

Ponto Ótimo Cardiorrespiratório em Futebolistas Profissionais: Uma Nova Variável Submáxima do Exercício

Cardiorespiratory Optimal Point in Professional Soccer Players: A Novel Submaximal Variable During Exercise

Christina Grüne de Souza e Silva,^{1,2} Claudia Lucia Barros de Castro,³ João Felipe Franca,³ Altamiro Bottino,⁴ Jonathan Myers,² Claudio Gil Soares de Araújo³

Instituto do Coração Edson Saad, Universidade Federal do Rio de Janeiro,¹ Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Veterans Affairs Palo Alto Health Care System/Stanford University,² Palo Alto, Califórnia - EUA

Clínica de Medicina do Exercício, CLINIMEX,³ Rio de Janeiro, RJ - Brasil

São Paulo Futebol Clube,⁴ São Paulo, SP - Brasil

Resumo

Fundamentos: O consumo máximo de oxigênio ($VO_2\text{max}$) e o limiar anaeróbico (LA) obtidos no teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) são utilizados na avaliação de atletas. Todavia, dificuldades na identificação e mensuração dessas variáveis dificultam sua utilização prática. O ponto ótimo cardiorrespiratório (POC) é uma variável submáxima do TCPE de mensuração objetiva e com significado clínico prognóstico. Contudo, é desconhecido o seu comportamento em atletas.

Objetivo: Descrever o comportamento do POC em jogadores profissionais de futebol e sua associação com $VO_2\text{max}$ e LA.

Materiais e Método: Análise retrospectiva de 198 futebolistas submetidos a TCPE máximo em esteira rolante com protocolo em rampa, divididos pela posição em campo: goleiro, zagueiro, lateral, meio-campo e atacante. Foram determinados $VO_2\text{max}$, LA e POC. O POC correspondeu ao menor valor de ventilação/consumo de oxigênio em um dado minuto do TCPE. Variáveis contínuas foram comparadas pelo teste *t* de Student não emparelhado ou ANOVA, ou teste de Mann-Whitney ou de Kruskal-Wallis dependendo na distribuição das mesmas, e variáveis categóricas foram comparadas pelo teste do qui-quadrado. A correlação de Pearson foi utilizada para testar a associação entre POC e outras variáveis ventilatórias. Adotou-se um nível de 5% para significância estatística.

Resultados: O POC (média \pm desvio-padrão) foi de $18,2 \pm 2,1$ a uma velocidade $4,3 \pm 1,4$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ menor do que a do LA. Enquanto o $VO_2\text{max}$ ($62,1 \pm 6,2$ $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) tendeu a ser menor nos goleiros ($p < 0,05$), o POC não variou conforme a posição em campo ($p = 0,41$). Não houve associação significativa entre POC e $VO_2\text{max}$ ($r = 0,032$, $p = 0,65$) nem com LA ($r = -0,003$, $p = 0,96$).

Conclusão: O POC pode ser facilmente determinado em exercício submáximo realizado com velocidades incrementais em futebolistas e não varia pela posição em campo. A ausência de associação com $VO_2\text{max}$ e LA indica que o POC traz uma informação distinta e complementar a essas variáveis. Estudos futuros são necessários para determinar implicações práticas do POC na avaliação de atletas. (Int J Cardiovasc Sci. 2018;31(4)323-332)

Palavras-chave: Exercício, Futebol / tendências, Espirometria / métodos, Broncospirometria / métodos, Desempenho Atlético.

Correspondência: Christina Grüne de Souza e Silva

Rua Professor Rodolpho Paulo Rocco, 255 - 8º andar - Cidade Universitária, Campus do Fundão. Cep: 21941-913, Rio de Janeiro, RJ - Brasil.

E-mail: christina.g.dss@gmail.com

Abstract

Background: Maximal oxygen consumption (VO_{2max}) and ventilatory threshold (VT) obtained during a cardiopulmonary exercise test (CPX) are used in the evaluation of athletes. However, the identification of these variables may sometimes be unreliable, which limits their use. In contrast, the cardiorespiratory optimal point (COP) is a submaximal variable derived from CPX with objective measurement and prognostic significance. However, its behavior in athletes is unknown.

Objective: To describe the behavior of COP in professional soccer players and its association with VO_{2max} and VT.

Methods: VO_{2max} , VT and COP were obtained retrospectively from 198 soccer players undergoing maximal treadmill CPX using ramp protocol. COP was defined as the lowest value of the ventilation/oxygen consumption ratio in a given minute of the CPX. The soccer players were stratified according to their field position: goalkeeper, center-defender, left/right-back, midfielder and forwarder. Continuous variables were compared using unpaired Student t test or ANOVA, or Mann-Whitney test or Kruskal-Wallis test depending on their distribution, and categorical variables were compared using chi-square test. Pearson correlation was used to test the association between COP and other ventilatory variables. A level of 5% was used for statistical significance.

Results: COP (mean \pm SD) was 18.2 ± 2.1 and was achieved at a speed 4.3 ± 1.4 km.h⁻¹ lower than that achieved at the VT. While VO_{2max} (62.1 ± 6.2 mL.kg⁻¹.min⁻¹) tended to be lower in goalkeepers ($p < 0.05$), the COP did not vary according to field position ($p = 0.41$). No significant association was observed between COP and VO_{2max} ($r = 0.032$, $p = 0.65$) or between COP and VT ($r = -0.003$, $p = 0.96$).

Conclusion: COP can be easily determined during submaximal exercise performed with incremental speed in soccer players and does not vary according to the athlete's field position. The absence of association with VO_{2max} and VT indicates that COP provides distinct and complementary information to these variables. Future studies are needed to determine the practical implications of COP in assessing athletes. (Int J Cardiovasc Sci. 2018;31(4):323-332)

Keywords: Exercise; Football / trends; Spirometry / methods; Bronchspirometry / methods; Athletic Performance.

Full texts in English - <http://www.onlinejcs.org>

Introdução

O teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) é um procedimento funcional e não invasivo que permite avaliar a integração dos sistemas cardiovascular, respiratório e musculoesquelético a partir da análise das respostas submáximas e máximas ao exercício.¹ As informações do TCPE são importantes para a avaliação prognóstica de indivíduos saudáveis ou não,^{2,3} sendo que as medidas da potência aeróbica máxima, representada pelo consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), e do limiar anaeróbico (LA) são frequentemente utilizadas para avaliação e monitorização do treinamento de atletas.⁴⁻⁶ Sabe-se, por exemplo, que futebolistas com VO_{2max} mais alto tendem a percorrer maiores distâncias em uma partida⁷ e que a intensidade média de exercício em uma partida é de aproximadamente 75% do VO_{2max} , similar ao nível do LA desses jogadores.^{7,8}

No entanto, limitações como baixa reprodutibilidade, diferentes técnicas e critérios de identificação tanto do VO_{2max} quanto do LA⁹⁻¹³ dificultam a sua utilização rotineira. Em adendo, erros nessas medidas podem comprometer o planejamento dos treinamentos individualizados prejudicando, em última análise, o aprimoramento do desempenho do atleta.¹⁴

Em 2012, Ramos et al.¹⁵ apresentaram o valor mínimo do equivalente ventilatório de oxigênio (VE/ VO_{2} mínimo)

durante um TCPE - ponto ótimo cardiorrespiratório (POC) – e descreveram o seu comportamento, que, em teoria, representa o momento de melhor associação ou integração entre os sistemas respiratório e cardiovascular. A partir da avaliação de mais de 600 indivíduos saudáveis não atletas entre 23 e 73 anos, foi verificado que o POC tende a ser maior nas mulheres e aumenta com a idade. Além disso, estudos posteriores realizados pelo mesmo grupo mostraram que o POC é de fácil e objetiva mensuração e bastante estável em TCPE realizados em adultos,¹⁶ corroborando o seu uso potencial em pesquisas fisiológicas e na prática clínica. Interessantemente, de forma semelhante ao observado em relação ao VO_{2max} e ao LA, o POC mostrou ser um excelente preditor de mortalidade por todas as causas em indivíduos saudáveis e não saudáveis entre 40 e 85 anos de idade.¹⁷

Até o presente momento, é desconhecido o comportamento do POC em atletas. Dessa forma, os nossos objetivos são: a) descrever o comportamento do POC em jogadores profissionais de futebol; e b) avaliar sua associação com o VO_{2max} e o LA.

Materiais e Métodos

Amostra

Foram analisados retrospectivamente dados de 247 jogadores de futebol da equipe principal de um clube

carioca da série A do campeonato brasileiro submetidos entre janeiro de 2005 e dezembro de 2016 a um TCPE máximo em uma clínica privada de Medicina do Exercício e Esporte. Desses, foram selecionados 198 jogadores que preenchiem concomitantemente os seguintes critérios de inclusão: a) ter realizado TCPE em esteira rolante; b) ter completado um TCPE considerado verdadeiramente máximo, não tendo esse sido interrompido por razões clínicas ou falta de motivação; c) não ter histórico de doenças cardiorrespiratórias. Com base na informação proporcionada pelos futebolistas, foi feita uma categorização em relação às posições em que predominantemente jogavam: goleiro, zagueiro, lateral, meio-campo e atacante.

Protocolo de avaliação

Avaliação clínica

Incluía anamnese e exame físico. Foram obtidos ainda dados antropométricos, de espirometria e eletrocardiograma de 12 derivações em repouso.

Espirometria de repouso

Ao menos três manobras para determinação das curvas de fluxo-volume foram realizadas usando um pneumatógrafo (SP-1 Spirometer, Schiller, Suíça ou KoKo, Estados Unidos) periodicamente calibrado de acordo com o protocolo recomendado pelas diretrizes americana e europeia.¹⁸

Teste cardiopulmonar máximo

Os TCPE foram realizados em uma sala adequadamente climatizada em uma esteira rolante (ATL Master, Inbramed, Brasil). Todos os jogadores submeteram-se ao mesmo protocolo em rampa, com velocidade inicial de 8,0 km.h⁻¹ e aumento progressivo de 0,1 km.h⁻¹ a cada 7,5 segundos, sem qualquer inclinação. Todos os TCPE foram presencialmente conduzidos por médicos especializados na área e com ampla experiência na avaliação de atletas, seguindo uma rotina bem definida, principalmente em relação ao estímulo para obtenção de esforço verdadeiramente máximo. O TCPE foi considerado máximo com base na avaliação subjetiva do médico avaliador e em outras variáveis objetivas tais como: a ocorrência do LA, curvas de equivalentes ventilatórios em um padrão em U e escore de 10 na escala de Borg de 0-10.¹⁹ Durante a realização do TCPE, os jogadores foram monitorados continuamente por eletrocardiógrafo

digital (ErgoPC Elite versões 3.2.1.5 ou 3.3.4.3 ou 3.3.6.2, Micromed, Brasil), que fornecia a medida da frequência cardíaca (FC) nos registros de eletrocardiograma na derivação CC5 ou CM5 ao final de cada minuto.

Análise de gases expirados

Durante o TCPE, os gases expirados foram coletados por um pneumatógrafo Prevent (MedGraphics, Estados Unidos) acoplado a uma peça bucal, com oclusão nasal concomitante. Para medida e análise dos gases expirados, foi utilizado o analisador metabólico VO2000 (MedGraphics, Estados Unidos) calibrado por uma seringa de 2L e por gases de concentração conhecida antes da realização da primeira avaliação do dia e repetido quando necessário. A ventilação pulmonar (VE) e as frações parciais de oxigênio e dióxido de carbono eram expressas a cada 10 segundos e então calculadas como a média de valores para cada minuto do TCPE.

Determinação do consumo máximo de oxigênio e do limiar anaeróbico

O VO₂max foi considerado como o maior valor em um dado minuto do TCPE. O LA foi determinado visualmente pelo ponto em que ocorreu uma quebra da linearidade da curva de VE e um incremento sustentado da relação VE/VO₂ e foi descrito pelo percentual do VO₂max naquela velocidade. A velocidade e o VO₂ em que ocorreu o LA também foram registrados.

Determinação do ponto ótimo cardiorrespiratório

O POC foi obtido pela identificação da menor razão VE/VO₂ em um dado minuto do TCPE, sendo, assim, um valor adimensional. Foi registrado, ainda, o VO₂ e a velocidade de corrida no protocolo em rampa em que era observado.

Análise estatística

A distribuição dos dados foi avaliada pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk. As variáveis contínuas com distribuição paramétrica foram expressas como média ± desvio-padrão e foram comparadas através do teste *t* de Student não emparelhado ou ANOVA e post-hoc de Bonferroni, conforme apropriado. As variáveis contínuas com distribuição não paramétrica foram expressas como mediana (intervalo interquartil) e comparadas através do teste de Mann-Whitney ou teste de Kruskal-Wallis, conforme apropriado. As variáveis categóricas foram expressas em percentual de frequência e comparadas pelo

teste do qui-quadrado. Os coeficientes de variação das variáveis POC, LA e $VO_2\text{max}$, obtidos pela razão entre desvio-padrão e média, foram calculados. A correlação de Pearson foi utilizada para testar a associação entre o POC e outras variáveis ventilatórias. Os cálculos estatísticos foram realizados no programa Stata14®, considerando um nível de significância de 5%.

Considerações éticas

Todos os jogadores submeteram-se voluntariamente à avaliação, tendo lido e assinado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido específico antes da realização do TCPE e autorizado o uso dos dados em pesquisas científicas. A análise retrospectiva dos dados foi previamente aprovada por um comitê institucional de ética em pesquisa.

Resultados

A Tabela 1 descreve as principais características demográficas, os resultados da espirometria de repouso e do TCPE dos jogadores. Idade, peso, altura e o índice de massa corporal (IMC) variaram de 16 a 36 anos, 57,5 a 102,0 kg, 163,3 a 196,3 cm e de 19,3 a 29,6 kg.m^{-2} , respectivamente. POC, LA e $VO_2\text{max}$ apresentaram distribuição paramétrica ($p > 0,05$) e os valores do POC, do LA e do $VO_2\text{max}$ variaram de 13,1 a 25,3, 61,8 a 92,7% do $VO_2\text{max}$ e de 45,0 a 76,2 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente. Os coeficientes de variação para POC, LA e $VO_2\text{max}$ foram de 16,1%, 10,7% e 10,0%, respectivamente. Em média, o POC, o LA e o $VO_2\text{max}$ ocorreram nas velocidades de $10,0 \pm 1,0$, $14,3 \pm 1,1$ e $18,7 \pm 0,9 \text{ km.h}^{-1}$, respectivamente ($p < 0,01$).

Quando estratificados por posição adotada no jogo (Tabela 1), pode-se observar que as únicas características que diferiram entre as posições foram peso e altura, em que os goleiros apresentaram os maiores valores para ambas as variáveis ($p < 0,01$). No entanto, o IMC foi semelhante entre os jogadores de todas as posições ($p = 0,86$). Em relação ao TCPE, os goleiros atingiram os menores valores de $VO_2\text{max}$ relativo ao peso corporal ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) ($p = 0,01$), e atingiram o POC em uma FC e em um percentual do $VO_2\text{max}$ maiores do que os jogadores das demais posições ($p < 0,01$). No entanto, o valor do POC ($p = 0,41$) e o do LA (% do $VO_2\text{max}$) ($p = 0,42$) não diferiram em função da posição de futebolistas.

Os coeficientes de correlação entre POC e $VO_2\text{max}$ ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e entre POC e LA (% do $VO_2\text{max}$) foram

de 0,032 ($p = 0,65$) e -0,003 ($p = 0,96$), respectivamente, evidenciando a baixa associação entre essas variáveis. A Figura 1 representa esses dados.

Discussão

Em um exercício com aumento progressivo da intensidade até o máximo voluntário, a relação entre VE e VO_2 não é linear²⁰ e a curva que ilustra essa relação apresenta um formato em U, o que sugere uma maior eficiência ventilatória (menor VE/ VO_2) em níveis submáximos de exercício em relação ao repouso e às intensidades mais altas de esforço. Partindo dessa premissa, o POC foi descrito como o menor valor do VE/ VO_2 em um dado minuto durante um exercício incremental, representando o momento em que há a menor quantidade de ventilação por litro de oxigênio a ser consumido, ou seja, a melhor integração da relação entre circulação e respiração.¹⁵ Estudos recentes mostraram sua aplicabilidade clínica na avaliação diagnóstica e prognóstica da interação cardiopulmonar tanto de indivíduos saudáveis quanto daqueles com várias formas de doenças crônicas, e, por ser uma variável submáxima do TCPE, o uso do POC é particularmente interessante em pacientes incapazes de atingir um TCPE máximo devido a limitações funcionais (ex. doença arterial obstrutiva periférica, problemas ortopédicos) ou devido ao receio em atingir o pico de esforço (ex. pacientes com síndrome do pânico),^{17,21} assim como em atletas durante a temporada competitiva.²² Como exemplo, o POC possui relação inversa com mortalidade por todas as causas em indivíduos saudáveis e doentes entre 40 e 85 anos, apresentando, portanto, valor prognóstico e uma nova possibilidade de avaliação de risco de mortalidade.¹⁷ A partir dessas observações, é pertinente tentar expandir as aplicações do POC em outros cenários. Em teoria, pode-se pensar que em atletas de modalidades com exigências aeróbicas elevadas, como é o caso do futebol, valores baixos de POC podem representar uma vantagem fisiológica, especialmente se ocorrerem em velocidades relativamente altas. Como as demandas aeróbicas variam de acordo com a posição de jogo, a oportunidade de comparar um número grande de futebolistas de elite testados em condições padronizadas pode contribuir para uma melhor compreensão do significado e da potencial aplicabilidade desportiva do POC. O presente estudo traz uma contribuição original por ser o primeiro a descrever o comportamento do POC

Tabela 1 - Principais características demográficas e resultados do teste cardiopulmonar de exercício máximo em esteira em jogadores profissionais de futebol

Variáveis*	Total (n = 198)	Goleiro (n = 13)	Lateral (n = 27)	Zagueiro (n = 32)	Meio-campo (n = 76)	Atacante (n = 50)	p valor
Características							
Idade (anos)	23 (21 - 27)	22 (19 - 24)	26 (21 - 28)	22 (21 - 26)	23 (21 - 28)	24 (10 - 27)	0,35
Peso (kg)	76,7 ± 7,6	85,1 ± 4,7	74,3 ± 6,2	80,7 ± 5,4	74,1 ± 7,6 ^b	77,3 ± 7,6 ^b	< 0,01
Altura (cm)	179,2 ± 6,4	187,5 ± 4,1	175,5 ± 4,2	184,3 ± 3,8	176,5 ± 6,0 ^b	180,0 ± 5,8	< 0,01
Índice de massa corporal (kg.m ⁻²)	23,9 ± 1,8	24,2 ± 1,1	24,1 ± 1,7	23,8 ± 1,6	23,8 ± 1,8	23,9 ± 2,1	0,86
FC de repouso (bpm)	59 (53 - 66)	62 (57 - 66)	57 (51 - 62) ^a	61 (53 - 65)	61 (54 - 66)	57 (52 - 66)	0,15
PAS de repouso (mm Hg)	130 ± 10	130 ± 8	130 ± 14	129 ± 7	129 ± 11	131 ± 10	0,92
PAD de repouso (mm Hg)	70 ± 9	72 ± 7	71 ± 11	70 ± 8	70 ± 9	71 ± 9	0,95
Espirometria de repouso							
VEF1 (L)	4,31 (3,94 - 4,69)	4,74 (4,35 - 5,04)	4,16 (3,96 - 4,41)	4,44 (4,13 - 5,00) [§]	4,24 (3,79 - 4,61) ^b	4,41 (3,90 - 4,71) ^{b,*,§}	< 0,01
% do previsto da VEF1	98,5 (90,8 - 105,6)	101,9 (93,9 - 105,3)	96,7 (93,5 - 104,8)	98,5 (88,6 - 105,8)	98,5 (91,6 - 105,0)	100,8 (87,3 - 107,0)	0,99
CVF (L)	5,05 ± 0,68	5,70 ± 0,68	4,83 ± 0,50	5,23 ± 0,66	4,94 ± 0,62 ^b	5,05 ± 0,75 ^{b,*,§}	< 0,01
% do previsto da CVF	96,2 ± 10,5	100,5 ± 10,8	95,7 ± 8,4	94,0 ± 10,3	97,0 ± 10,0	95,6 ± 12,1	0,38
Razão VEF1/ CVF (%)	86,0 ± 5,3	83,1 ± 5,6	87,3 ± 4,1 ^a	87,6 ± 5,3 ^a	85,4 ± 5,1 ^c	85,8 ± 5,9	0,05
TCPE							
Duração (min)	13,0 (13,0 - 14,0)	13,0 (13,0 - 14,0)	14,0 (13,0 - 14,0)	13,0 (13,0 - 14,0) ^b	14,0 (13,0 - 14,0)	13,0 (13,0 - 14,0) ^b	0,09
RER máximo	1,10 (1,06 - 1,15)	1,09 (1,06 - 1,13)	1,09 (1,05 - 1,15)	1,13 (1,07 - 1,16)	1,11 (1,06 - 1,15)	1,10 (1,06 - 1,14)	0,59
FC máxima (bpm)	192 ± 9	194 ± 8	187 ± 7	194 ± 10 [§]	192 ± 10 ^{§,e}	192 ± 8 ^{§,e,†}	0,01
VE máxima (L.min ⁻¹)	123,2 (113,1 - 133,2)	129,8 (122,6 - 135,2)	123,1 (112,8 - 133,7)	125,4 (113,7 - 136,0)	121,7 (111,6 - 129,9) ^a	122,9 (113,9 - 134,4)	0,30
Velocidade máxima (km.h ⁻¹)	18,8 (18,4 - 19,2)	18,4 (18,0 - 19,2)	19,2 (18,4 - 19,5)	18,5 (17,9 - 19,2) ^b	18,8 (18,4 - 19,2)	18,6 (18,4 - 19,2) ^b	0,13
POC (menor razão VE/VO ₂)	18,2 ± 2,1	19,1 ± 2,2	18,7 ± 2,1	17,9 ± 2,5	18,1 ± 2,2	18,2 ± 1,9 ^b	0,41
Tempo para atingir POC (min)	2,0 (2,0 - 3,0)	3,0 (2,0 - 4,0)	2,0 (2,0 - 3,0)	2,0 (2,0 - 3,0)	2,0 (2,0 - 2,5) ^a	2,0 (2,0 - 2,0) ^{a,c}	0,07
Velocidade no POC (km.h ⁻¹)	9,6 (9,6 - 10,4)	10,4 (9,6 - 11,2)	9,6 (9,6 - 10,4)	9,6 (9,6 - 10,4)	9,6 (9,6 - 10,0) ^a	9,6 (9,6 - 9,6) ^{a,c}	0,07

Cont. Tabela 1 - Principais características demográficas e resultados do teste cardiopulmonar de exercício máximo em esteira em jogadores profissionais de futebol

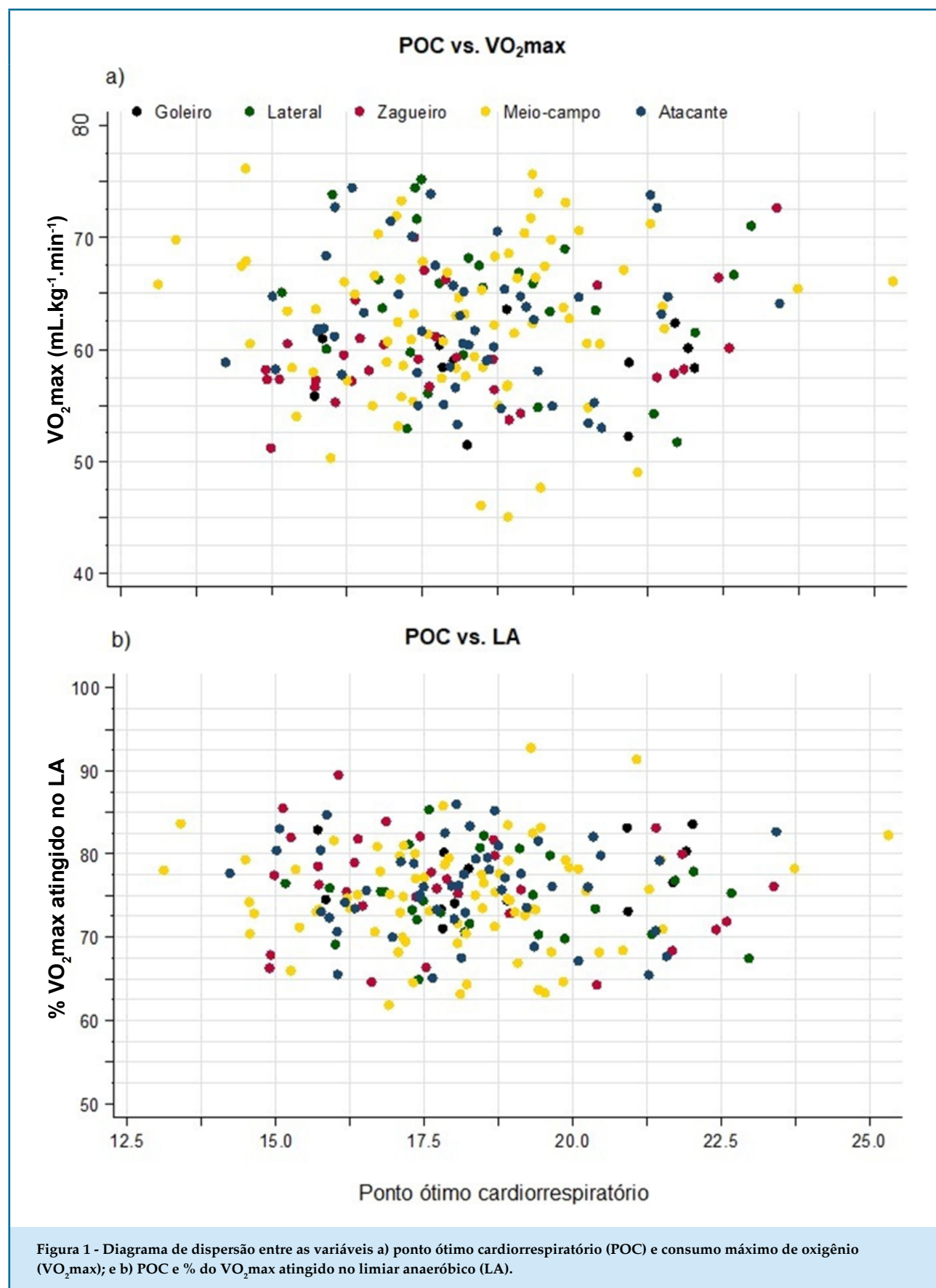
Variáveis*	Total (n = 198)	Goleiro (n = 13)	Lateral (n = 27)	Zagueiro (n = 32)	Meio-campo (n = 76)	Atacante (n = 50)	p valor
FC no POC (bpm)	132 (122 - 142)	142 (134 - 148)	131 (122 - 138)	139 (128 - 152) [§]	131 (121 - 140) [§]	128 (121 - 137) ^{§,¶}	< 0,01
VO ₂ no POC (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	31,8 (29,0 - 34,6)	33,6 (31,0 - 33,7)	32,2 (28,6 - 35,7)	33,1 (30,9 - 35,6)	31,3 (28,2 - 34,4) [¶]	31,3 (33,8 - 29,7) [¶]	0,10
%VO ₂ max no POC	51,4 (46,4 - 55,8)	57,0 (53,3 - 59,3)	48,4 (45,1 - 54,7)	55,9 (51,2 - 59,2) [§]	51,0 (44,2 - 54,3) [§]	50,7 (45,9 - 54,0) ^{§,¶}	< 0,01
Tempo para atingir LA (min)	7,9 ± 1,4	8,1 ± 0,9	8,1 ± 1,3	7,3 ± 1,3 ^b	8,0 ± 1,6 ^c	7,8 ± 1,3	0,06
Velocidade no LA (km.h ⁻¹)	14,3 ± 1,1	14,5 ± 0,7	14,5 ± 1,0	13,8 ± 1,1 ^b	14,4 ± 1,2 ^c	14,3 ± 1,0	0,06
FC no LA (bpm)	169 (160 - 178)	178 (168 - 181)	165 (162 - 169) ^a	172 (160 - 178) ^b	167 (160 - 177) ^a	166 (160 - 178) ^a	0,08
VO ₂ no LA (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	46,8 ± 5,0	45,3 ± 2,5	47,9 ± 4,7	45,5 ± 4,5	46,7 ± 6,1	47,4 ± 4,0	0,25
%VO ₂ max no LA	75,5 ± 5,7	77,3 ± 4,3	74,7 ± 4,8	76,1 ± 6,3	74,7 ± 6,2	76,0 ± 5,4	0,42
VO ₂ max (L.min ⁻¹)	4,75 ± 0,52	4,98 ± 0,35	4,74 ± 0,35	4,82 ± 0,43	4,63 ± 0,60 ^a	4,81 ± 0,53	0,09
VO ₂ max (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	62,1 ± 6,2	58,6 ± 3,6	64,2 ± 6,5	59,8 ± 4,8 [§]	62,6 ± 6,8 [§]	62,5 ± 5,8 ^{§,¶}	0,01

*os dados são apresentados como mediana (intervalo interquartil) ou média ± desvio-padrão conforme a distribuição das variáveis; a comparação dos resultados foi feita por teste-t de Student não emparelhado, ANOVA, teste de Mann-Whitney, teste de Kruskal-Wallis ou teste de qui-quadrado, conforme as características das variáveis. [§]Não houve diferença estatisticamente significativa ao grupo goleiro (p > 0,05). [¶]Não houve diferença estatisticamente significativa ao grupo meio-campo (p > 0,05). ^aNão houve diferença estatisticamente significativa ao grupo lateral. ^bNão houve diferença estatisticamente significativa ao grupo zagueiro. ^cHouve diferença estatisticamente significativa ao grupo goleiro (p < 0,05). ^dHouve diferença estatisticamente significativa ao grupo lateral (p < 0,05). ^eHouve diferença estatisticamente significativa ao grupo zagueiro (p < 0,05). CVF: capacidade vital forçada; FC: frequência cardíaca; LA: limiar anaeróbico; PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; POC: ponto ótimo cardiopulmonar; RER: razão de troca respiratória; TCPE: teste cardiopulmonar de exercício; VE: ventilação; VEF1: ventilação forçada no primeiro segundo; VO₂max: consumo máximo de oxigênio.

em atletas e, em especial, em futebolistas adultos de alto nível técnico submetidos a TCPE em esteira rolante com protocolo em rampa.

O POC apresenta vantagens relacionadas a sua determinação e mensuração quando comparado ao VO₂max e ao LA, as duas principais variáveis do TCPE utilizadas para a avaliação do desempenho de atletas. A obtenção de um VO₂max verdadeiro sugere a existência de um platô na curva do VO₂, o que nem sempre é possível, e sua obtenção pode variar de acordo com o protocolo do TCPE utilizado e com o intervalo de amostragem ou de coleta dos gases.^{10,11} Além disso, o VO₂max depende da realização de um teste de exercício verdadeiramente máximo, cujos critérios de determinação

são variáveis na literatura e, até certo ponto, subjetivos. Já o LA, apesar de não exigir obrigatoriamente que o teste seja máximo, também requer um exercício de maior intensidade do que o POC e tem sua mensuração dificultada pela existência de vários critérios distintos para sua identificação e/ou caracterização, além de, em um percentual importante de casos, a sua caracterização ou determinação não ser possível, prejudicando a sua utilização na prática clínica e no esporte.¹³ Em adendo, apesar da possibilidade de detecção automática tanto do VO₂max quanto do LA em alguns *softwares* comerciais, os métodos disponíveis para tal foram desenvolvidos a partir de definições e algoritmos variados, o que implica na necessidade de sua revisão por pelo menos



um observador experiente, tornando essas medidas subjetivas e ampliando o potencial de alta variabilidade inter- e intraobservador.^{23,24} Em contraste, a determinação do POC é facilmente obtida a partir da identificação do menor valor numérico da relação entre VE e VO_2 para cada minuto do TCPE, não sendo, portanto, dependente da interpretação e experiência do avaliador, e depende de um esforço relativamente pouco intenso, visto que ocorre em níveis relativamente baixos de exercício, bem antes mesmo do LA.

Em relação ao POC nos futebolistas avaliados, alguns achados principais devem ser destacados: 1- como esperado, a obtenção do POC ocorreu em percentual do VO_2 max e velocidade mais baixos do que naquele em que ocorreu o LA; 2- o POC não foi diferente entre os futebolistas de diferentes posições de jogo, semelhante ao observado em relação ao LA, porém contrário ao observado com o VO_2 max; 3- não foi observada associação significativa entre POC e as variáveis VO_2 max e LA; e 4- o coeficiente de variação do valor do consumo de oxigênio no momento da obtenção do POC foi maior do que aquele observado no LA e no VO_2 max. Ressalta-se, ainda, que os valores do POC obtidos nos jogadores ficaram em média abaixo do percentil 50 dos valores encontrados para homens saudáveis não atletas da mesma faixa etária em estudo anterior¹⁵ e que apenas oito (4%) dos futebolistas tiveram POC superiores ao valor de 22, considerado como ponto de corte para ótimo prognóstico clínico,¹⁷ sugerindo assim que esses futebolistas possuem uma privilegiada interação circulação-respiração, provavelmente mais econômica no exercício submáximo. No entanto, deve-se destacar que os valores do POC descritos para indivíduos não atletas foram obtidos a partir de TCPE realizados em cicloergômetro de membros inferiores, com um protocolo em rampa individualizado, e, portanto, a descrição do POC em diferentes modalidades e protocolos de exercício deve ser abordada em estudos futuros, visto que há evidências de comportamentos distintos de algumas variáveis obtidas no TCPE em função do protocolo e do ergômetro utilizados.

A velocidade de corrida na esteira rolante e a intensidade de exercício representada pelo percentual do VO_2 max em que os futebolistas avaliados neste estudo atingiram o POC ($10,0 \pm 1,0$ km.h⁻¹ e $51,3 \pm 8,7\%$, respectivamente) foram menores do que os valores obtidos no LA em futebolistas avaliados em outros estudos, mesmo quando comparados com jogadores de menor desempenho atlético, nos quais é esperada uma

ocorrência mais precoce do LA. Por exemplo, segundo Ziogas et al.,²⁵ futebolistas da primeira, segunda e terceira divisão da Grécia submetidos a um TCPE no período pré-temporada atingiram o LA a uma velocidade média de 13,2, 12,6 e 12,3 km.h⁻¹, respectivamente. Já Boone et al.,²⁶ avaliaram 289 futebolistas da primeira divisão da Bélgica e observaram velocidades médias de corrida na esteira rolante no LA que variaram entre $12,7 \pm 1,4$ nos goleiros até $14,4 \pm 0,7$ km.h⁻¹ nos zagueiros. Em relação a intensidade de exercício, Impellizzeri et al.,²⁷ e Helgerud et al.,²⁸ avaliaram futebolistas juniores e observaram que esses atingiram o LA em um percentual de VO_2 max médio acima de 80%. Na medida em que a velocidade de corrida e a intensidade de exercício em que se atinge o LA refletem o estado de treinamento de futebolistas, deve-se indagar e avaliar em estudos futuros se o POC também pode ser útil para diferenciar o desempenho físico de atletas.

Na comparação entre os futebolistas de diferentes posições de jogo, goleiros, meio-campistas, laterais, zagueiros e atacantes não diferiram em relação ao POC. Manari et al.,²⁹ compararam o LA e o VO_2 max de 450 futebolistas da elite europeia de diferentes posições de jogo e não encontraram diferenças no LA, assim como observado tanto com o LA como com o POC em nosso estudo. Por outro lado, e semelhante ao encontrado no nosso estudo, o VO_2 max foi menor nos goleiros. Em outro estudo, Tonessem et al.,³⁰ avaliaram 1.545 atletas de futebol masculino e observaram diferenças pequenas a moderadas no VO_2 max de acordo com a posição de jogo, sendo maior nos futebolistas de meio-campo, seguido de modo decrescente nos de defesa, atacantes e goleiros. De forma semelhante, na avaliação de 25 futebolistas profissionais, Balikian et al.³¹ observaram valores médios de VO_2 max menores em goleiros ($52,68$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) em relação à média dos futebolistas das demais posições. No entanto, ao contrário do encontrado no nosso estudo, a média da velocidade em que os jogadores atingiram o LA diferiu de acordo com a posição em campo, sendo menor para os goleiros ($12,66$ km.h⁻¹) e maior para os laterais ($14,33$ km.h⁻¹) e meio-campistas ($14,11$ km.h⁻¹). Não obstante, deve-se destacar, porém, que a diferença entre os métodos utilizados para a mensuração do LA dificulta a comparação dos resultados entre os estudos.

Finalmente, o POC não apresentou associação linear com as variáveis LA e VO_2 max. Ramos et al.¹⁵ não apenas descreveram uma associação moderada com o VO_2 max (-0,47) e o LA (-0,42) como também observaram que a combinação POC e VO_2 max possui maior informação

prognóstica para mortalidade por todas as causas do que cada uma das variáveis isoladas.¹⁷ Tais achados sugerem uma possível independência e complementaridade do POC em relação ao $VO_2\text{max}$ e ao LA, podendo, assim, contribuir com informações adicionais na interpretação da relação entre sistemas cardiovascular e respiratório durante um TCPE. Dessa forma, pode-se especular que as variáveis submáximas – POC e LA – talvez reflitam melhor as demandas energéticas de uma partida de futebol no contexto atual, no qual as diferenças de distância e de percentual do tempo dispendido em esforços intensos é menos evidente entre os futebolistas das várias posições de jogo.

O presente estudo apresenta algumas limitações além das apresentadas anteriormente. Os TCPE analisados foram restritos aos realizados no período pré-temporada, não permitindo a avaliação do comportamento do POC em diferentes períodos de treinamento dos futebolistas. Além disso, apenas futebolistas adultos, do sexo masculino e de alto nível técnico foram avaliados, o que restringe a extrapolação dos resultados para jogadoras, outras faixas etárias, diferentes níveis técnicos ou outras modalidades esportivas.

Conclusão

O presente estudo descreveu o comportamento do POC e a sua ausência de associação com $VO_2\text{max}$ e o LA em futebolistas adultos, do sexo masculino e de alto nível técnico. Dessa forma, estudos futuros são necessários para avaliar se o POC é capaz de prover informações adicionais e relevantes em outros contextos desportivos.

Referências

1. Albouaini K, Egred M, Alahmar A, Wright DJ. Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgrad Med J*. 2007;83(985):675-82.
2. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després JP, Franklin BA, et al; American Heart Association Physical Activity Committee of the Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Functional Genomics and Translational Biology; Stroke Council. 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(24):e653-e99.
3. Gitt AK, Wasserman K, Kilkowski C, Kleemann T, Kilkowski A, Bangert M, et al. Exercise anaerobic threshold and ventilatory efficiency identify heart failure patients for high risk of early death. *Circulation*. 2002;106(24):3079-84.
4. Edwards AM, Clark N, Macfadyen AM. Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *J Sports Sci Med*. 2003;2(1):23-9.
5. Hoff J. Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sports Sci*. 2005;23(6):573-82.
6. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med*. 2007;37(10):857-80. Erratum in: *Sports Med*. 2007;37(11):1000.
7. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med*. 2005;35(6):501-36.
8. Reilly T. Physiological aspects of soccer. *Biol Sport*. 1994;11:3-20.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: de Souza e Silva CG, Castro CLB, Franca JF, Bottino A, Myers J, Araújo CGS; Obtenção de dados: Castro CLB, Franca JF, Araújo CGS; Análise e interpretação dos dados, Análise estatística e Redação do manuscrito: de Souza e Silva CG, Araújo CGS; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Castro CLB, Franca JF, Bottino A, Myers J, Araújo CGS.

Potencial conflito de interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação ética e consentimento informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Suprema - Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde de Juiz de Fora sob o número de protocolo 0218/11. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013. O consentimento informado foi obtido de todos os participantes incluídos no estudo.

9. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol*. 1955;8(1):73-80.
10. Myers J, Walsh D, Buchanan N, Froelicher VF. Can maximal cardiopulmonary capacity be recognized by a plateau in oxygen uptake? *Chest*. 1989;96(6):1312-6.
11. Myers J, Walsh D, Sullivan M, Froelicher V. Effect of sampling on variability and plateau in oxygen uptake. *J Appl Physiol* (1985). 1990;68(1):404-10.
12. Doherty M, Nobbs L, Noakes TD. Low frequency of the "plateau phenomenon" during maximal exercise in elite British athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2003;89(6):619-23.
13. Yeh MP, Gardner RM, Adams TD, Yanowitz FG, Crapo RO. Anaerobic threshold: problems of determination and validation. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983;55(4):1178-86.
14. Zinner C, Sperlich B, Wahl P, Mester J. Classification of selected cardiopulmonary variables of elite athletes of different age, gender, and disciplines during incremental exercise testing. *Springerplus*. 2015;4:544.
15. Ramos PS, Ricardo DR, Araújo CG. Cardiorespiratory optimal point: a submaximal variable of the cardiopulmonary exercise testing. *Arq Bras Cardiol*. 2012;99(5):988-96.
16. Ramos PS, Araújo CG. Análise da estabilidade de uma variável submáxima em teste cardiopulmonar de exercício: ponto ótimo cardiopulmonar. *Rev Bras Ativ Fis e Saúde (Pelotas-RS)*. 2013;18(5):585-93.
17. Ramos PS, Araújo CG. Cardiorespiratory optimal point during exercise testing as a predictor of all-cause mortality. *Rev Port Cardiol*. 2017;36(4):261-9.
18. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al; ATS/ERS Task Force. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J*. 2005;26(2):319-38.
19. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(5):377-81.
20. Hagan RD, Smith MG. Pulmonary ventilation in relation to oxygen uptake and carbon dioxide production during incremental load work. *Int J Sports Med*. 1984;5(4):193-7.
21. Ramos PS, Sardinha A, Nardi AE, de Araújo CG. Cardiorespiratory optimal point: a submaximal exercise variable to assess panic disorder patients. *PLoS One*. 2014;9(8):e104932.
22. Nikolaidis PT. Can maximal aerobic running speed be predicted from submaximal cycle ergometry in soccer players? The effects of age, anthropometry and positional roles. *Adv Biomed Res*. 2015;4:226.
23. Myers J, Goldsmith RL, Keteyian SJ, Brawner CA, Brazil DA, Aldred H, et al. The ventilatory anaerobic threshold in heart failure: a multicenter evaluation of reliability. *J Card Fail*. 2010;16(1):76-83.
24. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(11):1841-8.
25. 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.
26. Boone J, Vaeyens R, Steyaert A, Vanden Bossche L, Bourgois J. Physical fitness of elite Belgian soccer players by player position. *J Strength Cond Res*. 2012;26(8):2051-7.
27. Impellizzeri FM, Marcora SM, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia FM, et al. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med*. 2006;27(6):483-92.
28. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(11):1925-31.
29. Manari D, Manara M, Zurini A, Tortorella G, Vaccarezza M, Prandelli N, et al. VO2Max and VO2AT: athletic performance and field role of elite soccer players *Sport Sci Health*. 2016;12(2):221-6.
30. Tønnessen E, Hem E, Leirstein S, Haugen T, Seiler S. Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8(3):323-9.
31. Balikian P, Lourenção A, Ribeiro LF, Festuccia WTL, Neiva CM. Consumo máximo de oxigênio e limiar anaeróbio de jogadores de futebol: comparação entre as diferentes posições. *Rev Bras Med Esporte*. 2002;8(2):32-6.

