


A RELAÇÃO ENTRE RIGIDEZ DOS MEMBROS INFERIORES E ECONOMIA DE CORRIDA EM JOGADORES DE FUTEBOL INFANTIL

THE RELATIONSHIP BETWEEN LOWER LIMB STIFFNESS AND RUNNING ECONOMY IN CHILD SOCCER PLAYERS


LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ DE LOS MIEMBROS INFERIORES Y LA ECONOMÍA DE CARRERA EN JUGADORES DE FÚTBOL INFANTIL


Selçuk Karakaş¹ 
(Profissional de Educação Física)


Selcen Korkmaz Eryılmaz² 
(Profissional de Educação Física)


Cumhur Boyraz² 
(Profissional de Educação Física)

Abdullah Kilci² 
(Profissional de Educação Física)

Özgür Günəştı³ 
(Fisiologista)

Çiğdem Özdemir³ 
(Fisiologista)

Kerem Özgünen³ 
(Fisiologista)

Sadi Kurdak³ 
(Fisiologista)

1. Gedik University, Escola de Ciências do Esporte, Departamento de Ensino de Educação Física e Esportes, Istambul, Turquia.

2. Cukurova University, Escola de Ciências do Esporte, Departamento de Formação em Treinamento, Adana, Turquia.

3. Cukurova University, Escola de Medicina, Departamento de Fisiologia, Divisão de Fisiologia do Esporte, Adana, Turquia.

Correspondência:

Selcen Korkmaz Eryılmaz
Balcalı, Sarıçam, Adana, Turkey.
1380. selcen_korkmaz@yahoo.com

RESUMO

Introdução: A rigidez dos membros inferiores demonstrou estar associada à economia de corrida (RE) em adultos, porém essa relação não é muito clara quando se trata de crianças. **Objetivos:** O objetivo deste estudo foi investigar a relação entre a rigidez dos membros inferiores, a RE e a capacidade de *sprints* repetidos em jogadores de futebol infantil. **Métodos:** Vinte e oito jogadores do sexo masculino de futebol infantil (idade média de 11,8 ± 0,9 anos) participaram do estudo. A determinação da RE ocorreu por meio da medição do consumo de oxigênio em estado estacionário (ml/min/kg) a velocidades submáximas de corrida de 8 km/h e 9 km/h. O cálculo da rigidez vertical e da rigidez das pernas baseou-se nos dados de tempo de voo e tempo de contato obtidos durante dois testes submáximos de corrida. Além disso, mediu-se a rigidez vertical durante os testes máximo e submáximo de salto (*hop test*). Todos os participantes realizaram o teste de *sprints* repetidos que consistiu em dez repetições de *sprints* em velocidade máxima de 20 m intercalados por recuperação ativa de 20 s. **Resultados:** Durante ambos os testes submáximos de corrida, a rigidez vertical ($r = -0,505$ a $-0,472$) e a rigidez das pernas ($r = -0,484$ a $-0,459$) estavam significativamente correlacionadas à RE ($p < 0,05$). A rigidez de salto máximo ($r = -0,450$) e a de salto submáximo ($r = -0,404$) demonstraram uma correlação significativa com RE em 8 km/h ($p < 0,05$). A rigidez de salto máximo estava associada, de forma substancial, ao melhor tempo de *sprint* ($r = -0,439$) e ao tempo médio de *sprint* ($r = -0,496$) ($p < 0,05$). A rigidez vertical ($r = -0,592$ a $-0,433$), a rigidez das pernas ($r = -0,612$ a $-0,429$) em 8 km/h e 9 km/h e a rigidez de salto submáximo ($r = -0,394$) estavam expressivamente correlacionadas ao índice de fadiga ($p < 0,05$). **Conclusões:** Os achados atuais indicam que a rigidez dos membros inferiores pode ser um determinante fundamental tanto de RE quanto de capacidade de *sprints* repetidos em jogadores de futebol infantil. **Nível de evidência II: Estudos diagnósticos - Investigando um teste diagnóstico.**

Descritores: Consumo de oxigênio; Corrida; Crianças.

ABSTRACT

Introduction: Lower limb stiffness has been shown to be associated with running economy (RE) in adults, but this relationship in children remains unclear. **Objectives:** The purpose of this study was to investigate the relationship between lower limb stiffness, RE, and repeated-sprint ability in child soccer players. **Methods:** Twenty-eight male child soccer players (mean age 11.8 ± 0.9 years) participated in the study. RE was determined by measuring the steady-state oxygen uptake (ml/min/kg) at submaximal running speeds of 8 and 9 km/h. Vertical and leg stiffness were calculated from the flight and contact time data obtained during two submaximal running tests. Additionally, vertical stiffness was measured during the maximal and submaximal hopping tests. All participants performed the repeated sprint test consisting of 10 × 20-m all-out sprints interspersed with 20-s active recovery. **Results:** During both submaximal running tests, vertical ($r = -0.505$ to -0.472) and leg stiffness ($r = -0.484$ to -0.459) were significantly correlated with RE ($p < 0.05$). Maximal ($r = -0.450$) and submaximal hopping stiffness ($r = -0.404$) were significantly correlated with RE at 8 km/h ($p < 0.05$). Maximal hopping stiffness was significantly correlated with the best sprint time ($r = -0.439$) and mean sprint time ($r = -0.496$) ($p < 0.05$). Vertical ($r = -0.592$ to -0.433) and leg stiffness ($r = -0.612$ to -0.429) at 8 and 9 km/h and submaximal hopping stiffness ($r = -0.394$) were significantly correlated with the fatigue index ($p < 0.05$). **Conclusions:** Current findings indicate that the lower limb stiffness may be an important determinant of both RE and repeated-sprint ability in child soccer players. **Level of Evidence II; Diagnostic Studies - Investigating a Diagnostic Test.**

Keywords: Oxygen consumption; Running; Children.

RESUMEN

Introducción: Se ha demostrado que la rigidez de los miembros inferiores está relacionada con la economía de carrera (RE) en los adultos, sin embargo esta relación no es muy clara cuando se trata de niños. **Objetivos:** El objetivo de este estudio fue investigar la relación entre la rigidez de los miembros inferiores, la RE y la capacidad



de sprints repetidos em jogadores de futebol infantil. Métodos: Veintiocho jogadores de futebol infantil de sexo masculino (edad media de $11,8 \pm 0,9$ años) participaron en el estudio. La determinación de la RE se produjo midiendo el consumo de oxígeno en estado estacionario (ml/min/kg) a velocidades de carrera submáximas de 8 km/h y 9 km/h. El cálculo de la rigidez vertical y de la rigidez de las piernas se basó en los datos de tiempo de vuelo y de contacto obtenidos durante dos tests submáximos de carrera. Además, se midió la rigidez vertical durante los tests submáximos y máximos de salto (hop test). Todos los participantes realizaron el test de sprints repetidos, que consistía en diez repeticiones de sprints a velocidad máxima de 20 m intercalados por una recuperación activa de 20 s. Resultados: Durante ambos tests submáximos de carrera, la rigidez vertical ($r = -0,505$ a $-0,472$) y la rigidez de las piernas ($r = -0,484$ a $-0,459$) se correlacionaron significativamente con la RE ($p < 0,05$). La rigidez de salto máximo ($r = -0,450$) y la rigidez de salto submáximo ($r = -0,404$) demostraron una correlación significativa con la RE a 8 km/h ($p < 0,05$). La rigidez de salto máximo se asoció sustancialmente con un mejor tiempo de sprint ($r = -0,439$) y con el tiempo medio de sprint ($r = -0,496$) ($p < 0,05$). La rigidez vertical ($r = -0,592$ a $-0,433$), la rigidez de las piernas ($r = -0,612$ a $-0,429$) a 8 km/h y 9 km/h y la rigidez de salto submáximo ($r = -0,394$) se correlacionaron significativamente con el índice de fatiga ($p < 0,05$). Conclusiones: Los hallazgos actuales indican que la rigidez de los miembros inferiores puede ser un determinante clave tanto de RE como de la capacidad de sprints repetidos en jugadores de fútbol infantil. **Nivel de evidencia II: Estudios diagnósticos - Investigación de una prueba diagnóstica.**

Descriptor: Consumo de oxígeno; Carrera; Niños.

DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1517-8692202329012021_0389

Artigo recebido em 24/08/2021 aprovado em 09/03/2022

INTRODUÇÃO

A economia de corrida (RE) é um determinante fisiológico importante do desempenho de corrida de resistência.¹ A RE, que representa a demanda de energia de corrida em uma velocidade constante, é expressa como o consumo de oxigênio em estado estacionário (VO_2) a uma determinada velocidade submáxima de corrida.^{1,2} Os corredores com boa RE usam menos oxigênio e, portanto, gastam menos energia do que aqueles com RE inferior na mesma velocidade constante de corrida.² A RE é um dos parâmetros cruciais a se considerar ao testar as capacidades físicas dos jogadores de futebol.³ A economia de corrida é importante para jogadores de futebol durante os períodos de recuperação ativa após os períodos de intensidade máxima dos jogos.⁴ Entre os esportistas desta modalidade com consumo de oxigênio máximo semelhante (VO_{2max}), os jogadores na divisão superior apresentam uma RE melhor.³

Estudos que investigam a contribuição de características mecânicas e neuromusculares demonstram que o comportamento elástico das unidades músculo-tendão da perna afeta o custo de energia de corrida.^{5,6} O armazenamento e a liberação de energia elástica no elemento elástico em série reduzem o trabalho realizado pelo elemento contrátil na fase (concêntrica) de propulsão durante a corrida.^{2,7} A rigidez dos membros inferiores durante a corrida ou o salto pode ser usada para avaliar a capacidade de armazenamento de energia elástica do complexo músculo-tendão como um todo.^{5,7,8} A rigidez das pernas (k_{leg}) e a rigidez vertical (k_{vert}) são os dois componentes que constituem a rigidez do modelo massa-mola.⁷ k_{leg} está associada à deformação da mola da perna durante o movimento horizontal, enquanto k_{vert} é uma característica do padrão de mola da perna associado ao movimento vertical do centro de massa.^{6,7,9}

Em corredores adultos, quanto maior a rigidez dos membros inferiores, melhor a RE.^{5,10,11} Ao que sabemos, não há estudos que investiguem a relação entre rigidez e RE em crianças. O nosso objetivo nesse estudo foi investigar a relação entre a rigidez dos membros inferiores, RE e a capacidade de sprints repetidos em jogadores de futebol infantil.

MÉTODOS

Participantes

Vinte e oito crianças do sexo masculino saudáveis que jogam no mesmo clube de futebol amador participaram, de forma voluntária, no

estudo (Tabela 1). Os jogadores tinham $2,2 \pm 0,9$ anos de experiência em treinamento de futebol e participavam da liga regional, sendo que alguns deles jogavam em competições nacionais. Os jogadores realizaram duas sessões de treinamento e uma partida oficial por semana durante a temporada de competição. Obtiveram-se o consentimento dos pais e dos jogadores e a aprovação ética por parte do Comitê de Ética da Universidade (83/22/2018). Todos os jogadores evitaram realizar quaisquer exercícios até 24 horas antes dos procedimentos de teste.

O estado maturacional dos jogadores foi avaliado de forma não invasiva através do cálculo de anos do pico de velocidade em altura (PHV) com o uso da equação adequada ao sexo proposta por Mirwald *et al.*,¹² a qual deriva de variáveis antropométricas, incluindo estatura em pé, estatura em posição sentada, comprimento da perna, idade e massa corporal. O cálculo do *maturity offset* (em anos) foi realizado através da idade cronológica no momento da medição subtraída da idade em PHV. Os valores negativos (-) são interpretados como pré-PHV e os valores positivos (+) como pós-PHV (Tabela 1).

Desenho experimental

Os jogadores realizaram três sessões de teste com intervalos mínimos de 48 horas durante o período da temporada. As medições laboratoriais do experimento foram conduzidas durante duas sessões em uma esteira ergométrica motorizada (h/p/Cosmos-Quasar-med, Nussdorf-Traunstein, Alemanha). Realizou-se um teste incremental em esteira ergométrica para determinar VO_{2max} na primeira sessão, e testes submáximos de corrida de 6 minutos em 8 km/h e 9 km/h para estabelecer a RE na segunda sessão. Na terceira sessão, realizaram-se testes de salto máximo e submáximo e de sprints repetidos com ao menos 15 minutos de intervalo entre eles na quadra coberta. k_{leg} e k_{vert} foram calculadas a partir dos dados do tempo de voo e do tempo de contato com o solo obtidos durante os testes submáximos de velocidade de corrida e de salto. Todos os jogadores

Tabela 1. Valores médios para detalhes descritivos dos participantes.

| Variáveis | Média \pm DP |
|-------------------------|------------------|
| Idade (anos) | $11,8 \pm 0,9$ |
| Maturity offset (anos) | $-1,99 \pm 0,7$ |
| Peso corporal (kg) | $38,1 \pm 6,6$ |
| Altura (cm) | $148,5 \pm 0,05$ |
| VO_{2max} (ml/min/kg) | $51,3 \pm 3,9$ |

realizaram um período de aquecimento padrão de 15 minutos e tiveram a oportunidade de se familiarizar com os protocolos de teste antes do início da coleta de dados.

Teste incremental em esteira ergométrica

Durante todos os testes laboratoriais, usou-se um sistema calorimétrico indireto (Quark-PFT-ergo, Cosmed, Roma, Itália) para a obtenção das medições de gases respiração a respiração. A frequência cardíaca foi registrada continuamente por telemetria com um monitor de batimentos cardíacos (Cosmed, Roma, Itália). Para determinar o VO_{2max} , realizou-se um protocolo progressivo com uma velocidade inicial de 6 km/h com incrementos de velocidade de 1 km/h a uma inclinação constante de 1% por minuto, até que os participantes não conseguissem mais manter o ritmo de corrida.

Teste submáximo de corrida

A RE foi determinada através da medição de VO_2 por massa corporal em estado estacionário (ml/min/kg) por 6 minutos, durante a realização de testes submáximos de corrida a 8 km/h e 9 km/h intercalados por um período de descanso de 30 minutos. Calculou-se a média dos dados de VO_2 e de RER (razão de troca respiratória) no último minuto dos dois testes submáximos de corrida para representar o valor em estado estacionário para análise posterior.

Variáveis do teste submáximo de corrida para avaliação de rigidez

Durante ambos os testes submáximos de corrida, o tempo de voo e o tempo de contato com o solo foram determinados com uma câmera digital de alta velocidade a 240Hz (GoPro-HERO3+edição Black), colocada na parte de trás da esteira (~1 m). As sequências de vídeo foram registradas no último minuto dos dois testes de corrida e analisadas com um software de código aberto (Kinovea-v0.8.15, www.kinovea.org). Um ciclo de passada (marcha), que se inicia com a batida do calcanhar até a próxima batida de calcanhar da perna direita, foi analisado para ambas as velocidades de corrida.¹³

O tempo de contato com o solo foi definido como o intervalo de tempo entre o início do contato do pé com a esteira e o ato de desentocar os dedos do pé do aparelho. O tempo de voo foi determinado como o momento em que o primeiro pé levanta até o instante inicial em que o pé entra novamente em contato com a esteira. Todos os passos para a perna direita foram analisados e tiveram suas médias calculadas como valores representativos do tempo de contato com o solo e do tempo de voo (em segundos) durante o período de registro do último minuto. O tempo de passo foi obtido com a soma do tempo de contato com o solo e do tempo de voo. A frequência de passada (SF) foi definida como o número de passos dados por segundo e foi calculada pela equação $SF(Hz) = 1/\text{tempo de passo}$. A definição de comprimento da passada (SL) foi estabelecida como a extensão do contato do pé direito até o próximo contato do mesmo pé e foi calculado através da equação $SL(m) = \text{velocidade de corrida}(m/s)/SF$. O SL relativo foi calculado como a razão de SL por comprimento da perna.

k_{vert} e k_{leg} foram calculadas a partir das variáveis do pico da força de reação do solo, do deslocamento vertical do centro de massa e da alteração no comprimento da perna previamente identificados por Morin *et al.*⁹ (Equações 1 a 5).

$$F_{max} = m \cdot g \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{tf}{tc} + 1 \right) \quad (1)$$

Em que F_{max} (kN) representa o pico da força de reação do solo, m indica a massa corporal (kg), g corresponde à aceleração gravitacional,

tf (s) refere-se ao tempo de voo e tc (s) representa o tempo de contato com o solo.

$$\Delta y_c = \frac{F_{max} \cdot tc^2}{m \cdot \pi^2} + g \cdot \frac{tc^2}{8} \quad (2)$$

Onde Δy_c (m) equivale ao deslocamento vertical do centro de massa ao alcançar o seu ponto mais baixo durante o contato.

$$\Delta L = L - \sqrt{L^2 - \left(\frac{v \cdot tc}{2}\right)^2} + \Delta y_c \quad (3)$$

Na qual ΔL (m) representa a alteração no comprimento da perna, L (m) corresponde ao comprimento da perna e v (m/s) indica a velocidade de corrida.

O cálculo da k_{vert} (kN/m) modelada consistiu na razão do pico da força de reação do solo modelado pelo deslocamento vertical modelado do centro de massa.

$$k_{vert} = \frac{F_{max}}{\Delta y_c} \quad (4)$$

A k_{leg} (kN/m) modelada foi calculada como a razão do pico da força de reação do solo modelado pela variação modelada do comprimento da perna durante o contato com o solo.

$$k_{leg} = \frac{F_{max}}{\Delta L} \quad (5)$$

Testes de salto máximo e submáximo

Os testes de salto máximo e submáximo foram realizados em um tapete de contato. A coleta dos dados do tempo de voo e do tempo de contato ocorreu instantaneamente através de um assistente digital pessoal portátil (Witty-timer, Microgate, Bolzano, Itália). Ambos os protocolos de salto foram conduzidos de acordo com aqueles previamente reportados por Lloyd *et al.*¹⁴ Os jogadores realizaram três ensaios para cada um dos testes de salto e os melhores valores de ensaio foram usados para a análise posterior. Os jogadores deveriam manter as mãos em seus quadris para evitar a interferência da parte superior do corpo. Eles então pularam e aterrissaram no mesmo ponto.

No teste de salto máximo, os jogadores realizaram cinco saltos verticais máximos bilaterais repetidos no tapete de contato. Era necessário que os jogadores maximizassem a altura do salto e minimizassem o tempo de contato com o solo. O primeiro salto foi excluído da análise de dados, e calculou-se a média dos quatro saltos restantes.¹⁴

O teste de salto submáximo incluiu uma frequência de saltos de 2,5 Hz.¹⁴ Os participantes precisaram realizar 20 saltos verticais bilaterais consecutivos no tapete de contato. A frequência de salto foi mantida com o uso de um sinal de áudio de um metrônomo digital (Tempo-Perfect Metronome, NCH-Software). Os cinco saltos iniciais e os cinco finais foram excluídos da análise de dados, e os dez saltos consecutivos serviram para o cálculo da média e para a análise posterior.

Durante os testes, k_{vert} foi calculada com a equação proposta por Dalleau *et al.*¹⁵ (Equação 6).

$$k_{vert} = \frac{[m \cdot \pi (tf + tc)]}{tc^2 [(tf + tc / \pi) - (tc / 4)]} \quad (6)$$

Em que k_{vert} (kN/m) representa a rigidez vertical, m (kg) indica a massa corporal, tf (s) corresponde ao tempo de voo e tc (s) representa o tempo de contato com o solo.

Teste de sprints repetidos

Os jogadores realizaram o teste de *sprints* repetidos que consistiu em dez repetições de *sprints* em velocidade máxima de 20 m com períodos de descanso ativo a cada 20 s. Durante os períodos de descanso ativo, os participantes corriam, em velocidade moderada, de volta para a linha de chegada. Realizou-se o registro dos tempos de *sprint* com duas fotocélulas eletrônicas (Witty-Wireless Training Timer, Microgate, Bolzano, Itália) colocadas nas linhas de largada e de chegada. O tempo de recuperação foi controlado por um cronômetro portátil. O tempo de *sprint* preliminar mais rápido foi usado como pontuação do critério de avaliação de desempenho do primeiro *sprint* do teste de *sprints* repetidos. Se o desempenho no primeiro *sprint* estivesse 2,5% abaixo da pontuação do critério, o teste de *sprints* repetidos era encerrado imediatamente e repetido após uma pausa de 5 minutos.

A análise feita a partir dos dados do teste usou o melhor tempo de *sprint*, o tempo médio de *sprint* (tempo médio de dez *sprints*) e o índice de fadiga. O índice de fadiga (FI) foi expresso em porcentagem e calculado de acordo com Fitzsimmons *et al.*¹⁶

Análises estatísticas

Os dados são reportados como médias ± desvio padrão (DP). A significância estatística foi aceita em $p < 0,05$. A hipótese de normalidade foi avaliada através do teste de Shapiro-Wilk. Os coeficientes de correlações de Pearson foram usados para examinar as relações entre as variáveis. Usou-se o software IBM-SPSS 21 (IBM-SPSS Statistics 21 Inc., Chicago, IL) para a realização das análises estatísticas.

RESULTADOS

Os resultados obtidos durante os testes de salto, os testes submáximos de corrida e o teste de *sprints* repetidos constam na Tabela 2.

A k_{vert} do salto máximo e do submáximo apresentou uma relação negativa com a RE em 8 km/h ($p < 0,05$), mas não se observou relação significativa com a RE em 9 km/h (Tabela 3). Durante ambos os testes submáximos de corrida, k_{vert} e k_{leg} tiveram uma relação negativa com RE ($p < 0,05$). Durante a velocidade de corrida de 9 km/h, a RE apresentou uma correlação negativa significativa com SF e positiva com SL ($P < 0,05$). RE não apresentou relação significativa com SF e SL em 8 km/h. Houve uma correlação positiva de SL relativo com a RE em 8 km/h e 9 km/h ($p < 0,05$).

A k_{vert} do salto máximo apresentou uma relação negativa com o melhor tempo e o tempo médio de *sprint* ($p < 0,05$), mas não produziu uma relação

Tabela 2. Valores médios para variáveis determinados a partir dos testes de salto, testes submáximos de corrida e do teste de *sprints* repetidos. Média ± DP.

| | Velocidade submáxima de corrida a 8 km/h | Velocidade submáxima de corrida a 9 km/h |
|-------------------|--|--|
| RE (ml/min/kg) | 35,9 ± 2,9 | 38,5 ± 3,3 |
| RER | 0,95 ± 0,03 | 0,96 ± 0,03 |
| SF (Hz) | 1,48 ± 0,09 | 1,46 ± 0,08 |
| SL (m) | 1,50 ± 0,09 | 1,71 ± 0,09 |
| RSL (m) | 2,14 ± 0,11 | 2,45 ± 0,13 |
| k_{leg} (kN/m) | 2,34 ± 0,60 | 2,46 ± 0,51 |
| k_{vert} (kN/m) | 2,91 ± 0,74 | 3,08 ± 0,60 |
| | Salto máximo | Salto submáximo |
| k_{vert} (kN/m) | 9,4 ± 4,0 | 17,7 ± 3,4 |
| | Melhor tempo de <i>sprint</i> (s) | Tempo médio de <i>sprint</i> (s) |
| | 3,43 ± 0,26 | 3,56 ± 0,30 |
| | | Índice de fadiga (%) |
| | | 3,74 ± 2,38 |

RE = economia de corrida, SF = frequência de passada, SL = comprimento da passada, RSL = comprimento relativo da passada, k_{vert} = rigidez vertical, k_{leg} = rigidez da perna.

significativa com o índice de fadiga (Tabela 4). A k_{vert} do salto submáximo obteve uma correlação negativa com o índice de fadiga ($p < 0,05$). Tanto k_{vert} quanto k_{leg} em 8 km/h e 9 km/h apresentaram uma relação negativa com o índice de fadiga ($p < 0,05$). Esses valores de rigidez não estavam significativamente relacionados ao tempo médio e ao melhor tempo de *sprint*.

Tabela 3. Coeficientes de correlação (r) entre os valores de rigidez e economia de corrida (RE), frequência de passada e comprimentos absoluto e relativo da passada em duas velocidades de corrida.

| Variáveis n=28 | RE em 8 km/h | | RE em 9 km/h | |
|--------------------------|--------------|-------|--------------|-------|
| | r | p | r | p |
| Salto máx. k_{vert} | -0,450* | 0,016 | -0,174 | 0,375 |
| Salto submáx. k_{vert} | -0,404* | 0,033 | -0,106 | 0,591 |
| k_{leg} em 8 km/h | -0,484** | 0,009 | -0,398* | 0,036 |
| k_{vert} em 8 km/h | -0,505** | 0,006 | -0,400* | 0,035 |
| k_{leg} em 9 km/h | -0,382* | 0,045 | -0,459* | 0,014 |
| k_{vert} em 9 km/h | -0,385* | 0,043 | -0,472* | 0,011 |
| SF em 8 km/h | 0,029 | 0,885 | -0,167 | 0,394 |
| SL em 8 km/h | -0,017 | 0,932 | 0,163 | 0,407 |
| RSL em 8 km/h | 0,388* | 0,041 | 0,375* | 0,049 |
| SF em 9 km/h | 0,018 | 0,929 | -0,433* | 0,021 |
| SL em 9 km/h | -0,006 | 0,977 | 0,442* | 0,019 |
| RSL em 9 km/h | 0,379* | 0,046 | 0,612** | 0,001 |

As correlações são significativas para $p < 0,05$ (*) e para $p < 0,01$ (**). RE = economia de corrida, Máx. = máximo Submáx. = submáximo, k_{vert} = rigidez vertical, k_{leg} = rigidez das pernas, SF = frequência de passada, SL = comprimento da passada, RSL = comprimento relativo da passada.

Tabela 4. Coeficientes de correlações de Pearson (r) entre os valores de rigidez e as variáveis do teste de *sprints* repetidos.

| Variáveis n=28 | Melhor tempo de <i>sprint</i> | | Tempo médio de <i>sprint</i> | | Índice de fadiga | |
|--------------------------|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------|-------|
| | r | p | r | p | r | p |
| Salto máx. k_{vert} | -0,439* | 0,022 | -0,496** | 0,009 | -0,361 | 0,064 |
| Salto submáx. k_{vert} | 0,043 | 0,833 | -0,073 | 0,717 | -0,394* | 0,042 |
| k_{leg} em 8 km/h | -0,151 | 0,452 | -0,298 | 0,132 | -0,592** | 0,001 |
| k_{vert} em 8 km/h | -0,151 | 0,452 | -0,303 | 0,125 | -0,612** | 0,001 |
| k_{leg} em 9 km/h | -0,013 | 0,950 | -0,129 | 0,521 | -0,433* | 0,024 |
| k_{vert} em 9 km/h | 0,015 | 0,942 | -0,103 | 0,608 | -0,429* | 0,026 |

As correlações são significativas para $p < 0,05$ (*) e para $p < 0,01$ (**). Máx. = máximo, Submáx. = submáximo, k_{vert} = rigidez vertical, k_{leg} = rigidez das pernas.

DISCUSSÃO

O principal achado desse estudo indicou que quanto maior a rigidez dos membros inferiores, melhor a RE em jogadores de futebol infantil. A k_{vert} calculada a partir do salto máximo, estava relacionada de forma negativa com o melhor tempo e o tempo médio de *sprint*, o que sugere que a k_{vert} do salto máximo pode representar um importante papel na determinação do desempenho de *sprints*. Além disso, a k_{vert} do salto submáximo, assim como a k_{vert} e a k_{leg} durante a corrida submáxima estavam negativamente associadas ao índice de fadiga. Portanto, a alta rigidez dos membros inferiores durante o salto e a corrida submáximas pode reduzir o desenvolvimento de fadiga durante *sprints* repetidos.

O custo metabólico de corrida é amplamente determinado pela geração da força vertical no solo para apoiar o peso do corpo e pela força propulsiva horizontal exercida no solo.¹⁷ Os nossos achados indicam que k_{vert} e k_{leg} em 8 km/h e 9 km/h apresentaram uma correlação positiva com RE (ou seja, a maior rigidez está associada ao menor VO_{2max}). E a k_{vert} dos saltos máximo e submáximo também demonstraram correlações significativas com RE em 8 km/h. Durante uma determinada velocidade submáxima de corrida, a RE tem se mostrado muito diferente entre os grupos de corredores de longa distância comparados em termos de idade, sexo e desempenho.¹⁸ A rigidez dos membros inferiores foi estudada anteriormente para explicar a variabilidade interindividual de RE em adultos. Dalleau *et al.*⁵ demonstraram que a maior rigidez da

perna propulsiva estava significativamente associada à melhor RE em corredores de média distância. Heise e Martin⁶ também mostraram a existência de uma associação entre RE e k_{vert} durante a corrida submáxima em corredores recreacionais. Além disso, a rigidez dos membros inferiores calculada a partir da corrida¹¹ e do salto máximo¹⁰ demonstrou estar relacionada à RE em corredores de longa distância bem treinados.

O aumento na rigidez da unidade músculo-tendão da parte inferior da perna, resultante de treinamento pliométrico ou de resistência, demonstrou ter potencial para melhorar a RE através da maior utilização da energia armazenada durante a corrida.^{19,20} Porém, para o nosso conhecimento, a relação entre RE e rigidez dos membros inferiores não foi previamente examinada em crianças. Portanto, os nossos dados representam um achado muito novo, o qual demonstrou que k_{vert} e k_{leg} mais altas estão associadas à melhor RE em jogadores de futebol infantil. As intervenções de treinamento para melhorar a rigidez dos membros inferiores também podem ser importantes para aperfeiçoar a RE em praticantes jovens e pré-púberes de futebol.

Outro achado do estudo é que a SF maior e o SL menor em 9 km/h estão associados de forma significativa à melhor RE. O valor de SL relativo inferior (razão de comprimento da passada por extensão de perna) estava relacionado à melhor RE em 8 km/h e 9 km/h. Em conformidade com os nossos achados, Tartaruga *et al.*²¹ descobriram que a RE melhor estava associada a SF mais alta e ao SL mais curto durante corridas submáximas em corredores de longa distância. Da mesma forma, Tam *et al.*²² mostraram que corredores mais econômicos exibiam maior SF durante corridas de velocidade constante. Por outro lado, outros investigadores demonstraram que a RE não estava relacionada à SF e à razão de SL por comprimento de perna durante corridas submáximas em garotos pré-púberes.^{23,24} No entanto, as crianças participantes em tais estudos não eram atletas, e talvez isso possa explicar a contradição com os resultados encontrados em nosso estudo. Demonstrou-se que atletas treinados podem escolher naturalmente a combinação de comprimento/frequência de passada que reduz o custo metabólico.²⁵ Aparentemente, corredores bem-sucedidos podem aumentar a sua SF, enquanto reduzem o tempo de contato com o solo para alcançar a melhor eficiência metabólica durante corridas de velocidade constante.²² A razão de comprimento da passada por extensão

de perna a uma determinada velocidade submáxima de corrida pode ser um determinante fundamental de RE em garotos pré-púberes.

A capacidade de *sprints* repetidos é outro componente de aptidão física para determinar o desempenho de jogadores de futebol. Acredita-se que a maior rigidez forneça uma liberação mais rápida de energia elástica durante os *sprints*, em que o deslocamento angular da junta é mínimo.²⁶ Há evidência de que a rigidez dos membros inferiores é um determinante essencial da velocidade máxima de *sprint* em adultos²⁶ e crianças.²⁷ O nosso estudo demonstrou que as crianças com a melhor k_{vert} de salto máximo obtiveram desempenhos superiores de melhor *sprint* e de *sprint* médio durante o teste de *sprints* repetidos. Descobriu-se que a k_{vert} durante a realização de saltos e de *sprints* está significativamente associada ao desempenho de *sprint* em atletas infantis e juvenis, o que é coerente com os nossos dados.^{27,28}

A k_{vert} de salto submáximo juntamente com k_{vert} e k_{leg} calculadas durante ambas as velocidades submáximas de corrida, apresentaram uma relação negativa com o índice de fadiga. Relatou-se que a falha em manter a k_{leg} durante a corrida causa o início prematuro de alterações nos mecanismos de passada, o que resulta em uma diminuição de desempenho.²⁹ A redução de k_{vert} durante a corrida de *sprints* repetidos demonstrou estar relacionada à diminuição da frequência de passada.²⁹ Durante os *sprints* repetidos, minimizar a redução na frequência de passos ao manter a rigidez de membros inferiores pode ser um pré-requisito para melhorar a capacidade de *sprints* repetidos.³⁰

CONCLUSÃO

Até onde sabemos, esse é o primeiro estudo a demonstrar a correlação entre rigidez dos membros inferiores e RE em crianças. Os resultados do presente estudo indicaram que k_{vert} e k_{leg} maiores estavam relacionadas à melhor RE, assim como à capacidade de *sprints* repetidos em jogadores de futebol infantil. O cálculo do comprimento relativo da passada pode ser importante na determinação de RE.

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

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES: Cada autor contribuiu individual e significativamente para o desenvolvimento deste artigo. SK, SKE: desenho do estudo, coleta de dados, análise e interpretação de dados e elaboração do esboço; CB, AK, ÖG: coleta de dados, análise e interpretação de dados; ÇÖ, KO: análise e interpretação de dados e revisão crítica do manuscrito; SK: contribuições substanciais ao desenho do estudo, supervisão da análise de dados e elaboração do manuscrito. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.* 2004;34(7):465-85.
- Barnes KR, Kilding AE. Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med Open.* 2015;1(1):8.
- Ziogas GG, Patras KN, Stergiou N, Georgoulis AD. Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):414-9.
- Segers V, De Clercq D, Janssens M, Bourgois J, Philippaerts R. Running economy in early and late maturing youth soccer players does not differ. *Br J Sports Med.* 2008;42(4):289-94.
- Dalleau G, Belli A, Bourdin M, Lacour JR. The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;77(3):257-63.
- Heise GD, Martin PE. 'Leg spring' characteristics and the aerobic demand of running. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(5):750-4.
- Wilson JM, Flanagan EP. The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: A brief review. *J Strength Cond Res.* 2008;22(5):1705-15.
- Wilson GJ, Wood GA, Elliott BC. Optimal stiffness of series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J Appl Physiol.* 1991;70(2):825-33.
- Morin JB, Dalleau G, Kyröläinen H, Jeannin T, Belli A. A simple method for measuring stiffness during running. *J Appl Biomech.* 2005;21(2):167-80.
- Barnes KR, Mcguigan MR, Kilding AE. Lower-body determinants of running economy in male and female distance runners. *J Strength Cond Res.* 2014;28(5):1289-97.
- Li F, Newton RU, Shi Y, Sutton D, Ding H. Correlation of eccentric strength, reactive strength, and leg stiffness with running economy in well-trained distance runners. *J Strength Cond Res.* 2021;35(6):1491-9.
- 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.
- Oguesta-Alday A, Morante JC, Rodríguez-Marroyo JA, García-López J. Validation of a new method to measure contact and flight times during treadmill running. *J Strength Cond Res.* 2013;27(5):1455-62.
- Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, Williams CA. The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *J Strength Cond Res.* 2011;25(7):1889-97.
- Dalleau G, Belli A, Viale F, Lacour JR, Bourdin M. A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping. *Int J Sports Med.* 2004;25(3):170-6.
- Fitzsimmons M, Dawson B, Ward D, Wilkinson A. Cycling and running tests of repeated sprint ability. *Aust J Sci Med Sport.* 1993;25:82-7.
- Chang YH, Kram R. Metabolic cost of generating horizontal forces during human running. *J Appl Physiol.* 1999;86(5):1657-62.
- Conley DL, Krahenbuhl GL. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12(5):357-60.
- Albracht K, Arampatzis A. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(6):1605-15.
- Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(1):1-7.
- Tartaruga MP, Brisswalter J, Peyré-Tartaruga LA, Ávila AOV, Albertson CL, Coertjens M, et al. The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. *Res Q Exerc Sport.* 2012;83(3):367-75.
- Tam N, Tucker R, Santos-Concejero J, Prins D, Lamberts RP. Running economy: neuromuscular and joint-stiffness contributions in trained runners. *Int J Sports Physiol Perform.* 2018;1:22.
- Thorstensson A. Effects of moderate external loading on the aerobic demand of submaximal running in men and 10 year-old boys. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(6):569-74.
- Rowland TW, Auchinachie JA, Keenan TJ, Green GM. Submaximal aerobic running economy and treadmill performance in prepubertal boys. *Int J Sports Med.* 1988;9(3):201-4.
- Hunter I, Smith GA. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *Eur J Appl Physiol.* 2007;100(6):653-61.
- Bret C, Rahmani A, Dufour AB, Messonnier L, Lacour JR. Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *J Sports Med Phys Fitness.* 2002;42(3):274-81.
- Meyers RW, Moeskops S, Oliver JL, Hughes MG, Cronin JB, Lloyd RS. Lower-Limb Stiffness and Maximal Sprint Speed in 11-16-Year-Old Boys. *J Strength Cond Res.* 2019;33(7):1987-95.
- Chelly SM, Denis C. Leg power and hopping stiffness: Relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(2):326-33.
- Hayes PR, Caplan N. Leg stiffness decreases during a run to exhaustion at the speed at VO2max. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(6):556-62.
- Girard O, Micallef JP, Millet GP. Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(1):125-34.