter longitudinal. Dessa forma, essas questões merecem maiores esclarecimentos e devem ser objeto de estudo de futuras pesquisas na área.

Foi encontrada, também, diferença significativa de trabalho máximo em flexão a 60°/s entre os membros dominante e não-dominante da categoria juvenil, caracterizando um déficit entre pernas, de modo que o membro dominante apresentou um trabalho maior que o não-dominante nesses atletas. Esse déficit tem sido relatado por alguns estudos como fator de risco para lesões musculotendíneas da articulação do joelho^(11,13). Possíveis fatores causais para essa diferença de trabalho flexor entre membros na categoria juvenil podem ser a característica do salto, em que as forças geradas e absorvidas, respectivamente, na impulsão e na aterrissagem podem ser desiguais entre os membros inferiores devido à característica específica do movimento esportivo de ataque⁽²⁰⁾.

Os métodos utilizados para obtenção da razão agonista/antagonista são largamente discutidos na literatura^(4,21). Tradicionalmente, a razão agonista/antagonista é calculada como a razão entre os

valores de pico de torque concêntrico dos músculos flexores e o pico de torque concêntrico dos extensores de joelho. Alguns autores consideram que este método não é representativo da função muscular, pois a musculatura antagonista (músculos flexores do joelho) atuaria de forma excêntrica, durante a ação concêntrica dos músculos agonistas^(11,21). Entretanto, Baratta e Solomonow⁽²²⁾ demonstraram que a ação dos isquiotibiais como antagonista é diretamente proporcional à sua capacidade de gerar força concêntrica. Dessa forma, este estudo considerou a medida de razão agonista/antagonista no modo concêntrico/concêntrico, devido à capacidade desse método em prover informações sobre as relações das forças em torno da articulação do joelho⁽²²⁾. Além disso, para fins de comparação com outros estudos, este trabalho utiliza, como parâmetro de normalidade, os valores de referência para a razão agonista/antagonista fornecidos por Reid⁽²³⁾, de 64% na velocidade de 60°/s e 80% a 300°/s. Apesar desses valores fornecidos por Reid⁽²³⁾ não serem específicos para atletas de voleibol, optou-se pela sua utilização devido à ausência de parâmetros mais adequados na literatura.

A variável razão agonista/antagonista, nos atletas avaliados por este estudo, apresentou valores inferiores aos previstos em ambas as categorias, além de diferenças significativas entre as duas categorias quando comparados os membros dominantes e entre membros dominante e não-dominante apenas na categoria juvenil, refletindo a diferença entre pernas já citada anteriormente. Uma baixa razão agonista/antagonista indica predominância da musculatura extensora ou déficit da musculatura flexora, que podem representar um desequilíbrio muscular na articulação do joelho. Este desequilíbrio tem sido reportado como uma possível causa do aumento da sobrecarga nesta articulação, tornado-a susceptível a lesões nas inserções musculotendíneas^(2,4,8-10,24).

Colonna *et al.*⁽¹⁷⁾ avaliaram torque máximo e razão agonista/antagonista dos músculos flexores e extensores de joelho em 11 atletas da elite do voleibol na Itália. Assim como no presente estudo, foi utilizada a velocidade de 60°/s e realizada normalização da variável torque máximo pela massa corporal. Para a variável razão agonista/antagonista (flexores/extensores) nos atletas italianos foram encontradas médias de 54,7% na perna direita e de 53,7% na perna esquerda. Nos atletas brasileiros das categorias Infanto-juvenil e Juvenil, respectivamente, as médias foram de 49% e 53,7% na perna direita (dominante) e de 47,2% e 49,3% na perna esquerda (não-dominante). Ambos os estudos encontraram médias de razão agonista/antagonista abaixo de 64%, indicando um possível desequilíbrio muscular da articulação do joelho.

A variável índice de fadiga muscular não apresentou diferença significativa entre grupos ou entre membros de um mesmo grupo. É esperado que esse índice se mantenha abaixo de 50%, tanto para extensores quanto para flexores de joelho⁽¹⁶⁾, pois esta porcentagem indica que a musculatura foi capaz de manter pelo menos 50% da sua capacidade inicial de geração de trabalho ao longo das 30 repetições. Entretanto, a média dos atletas se manteve em torno desse valor para quadríceps e acima dele para isquiotibiais. Esse resultado pode indicar menor resistência à fadiga dos flexores em relação aos extensores de joelho, potencializando o risco de lesões após longos períodos de treinamentos ou competições. Não foram encontrados estudos que fizessem a análise dessa variável para fins de comparação.

Uma limitação deste estudo foi não avaliar, no modo excêntrico, as variáveis trabalho máximo e torque máximo normalizados pela massa corporal de flexores de extensores de joelho a 60 e 300°/s, razão agonista/antagonista nas duas velocidades e índice de fadiga muscular de flexores e extensores de joelho, já que o salto, atividade inerente à prática do voleibol, consiste de contração excêntrica seguida por uma contração concêntrica^(6,6,15). Este protocolo não foi utilizado, pois diversos atletas foram capazes de gerar torques excêntricos superiores àquele produzido pelo dinamômetro, impossibilitando, assim, a condução dos testes.

Na literatura ainda há controvérsia sobre a capacidade dos testes isocinéticos serem bons preditores da *performance* esportiva, pois vários estudos não encontraram relação entre variáveis isocinéticas da articulação do joelho e altura alcançada por atletas em saltos verticais^(15,17,25). Entretanto, os testes isocinéticos são amplamente utilizados por estudos em populações de atletas, pois fornecem valores objetivos, confiáveis e reproduzíveis da função muscular de diversas articulações^(11,12,14). Da mesma forma, esses testes possibilitam a avaliação de parâmetros relacionados à *performance* muscular, como força, trabalho, potência e desequilíbrios entre músculos agonistas e antagonistas^(11,12). Portanto, estas medidas obtidas através da avaliação isocinética, podem ser bastante eficientes na detecção de alterações músculo-esqueléticas, orientação de medidas preventivas, implementação de programas de treinamento específicos para cada atleta e de melhora do desempenho esportivo⁽¹³⁾.

CONCLUSÃO

Os dados possibilitaram estabelecer parâmetros de função muscular da articulação do joelho através da dinamometria isocinética em atletas das Seleções Brasileiras Infanto-Juvenil e Juvenil de Voleibol Masculino do ano de 2003. Os atletas avaliados apresentaram valores de torque máximo e trabalho máximo normalizados pela massa corporal para quadríceps superiores às médias da população de atletas e não-atletas. Quando comparadas as categorias, os atletas juvenis apresentaram significativamente maiores valores de razão agonista/antagonista e trabalho máximo de flexores de joelhos na velocidade de 60°/s. Entretanto, a razão agonista/antagonista foi inferior ao valor de referência esperado em ambas as categorias, caracterizando a predominância da musculatura extensora sobre a flexora. O índice de fadiga encontra-se próximo ao esperado para a maior parte dos atletas. O presente estudo pode servir de base para comparações em futuros estudos que avaliem a função muscular isocinética de atletas de voleibol.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Briner WW, Benjamin HJ. Volleyball injuries. Managing acute and overuse disorders. *The Physician and Sports Medicine* 1999;27.
2. Kujala UM, Aalto T, Österman K, Dahlstrom S. The effect of volleyball playing on the knee extensor mechanism *Am J Sports Med* 1989;17:766-9.
3. Thissen-Milder M, Mayhew JL. Selection and classification of high school volleyball players from performance tests. *J Sports Med Phys Fitness* 1990;31: 380-4.
4. Richards DP, Ajemian SV, Wiley P, Zernicke RF. Knee joint dynamics predict patellar tendinitis in elite volleyball players. *Am J Sports Med* 1996;24:676-83.
5. Lian O, Engebretsen L, Ovrebø RV, Bahr R. Characteristics of the leg extensors in male volleyball players with jumper's knee. *Am J Sports Med* 1996;24:380-5.
6. Panni A, Biedert RM, Maffulli N, Tartarone M, Romanini E. Overuse injuries of extensor mechanism in athletes. *Clin Sports Med* 2002;21:483-98.
7. Hess GP, Cappiello WL, Poole RM, Hunter SC. Prevention and treatment of overuse tendon injuries. *Sports Medicine* 1989;8:371-84.
8. Ghirotto FMS, Padovani CR, Gonçalves A. Lesões desportivas: estudo junto aos atletas do XII campeonato mundial masculino de voleibol. *Arquivos Brasileiros de Medicina* 1994;68:307-12.
9. Schafle MD, Requa RK, Patton WL, Garrick JG. Injuries in the 1987 National Amateur Volleyball Tournament. *Am J Sports Med* 1990;18:624-31.
10. Ferretti A, Puddu G, Mariani PP. Jumper's knee: an epidemiological study of volleyball players. *Physician Sportsmedicine* 1984;12:97-103.
11. Oberg B, Moller M, Gillquist J, Ekstrand J. Isokinetic torque levels for knee extensors and knee flexors in soccer players. *Int J Sports Med* 1986;7:50-3.
12. Zakas A, Mandroukas K, Vamvakoudis E, Christoulas K, Aggelopoulou. Peak torque of quadriceps and hamstring muscles in basketball and soccer player of different divisions. *J Sports Med Phys Fitness* 1995;35:199-205.
13. Siqueira CM, Pelegrini FR, Fontana MF, Greve JM. Isokinetic dynamometry of knee flexors and extensors: comparative study among non-athletes, jumpers athletes and runner athletes. *Rev Hosp Clin Fac Med Sao Paulo* 2002;57:19-24.

14. Perrin DH, Robertson RJ, Ray RL. Bilateral isokinetic peak torque, torque acceleration energy, power, and work relationships in athletes and nonathletes. *J Orthop Sports Phys Ther* 1987;9:184-9.
15. Anderson MA, Gieck JH, Perrin D, Weltman A, Rutt R, Denegar G. The relationships among isometric, isotonic, and isokinetic concentric and eccentric quadriceps and hamstring force and three components of athletic performance. *J Orthop Sports Phys Ther* 1991;14:114-20.
16. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med* 1996;24:765-73.
17. Colonna S, Ricciardi F. Comparison between the isokinetic knee strength and jump height in a group of volleyball players. *Medicina Dello Sport* 1998;51:207-12.
18. Wilk KE. Isokinetic testing: goals, standards and knee test interpretation. In: Biodex Medical System. Biodex System 3. Advantage Software. Operations Manual.
19. Herzog W. Muscle function in movement and sports. *Am J Sports Med* 1996; 24:S14-S19.
20. Coleman SGS, Benham AS, Northcott SR. A three-dimensional cinematographical analysis of volleyball spike. *J Sports Sci* 1993;11:295-302.
21. Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med* 1998;26:231-7.
22. Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, Letson D, Chuinard R, D'Ambrosia R. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* 1988;16:113-22.
23. Reid DC. *Sports Injuries Assessment and Rehabilitation*. New York: Churchill Livingstone, 1992.
24. Solgard L, Nielsen AB, Moller-Madsen B, Jacobsen BW, Yde J, Jensen J. Volleyball injuries presenting in casualty: a prospective study. *Br J Sports Med* 1995; 29:200-4.
25. Ugrinowitsch C, Barbanti VJ, Gonçalves A, Peres BA. Capacidade dos testes isocinéticos em prever a "performance" no salto vertical em jogadores de vôlei-bol. *Revista Paulista de Educação Física* 2000;14:172-83.