

TRACKING DA APTIDÃO CARDIORRESPIRATÓRIA DA INFÂNCIA PARA A ADOLESCÊNCIA: MODERAÇÃO PELA MATURAÇÃO BIOLÓGICA

Tracking of cardiorespiratory fitness from childhood to early adolescence: moderation effect of somatic maturation

André Oliveira Werneck^{a,*} , Danilo Rodrigues Silva^a ,
Ricardo Ribeiro Agostinete^b , Rômulo Araújo Fernandes^b ,
João Valente-dos-Santos^c , Manuel João Coelho-e-Silva^c , Enio Ricardo Vaz Ronque^a 

RESUMO

Objetivo: Avaliar o *tracking* da aptidão cardiorrespiratória da infância à adolescência, bem como testar a via de moderação pela maturação somática.

Métodos: A amostra foi composta de 375 crianças (197 meninos), com idades entre 7 e 10 anos na linha de base. Os sujeitos foram acompanhados por três anos. Massa corporal e estatura foram mensuradas como indicadores antropométricos e usadas para estimar a maturação somática pelo método de Moore. Aptidão cardiorrespiratória foi avaliada pelo teste de 9 minutos de corrida. Adiposidade corporal foi estimada pelo método de dobras subcutâneas, com medidas das dobras tricipital e subescapular, além de ter sido utilizada como covariável. A amostra foi categorizada em tercís, e então o coeficiente *Kappa* (*k*) e o coeficiente de correlação de concordância de Lin (LCCC) foram adotados para verificar estabilidade. Foram criadas variáveis *dummy* nas regressões para estimar o efeito de moderação. Todas as análises foram conduzidas no Stata 14.0, adotando $p < 0,05$.

Resultados: A aptidão cardiorrespiratória apresentou *tracking* baixo a moderado da infância para a adolescência ($k=0,294$; LCCC=0,458). Além disso, o *status* de maturação moderou significativamente a associação entre aptidão cardiorrespiratória na infância e adolescência (independentemente da coorte e adiposidade) em meninos ($\beta=0,644$; $p < 0,003$) e na amostra total ($\beta=0,184$; $p < 0,020$), mas não em meninas ($-0,217$; $p=0,413$).

ABSTRACT

Objective: To evaluate cardiorespiratory fitness' tracking from childhood to adolescence, as well as to test the moderation role of somatic maturation.

Methods: Our sample was composed by 375 children (197 boys), with a baseline age between 7 and 10 years old. The children were followed-up over three years. Body mass and stature were measured as anthropometric indicators and were used to estimate maturity status through Moore's method. Cardiorespiratory fitness was evaluated through 9-minute running test. Body adiposity was estimated through the subcutaneous skinfold method, with measures of triceps and subscapular skinfolds and used as a covariate. Sample was categorized into tertiles. Thereafter, the *Kappa* (*k*) coefficient and Lin's concordance correlation coefficient (LCCC) tests were adopted to verify stability. Dummy variable in regression was used to test moderation effects. All analyses were conducted in Stata 14.0, adopting $p < 0.05$.

Results: Cardiorespiratory fitness presented a moderate to low tracking from childhood to adolescence ($k=0.294$; LCCC=0.458). Moreover, maturity status significantly moderated the association between cardiorespiratory fitness at childhood and adolescence (regardless of cohort and body adiposity) among boys ($\beta=0.644$; $p=0.003$) and role sample ($\beta=0.184$; $p=0.020$), but not girls (-0.217 ; $p=0.413$).

*Autor correspondente. E-mail: andreowerneck@gmail.com (A.O. Werneck).

^aUniversidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.

^bUniversidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, SP, Brasil.

^cUniversidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

Recebido em 10 de janeiro de 2018; aprovado em 15 de abril 2018; disponível on-line em 07 de maio de 2019.

Conclusões: O *tracking* da aptidão cardiorrespiratória da infância à adolescência é baixo a moderado em ambos os sexos. Ainda, o estado maturacional moderou a associação entre aptidão cardiorrespiratória na infância e adolescência. Menor idade do pico de velocidade de crescimento foi associada à maior aptidão cardiorrespiratória.

Palavras-chave: Puberdade; Aptidão física; Maturidade sexual; Atividade motora; Adolescente.

Conclusions: Tracking of cardiorespiratory fitness from childhood to adolescence is moderate to low in both sexes. Moreover, maturity status moderated the relationship between cardiorespiratory fitness at baseline and in adolescence. A lower age at peak height velocity was associated to a greater cardiorespiratory fitness.

Keywords: Puberty; Physical fitness; Sexual maturation; Motor activity; Youth.

INTRODUÇÃO

A aptidão cardiorrespiratória, definida como a capacidade global dos sistemas cardiovascular e pulmonar de transportar e utilizar oxigênio durante o exercício (capacidade aeróbia), é um componente importante da aptidão física, reconhecida como um fator de proteção para doenças crônicas e mortalidade por todas as causas.¹⁻³ Mesmo na infância e adolescência, níveis mais altos de aptidão cardiorrespiratória são inversamente associados ao risco metabólico, independentemente da prática de atividade física.⁴ Além disso, a aptidão cardiorrespiratória é intermediária da relação entre obesidade e risco metabólico na transição entre a infância e a adolescência.⁵ Considerando que a aptidão cardiorrespiratória é um resultado complexo de preditores hereditários e ambientais,⁶ compreender os possíveis mecanismos para sua manutenção desde a infância até a adolescência deve ser a base de intervenções para promoção da saúde desde cedo.

Dentre os fatores modificáveis associados à aptidão cardiorrespiratória, intervenções com exercícios físicos têm sido a principal estratégia com vistas à manutenção e ao desenvolvimento. Entretanto, especialmente na adolescência, os processos de crescimento e maturação exercem importante influência sobre os diferentes componentes da aptidão física.⁷ Por exemplo, mesmo controlando a atividade física, o *tracking* da atividade física parece ser baixo,⁸ e pode ser que exista um “ponto gatilho” para o desenvolvimento da aptidão cardiorrespiratória, assim como de outros domínios da aptidão física, que ocorre frequentemente durante a puberdade.⁹ Ainda assim, evidências mais consistentes sugerem um efeito da puberdade na aptidão cardiorrespiratória, especialmente em meninos,¹⁰ em que há aumento da massa corporal magra após a maturação das funções ventriculares, arteriais e pulmonares, melhorando a aptidão cardiorrespiratória. Por outro lado, embora as meninas também apresentem melhorias na função cardiovascular durante a puberdade, um dos principais efeitos do processo de maturação (hormônios sexuais femininos) é o aumento da massa gorda, impactando o desempenho em testes que exigem deslocamento corporal.⁷ Portanto, mesmo que a associação entre maturação biológica e aptidão física já tenha sido bem estabelecida em

estudos transversais,^{10,11} as evidências de que há associação entre maturação biológica e aptidão aeróbica desde a infância até a adolescência não são claras, especialmente entre as meninas.

Nesse sentido, a maturação biológica poderia afetar ou mesmo moderar a relação da aptidão cardiorrespiratória entre infância e adolescência. Desta forma, nosso objetivo foi avaliar a aptidão cardiorrespiratória desde a infância até a adolescência, bem como testar o papel moderador da maturação somática. A hipótese inicial deste estudo foi que o *tracking* da aptidão cardiorrespiratória poderia ser influenciado pelo status maturacional em sentidos opostos tanto em meninos quanto em meninas.

MÉTODO

Este foi um estudo misto longitudinal com coortes em quatro anos de nascimento (1992, 1993, 1994 e 1995). Com idades entre 7 e 10 anos no início do estudo, os participantes foram acompanhados ao longo de três anos. O comitê de ética local, de acordo com a declaração de Helsinki, aprovou todos os procedimentos. Mais informações sobre métodos e amostragem podem ser encontradas no estudo de base, publicado anteriormente.¹²

Os dados foram coletados em uma escola particular do centro de uma cidade do Brasil, cujos estudantes tinham condições socioeconômicas elevadas,¹² para atender aos critérios de amostragem (amostragem aleatória simples, adotando: $\alpha=95\%$, poder estatístico de 80% e erro de 5%).¹² Os critérios de inclusão foram:

- Estar matriculado na escola.
- Ter a idade cronológica estabelecida (7 a 10 anos).
- Ter interesse em participar do estudo.
- Apresentar o termo de consentimento assinado pelos pais.

Todos os alunos da escola que estavam dentro dos critérios de inclusão foram convidados a participar do estudo. Assim, a amostra inicial foi composta por 510 adolescentes (267 meninos). No entanto, devido a perdas durante o acompanhamento, 375 indivíduos (197 meninos) completaram os testes durante os três anos de acompanhamento. Além disso, três participantes

com dados incompletos foram excluídos. A amostra final, portanto, tinha 372 adolescentes (196 meninos e 176 meninas).

A estatura foi aferida por um estadiômetro e a massa corporal, em uma balança eletrônica (Filizola®, Recife, Brasil). A data de nascimento e o dia da avaliação foram usados para calcular a idade cronológica. As dobras cutâneas de tricótipal e subescapular foram medidas com um paquímetro Lange (Cambridge Scientific Industries, Inc., Cambridge, Maryland, Estados Unidos; faixa: 0 a 60 mm x 1 mm), de acordo com os procedimentos descritos por Harrison et al.¹³ (lado direito do corpo) e por um único avaliador treinado. A partir das medidas das dobras cutâneas tricótipal e subescapular, os resultados foram interpretados pela soma desses valores.

Um teste de caminhada ou corrida de 9 minutos foi realizado em uma pista oficial de atletismo, de acordo com as recomendações de Cooper et al.¹⁴ Trata-se de uma adaptação do teste original de 12 minutos para crianças e adolescentes. Os sujeitos foram orientados a caminhar e/ou correr a distância máxima possível em 9 minutos. A distância final alcançada foi utilizada como indicador da aptidão aeróbica. Para verificar o rastreamento, a amostra foi dividida em tercís com base nos 9 minutos de corrida/caminhada, de acordo com sexo e idade, utilizando-se percentis como pontos de corte (33,3 e 66,6: [≤P^o 33,3 tercil 1; >P^o 33,3 mas ≤P^o 66,6 tercil 2; >P^o 66,6 tercil 3]).

A maturação biológica foi estimada pelo método de maturação somática proposto por Moore et al.,¹⁵ utilizando dados do último ano de seguimento. Este método faz uma estimativa da diferença de maturidade (em anos) pela altura e idade cronológica usando a Equação 1 para meninos:

$$\text{Desvio do PVC para meninos (anos)} = -7,999994 + (0,0036124 \times (\text{idade} \times \text{altura})) \quad (1)$$

E a Equação 2 para meninas:

$$\text{Desvio do PVC para meninas (anos)} = -7,709133 + (0,0042232 \times (\text{idade} \times \text{altura})) \quad (2)$$

Depois, é gerado um resultado em anos a partir do pico de velocidade de crescimento (PVC). A idade de PVC foi determinada subtraindo-se o desvio do PVC da idade cronológica. Os participantes tiveram a maturação classificada como tardia, precoce ou no tempo, pelo método de desvio-padrão. Aqueles que apresentavam idade de PVC superior a um desvio-padrão foram classificados como tardios; entre -1 e +1, no tempo; e menor que um desvio-padrão, como precoces.

Para caracterizar a amostra, utilizamos os valores de média e desvio-padrão. O teste de Mann-Whitney foi utilizado para comparação entre os grupos, e o teste do qui-quadrado para a tendência

das categorias de maturação somática de acordo com sexo. O rastreamento foi analisado com dois procedimentos estatísticos:

- Para verificar a concordância (*tracking*) entre proporções de sujeitos — foi utilizado o coeficiente Kappa (k) (k<0,20 foi considerado baixo; k entre 0,41 e 0,60, moderado; k entre 0,61 e 0,80, alto e k>0,80, muito alto).¹⁶
- Coeficiente de correlação de concordância de Lin (CCCL).

Para verificar a moderação por maturação somática, mantivemos todas as variáveis contínuas e utilizamos um termo de interação entre aptidão cardiorrespiratória inicial e maturação somática para prever a aptidão cardiorrespiratória após o seguimento de três anos. O nível de significância adotado foi p<0,05.

RESULTADOS

A amostra foi composta por 372 adolescentes (196 meninos) com idade entre 7 e 10 anos no início do estudo. A Tabela 1 lista as características da amostra segundo o sexo dos participantes. Em geral, os meninos apresentaram maturação mais tardia e percorreram maiores distâncias nos testes de corrida/caminhada de 9 minutos em todas as seções do estudo (p<0,001). As meninas apresentaram maior taxa de adiposidade corporal no início (p<0,05).

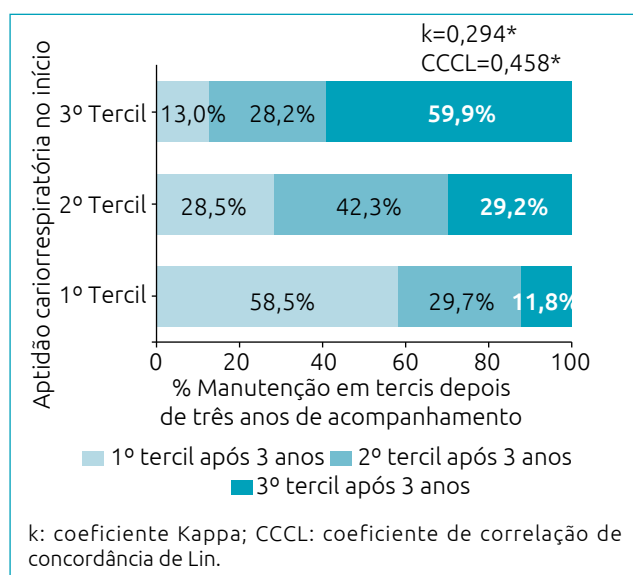
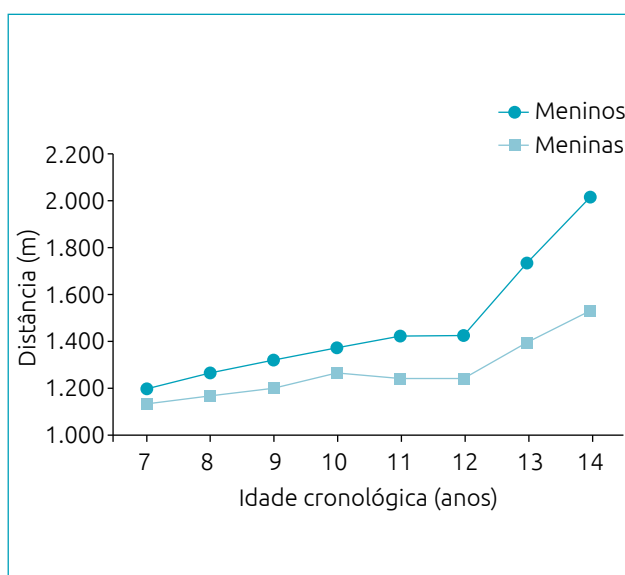
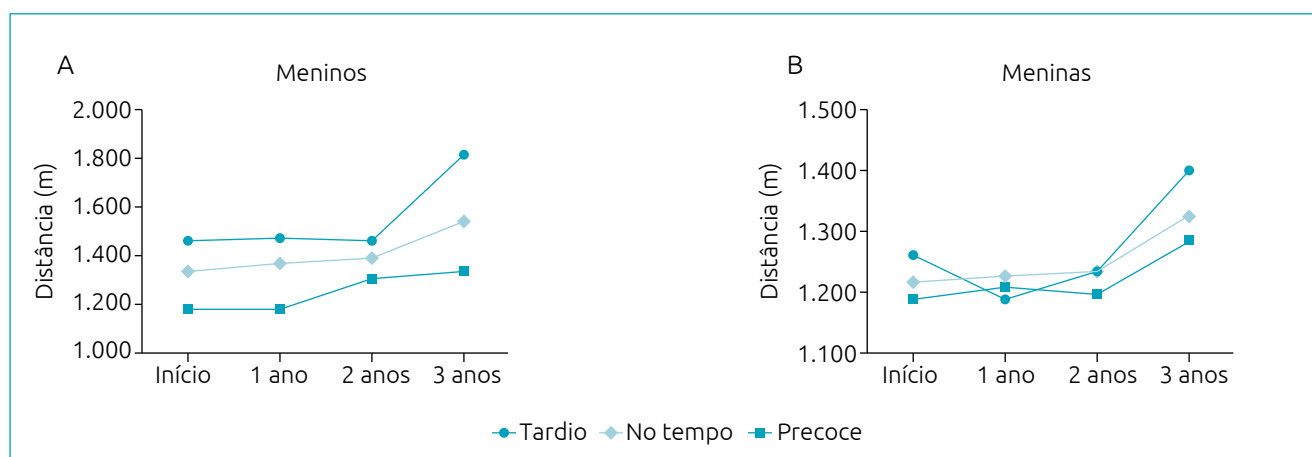
O *tracking* da aptidão cardiorrespiratória da infância para a adolescência foi classificado de moderado a baixo (Figura 1). Os valores foram maiores entre os meninos [meninos: k=0,357 (p<0,001), CCCL=0,521 (p<0,001); meninas: k=0,224 (p<0,001), CCCL=0,338 (p<0,001)]. A idade média de aumento da aptidão cardiorrespiratória foi após 12 anos (Figura 2). Ao analisar a cinética de aptidão cardiorrespiratória de acordo com o estado de maturidade (Figura 3), o impacto de cada categoria foi mais evidente entre os meninos (Figura 3A), já que a aptidão cardiorrespiratória de adolescentes em maturação no tempo certo aumentou linearmente. Adolescentes considerados precoces apresentaram aumento abrupto em torno de 11 a 12 anos, e os adolescentes com maturação considerada tardia aumentaram apenas no último ano de seguimento (em torno de 12 a 13 anos). Além disso, a gordura corporal esteve inversamente correlacionada com a respectiva idade de PVC e o teste de corrida/caminhada de 9 minutos em ambos os valores basais [meninos: -0,108 (0,131), -0,354 (p<0,001); meninas: -0,224 (p=0,002), -0,292 (p<0,001)] e após três anos de seguimento [meninos: -0,305 (p<0,001), -0,539 (p<0,001); meninas: -0,178 (p=0,018), -0,262 (p<0,001)].

Além disso, a interação entre aptidão cardiorrespiratória inicial e a idade do PVC foi significativa na amostra total (ajustada por sexo) e entre os meninos, independentemente do efeito de coorte, idade cronológica e somatório das dobras

Tabela 1 Características da amostra

	Meninos (196)	Meninas (176)	p-valor
Idade cronológica no início do estudo (years)	8,9±1,1	9,0±1,1	0,751
Idade do pico de velocidade de crescimento (years)	13,1±0,4	11,9±0,3	<0,001
Status da maturação somática			0,615
Tardio (n)	36	31	
No tempo (n)	129	123	
Precoce (n)	31	22	
Corrida de 9 min. inicial (m)	1334,5±172,6	1223,2±172,6	<0,001
Corrida de 9 min. após 1 ano (m)	1355,0±228,7	1220,1±200,8	<0,001
Corrida de 9 min. após 2 anos (m)	1392,2±218,1	1230,1±186,8	<0,001
Corrida de 9 min. após 3 anos (m)	1561,9±342,0	1334,9±232,5	<0,001
Soma inicial das dobras cutâneas* (mm)	23,5±11,8	25,7±10,8	0,003
Soma das dobras cutâneas * após 3 anos (mm)	33,5±16,3	33,9±13,6	0,206

*Pregas cutâneas tricipital e subescapular.

**Figura 1** Tracking da distância de corrida de nove minutos da infância até a adolescência.**Figure 2** Distância percorrida na corrida de nove minutos por idades cronológicas de acordo com o sexo.**Figura 3** Distância percorrida na corrida de nove minutos de acordo com status de acompanhamento e maturação.

cutâneas (Tabela 2). Já entre as meninas, não houve interação entre aptidão cardiorrespiratória e idade de PVC ($p=0,413$).

DISCUSSÃO

Este estudo longitudinal analisou o rastreamento da aptidão cardiorrespiratória em diferentes estágios maturacionais; nossos principais achados foram aptidão cardiorrespiratória moderada a baixa entre a amostra total e de acordo com sexo. Além disso, a maturação somática interagiu de forma significativa (moderada) com aptidão aeróbica no início do estudo para prever a aptidão aeróbica no início da adolescência entre os meninos.

A aptidão cardiorrespiratória é um reconhecido fator de proteção associado a vários desfechos negativos de saúde mesmo na infância e adolescência.⁴ A aptidão cardiorrespiratória também parece mediar a relação entre obesidade e risco cardiometabólico na transição entre a infância e a adolescência.⁵ Assim, entender o *tracking* da aptidão cardiorrespiratória da infância até a adolescência pode dar suporte a possíveis intervenções eficazes. No entanto, no final da infância e início da adolescência, ocorrem processos de maturação biológica que afetam a aptidão cardiorrespiratória, principalmente em meninos.¹⁷ Assim, fizemos um acompanhamento da aptidão física desde a infância até a adolescência e analisamos a interação da maturação biológica com a idade.

No presente estudo, o *tracking* da aptidão aeróbica foi moderado a baixo da infância à adolescência. Na verdade, esse achado corrobora estudos prévios.⁸ Baixos coeficientes de *tracking* podem resultar da sensibilidade da aptidão cardiorrespiratória em resposta a vários fatores, como exercício físico¹⁸ e obesidade,¹⁹ uma vez que a aptidão cardiorrespiratória tende a ser subestimada entre os obesos devido à dificuldade em um teste de corrida.²⁰ Além disso, foram observadas maiores taxas de inaptidão entre crianças/adolescentes com baixa taxa de atividade física e alto tempo em frente a telas.²¹ No entanto, é importante ressaltar que, enquanto quase 60% dos jovens no tercil mais alto no início do estudo permaneceram no tercil mais alto após três anos, menos de 12% dos jovens no tercil mais baixo no início do estudo foram classificados no tercil mais

alto após o acompanhamento. Logo, como o rastreamento no maior grupo de condicionamento físico é positivo para a saúde, o rastreamento no tercil mais baixo de aptidão cardiorrespiratória deve ser um fator de risco devido à associação negativa entre aptidão cardiorrespiratória e risco metabólico.²²

Além do *tracking* da aptidão cardiorrespiratória, um dos resultados foi que a maturação biológica moderou a relação entre a aptidão cardiorrespiratória na infância e na adolescência nos meninos, mas não nas meninas. Embora a maturação biológica tenha se associado positivamente à aptidão cardiorrespiratória nos modelos brutos (maturação tardia apresentou vantagem), quando ajustada para adiposidade, a maturação biológica teve relação inversa com a aptidão cardiorrespiratória (maturação precoce apresentou vantagem). Considerando que nossa amostra foi selecionada em uma escola do sistema privado, com sujeitos de renda mais alta, a prevalência de altos níveis de adiposidade entre os meninos em início de maturação foi alta. A obesidade pode influenciar o próprio teste de aptidão cardiorrespiratória, sendo que adolescentes com sobrepeso e obesidade têm maior dificuldade para correr,²⁰ bem como os resultados, visto que a adiposidade não é um tecido de alto metabolismo.²³ Apesar disso, observamos que a aptidão cardiorrespiratória aumentou em todos os grupos de maturidade entre os meninos; os meninos com maturação precoce tiveram esse aumento mais cedo, enquanto os meninos em maturação tardia apresentaram tal aumento um ano depois e os adolescentes com maturação no tempo apresentaram uma constante, o que está de acordo com a literatura.^{10,17}

Nossas conclusões estão de acordo com achados anteriores, que apontaram associação entre maturação biológica e aptidão cardiorrespiratória entre meninos. Batista et al.¹¹ descobriram que a maturação biológica se associa à aptidão cardiorrespiratória utilizando uma amostra de meninos não atletas, mas tal associação perdeu significância quando redimensionada por descritores de tamanho, indicando que o efeito da maturação biológica pode passar por mudanças de acordo com características do tamanho corporal. Além disso, utilizando ambos os sexos, Armstrong et al.²⁴ verificaram que a maturação biológica

Tabela 2 Termos de interação de predição da corrida de 9 minutos após três anos de seguimento.

Interações	β	IC95%	p-valor
Amostra total			
Corrida de 9 min. inicial \times IPVC	0,184	0,029 a 0,339	0,020
Meninos			
Corrida de 9 min. inicial \times IPVC	0,644	0,225 a 1,064	0,003
Meninas			
Corrida de 9 min. inicial \times IPVC	-0,217	-0,737 a 0,304	0,413

IPVC: idade do pico de velocidade de crescimento; IC95%: intervalo de confiança de 95%.

Nota: modelos ajustados por coorte, idade cronológica, soma das dobras cutâneas após três anos de seguimento e sexo no modelo da amostra total.

independe da massa corporal na associação com aptidão aeróbica. Nossos resultados corroboram os achados de um estudo realizado com adolescentes ativos poloneses, no qual se concluiu que a associação entre puberdade e aptidão cardiorrespiratória foi significativa entre meninos, mas não entre meninas, em análises longitudinais.²⁵ Ou seja, nossos resultados estão de acordo com achados de países com alto nível socioeconômico.

O aumento da aptidão cardiorrespiratória entre os meninos pode ser explicado pelo processo de maturação biológica, quando há aumento da liberação do hormônio de crescimento (GH) e, consequentemente, disponibilidade do fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-1)²⁶, especialmente na musculatura esquelética, causando hipertrofia e hiperplasia.⁷ O desenvolvimento de ventrículo esquerdo e evolução pulmonar²⁷ também pode melhorar o transporte de oxigênio e, assim, aumentar a aptidão cardiorrespiratória.

Por outro lado, mesmo com o desenvolvimento dessas funções durante a puberdade entre as meninas, os aumentos na gordura corporal parecem limitar os ganhos nos testes de aptidão cardiorrespiratória.⁷ Esses resultados evidenciam a clara diferenciação sexual entre meninos e meninas durante a puberdade, sendo que os aumentos são observados especialmente na liberação de testosterona e estrógeno, respectivamente.⁷ Embora a aptidão cardiorrespiratória não apresente diferenças entre os sexos antes da puberdade, o impacto do estado de maturidade na aptidão física entre as meninas é menor do que entre os meninos. Logo, meninos tendem a apresentar maior aptidão cardiorrespiratória durante e após a puberdade.²⁸

O presente estudo tem algumas limitações que devem ser apontadas. Primeiramente, nosso método de medição da aptidão cardiorrespiratória (corrida de 9 minutos), que é um teste de campo, poderia apresentar viés relacionado ao controle da velocidade por crianças e adolescentes. A confiabilidade é uma questão importante em estudos de rastreamento, pois a variação entre os tercis ao longo dos anos pode ser afetada por possíveis variações na condução do teste. No entanto, o teste apresenta

boa confiabilidade para esta população.²⁹ Além disso, os testes foram realizados pela mesma equipe. Nosso método de maturidade somática não é direto e métodos similares apresentam viés, e as equações utilizadas para encontrar o PVC têm limitações para jovens com maturação precoce e tardia de ambos os sexos.³⁰ Usamos dados de uma escola em que estudantes têm condições socioeconômicas elevadas, portanto, a extrapolação dos presentes achados deve ser feita com cautela. Por outro lado, apresentamos dados de um estudo de acompanhamento de três anos em um país em desenvolvimento, o que consideramos um ponto forte. Finalmente, não ajustamos nossa análise para fatores comportamentais, como padrões alimentares e atividade física, mas ajustamos para gordura corporal, um importante fator de confusão.

Por fim, descobrimos que o *tracking* da aptidão cardiorrespiratória da infância para a adolescência é moderado a baixo em ambos os sexos. Além disso, o estágio de maturação teve impacto na relação entre aptidão cardiorrespiratória no início e na adolescência, sugerindo que parte do *tracking* pode ser explicada pela maturação biológica. Assim, sugerimos que intervenções visando melhorar a aptidão cardiorrespiratória sejam realizadas mesmo em idades precoces,¹⁸ e que os adolescentes em maturação tardia recebam atenção especial para evitar possíveis desistências devido a capacidades físicas reduzidas em comparação aos seus pares de mesma idade cronológica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem todos os participantes que se comprometeram com esse estudo

Financiamento

Este estudo não recebeu financiamento.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

1. Nauman J, Nes BM, Lavie CJ, Jackson AS, Sui X, Coombes JS, et al. Prediction of Cardiovascular Mortality by Estimated Cardiorespiratory Fitness Independent of Traditional Risk Factors: The HUNT Study. *Mayo Clin Proc.* 2017;92:218-27.
2. Khan H, Kella D, Rauramaa R, Savonen K, Lloyd MS, Laukkanen JA. Cardiorespiratory fitness and atrial fibrillation: a population-based follow-up study. *Hear Rhythm.* 2015;12:1424-30.
3. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després JP, Franklin BA, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation.* 2016;134:e653-99.
4. Machado-Rodrigues AM, Leite N, Coelho-e-Silva MJ, Martins RA, Valente-dos-Santos J, Mascarenhas LP, et al. Independent association of clustered metabolic risk factors with cardiorespiratory fitness in youth aged 11-17 years. *Ann Hum Biol.* 2014;41:271-6.
5. Brouwer SI, Stolk RP, Liem ET, Lemmink KA, Corpeleijn E. The role of fitness in the association between fatness and cardiometabolic risk from childhood to adolescence. *Pediatr Diabetes.* 2013;14:57-65.

6. Schutte NM, Nederend I, Hudziak JJ, Bartels M, Geus EJ. Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiol Genomics*. 2016;48:210-9.
7. Malina R, Bouchard C, Bar-Or O. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. 2nd ed. Champaign (EUA): Human Kinetics; 2004.
8. Sorić M, Jembrek Gostović M, Gostović M, Hočevar M, Mišigoj-Duraković M. Tracking of BMI, fatness and cardiorespiratory fitness from adolescence to middle adulthood: the Zagreb Growth and Development Longitudinal Study. *Ann Hum Biol*. 2014;41:238-43.
9. Katch VL. Physical conditioning of children. *J Adolesc Health Care*. 1983;3:241-6.
10. 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;85:546-51.
11. Batista MB, Valente-dos-Santos J, Duarte JP, Sousa-e-Silva P, Coelho-e-Silva MJ, Werneck AO, et al. Independent and Combined Effects of Weight Status and Maturation on Aerobic Fitness in Adolescent School Aged Males. *J Strength Cond Res*. 2017. [Epub ahead of print]
12. Casonatto J, Fernandes RA, Batista MB, Cyrino ES, Coelho-e-Silva MJ, de Arruda M, et al. Association between health-related physical fitness and body mass index status in children. *J Child Health Care*. 2016;20:294-303.
13. Harrison G, Buskirk E, Carter L, Johnston F, Lohman T, Pollock M. Skinfold thicknesses and measurement technique. In: Lohman TG, Roche AF, Martorell R, editors. *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Champaign (EUA): Human Kinetics; 1988. p.55-70.
14. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen uptake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA*. 1968;203:201-4.
15. Moore SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, et al. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47:1755-64.
16. Altman DG. *Practical Studies for Medical Research*. London: Chapman & Hall; 1991.
17. Malina RM, Beunen G, Lefevre J, Woynarowska B. Maturity-associated variation in peak oxygen uptake in active adolescent boys and girls. *Ann Hum Biol*. 1997;24:19-31.
18. Carrel AL, McVean JJ, Clark RR, Peterson SE, Eickhoff JC, Allen DB. School-based exercise improves fitness, body composition, insulin sensitivity, and markers of inflammation in non-obese children. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2009;22:409-15.
19. McDonald SM, Ortaglia A, Bottai M, Supino C. Differential association of cardiorespiratory fitness and central adiposity among US adolescents and adults: a quantile regression approach. *Prev Med*. 2016;88:1-7.
20. Norman AC, Drinkard B, McDuffie JR, Ghorbani S, Yanoff LB, Yanovski JA. Influence of excess adiposity on exercise fitness and performance in overweight children and adolescents. *Pediatrics*. 2005;115:e690-6.
21. Aggio D, Smith L, Fisher A, Hamer M. Context-specific associations of physical activity and sedentary behavior with cognition in children. *Am J Epidemiol*. 2016;183:1075-82.
22. Andersen LB, Hasselstrøm H, Grønfeldt V, Hansen SE, Karsten F. The relationship between physical fitness and clustered risk, and tracking of clustered risk from adolescence to young adulthood: eight years follow-up in the Danish Youth and Sport Study. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2004;1:6.
23. Goran M, Fields DA, Hunter GR, Herd SL, Weinsier RL. Total body fat does not influence maximal aerobic capacity. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000;24:841-8.
24. 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* (1985). 1999;87:2230-6.
25. Malina RM, Woynarowska B, Bielicki T, Beunen G, Ewold D, Geithner CA, et al. Prospective and retrospective longitudinal studies of the growth, maturation, and fitness of Polish youth active in sport. *Int J Sports Med*. 1997;18:S179-85.
26. Sinha M, Tripathi T, Rai P, Gupta SK. Serum and urine insulin-like growth factor-1 as biochemical growth maturity indicators. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016;150:1020-7.
27. Valente-Dos-Santos J, Coelho-e-Silva MJ, Ferraz A, Castanheira J, Ronque ER, Sherar LB, et al. Scaling left ventricular mass in adolescent boys aged 11-15 years. *Ann Hum Biol*. 2014;41:465-8.
28. Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev*. 1985;13:503-38.
29. Paludo AC, Batista MB, Serassuelo Jr H, Shigaki GB, Cyrino ES, Ronque ER. Confiability of the run/walk 9 minutes test in children and adolescents from 7 to 12 years old. *Rev Andal Med Deporte*. 2015;8:150-4.
30. Kozietł SM, Malina RM. Modified maturity offset prediction equations: validation in independent longitudinal samples of boys and girls. *Sports Med*. 2018;48:221-36.